



**Universidad
Zaragoza**

Trabajo fin de grado

El comportamiento hidrológico de una cuenca de bancales abandonados en el Camero Viejo, La Rioja

Autor:

Gonzalo J. Fernández Olloqui

Directoras:

María Teresa Echeverría Arnedo
Noemí Solange Lana-Renault Monreal

Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Zaragoza
Grado en Geografía y Ordenación del Territorio
Junio del 2020

Índice

1. Resumen / Summary	- 2 -
2. Introducción	- 2 -
2.1. Localización del área de estudio	- 3 -
3. Ciclo hidrológico a nivel de cuenca	- 5 -
4. Objetivos	- 6 -
5. Metodología	- 7 -
5.1. Análisis realizados	- 7 -
5.2. Equipamiento de la cuenca	- 7 -
5.3. Glosario de variables utilizadas	- 8 -
6. Resultados	- 8 -
6.1. Análisis de correlación general	- 9 -
6.2. Análisis de correlación sin los valores extremos	- 11 -
6.3. Análisis estacional	- 13 -
6.4. Análisis detallado de los eventos por estaciones	- 14 -
7. Resumen de los resultados	- 16 -
8. Discusión y conclusiones	- 18 -
9. Bibliografía y fuentes	- 20 -
10. Dinámica de trabajo	- 22 -

1. Resumen / Summary

Los bancales han jugado un papel fundamental en el desarrollo económico de las sociedades de montaña mediterránea. Debido a los avances tecnológicos y al descenso de la presión demográfica, se produjeron grandes cambios a lo largo del siglos XIX y XX, en estas áreas rurales, originando el abandono y posterior deterioro de los bancales. Nuevos procesos cobran ahora importancia en estos espacios, afectando a las dinámicas hidrológicas y geomorfológicas de las laderas. A lo largo de este trabajo se analizan los datos de crecidas de una pequeña cuenca de bancales abandonados, con el objetivo de determinar cómo se comporta el sistema hidrológico. Se concluye que, debido a la profundidad, estructura y organización interna de los bancales, dominan los procesos de escorrentía subsuperficial que dan como resultado tiempos de crecida lentos y curvas de recesión muy largas. El desmantelamiento de estas construcciones y la recuperación del perfil original de la ladera traerá consigo cambios en la organización de la red hidrológica.

Palabras clave: Bancales abandonados, Sistema Ibérico, respuesta hidrológica, ciclo del agua.

Terraces have played a fundamental role in the economic development of the mediterranean mountain societies. Due to technological progress and decrease in demographic pressure, great changes took place during the 19th and 20th centuries, on these rural spaces, causing the abandonment and subsequent deterioration of the terraces. Nowadays, new processes become important in these areas, affecting the hydrological and geomorphological dynamics of the slopes. Throughout this work we analyse the flood data of a small basin characterized by abandoned terraces, in order to determine how the hydrological system behaves. We concluded that, due to the depth, structure and internal organization of the terraces, subsurface runoff processes dominate causing slow response times and long recession curves. The collapse of these constructions and the recovery of the original slope profile will bring changes in the hydrological response.

Key words: abandoned terraces, Iberian System, hydrological response, water cycle.

2. Introducción

A lo largo de la historia, los bancales han sido un recurso agrícola que han desempeñado un papel fundamental en el desarrollo de los pueblos de montaña en todo el mundo. Y, de forma especial, en las áreas de influencia mediterránea en España, estando muy presentes en el Pirineo centro oriental, en el Maestrazgo aragonés y castellonense, en el Sistema Ibérico, en áreas montañosas de Alicante y Valencia, en algunos sectores de las Béticas y en la montaña balear (Lasanta et al., 2013).



Figura 1: Detalle del muro de un bancal en San Vicente de Munilla.

La construcción de estos espacios fue debida a la necesidad de subsistencia de los habitantes de montaña, que roturaron las laderas en busca de espacios aptos para el cultivo. Estos bancales o terrazas proporcionaron zonas llanas y fértiles, que favorecían la infiltración del agua y reducían la erosión, permitiendo su cultivo.

En el Sistema Ibérico riojano, los bancales jugaron un papel económico muy importante, siendo especialmente representativos en los valles del Leza, Jubera y Cidacos. En este último, un estudio determinó que el porcentaje de superficie abancalada con respecto al total de la superficie cultivada llegó a ser del 92,5% (Lasanta et al., 2013). Lo que proporciona una idea de la importancia que llegaron a tener para el desarrollo de la región.

Sin embargo, a lo largo del siglo XX, la mayor parte de estos espacios dejaron de cultivarse y se abandonaron. Como consecuencia de la falta de mantenimiento, los bancales entraron en una etapa de deterioro, dando lugar al desmoronamiento de los muros de piedra (apreciable en la figura 2). Este proceso está provocando la restauración del perfil original de la ladera, debido a la reactivación de los procesos de escorrentía y deslizamientos de tierra, antiguamente controlados por la intervención humana (Arnáez et al., 2010).



Figura 2: Detalle de un muro derrumbado en San Vicente de Munilla.

De tal modo que, en la actualidad, debido al abandono y posterior deterioro de los bancales, los procesos hidrogeomorfológicos dominantes en la cuenca han cambiado. Las laderas son más inestables y la estructura y cohesión de los bancales se ha visto comprometida aumentando la tasa de erosión y el número de desmoronamientos. Lo que sumado al incremento de la masa forestal constituye una amenaza para la génesis y propagación de los incendios, y un deterioro del valor y de la calidad del paisaje (Lasanta et al., 2009) (Santana et al., 2010).

Los bancales han sido objeto de estudio en muchos trabajos a diferentes escalas, se han estudiado los procesos de degradación del suelo y erosión (Lasanta et al., 2001) (Tarolli et al., 2014.), procesos de reforestación (Pérez-Cabello., 2011), la repercusión económico-social (Lasanta et al., 2013) o procesos hidrológicos (Gallart et al., 1994). Este trabajo se centrará en el estudio de la respuesta hidrológica de una cuenca de bancales abandonados.

2.1. Localización del área de estudio

El área de estudio de este trabajo es la cuenca experimental “San Vicente de Munilla” monitorizada por la Universidad de la Rioja (Figura 3). Se localiza en el término municipal de Munilla, en el valle del Cidacos entre las sierras de La Hez y de Préjano, en el Sistema Ibérico riojano. Tiene una superficie aproximada de 190 hectáreas y una altitud comprendida entre los

770 y los 1170 metros sobre el nivel del mar. Esta cuenca está drenada por el barranco de La Canal, afluente del río Manzanares que desemboca en el Cidacos.

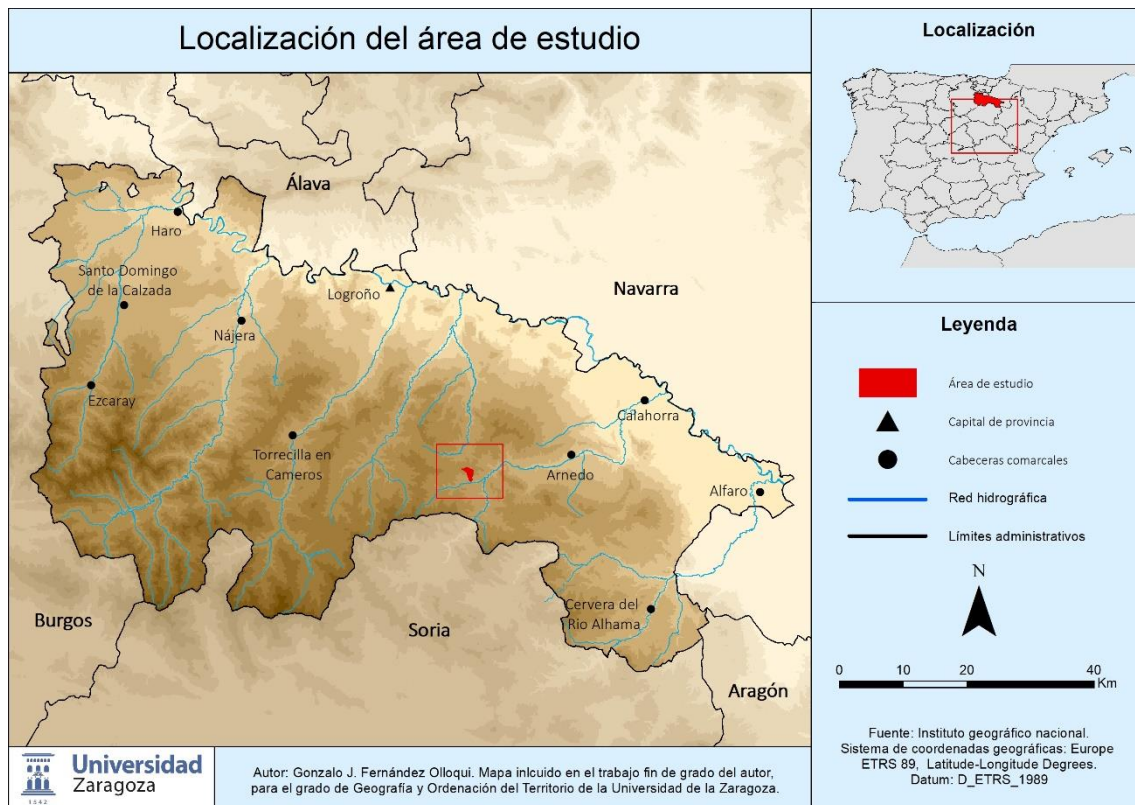


Figura 3: Mapa: localización del área de estudio. Elaboración propia.

Geológica y geomorfológicamente hablando, el área se compone en su totalidad de materiales secundarios de la facies Weald, arcillas y limonitas en la zona norte y de margas y calizas en el área sur, que han dado lugar a unos relieves suaves, aunque con multitud de escalones estructurales sobre litologías calcáreas más resistentes, excavados por el propio barranco, cuyas laderas tienen una pendiente media en torno al 21%.

La vegetación potencial de la zona se corresponde con formaciones de encina (*Quercus ilex*) y quejigo (*Quercus faginea*). Sin embargo, este tipo de vegetación apenas tiene representación debido a la intensa actividad humana, que deforestó la zona durante la construcción de los bancales. Actualmente esos bancales, como ya se ha señalado, se encuentran en estado de abandono y sobre ellos se extienden formaciones de matorral compuestas por aligas (*Genista scorpius*) y jaras (*Cistus laurifolus*) y prados de diente de león (Rubio Sesma., 2013).

Munilla presenta un clima mediterráneo de montaña, que se clasificaría como Cfb por Köppen y Geiger (templado lluvioso cálido sin estación seca). La temperatura promedio a lo largo del año es de 11°C, siendo julio con 20°C el mes más caluroso y enero con 3°C el más frío. Las precipitaciones medias anuales se sitúan entre los 500 y los 700mm, siendo mayo con 66mm el mes más lluvioso y julio con 31mm el más seco. Es destacable que Munilla registra una cantidad significativa

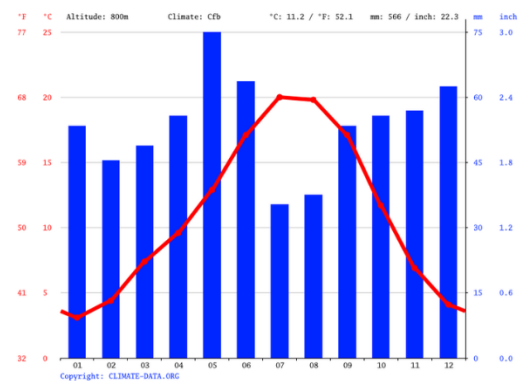


Figura 4: Climograma de Munilla. ClimateData.org

de lluvia durante todos los meses del año, incluso para el mes más seco. (ClimateData.org)

La elección de esta zona para la realización del estudio no ha sido aleatoria. Se ha considerado que esta cuenca, debido a sus características geomorfológicas, climáticas y, sobre todo, debido a la presencia de bancales abandonados, es representativa de una realidad más amplia, en este caso: los cambios de uso de suelo en la montaña media mediterránea.



Figura 5: Ladera oeste de la cuenca de San Vicente de Munilla

3. Ciclo hidrológico a nivel de cuenca

Este trabajo gira en torno al agua y su comportamiento a nivel de cuenca. A pesar de que la mayor parte de las personas tienen conocimientos básicos sobre los temas aquí tratados, se ha considerado necesario incluir este apartado conceptual. En él, se realiza un breve resumen del ciclo hidrológico y sus principales procesos y factores.

El ciclo hidrológico es un sistema complejo y cerrado que se inicia con una entrada de energía (luz solar), produciendo la movilización del agua entre los distintos dominios hídricos (figura 6). A efectos de nuestra área de estudio, asumiremos que el ciclo se inicia con la precipitación, proceso básico para el funcionamiento del ciclo hidrológico que supone la entrada de agua en los diferentes sistemas, en forma de lluvia, nieve o hielo principalmente.

Seguido de la precipitación se produce el proceso de interceptación, fundamentalmente se trata del proceso por el cual el agua queda retenida por la vegetación, los edificios, etc, y

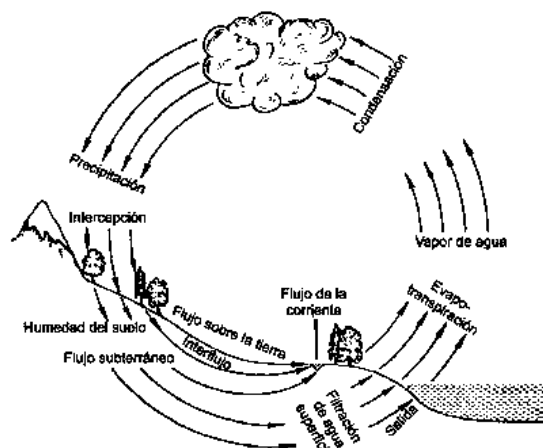


Figura 6: Diagrama simplificado del ciclo del agua.

Fuente: FAO.org

no llega al suelo. Parte de este agua retenida nunca llegará al suelo y retornará a la atmósfera a través de los procesos de evaporación y respiración de las plantas. Hay otra parte que sí que alcanzará el suelo a través de los procesos de trascolación y/o escorrentía cortical.

Una vez el agua ha alcanzado el suelo, comienza la infiltración, mecanismo mediante el cual parte del agua se introduce en el subsuelo. Este proceso tiene continuidad en el de percolación, que alimenta las aguas subterráneas. Por lo general se diferencia la infiltración como el proceso que se da en el suelo de la percolación que se produce en los estratos rocosos.

Ligado a los anteriores, se encuentra el concepto de capacidad de infiltración o máxima cantidad de agua que un suelo puede llegar a absorber. La infiltración está condicionada por las características del medio: cubierta vegetal, topografía, geología, litología, presencia o no de formaciones superficiales y grado de tectonización; así como por las características del suelo: grado de compactación, estructura, textura, etc.

Por norma general, cuando el proceso de infiltración alcance la capacidad de infiltración, comienza el proceso de escorrentía. Pero solo por norma general, ya que se dan ocasiones, especialmente en el ámbito mediterráneo, en las que la precipitación es tan intensa que se supera la tasa de infiltración provocando la escorrentía superficial.

La escorrentía se compone de una serie de láminas de agua que pueden alcanzar una gran superficie, pero sin mucho espesor, procedentes de las precipitaciones y, que acaban alimentando el caudal de los ríos. La escorrentía puede ser superficial, subsuperficial o subterránea.

Existen dos conceptos en hidrología para relacionar precipitaciones y caudal: el coeficiente de escorrentía, que es el caudal a la salida de la cuenca en relación con las precipitaciones de la misma, y el déficit de escorrentía, por el cual conocemos aquellas precipitaciones que no han llegado a formar parte de la escorrentía.

Finalmente, buena parte del agua que llega a la tierra retorna a la atmósfera en forma de vapor de agua a través del aire gracias a los procesos de evaporación y transpiración de las plantas. Ambas, son magnitudes difícil de diferenciar y más aún de cuantificar, por ello se habla de un proceso común, la evapotranspiración. Posteriormente, el agua en la atmósfera volverá a precipitar dando de nuevo comienzo al ciclo hidrológico.

4. Objetivos

En este trabajo se estudian los datos de crecida recopilados en una cuenca experimental de bancales abandonados. El principal objetivo de la investigación es estudiar el comportamiento hidrológico de este tipo de ambientes a escala de cuenca. No solo a nivel anual, sino también a nivel estacional, ya que, debido al clima mediterráneo de la zona, los procesos dominantes pueden variar a lo largo del año. Para ello, se establecen los siguientes objetivos específicos:

- Analizar las características de las crecidas, tanto a nivel anual como estacional.
- Analizar los factores que explican la respuesta hidrológica, tanto a nivel anual, como estacional, mediante análisis de correlación entre las variables estudiadas.
- Analizar hasta que punto la respuesta hidrológica de la cuenca se ve afectada por la presencia de bancales abandonados

La respuesta hidrológica de una cuenca abancalada tras el abandono de estos sistemas de cultivo no cuenta con muchos estudios dentro de la comunidad científica. Este trabajo supone un

acercamiento al análisis de su comportamiento hidrológico y da pie a futuros trabajos en cuencas y regiones de características similares que permitan su comparación.

5. Metodología

A lo largo de este apartado se describen los análisis realizados para el estudio de las crecidas en la cuenca. Los datos fueron proporcionados por el grupo EUSOT (Erosión, Usos del Suelo y Ordenación del Territorio) de la Universidad de la Rioja. También se incluye un resumen del equipamiento de la cuenca y un glosario donde se definen y explican las principales variables utilizadas.

5.1. Análisis realizados

Este trabajo analiza el funcionamiento hidrológico de la cuenca mediante los datos de crecidas. Las crecidas pueden ser definidas como un incremento significativo del caudal como respuesta a procesos de precipitación. Se ha identificado como crecidas a aquellos eventos que se corresponden con un aumento de caudal superior a 1,5 veces el caudal de base previo a la precipitación (García-Ruiz et al., 2005) (Lana-Renault et al., 2007).

Después de una evaluación de los principales estadísticos descriptivos de la muestra, calculados mediante el software “Excell” de Microsoft. Se han realizado diversos análisis de correlación siguiendo el método de Pearson a través del software “PAST” desarrollado por la Universidad de Oslo. También se incluyen diversas tablas y gráficos de correlación lineal.

5.2. Equipamiento de la cuenca

Los sistemas y equipamientos disponibles para la recogida de datos hidrológicos son:

- Una estación meteorológica completa, que incluye sensores de temperatura, humedad relativa del aire, velocidad del viento y radiación solar (Figura 7).
- Un pluviómetro de balancín un instalado en la parte más baja de la cuenca.
- Un aforo dotado de un sensor de presión (*MiniDiver Eijkelkamp*) instalado en el lecho del cauce cerca de la desembocadura. Este registra y almacena cada 10 minutos la altura de la lámina de agua.

Los datos obtenidos por los diferentes equipamientos se almacenan en dataloggers. Esta información es descargada en un ordenador una vez al mes y se incorpora a una base de datos para su posterior análisis.



Figura 7: Estación meteorológica en la cuenca de San Vicente de Munilla

5.3. Glosario de variables utilizadas

A continuación, se muestra un marco conceptual donde aparecen las variables de las cuales se han obtenido datos para la realización del trabajo. A partir de ellas se han realizados todos los análisis

Variable	Medida	Definición
PP	mm	Precipitación
ImaxPP	mm/h	Intensidad máxima de la precipitación en 10 minutos
ET	mm	Escorrentía total
EB	mm	Flujo de base durante la crecida ¹
EC	mm	Escorrentía de crecida ²
CE	mm	Coefficiente de escorrentía ³
Qini	L/s/km ²	Caudal base al inicio de la crecida ⁴
Qmax	L/s/km ²	Pico de caudal
Tresp	min	Timepo de respuesta ⁵
Trecs	min	Tiempo de recesión ⁶
Tdurc	min	Tiempo de duración de la crecida ⁷

Figura 8: Marco conceptual de las variables utilizadas

1. El flujo de base durante la crecida (slow flow) calculado según el método gráfico de Hewlet & Hibbert (1967). 2. La escorrentía de crecida se calcula restando la escorrentía total menos el flujo de base (ET – EB). 3. El coeficiente de escorrentía se ha calculado dividiendo la escorrentía de crecida entre la precipitación (EC – PP). 4. El inicio de la crecida se suele corresponder con un aumento de caudal superior a 1,5 veces el caudal de base anterior al evento pluviométrico. 5. Intervalo de tiempo entre el centroide de la precipitación y el pico de caudal. 6. Intervalo de tiempo entre el pico de caudal y el momento en el que el caudal es un tercio al pico de caudal. 7. Intervalo de tiempo entre el inicio y el final de la crecida. El final de la crecida se corresponde con la intersección entre el flujo de base y la curva de recesión.

6. Resultados

Los 27 eventos de crecidas sobre los que se basa este trabajo fueron registrados entre otoño de 2012 y primavera de 2016. En general, las crecidas se reparten uniformemente durante las estaciones de invierno, primavera y verano; en otoño solamente tenemos registro de dos casos, ambos de considerable magnitud. A nivel mensual, todos los meses cuentan con alguna crecida exceptuando mayo y agosto que no registraron ningún caso. Destacan los meses de enero, marzo y junio, que registraron seis crecidas cada uno.

La figura 9 muestra los principales estadísticos descriptivos de nuestros datos: media, máximo, mínimo y desviación típica, para cada una de las variables analizadas.

	PP	ImaxPP	ET	EB	EC	CE	Qini	Qmax	Tresp	Trecs	Tdurc
Media	25,50	13,20	3,14	0,97	2,17	0,06	2,70	33,97	501,85	2054,81	2691,85
Máximo	97,00	68,40	28,93	6,39	22,54	0,29	8,73	217,13	2000,00	8130,00	9310,00
Mínimo	6,30	1,20	0,05	0,00	0,02	0,00	0,00	2,14	40,00	60,00	320,00
Desviación	21,15	16,67	6,01	1,31	4,89	0,06	2,36	48,46	444,50	2108,40	2097,22

Figura 9: Tabla de los principales estadísticos descriptivos de la muestra

Atendiendo a estos primeros análisis, la precipitación de todos los eventos puede considerarse como media si atendemos a la clasificación de (López Bermúdez, 2002). Con un caso torrencial extremo de 97_{mm/h}. Llama la atención el valor medio obtenido para el coeficiente de escorrentía (CE) de 0,06, un cifra muy baja en comparación con los resultados obtenidos en otras cuencas experimentales. Por ejemplo, la cuenca de Arnás, donde dominan los campos abandonados, en el Pirineo Central cuenta con un CE medio de 0,25 (García-Ruiz et al., 2008)

En general, los valores de tiempo de respuesta (Tresp), tiempo de recesión (Trecs) y tiempo de duración (Tdurc) de la crecida son muy largos. De media el tiempo de respuesta en la cuenca es de al menos ocho horas y el tiempo de recesión de casi día y medio. El tiempo de duración es lo más llamativo, de media, las crecidas en esta cuenca persisten durante al menos 45 horas, llegando a durar en el caso más extremo 6 días enteros.

Entre los 27 registros existe una gran variabilidad que se ve reflejada en los valores obtenidos para la desviación típica. Esto puede llegar a plantear problemas más adelante a la hora de analizar la muestra en su conjunto. A pesar de ello, se ha de tener en cuenta que nos encontramos en una zona de clima mediterráneo donde la torrencialidad, los valores extremos y precisamente esta variabilidad caracterizan este tipo de comportamiento hidrológico.

6.1. Análisis de correlación general

El primer análisis que se plantea es determinar si existe algún tipo de conexión entre las distintas variables de los 27 registros con los que contamos. El objetivo es hallar una correlación significativa entre alguna de las variables. Para ello se ha utilizado la prueba de correlación de Pearson, debido a que obtiene resultados más significativos para muestras con menos de 30 datos cuantitativos.

Esta prueba indica el tipo de correlación entre las variables, es decir, si un cambio en una de ellas origina un cambio en la otra. Los datos obtenidos se clasifican entre -1 y 1; donde: 1 indica completa correlación positiva, y -1 completa correlación negativa. El valor 0 indica ausencia de correlación.

Los resultados obtenidos se representan en una matriz de doble entrada (figura 10). Se ha decidido clasificar los valores en función de su correlación, a través del uso de una escala de colores donde el rojo indica una correlación muy baja, y el verde una correlación muy alta; independientemente de si esta es negativa o positiva.

Tipo de correlación	
	Muy Baja
	Baja
	Moderada
	Alta
	Muy Alta

	PP	ImaxPP	ET	EB	EC	CE	Qini	Qmax	Tresp	Trecs	Tdurc
PP		0,096075	0,77465	0,46561	0,82787	0,57566	-0,29004	0,91743	0,15465	-0,22914	0,58
ImaxPP			-0,21656	-0,33367	-0,17704	-0,38889	-0,46764	-0,15575	-0,36874	-0,43504	-0,42748
ET				0,88603	0,99223	0,91325	0,20655	0,85211	0,30936	0,079445	0,84853
EB					0,82144	0,91819	0,4589	0,56569	0,36294	0,37988	0,91875
EC						0,87695	0,13109	0,8964	0,2829	-0,004146	0,79714
CE							0,4397	0,73084	0,44874	0,1844	0,88924
Qini								-0,002413	0,007001	0,56763	0,28585
Qmax									0,15563	-0,10171	0,6586
Tresp										0,030265	0,4957
Trecs											0,40352
Tdurc											

Figura 10: Tabla con los resultados de los análisis de correlación

En la figura 10, observamos que existen un gran número de casos de correlación muy alta y en todos ellos, positiva. Casi todas las variables presentan algún tipo de correlación muy alta positiva con alguna de las otras, exceptuando el caudal base (Qini), el tiempo de respuesta (Tresp) y el tiempo de recesión (Trecs). Estas no mantienen una correlación superior a moderada ni entre ellas ni entre ninguna de las otras variables. La precipitación presenta correlación muy alta positiva con las variables de la intensidad de la precipitación (ImaxPP), con la escorrentía de crecida (EC) y con el pico de caudal (Qmax).

El grupo de variables relacionadas con la escorrentía: escorrentía total (ET), escorrentía de crecida (EC), coeficiente de escorrentía (CE) y el flujo de base (EB), presentan entre ellas valores

de correlación muy altos. Además, también se correlacionan muy positivamente con las variables de pico de caudal (Q_{max}) y el tiempo de duración de la crecida (T_{durc}). De todas ellas, solo la escorrentía de crecida (EC) presenta una correlación muy alta con la precipitación.

Como se comentaba con anterioridad, de esta cuenca eran muy llamativos sus tiempos de respuesta, recesión y duración. Estos análisis de correlación no han sido capaces de determinar a que se deben sus valores tan elevados. La precipitación y la intensidad de la misma que “*a priori*” podrían explicar este comportamiento no muestran correlación significativa con el resto de las variables. De igual forma pasa con el caudal inicial (Q_{ini}).

Todo parece apuntar a que el comportamiento hidrológico de la cuenca depende de otro tipo de factores: capacidad de infiltración, estructura del suelo, humedad del suelo, etc. Factores muy estrechamente relacionados con la presencia de bancales abandonados en las laderas de la cuenca de estudio.

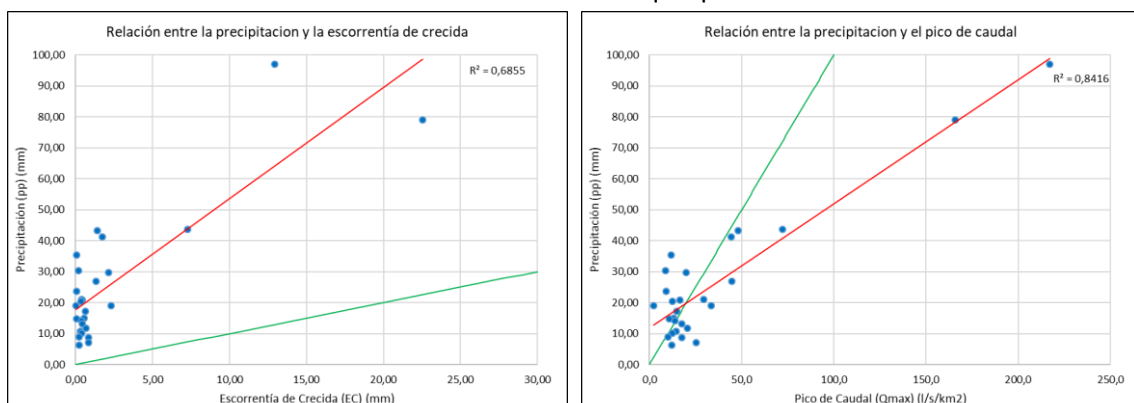
Estudios previos realizados por diversos autores (Ceballos y Schanabel., 1998; Nadal-Romero et al., 2008; Lana-Renault et al., 2014) señalan que las precipitaciones y su intensidad no son capaces de explicar el comportamiento hidrológico de las cuencas del ámbito mediterráneo si cuentan con suelos bien desarrollados y estructurados. Este tipo de suelos y más en concreto las terrazas, reducen la escorrentía superficial e incrementan la infiltración (Arnáez et al., 2015). Por lo tanto, la humedad previa de la cuenca y el proceso de escorrentía subsuperficial se convierten en los factores determinantes que podrían explicar la respuesta hidrológica de la cuenca.

Frente a la ausencia del dato concreto, se considera el caudal base al inicio de la crecida (Q_{ini}) como indicador del estado de humedad inicial de la cuenca. El cual, como ya se ha mencionado, no presenta valores de correlación superiores a moderados con ninguno de las otros variables. Por el contrario, los valores de escorrentía subsuperficial presentan una muy alta correlación con el coeficiente de escorrentía y con el tiempo de duración de la crecida.

Las siguientes gráficas (figuras 11, 12, 13, 14) muestran la relación que se establece entre algunas de las variables que han presentado entre ellas una correlación muy alta positiva.

Observando estas gráficas se aprecia como en todos los casos existen ciertos de valores que se distancian del resto. Prestando atención a las líneas de tendencia (línea roja), vemos como estas apuntan precisamente hacia los extremos. Y se plantea la duda de si estos valores condicionaran de forma significativa los resultados obtenidos en los análisis de correlación.

Por ello, se ha considerado necesario repetir los análisis de correlación sin tener en cuenta los tres valores de precipitación máxima de la muestra. Con estos nuevos análisis se pretende encontrar una correlación clara entre las variables que podría no haberse manifestado con



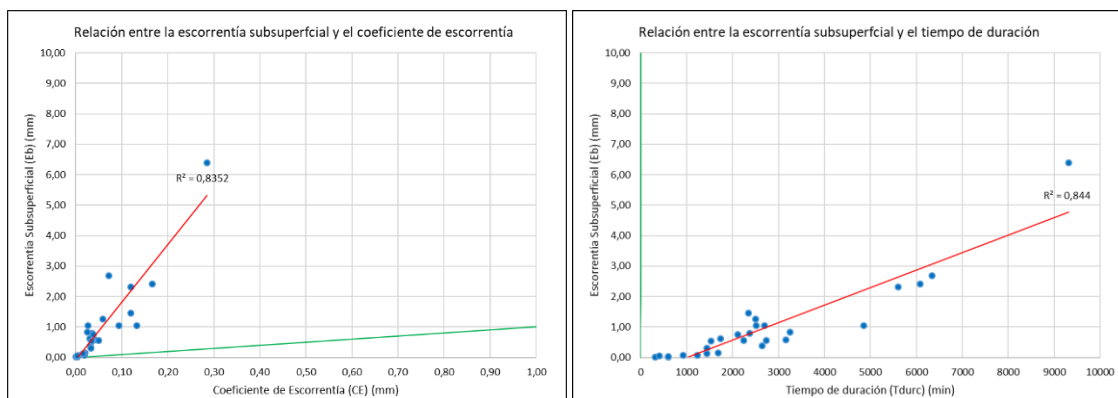


Figura 11: Gráfica de correlación lineal entre la precipitación y la escorrentía de crecida. Figura 12: gráfica de correlación lineal entre la precipitación y el pico de caudal. Figura 13: gráfica de correlación lineal entre el flujo base y el coeficiente de escorrentía. Figura 14: gráfica de correlación lineal entre el flujo base y el tiempo de duración de la crecida.

En todos los caso la línea roja se corresponde con la tendencia seguida por los datos.

En todos los casos la línea verde representa la constante 1:1.C

anterioridad. Sobre todo, alguna que explicase esos tiempos de respuesta y curva de recesión tan lentos.

Antes de nada, destacar que los valores evitados para este análisis no son considerados anormales. Como se mencionaba anteriormente, estos valores extremos son los que determinan la variabilidad que caracteriza a los entornos mediterráneos. A pesar de ello, dan como resultado una muestra muy heterogénea que, siendo representativa del clima, puede no ser representativa del comportamiento hidrológico de la cuenca.

6.2. Análisis de correlación sin los valores extremos

A continuación, se presenta la figura 15, una matriz de doble entrada (con la misma estructura que la figura 10) donde aparecen los valores obtenidos clasificados por colores en función del valor de la corrección. El color rojo indica una correlación muy baja, y el verde una correlación muy alta; independientemente de si esta es negativa o positiva.

Tipo de correlación	
	Muy Baja
	Baja
	Moderada
	Alta
	Muy Alta

	PP	ImaxPP	ET	EB	EC	CE	Qini	Qmax	Tresp	Trecs	Tdurc
PP		0,4675	0,10774	-0,16207	0,38316	-0,26803	-0,6503	0,51451	0,058746	-0,35727	0,075747
ImaxPP			-0,39752	-0,4448	-0,29374	-0,52962	-0,48198	-0,13066	-0,41677	-0,45431	-0,486
ET				0,93919	0,92899	0,8112	0,38275	0,51405	0,22912	0,59333	0,95035
EB					0,74544	0,82187	0,56297	0,2407	0,1359	0,77479	0,91203
EC						0,68967	0,13771	0,74039	0,2961	0,31697	0,86161
CE							0,66343	0,41262	0,25265	0,45243	0,71133
Qini								0,025923	-0,097335	0,5782	0,28435
Qmax									0,18799	-0,13135	0,39569
Tresp										0,086858	0,38355
Trecs											0,67669
Tdurc											

Figura 15: Tabla con los resultados de los análisis de correlación específicos

Observando la figura 15, se aprecia como el número de correlaciones muy altas entre las variables ha disminuido considerablemente, pasando de registrar 14 a registrar la mitad, siete. Llama la atención el caso de la precipitación (PP) que en los análisis anteriores presentaba una correlación muy alta con las variables de intensidad de la precipitación (ImaxPP), la escorrentía de crecida (EC) y el pico de caudal (Qmax), y ahora no presenta valores de correlación superiores a 0,6.

Igualmente llamativo es el caso la variable pico de caudal (Q_{max}) que con anterioridad mostraba correlación con las variables de precipitación (PP), escorrentía de crecida (EC) y coeficiente de escorrentía (CE) y ahora con ninguna de las variables.

El grupo de variables relacionadas con la escorrentía: escorrentía total (ET), escorrentía de crecida (EC), coeficiente de escorrentía (CE) y el flujo de base (EB); siguen presentado entre ellas valores de correlación muy altos, aunque no tanto como en los análisis anteriores. También mantienen valores de correlación muy altos con el tiempo de duración de las crecidas (T_{durc})

Las variables de caudal inicial (Q_{ini}) y tiempo de recesión (T_{recs}) han aumentado ligeramente sus resultados, pero no registran ninguna correlación que pueda considerarse muy alta. El tiempo de respuesta (T_{resp}) sigue sin mostrar valores de correlación relevantes.

Las gráficas (figuras 16, 17, 18 y 19) ponen en relación las mismas variables que en el apartado anterior, pero sin los tres valores más extremos. Se observa como en el caso de la precipitación ahora los datos se encuentran mucho más dispersos y la línea de tendencia no es tan significativa. Por el contrario, en el caso de las gráficas relacionadas con el flujo de base, al eliminar los valores extremos la tendencia es mucho más clara.

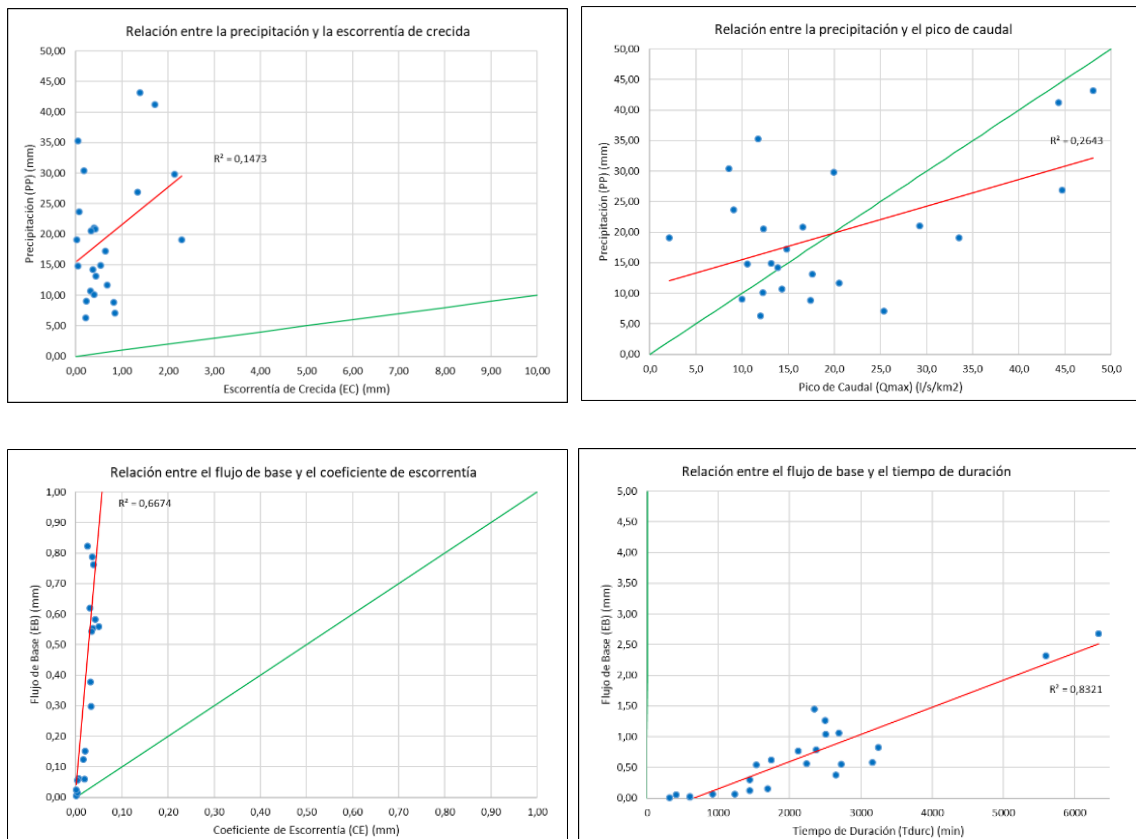


Figura 16: Gráfica de correlación lineal entre la precipitación y la escorrentía de crecida sin los tres mayores eventos. Figura 17: gráfica de correlación lineal entre la precipitación y el pico de caudal sin los tres mayores eventos. Figura 18: gráfica de correlación lineal entre el flujo base y el coeficiente de escorrentía sin los tres mayores eventos. Figura 19: gráfica de correlación lineal entre el flujo base y el tiempo de duración de la crecida sin los tres mayores eventos.

En todos los caso la línea roja se corresponde con la tendencia seguida por los datos.

En todos los casos la línea verde representa la constante 1:1.

Los análisis realizados sobre la muestra sin sus valores extremos corroboran la hipótesis de que las precipitaciones y su intensidad no son capaces de explicar el comportamiento hidrológico de las cuencas cuyos suelos se encuentran bien desarrollados y estructurados (Ceballos y Schanabel, 1998; Nadal-Romero et al., 2008; Lana-Renault et al., 2014).

En estos análisis al prescindir de los valores extremos, se reduce la correlación entre la precipitación y su intensidad con el coeficiente de escorrentía y el pico de caudal. Pero, sí se mantiene la correlación entre la escorrentía subsuperficial y el tiempo de duración. El caudal inicial, ni en este análisis ni en el anterior, presenta algún tipo de correlación relevante con el resto de las variables. En este sentido, parece que la humedad previa de la cuenca no es un factor determinante en su comportamiento hidrológico.

6.3. Análisis estacional

Siguiendo con los estudios de la muestra, se decidió reducir la escala de análisis. El clima mediterráneo no solamente se caracteriza por su variabilidad anual, sino también por su variabilidad estacional. Por ello, a continuación, se muestran una serie de análisis donde se clasifican las crecidas en función de la estación del año en la que se produjeron.

El objetivo es determinar si alguna de las variables analizadas tiene un comportamiento especialmente significativo en alguna de las estaciones del año y compararlo con el resto de las estaciones y con el análisis en conjunto realizado en los apartados anteriores.

Las estaciones de invierno, primavera y verano cuentan con casos suficientes como para que puedan ser comparadas entre sí. Otoño, por el contrario, solo cuenta con dos registros de

	PP	Imax PP	ET	EB	EC	CE	Qini	Qmax	Tresp	Trecs	Tdurc
Invierno	14,38	4,44	1,69	0,94	0,75	0,05	3,85	18,93	541,00	3086,00	2668,00
Primavera	28,31	4,97	6,88	2,04	4,84	0,10	4,13	47,22	707,14	3010,00	4222,86
Verano	28,59	32,40	0,63	0,15	0,48	0,01	0,57	20,46	341,25	227,50	1236,25
Otoño	58,90	9,00	7,27	0,60	6,67	0,08	0,45	116,87	230,00	865,00	3275,00

Figura 20: Tabla con la media de las variables analizadas por estación.

crecida, ambos de considerable magnitud. Se ha considerado que su análisis en conjunto distorsionaría los resultados y por ello se analiza aparte. En la tabla (figura 20) se muestran las medias de las variables por estaciones.

En ella, se aprecia cómo las precipitaciones son casi idénticas de media entre primavera y verano, produciéndose la mitad en invierno. A pesar de ello, la intensidad de la precipitación (ImaxPP) es muy diferente entre las estaciones de invierno y primavera que registran valores similares y verano, donde se observa una clara torrencialidad.

Los valores medios de la escorrentía total (ET), escorrentía de crecida (EC), coeficiente de escorrentía (CE) y el flujo de base (EB) son superiores en todos los casos en primavera, seguido del invierno y por último la estación de verano, que es la que registra unos valores más bajos. La estación más húmeda, si atendemos al valor del caudal base (Qini) es la primavera, seguida del invierno y muy por detrás del verano.

El pico de caudal (Qmax) alcanza unos valores muy superiores en primavera, más del doble que los registrados en invierno y verano, cuyo valores son muy similares. Es llamativo como en verano para unos valores de precipitación e intensidad altos, y unos valores de escorrentía en general bajos, se alcanza el mismo pico de caudal que en invierno, con unos valores de precipitación y intensidad bajos, pero con unos valores de escorrentía superiores.

Los tiempos de respuesta, recesión y duración (Tresp, Trece, Tdurc), también están muy diferenciados. Verano tiene un tiempo de respuesta de cinco horas y un periodo de recesión de tres. En invierno el tiempo de respuesta es de nueve horas y el de recesión de más de dos días, superando incluso a la primavera, cuyos tiempo de recesión es ligeramente inferior. En primavera el tiempo de respuesta es el mayor, once horas. Y la duración de la crecida es de 70 horas, casi tres días; frente a las 44 de media en invierno y las 20 en verano.

6.4. Análisis detallado de los eventos por estaciones

Continúa el análisis con un estudio más detallado de los registros de crecida por estaciones, atendiendo sobre todo al tiempo de respuesta y la duración de las crecidas, en relación con el estado inicial de la cuenca. Abajo se muestran las tablas (figuras 21, 22, 23) con los registros ordenados de mayor a menor en función de la precipitación (pp).

Invierno											
Fecha	PP	lmax PP	ET	EB	EC	CE	Qini	Qmax	Tresp	Trecc	Tdurc
10/02/2016	29,80	10,20	4,82	2,68	2,14	0,07	2,8	19,9	310	8130	6340
30/01/2015	26,90	7,80	1,89	0,56	1,34	0,05	2,7	44,7	310	850	2240
03/01/2016	17,20	3,00	1,19	0,55	0,64	0,04	1,5	14,8	910	1340	2730
23/01/2013	14,90	4,80	1,33	0,79	0,54	0,04	4,0	13,2	700	3400	2370
14/12/2014	13,10	3,00	0,73	0,30	0,43	0,03	2,5	17,6	340	850	1440
27/01/2013	10,70	5,40	0,95	0,62	0,32	0,03	4,8	14,3	240	3190	1740
28/01/2016	9,00	1,20	1,05	0,82	0,23	0,03	1,9	10,0	980	4520	3250
27/02/2016	8,80	3,00	1,88	1,05	0,82	0,09	4,8	17,4	1220	3520	2690
04/02/2013	7,10	3,60	2,29	1,45	0,85	0,12	8,7	25,3	100	2580	2350
16/01/2013	6,30	2,40	0,76	0,54	0,22	0,03	4,8	12,0	300	2480	1530

Primavera											
Fecha	PP	lmax PP	ET	EB	EC	CE	Qini	Qmax	Tresp	Trecc	Tdurc
20/03/2015	78,90	4,80	28,93	6,39	22,54	0,29	5,5	165,8	910	2230	9310
28/04/2013	43,70	4,80	9,67	2,40	7,27	0,17	2,7	72,3	2000	1370	6080
18/03/2015	20,50	4,80	0,45	0,12	0,33	0,02	0,5	12,3	740	620	1440
09/03/2016	19,10	3,00	4,61	2,32	2,29	0,12	3,2	33,5	560	3090	5600
29/03/2013	14,20	6,00	1,41	1,04	0,38	0,03	5,6	13,9	240	7250	2510
04/03/2013	11,70	2,40	1,95	1,27	0,68	0,06	6,8	20,5	350	2960	2500
26/03/2013	10,10	9,00	1,16	0,76	0,39	0,04	4,6	12,2	150	3550	2120

Verano											
Fecha	PP	lmax PP	ET	EB	EC	CE	Qini	Qmax	Tresp	Trecc	Tdurc
18/06/2013	43,20	21,60	1,77	0,38	1,39	0,03	0,7	48,1	580	290	2650
10/06/2015	41,20	18,60	2,30	0,58	1,71	0,04	1,0	44,3	1020	330	3160
11/06/2014	35,30	68,40	0,05	0,00	0,04	0,001	0,05	11,7	60	60	320
24/06/2014	30,40	22,20	0,24	0,06	0,18	0,006	0,04	8,6	430	350	1230
02/07/2014	23,70	37,20	0,08	0,01	0,07	0,003	0,00	9,1	170	90	600
03/07/2014	21,00	16,80	0,45	0,06	0,39	0,02	0,49	29,2	160	210	920
09/06/2015	19,10	16,20	0,05	0,02	0,02	0,00	0,3	2,1	270	310	600
22/06/2015	14,80	58,20	0,11	0,06	0,05	0,00	2,0	10,6	40	180	410

Figura 21: tabla con los eventos de crecida producidos en invierno ordenados en función de la precipitación.

Figura 22: tabla con los eventos de crecida producidos en primavera ordenados en función de la precipitación.

Figura 23: tabla con los eventos de crecida producidos en verano ordenados en función de la precipitación.

Observando la tabla correspondiente a los valores registrados en invierno (figura 21), no se encuentra ninguna relación clara entre las variables que explique el comportamiento hidrológico de la cuenca. Los valores de precipitación (pp), intensidad (lmaxPP), flujo de base (EB), caudal inicial (Qini), pico de caudal (Qmax) o los valores correspondientes a los tiempos, no presentan apenas analogía. Los valores máximos y mínimos de las distintas variables no se corresponden entre ellas por lo que es imposible elaborar algún tipo de tendencia.

Si que es destacable que el evento que registró las precipitaciones más cuantiosas e intensas también cuenta con los valores más altos en las variables de escorrentía total (ET), flujo base (EC) y los tiempos de recesión (Trecc) y duración (Tdurc).

Considero que, al tratarse de una zona montañosa, durante el invierno interfieren otra serie de factores relacionados con el clima en el ciclo hidrológico. Como el tipo de precipitación en forma

de nieve o aguanieve (lo que explicaría el tiempo de recesión medio tan alto) o el estado del suelo, ya que en invierno son frecuentes las heladas.

Centrando la atención ahora en la tabla representativa de los datos de primavera (figura 20), se observa de entrada una mayor heterogeneidad entre los eventos. En invierno, los diferentes registros contaban con unos valores de precipitación similares, en esta estación por el contrario existe una gran diferencia entre el máximo y el mínimo. A pesar de ello, los valores de intensidad registrados por todas ellas son muy bajos.

En este caso, las variables sí se encuentran muy relacionadas las unas con las otras. Si se atiende a los valores de flujo base (EB), se observa como se corresponden perfectamente con las columnas de escorrentía total (ET), pico de caudal (Qmax) y con el tiempo de duración de la crecida (Tdurc), coincidiendo los valores máximos y mínimos entre ellos. La humedad previa de la cuenca medida a través del caudal inicial (Qini) no tiene apenas relaciones con el resto de las variables. De igual modo ocurre con los tiempos de respuesta (Tresp) y los tiempos de recesión (Trecs).

Las gráficas a continuación (figuras 24 y 25) muestran precisamente la estrecha relación que se da en esta estación entre el flujo base y el pico de caudal y el tiempo de duración de la crecida.

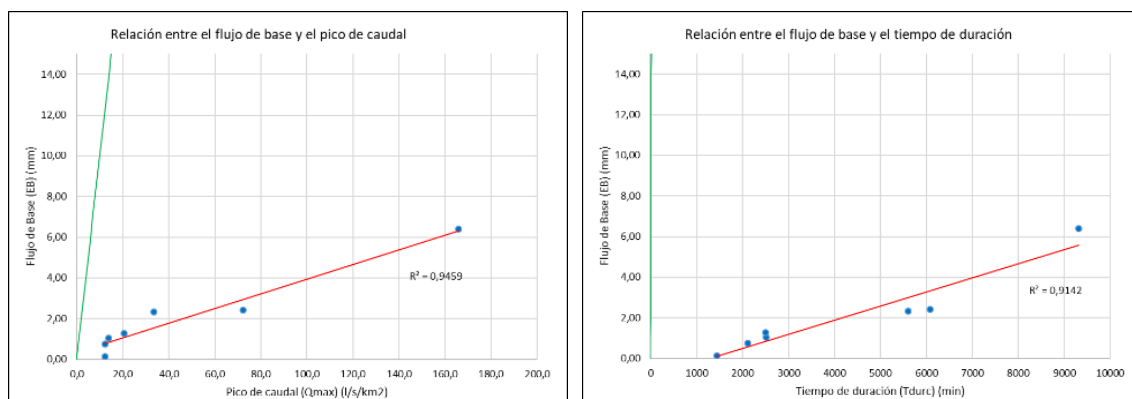


Figura 14: Gráfica de correlación lineal entre el flujo base y el pico de caudal en primavera. Figura 25: gráfica de correlación lineal entre el flujo base y el tiempo de duración en primavera.

En todos los caso la línea roja se corresponde con la tendencia seguida por los datos.

En todos los casos la línea verde representa la constante 1:1.

Merece la pena destacar que los eventos más intensos en precipitaciones (ImaxPP) dieron lugar a los tiempos de respuesta y de duración de la crecida más cortos. De una forma no tan marcada, se produjo el mismo efecto en la estación invernal, los eventos de mayor intensidad dieron lugar a tiempos de respuesta pequeños.

En primavera, por lo tanto, el flujo base es el factor determinante, condicionando la escorrentía total, el caudal máximo y la duración de la crecida, independientemente de la precipitación del evento. Por otro lado, la intensidad de la precipitación tanto en primavera como en invierno parece determinar el tiempo de respuesta.

La estación de verano en el clima mediterráneo esta marcado por fuertes sequías. los datos aquí presentados reflejan este hecho. Si se observan los valores de humedad inicial de la cuenca (Qini), así como en general los valores relacionados con la escorrentía (ET, EB, EC) y especialmente el coeficiente de escorrentía (CE), se aprecian valores extremadamente bajos, muchos de ellos en torno a cero.

Los valores de precipitación en verano son todos muy intensos independientemente de la cantidad de agua descargada. Esta precipitación tiene relación con el pico de caudal; los eventos mas cuantiosos dan lugar a mayores picos de caudal y una duración de las crecidas también mayores.

Por otro lado, el flujo base durante esta estación pierde importancia y parece ser especialmente activo cuando las precipitaciones son abundantes, pero su intensidad no tanto. Los valores altos en el flujo base (EB) coinciden con valores altos en el pico de caudal (Qmax), en los tiempos de respuesta (Tresp) y en el tiempo de duración de la crecida (Tdurc).

Las variables de caudal inicial (Qini) y el tiempo de recesión (Trecs), no mantienen relaciones significativas ni entre ellas ni con el resto.

Por último, señalar el papel que juega la intensidad de la precipitación, que en esta estación adquiere un mayor protagonismo debido a su magnitud. Siguiendo la línea de lo comentado anteriormente en al caso de invierno y primavera, la intensidad de la precipitación (QmaxPP) cuanto mayor es, menores son los tiempos de respuesta y de duración (Tresp, Tdurc) de la crecida.

Para terminar, comentar brevemente el caso de la estación de otoño (figura 24). Como ya se mencionaba, esta época del año solamente cuenta con dos registros, siendo uno de ellos el evento con las mayores precipitaciones de toda la cuenca. Debido a los pocos datos recopilados sobre esta estación a lo largo de los más de cuatro años de monitorización y a la heterogeneidad de las dos muestras, se considera que esta estación no ayuda a la caracterización hidrológica de la cuenca. Y aunque sus datos sí han sido utilizados en el análisis general, un estudio de la estación de otoño no sería representativo.

Otoño												
Fecha	PP	Imax PP	ET	EB	EC	CE	Qini	Qmax	Tresp	Trecs	Tdurc	
21/10/2012	20,80	9,60	0,57	0,15	0,42	0,02	0,4	16,6	310	570	1690	
28/11/2014	97,00	8,40	13,97	1,05	12,92	0,13	0,5	217,1	150	1160	4860	

Figura 24: tabla con los eventos de crecida producidos en otoño ordenados en función de la precipitación.

7. Resumen de los resultados

El estudio y análisis de las crecidas ocurridas entre el año 2012 y el año 2016 en la cuenca experimental de San Vicente de Munilla (Camero Viejo, La Rioja), han ayudado a arrojar luz sobre los procesos hidrológicos y la reorganización del ciclo del agua que se produce en una cuenta de banales abandonados.

Gracias a la monitorización de la cuenca se obtuvieron un total de 27 registros, una muestra un tanto heterogénea, pero sobre la que se han podido trabajar y realizar un importantes reflexiones y análisis. La primera toma de contacto con los datos mostraban unos tiempos de respuesta, recesión y duración de las crecidas extremadamente largos. Los cuales no eran atribuibles a eventos de precipitación e intensidad extremos, ya que la cuenca cuenta con una precipitación media si se atiende a la clasificación de (López Bermúdez, 2002).

Los primeros análisis de correlación realizados sobre toda la muestra determinaron una correlación muy alta entre las variables de precipitación, escorrentía de crecida y el pico de caudal. Y, por otro lado, también correlaciones muy altas entre las variables de la escorrentía (escorrentía total, flujo base, escorrentía de crecida y coeficiente de escorrentía) y el tiempo de duración de la crecida. El caudal inicial, el tiempo de respuesta y el tiempo de recesión no mostraban correlaciones significativas.

Como ya señalaron estudios previos (Ceballos y Schnabel, 1998) (Latron et al., 2009): las montañas de clima mediterráneo tienen un sistema hidrológico muy particular, donde los procesos hídricos son muy variables tanto en el tiempo como en el espacio debido sobre todo a la variabilidad de las precipitaciones y de la evapotranspiración.

Trabajos previos en cuencas experimentales en el ámbito mediterráneo (Latron et al., 2008) (Nadal-Romero et al., 2008) ya determinaron que la relación entre la precipitación y la escorrentía mostraba una correlación no lineal entre ambas variables. A pesar de ello, estos mismos autores y trabajos posteriores (Nadal-Romero et al., 2008; L-Renault et al., 2014) determinaron que en cuencas de montaña mediterránea que cuentan con suelos estructurados y bien desarrollados, los factores que determinan el comportamiento hidrológico son la humedad previa de la cuenca, siendo uno de los procesos determinantes en generación de escorrentía y la escorrentía subsuperficial.

Dado que la cuenca experimental estudiada en este trabajo se caracteriza por la presencia de bancales abandonados, los cuales poseen suelos estructurados y bien desarrollados, se decidieron comprobar estas hipótesis. Para ello se repitieron los análisis de correlación, pero esta vez sin los tres eventos con mayores precipitaciones, ya que se consideró que podrían distorsionar los resultados.

Este segundo análisis mostró que, efectivamente, la precipitación y la escorrentía no mostraban correlación. Mientras que la escorrentía subsuperficial mantenía una correlación muy alta con el resto de las variables de escorrentía y con el tiempo de duración de las crecidas. El caudal inicial, considerado como medidor de la humedad previa de la cuenca, no mostró correlaciones significativas.

Continuando con los análisis, se redujo la escala y se estudiaron las características de las crecidas por estaciones, con el objetivo de determinar si efectivamente la humedad previa y la escorrentía subsuperficial eran determinante en el comportamiento de la cuenca.

La estación invernal, se caracteriza por la homogeneidad de sus crecidas con precipitaciones poco cuantiosas y de baja intensidad. Las variables de precipitación, intensidad de precipitación, flujo de base, caudal inicial, pico de caudal y los tiempo de respuesta, recesión y duración no mostraban apenas relaciones entre ellas.

En primavera los registros se caracterizan por los tiempos de respuesta, recesión y duración de las crecidas, que eran extremadamente altos. En esta caso, la escorrentía subsuperficial sí se encontraba muy relacionada con el pico de caudal y el tiempo de duración de las crecidas, coincidiendo los valores máximos y mínimos de cada una de las variables.

Llegados a este punto se constató que los eventos, tanto en primavera como en invierno, que presentaban una intensidad de las precipitaciones mayores, se correspondían con los valores de tiempo de respuesta más bajos.

La estación de verano se caracteriza por su marcada sequía, que se ve reflejada en nuestros datos al observar la humedad previa de la cuenca y los valores de escorrentía, que se situaban en torno a cero. Y por su torrencialidad, todos los eventos de precipitación registraron unos valores de intensidad muy altos.

En esta estación al igual que ocurría en primavera, los valores de escorrentía subsuperficial más altos se relacionaban muy estrechamente con las crecidas con mayor tiempo de duración. Y

como ya se había constatado, la intensidad de la precipitación determina el tiempo de respuesta, siendo este más bajo cuanto mayor sea la intensidad del evento.

Por último, señalar que no se han podido realizar análisis sobre la estación de otoño, debido a la escasez de datos, solamente dos eventos, y la heterogeneidad de los mismos.

8. Discusión y conclusiones

Los análisis realizados han servido para alcanzar los objetivos planteados al comienzo del trabajo. Y confirman las hipótesis defendidas en trabajos previos por (Latron et al., 2008; Nadal-Romero et al., 2008): la relación entre la precipitación y la escorrentía muestra una correlación no lineal entre ambas variables.

El comportamiento hidrológico en la cuenca de estudio depende sobre todo de dos variables: la intensidad de la precipitación y el flujo base. La intensidad de la precipitación determina los tiempos de respuesta de la cuenca, cuanto más intenso es el evento, menores son sus tiempos de respuesta. Por otro lado, cuanto mayor es la escorrentía subsuperficial mayor es el tiempo de duración de la crecida.

Por lo tanto, la hipótesis planteada en trabajos previos (Ceballos y Schanabel, 1998; Nadal-Romero et al., 2008; L-Renault et al., 2014) que determinaban que en montañas mediterráneas con suelos estructurados y desarrollados los factores determinantes en el comportamiento hidrológico de la cuenca eran sobre todo la humedad previa y la escorrentía subsuperficial, se confirma a medias.

En el caso de la cuenca de San Vicente de Munilla, la escorrentía subsuperficial sí juega un papel fundamental, pero la humedad previa medida a través del caudal inicial no determina el comportamiento hidrológico. En su defecto es la intensidad de la precipitación, al menos durante la estación de verano.

De tal forma que los bancales abandonados juegan un papel fundamental en ciclo hidrológico de la cuenca. Estas estructuras cuentan con suelos profundos y desarrollados, con una alta capacidad de retener agua. Cuando se produce un evento de precipitación, si este no es muy intenso, los bancales absorben la mayor parte del agua y cobra protagonismo la escorrentía subsuperficial. El agua avanza lentamente lo que se traduce en unos tiempos de respuesta y de duración de la crecida muy altos.

Por el contrario, cuando la precipitación es muy intensa, se supera la capacidad de infiltración de los suelos, que no son capaces de absorber tanta agua como la que les llega. Se reduce entonces la importancia de la escorrentía subsuperficial, descendiendo los tiempos de respuesta y de duración de las crecidas.

Trabajos realizados en la cuenca experimental de Araguás, dominada por "badlands (Nadal-Romero et al., 2008), y en la cuenca experimental de Arnás (Lana-Renault et al., 2007), ambas en el Pirineo central, determinaron que el pico de caudal dependía de la intensidad de la precipitación, más que de la precipitación total. En comparación, en la cuenca de estudio de San Vicente de Munilla no existe esta relación y se produce el efecto contrario. El pico de caudal se correlaciona con el total de la precipitación, siendo este más elevado cuanto mayor es la cantidad de agua registrada durante el evento.

Por último, hay que señalar que esta situación no es estable. Los bancales abandonados o con sistemas deficitarios de mantenimiento producen cambios en la dinámica hidrológica concentrando la escorrentía, aumentando el caudal e incrementando el material erosionado y

transportado por la cuenca. Pero el principal problema del abandono de bancales es que el aumento de la escorrentía inicia otra serie de procesos de erosión más severos como los movimientos en masa (Arnáez et al., 2015).

Como señalan diversos autores en sus trabajos (Lasanta et al., 2013) (Arnáez et al., 2010) (Latron et al., 2009) el abandono de los bancales trae consecuencias a todos los niveles cambiando el paisaje, poniendo en marcha diferentes procesos geomorfológicos a medida que el bancal evoluciona, transformando la cubierta vegetal, generando una pérdida del patrimonio cultural, etc. El continuo deterioro de los bancales de la cuenca de estudio cambiará su comportamiento hidrológico.

9. Bibliografía y fuentes

Documentos bibliográficos:

- Arnaez, J., Lasanta, T., Errea, M. P., Ortigosa, L., (2010): *Land abandonment, landscape evolution, and soil erosion in a spanish mediterranean mountain región: the case of Camero Viejo*. John Wiley & Sons.
- Arnaez, J., Lana-Renault, N., Lasanta, T., Ruiz-Flaño, P., Castroviejo, J., (2015): *Effects of farming terraces on hydrological and geomorphological process. A review*. *Catena* 128: 122-134.
- Ceballos, A., Schnabel, S., (1998): *Hydrological behaviour of a small catchment in the dehesa landuse system (Extremadura, SW Spain)*. *Journal of Hydrology* 210, 146–160.
- Fortesa, J., Latron, J., García-Comendador, J., Tomàs-Burguera, M., Company, J., Calsamiglia, A., Estrany, J., (2020): *Multiple temporal scales assessment in the hydrological response of small mediterranean-climate catchments*. *Water* 12: 299.
- Gallart, F., Llorens, P., Latron, J., (1994): *Studying the role of old agricultural terraces on runoff generation in a small mediterranean mountainous basin*. *Journal of Hydrology*, 159: 291-303.
- García-Ruiz, J.M., Gallart, F., (1997): *Las cuencas experimentales como base para el estudio de la erosión y la desertificación*. En: Ibáñez, J. J., Valero Garcés, B., Machado, C., (eds.), *El paisaje mediterráneo a través del espacio y del tiempo. Implicaciones en la desertificación*. Geofroma Ediciones, Logroño, 221-238.
- Lana-Renault, N., Ruiz-Flaño, P., Llorente, J. A., Arnáez, J., (2014): *Respuesta hidrológica de una cuenca de bancales abandonados (Camero Viejo, La Rioja)*. REF. LIBRO: Arnáez, J., González-Sampériz, P., Lasanta, T., Valero-Garcés, B. (Eds) *Geoecología, cambio ambiental y paisaje*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, CSIC, Instituto Pirenaico de Ecología-Universidad de La Rioja, pp. 173-181.
- Lana-Renault, N., Latron, J., Regües, D., (2007): *Streamflow response and water-table dynamics in a sub-mediterranean research catchment (Central Pyrenees)*. *Journal of Hydrology*, 347: 497-507.
- Lana-Renault, N., Regües, D., Martí-Bono, C., Latron, J., Nadal, E., Serrano, P., García-Ruiz, J. M., (2007): *Temporal variability in the relationships between precipitation, discharge and suspended sediment concentration in a small Mediterranean mountain catchment*. *Nordic Hydrology*, 38: 139-150.
- Lasanta, T., Arnáez, J., Oserín, M., Ortigosa, L. M., (2001): *Marginal lands and erosion in terraced fields in the mediterranean mountains. A case study in the Camero Viejo (Northwestern Iberian System, Spain)*. *Mountain research and development* 21: 69-76.
- Lasanta, T., Errea, M., Vicente-Serrano, S., Arnáez, J., (2011): *La diversidad de la cubierta vegetal en campos abandonados del Leza y Jubera (Sistema Ibérico, La Rioja) a partir del siose*. *Zubía monográfico, Logroño*, 23: 55-78.
- Lasanta, T., Arnáez, J., Ruiz-Flaño, P., Lana-Renault, N., (2013): *Los bancales en las montañas españolas: un paisaje abandonado y un recurso potencial*. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles (BAGE)*, 63: 301-322.
- Latron, J., Soler, M., Llorens, P., Gallart, F., (2008): *Spatial and temporal variability of the hydrological response in a small Mediterranean research catchment (Vallcebre, Eastern Pyrenees)*. *Hydrological Processes*, 22: 775-787.
- Latron, J., Llorens, P., Gallart, F., (2009): *The hydrology of mediterranean mountain areas*. *Geography Compass* 3/6: 2045-2064.

- Latron, J., Lana-Renault, N., (2018): *The relevance of hydrological research in small catchments – A perspective from longterm monitoring sites in Europe*. Geographical Research Letters 44: 387-395.
- López Bermúdez, F., (2002). *Erosión y desertificación. Heridas de la tierra*. Nívola, Libros y Ediciones, 190 pp., Tres Cantos.
- Moreno-de-las-Heras, M., Lindenberger, F., Latron, J., Lana-Renault, N., Llorens, P., Arnáez, J., Romero-Díaz, A., Gallart, F., (2019): *Hydro-geomorphological consequences of the abandonment of agricultural terraces in the mediterranean region: Key controlling factors and landscape stability patterns*. Geomorphology, 333:73-91.
- Nadal-Romero, E., Latron, J., Lana-Renault, N., Serrano-Muela, P., Martí-Bono, C., Regües, D., (2008): *Temporal variability in hydrological response within a small catchment with badland areas, central Pyrenees*. Hydrological Sciences Journal, 53: 629-639.
- Pérez-Cabello, F., (2011): *Actividad vegetal de las cuencas de los ríos Cidacos y Alhama (La Rioja): análisis diacrónico mediante imágenes Landsat*. Zubia Monográfico, Logroño, 23: 79-102.
- Rubio-Sesma, J., (2013): *Procesos de revegetación en bancales abandonados (Cameros, Sistema Ibérico, La Rioja)*. Trabajo de Máster inédito, Universidad de la Rioja, Logroño.
- Santana, V. M., Baeza, M., Marras, R. H., Vallejo, V. R., (2010): *Old field secondary succession in SE Spain: can fire diver it?*. Plant Ecology, 211: 337-349.
- Tarolli, P., Preti, F., Romano, N., (2014): *Terraced landscapes: from an old best practice to a potential Hazard for soil degradation due to abandonment*. Anthropocene, 6: 10-25.

Páginas web:

- <https://es.climate-data.org/>
- <http://www.fao.org/>
- <https://centrodedescargas.cnig.es/>
- <https://www.ign.es/>

Otras fuentes:

- Apuntes de la asignatura: Análisis de riesgos naturales (2018-2019). Por: Alfredo Ollero Ojeda. En el grado de geografía y ordenación del territorio de la Universidad de Zaragoza.
- Apuntes de la asignatura: Hidrogeografía (2018-2019). Por: Miguel Sánchez Fabre. En el grado de geografía y ordenación del territorio de la Universidad de Zaragoza.

10. Dinámica de trabajo

La realización de este trabajo ha estado marcada por la crisis del virus COVID-19. Poco después de elegir el tema del trabajo y hablar con las directoras sobre el objetivos y posibles análisis a realizar, comenzó la etapa de confinamiento.

Durante esta situación, las reuniones pasaron de ser presenciales a tener que realizarlas online vía "Google Meet". A pesar de ello, considero que las reuniones telemáticas fueron muy útiles y apenas afectaron a la dinámica del trabajo. Además, bien por correo electrónico o a través de WhatsApp, se podían resolver pequeñas dudas y cuestiones que surgían sobre la marcha. La situación hubiera sido muy diferente si los datos tuvieran que haberse recogido en campo, por suerte, los datos ya estaban disponibles.

Hay que señalar también que, al estar dirigido este trabajo por dos profesoras pertenecientes a universidades diferentes, desde un principio iba a ser casi improbable que hubiéramos podido realizar una reunión presencial conjunta. Y, aunque no su hubiera dado esta situación, se tendría que haber recurrido a las reuniones online de todas formas.