

Sistema de alerta temprana para previsión de inundaciones en campings

Olivares, G.^{a1}, Gómez, M.^{a1} y Gurrera, J.^b

^aInstituto Flumen. ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universitat Politècnica de Catalunya. Jordi Girona 1-3. D1. 08034 Barcelona. E-mail: ^{a1}gonzalo.olivares@upc.edu, ^{a2}manuel.gomez@upc.edu.

^bUrbeg ingeniería. Plaça del Carme 12, 3r 2ª 25700 – la Seu d'Urgell E-mail: gurrera@urbeg.cat

Línea temática B | Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

Este trabajo se enmarca dentro del estudio realizado a petición de la Federación d'Hosteleria de Lleida en el cual se realiza una propuesta de un sistema SATI (Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones) para la evaluación del estado de los campings ubicados en la zona de la Noguera Pallaresa. En este artículo se analizó la zona de Espot, donde se encuentran 4 campings ubicados en las márgenes del río Escrita (Voraparc, Peret, Sol i Neu y la Mola). Se construyó un modelo en HEC-HMS con 5 subcuencas. Se determinó el caudal de inundación en cada camping asociado a una tormenta de período de retorno dado con el modelo hidráulico 2D Iber. Finalmente se evaluó la combinación de zonas (subcuencas de aportación) que generaban inundación en cada camping y se determinó el período de retorno para la tormenta aplicada por zona. Para generar la alerta se consideró la tormenta acumulada hasta una hora antes que se registrara el caudal punta que generaba la inundación.

Palabras clave | alerta temprana, período de retorno, caudal punta, modelo hidrológico, modelo hidráulico.

INTRODUCCIÓN

La legislación actual, incluyendo el Reglamento de Dominio Público Hidráulico a nivel nacional, y las diferentes reglamentaciones de los organismos de cuenca definiendo las vías de intenso desagüe, limitan la ubicación de actividades de residencia o de uso temporal, como zonas de acampada, o cualquier otra actuación en las cercanías del cauce público. Estas limitaciones son conocidas y los organismos competentes deniegan sistemáticamente las pocas peticiones de nuevas actividades que por desconocimiento aún se remiten a la autoridad hidráulica.

Pero un problema importante se refiere a las actividades que ya se desarrollan en la actualidad por ocupación de las zonas cercanas al cauce, que en ocasiones se remontan a décadas anteriores. En los estudios de inundabilidad de la cuenca o los desarrollados por ejemplo en Catalunya por el ACA tanto en el anterior INUNCAT como en todos los Plans de Espais Fluvials se acaba definiendo con bastante detalle la extensión ocupada por las áreas inundables para diferentes caudales asociados a un periodo de retorno. De la misma manera, la relación de ARPSIs definidas por las Confederaciones Hidrográficas, por ejemplo, en el caso de la del Ebro, también marcan claramente las zonas ocupadas para diferentes avenidas de varios periodos de retorno. Con la ley en la mano, todas las actividades desarrolladas en esa zona inundable quedan en precario de modo que son susceptibles de ser eliminadas aplicando de manera estricta el criterio legal.

Una de las actividades más afectadas por ese posible problema es la referida a los espacios de acampada, que cumplen las regulaciones de las administraciones central y autonómica en todos los aspectos requeridos de sanidad, medio ambiente, etc. pero que se encuentran ubicados en zonas inundables. En muchas zonas como por ejemplo en la provincia de Lleida, pero sería fácilmente extrapolable al resto de Catalunya y a otras zonas del resto de España, la cantidad de establecimientos afectados es muy elevada (posiblemente por encima del 90%) pues una ubicación junto a un río o torrente, hace mucho más atractiva la actividad de acampada. Además, muchos de estos campings han realizado inversiones notables incorporando la presencia de edificaciones tipo bungalow en algunos de ellos, servicios de distribución de energía, agua, conexión wifi, etc. intentando diversificar la oferta y hacerla más atractiva a un turismo de interior.

Como alternativa para reducir la vulnerabilidad de esos asentamientos, se pueden plantear Sistemas de Alerta y Prevención de Inundaciones (SAPI) de modo que en función de la información local de tormenta o niveles de agua en los cauces próximos y aguas arriba de la zona de acampada a proteger. Sobre esta idea es posible plantear diferentes esquemas de sistemas de alerta. La tecnología de sensores y de comunicación permite diferentes configuraciones con tiempos de anticipación mayores o menores, y también con fiabilidad mayor o menor. A petición de la asociación Campings de Lleida, y en colaboración con Urbeg, se presenta este estudio para prever las opciones de un SAPI para cada uno de los campings.

Para el presente estudio se analizó el esquema de trabajo para la zona de Esport, donde se encuentran 4 campings ubicados en las márgenes del río Escrita. La cuenca abarca una superficie total de 79.1 km² con fuertes pendientes y tiempos de concentración en subcuencas que van desde 1 a 2.5 h. El tiempo de concentración total de la cuenca es de 4.5 h. Los campings en el río son el Voraparc, Peret, Sol i Neu y la Mola. Estos se encuentran ubicados principalmente en la zona baja de la cuenca y separados entre ellos con distancias que van de los 0.9 a 1.4 km.

MATERIAL Y MÉTODOS

Material

El área de estudio se ubica en la zona del río Escrita, aguas abajo del Lago San Mauricio. A lo largo del río se encuentra la población de Esport y los 4 campings en estudio (Voraparc, Solau/Peret, Sol i Neu y La Mola). Debido a su ubicación geográfica, los campings se estudiarán de forma agrupada. La figura 1 muestra la ubicación de los campings en la zona de Esport.

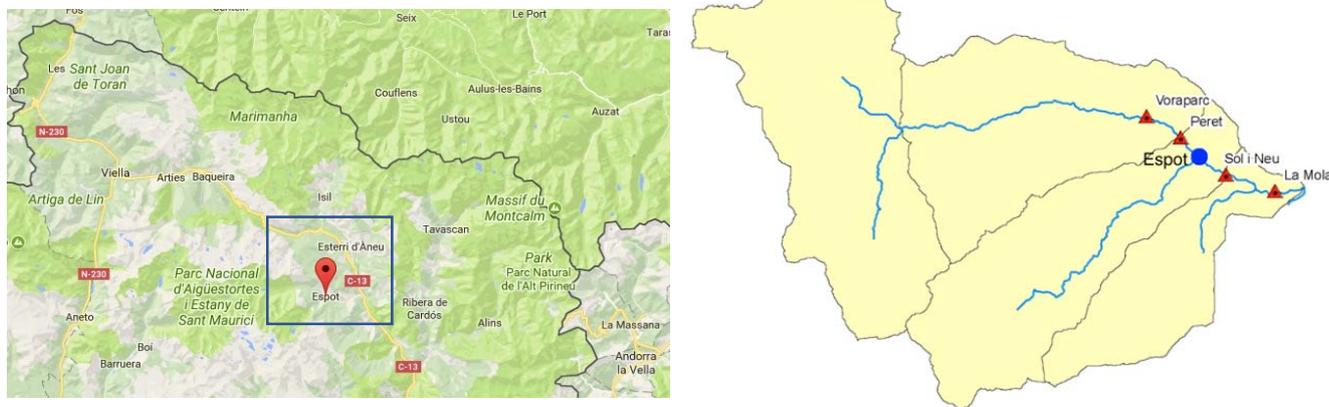


Figura 1 | Ubicación del camping de estudio en Esport.

Para el desarrollo del proyecto y poder determinar la hidrología e hidráulica del sistema hídrico se propuso utilizar dos herramientas conocidas en el campo de los recursos hídricos. Por un lado, se construyó un modelo hidrológico de cuenca con HEC-HMS 3.5 y se analizó la hidráulica del río Escrita a la altura de los campings con el modelo hidrodinámico bidimensional Iber.

La cuenca se discretizó en ArcGis 9.3 con la herramienta HEC-GeoHMS 5.0. Se dividió la cuenca principal en 4 subcuencas (zonas), en las cuales cada camping representó un punto de desagüe para cada zona. Esto permitió evaluar cada camping por separado en función de la tormenta caída en cada una de las áreas. Se realizaron todos los procesos de discretización en los cuales se obtuvieron parámetros de cuenca necesarios para la implementación del modelo en HEC-HMS. Se calculó el área de cada subcuenca (zonas) así como también el largo y pendiente de los tramos de río principales. La figura 2 muestra el modelo hidrológico en HEC-HMS.

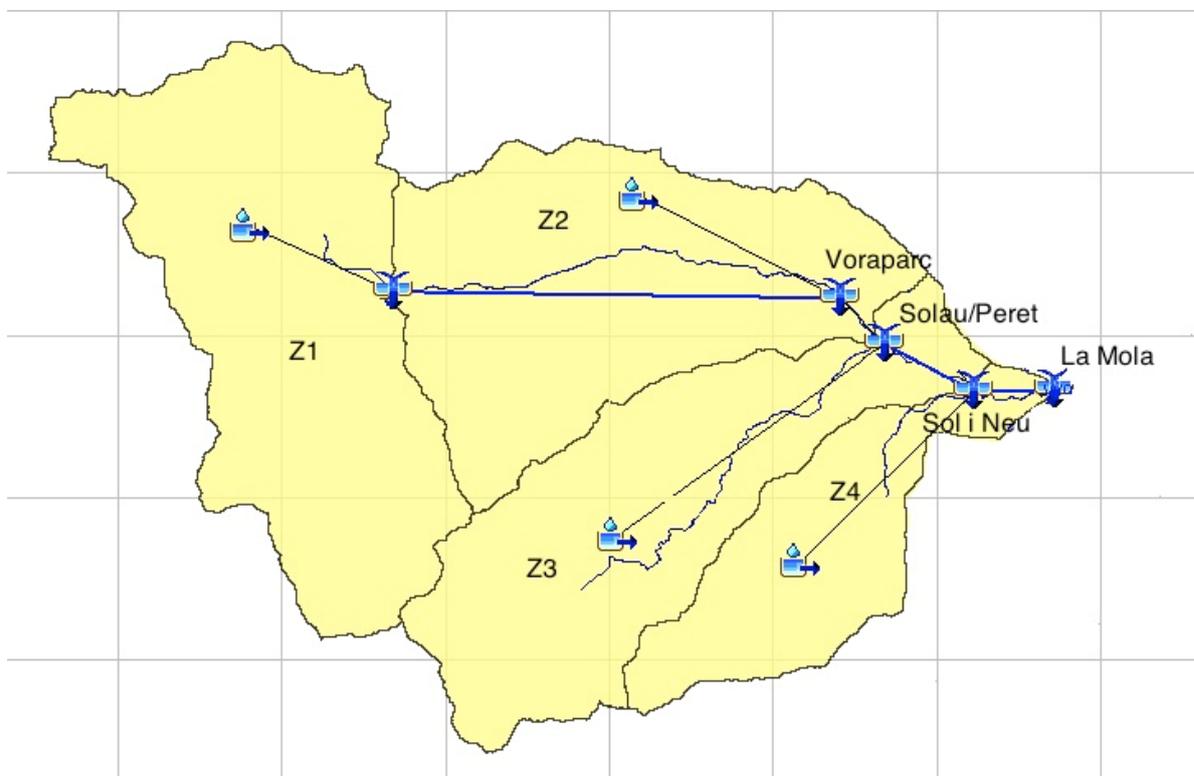


Figura 2 | Construcción del modelo hidrológico del río Escrita en HEC-HMS 3.5.

La figura 2 muestra el modelo hidrológico en HEC-HMS y como quedaron seleccionadas y divididas las subcuencas. A cada subcuenca se le asignó la letra **Z** más un número.

La construcción del modelo consistió en una tarea más compleja de lo esperado, ya que existía la dificultad de dividir en un número mínimo de subcuencas que no afectaran demasiado la respuesta hidrológica de la cuenca. Esto se pudo observar después de varios ensayos en los que se utilizaron un número menor de subcuencas. Debido a que la alerta se basa en poder reproducir de manera adecuada el hidrograma de caudal para una tormenta dada y su propagación en el cauce, es necesario poner mucha atención en la discretización y caracterización de las subcuencas. Se observó que bajo condiciones en las cuales se dividía en menos subcuencas, las puntas de los caudales cambiaban de forma, como así también cambiaba el tiempo en la que se producían. Se observó que la dinámica de cuencas de montaña es bastante compleja. Se concluyó que si el cauce era pobremente representado a través de tramos de propagación (bajo números de tramos) los resultados eran inadecuados o erróneos. Buscar la mejor combinación de subcuencas y tramos en la construcción del modelo hidrológico fue crucial para un buen desarrollo futuro del estudio.

La construcción del modelo hidrológico se completó con la adición de distintos módulos de cálculo que permitieron evaluar todos los procesos hidrológicos que se producen en una cuenca. A continuación se presenta la tabla 1 con los módulos empleados y los distintos métodos seleccionados para el cálculo de los procesos mencionados en las líneas anteriores.

Tabla 1 | Metodologías utilizadas en la construcción del modelo hidrológico.

Modelo	Método
Pérdidas	<i>SCS Curve Number</i>
Transformación	<i>SCS Unit Hydrograph</i>
Propagación	<i>Muskingum</i>

El Número de Curva (CN) se obtuvo de las características de los distintos usos de suelo obtenidos del sector. Se generó un CN ponderado por zona que se aplicó al modelo hidrológico (Gómez y Nanía, 2004).

Para el caso de la transformación se calculó el tiempo de concentración de cada subcuenca a través de la fórmula propuesta por Témez (Gómez y Nanía, 2004). La propagación se calculó a través del método de Muskingum en el cual se asumió $X = 0.35$ (Chow et al., 2000). No se consideró un caudal base en el modelo, ya que al estudiar fenómenos de corta duración, esta variable puede ser descartada, así como también la evapotranspiración.

Como era necesario determinar el caudal de inundación en cada camping, se procedió a construir un modelo hidrodinámico bidimensional tomando como base un modelo digital de elevación del terreno con resolución de 2 x 2 metros proporcionado por el Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC). Esto se llevó a cabo mediante la utilización del modelo Iber. Este proceso se hizo para cada camping, utilizando valores de caudal en régimen permanente y evaluando el momento preciso en que comenzaba la inundación. De esta manera se podía determinar que caudal punta era el que comenzaba a generar inundación. Esta información fue posteriormente cruzada con la información del modelo hidrológico para determinar que tormenta asociada a un período de retorno generaba el caudal de inundación observado en el modelo hidrodinámico.

Metodología

Parte de la metodología consistió en determinar la precipitación que cae en la cuenca. Para ello se trabajó con tormentas asociadas a distintos períodos de retorno. La tormenta se obtuvo a través del programa estadístico MaxPluWin desarrollado por el CEDEX y la Dirección General de Carreteras, el cual permite obtener la precipitación en 24 horas asociada a un período de retorno para cualquier punto de España. En el caso de Espot, se tomaron valores de tormenta en 24 horas para cada una de las subcuencas (centroide de la cuenca). La tormenta caída puede presentar diferentes distribuciones temporales. La misma cantidad puede dar valores de caudal de inundación más alto o más bajo según el reparto temporal de la precipitación. Se ha adoptado la hipótesis de una distribución de tormenta de tipo bloques alternados, la misma que se suele usar en los estudios de inundabilidad y que tiende a dar caudales punta altos, lo que desde el punto de vista del esquema de alerta es adecuado. De esta manera cada zona presenta una tormenta con una duración igual a su tiempo de concentración. Se utilizaron tormentas para períodos de retorno que iban de 2 a 500 años. Con esta información base de entrada, el modelo hidrológico construido y la obtención de los caudales de inundación en cada camping a través de Iber, se propuso un sistema de alerta temprana simple pero eficaz a partir de la información de tormenta. A continuación se detallan algunos de los puntos principales de la propuesta.

Teniendo en cuenta el objetivo de asegurar la protección de un lugar concreto en las cercanías de un cauce, como por ejemplo un camping, parece necesario complementar los sistemas más generales ya existentes (AEMET, SAIH) con el diseño de un sistema de alerta y previsión a pequeña escala, específico para cada localización a proteger, que permita a partir de lecturas muy próximas de datos de tormenta o nivel de agua definir unos niveles de alerta para evitar los daños de la inundación. El sistema propuesto de tipo meteorológico incorporará también los datos de tormenta registrada en los observatorios ya existentes, y todo el conjunto de datos será utilizado para valorar el suceso de tormenta y también servirán todos esos datos para calibrar y validar el modelo de alerta. El dato de tormenta es el primer valor relevante ya que la tormenta caída, descontando la que queda retenida por las pérdidas de precipitación, es la que se transforma en escurrimiento y por tanto la que es susceptible de producir la

inundación. La medida de la tormenta que está cayendo es un dato fundamental que puede permitir si por ejemplo se tienen definidos umbrales de alerta, en cuanto la tormenta caída supere ese umbral de referencia se pueden desencadenar avisos de evacuación hasta zonas de seguridad definidas previamente. Para ello, un esquema simple de este sistema de alerta local propuesto sería el siguiente:

- Disposición de sensores de tormenta ubicados aguas arriba de la zona a proteger. El número y posición deberán estudiarse en cada caso con un pluviómetro cada 25 a 50 Km².
- Medida y transmisión de datos que permite conocer en tiempo real la tormenta caída hasta el momento en la zona aguas arriba del camping.
- El valor de tormenta registrado se podría comparar con los umbrales de referencia definidos previamente en estudios realizados con anterioridad que permitan correlacionar precipitación con caudal circulante y con área ocupada por la inundación.
- Si se superan los valores umbrales, la zona de acampada a proteger debería elaborar en diferentes niveles, una alerta o incluso una orden de evacuación parcial o total. En el fondo este enfoque supone una especie de pequeño SAIH local, que dispondría de sus propios sensores y su propia lógica asociada a los trabajos previos que correlacionen tormenta y áreas de inundación.

En resumen, conocer el caudal de inundación que es generado por una tormenta asociada a un período de retorno X , permite al mismo tiempo saber cuál es la tormenta acumulada que genera esa inundación. Si de antemano se sabe el período de retorno, se conoce la duración de la tormenta y la punta del hidrograma de caudal, se puede definir que la alerta de evacuación puede ser determinada a través de la tormenta acumulada que se produce hasta una hora antes de la ocurrencia de la punta del caudal.

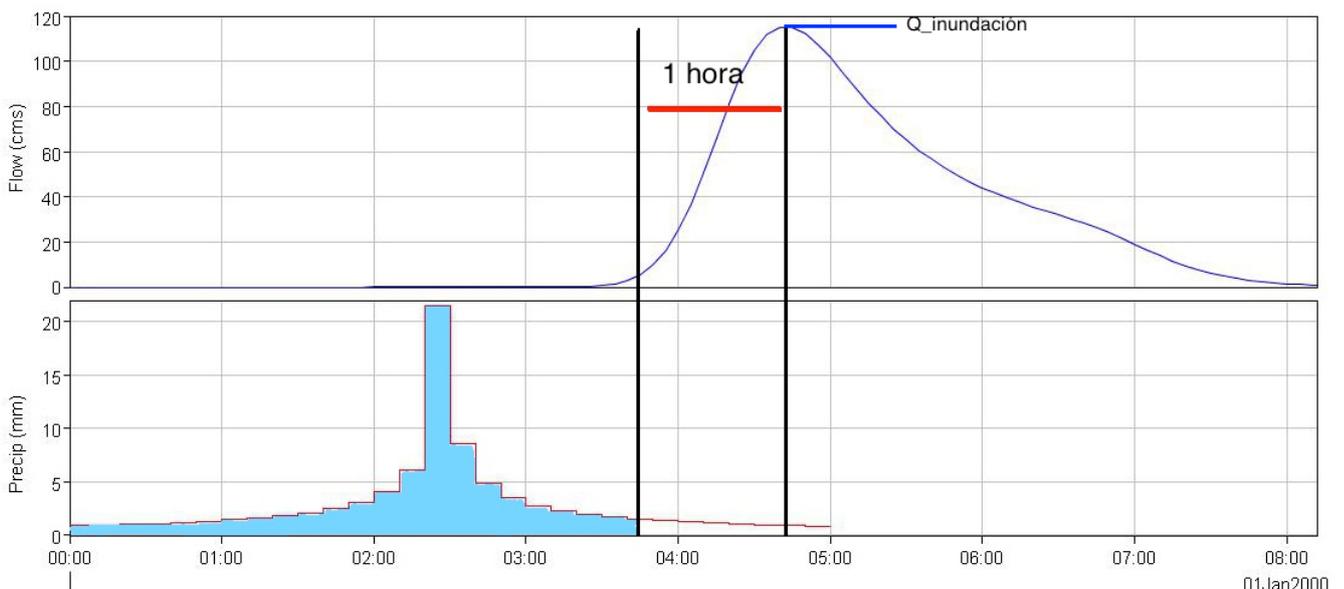


Figura 3 | Tormenta acumulada hasta una hora antes de producirse la punta de caudal.

En la figura 3 se observa que hasta una hora antes de producirse la punta de caudal se ha generado una cantidad suficiente de tormenta acumulada que puede ser el umbral a través del cual se lanza la alerta de inundación. La figura muestra que una tormenta de una duración determinada (en bloques alternados), asociada a un período de retorno, genera un hidrograma con una punta de caudal específica. Si previamente se conoce el caudal de inundación en el camping, se puede suponer que cualquier tormenta capaz de generar dicha inundación va acumular una determinada cantidad de tormenta hasta un tiempo antes que se alcance dicho caudal de inundación, por ende, la tormenta acumulada (tormenta en color azul claro) será el valor a observar para definir la alerta.

Es posible observar algunas desventajas en esta metodología. Por ejemplo, en cuencas con tiempos de concentración muy pequeños es posible que la punta del hidrograma se produzca muy pronto, por ende, la tormenta acumulada para definir la alerta puede que sea muy baja. La figura 4 muestra un ejemplo para esta situación.

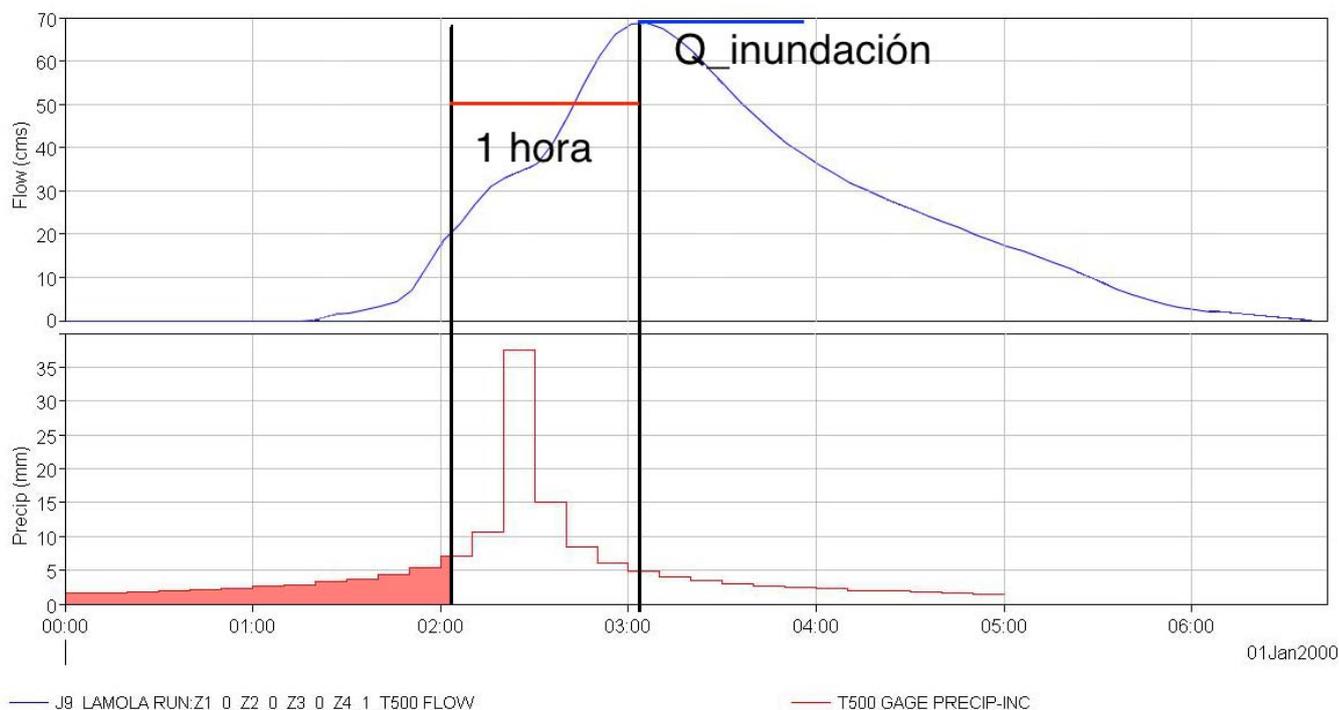


Figura 4 | Tormenta acumulada hasta una hora antes de producirse la punta de caudal.

Como se observa claramente en la figura 4 la tormenta acumulada hasta una hora antes de producirse la punta del hidrograma representa menos de un 30% de la precipitación total, por ende, se torna complicado tomar lo acumulado como umbral para la determinación de la alerta. La situación podría tomar distintos caminos en los cuales no se generaría la punta de caudal esperada y esto podría derivar en alertas falsas. Por esta razón es muy necesario conocer y entender la respuesta hidrológica de este tipo de cuencas. Es importante definir valores de tiempo de concentración acordes con las características físicas de las cuencas, así como también conocer y entender apropiadamente el comportamiento del río en el cauce y los tiempos de tránsito.

Para evitar el fenómeno anterior es preferible definir zonas no demasiado pequeñas aguas arriba del camping estudiado, esto puede ser posible o no dependiendo del tamaño de la cuenca. Sin embargo, definir cuencas demasiado pequeñas redundará en que la tormenta necesaria para producir inundación en el camping tendrá un periodo de retorno alto con una probabilidad de

ocurrencia menor. Al evitar cuencas demasiado pequeñas se evitan tiempos de concentración pequeños que son los que causan normalmente el fenómeno observado en la figura 4.

Si debido a las condiciones físicas del sector es necesario trabajar con cuencas pequeñas y tiempos de concentración bajos el sistema de alerta se puede acompañar de otras mediciones que permitan complementar lo explicado en los párrafos anteriores. Básicamente se podría proponer la toma de mediciones de nivel aguas arriba del camping en estudio. Esto permitiría saber el caudal en un punto anterior al camping. La figura 5 muestra el esquema propuesto.

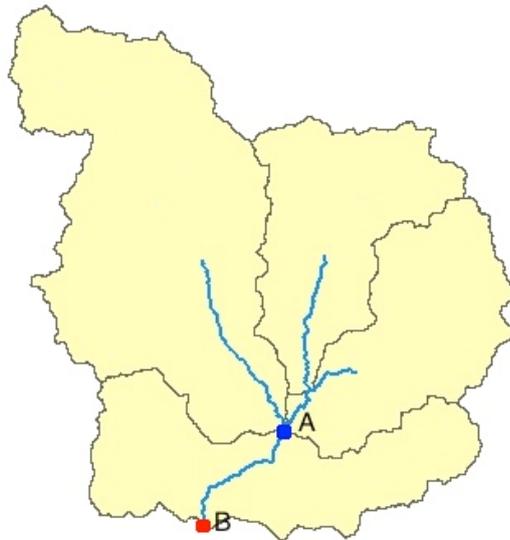


Figura 5 | Esquema propuesto para la alerta temprana a través de mediciones de nivel y caudal.

Para el camping B, conocemos el caudal de inundación del mismo, al que podemos asociar un periodo de retorno de T años. Podemos considerar la hipótesis de tormenta uniforme en toda la cuenca, por ejemplo, de la forma de bloques alternados, que es la que se suele utilizar en los estudios de inundación en España. Para ese suceso de tormenta de periodo de retorno T , podemos comparar los hidrogramas de caudal en los puntos A y B.

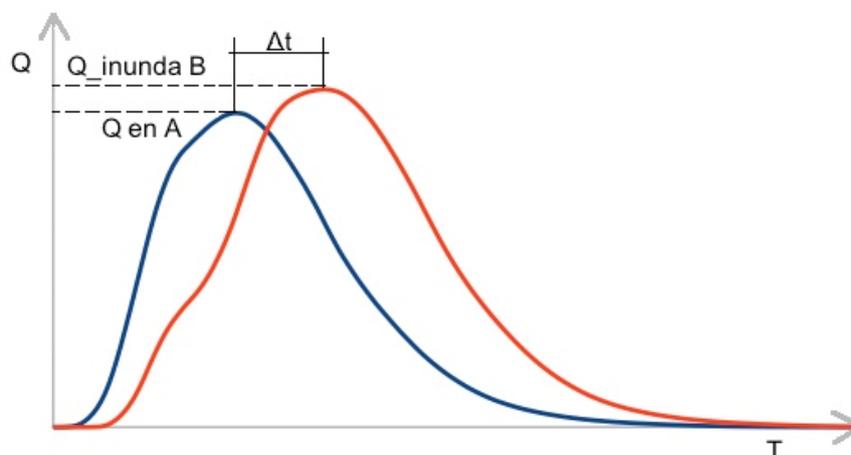


Figura 6 | Hidrogramas de caudal para A y B.

Conocido el caudal que inunda el camping B, para la tormenta de periodo de retorno T años, se produce el hidrograma con caudal punta Q en A. Quiere decir que si se produce ese caudal Q , seguro que se producirá el caudal de inundación del camping. Y el tiempo de anticipación con que se puede avisar al camping será el intervalo de tiempo entre caudales puntas, el valor Δt de la figura 6. La elección del punto A debería ser tal que el tiempo de anticipación sea más que suficiente para desalojar a los residentes del camping.

La sección de control A, debe equiparse con un medidor de nivel de agua, y disponer de la curva de gasto de esa sección, de manera que a partir de la medida del nivel se pueda asociar el caudal de paso. En cuanto se acerque al valor límite de Q en A, se lanza la alerta de evacuación. Si la tormenta es superior al periodo de retorno T , seguro que en cuanto se alcance ese valor de Q en A, también se alcanzará o superará el valor de Q inunda B.

Para el caso de estudio solo se utilizó como medida de alerta el estudio de la tormenta acumulada en tiempo real. No fue posible utilizar la metodología de medición de niveles ya que la cuenca presenta una curiosa geomorfología con la mayoría de las subcuencas laterales que aportan caudal al Escrita en la margen derecha del cauce, mientras que las de la margen izquierda son mucho más pequeñas, pero con mayores pendientes.

Dado que el campo espacial de precipitación puede influir de manera importante en los caudales producidos, aún siendo una zona no exageradamente grande, la hipótesis de una tormenta uniforme en toda la cuenca del Escrita puede estar alejada de la realidad. Para ajustar algo mejor el campo espacial de tormentas, dividimos la cuenca en 4 zonas de influencias, **Z1** a **Z4**, con tamaños de 9.8 a 23.5 Km². Así se propone considerar diferentes hipótesis de combinación de tormentas en una o varias subcuencas, tomadas de 2 en 2, 3 en 3, etc. Esto complica el trabajo, pero permite acercarnos mejor a situaciones de tormenta más intensa en una parte de la cuenca, y menos en el resto, lo que redundará en una mayor seguridad del sistema de alerta.

Las subcuencas consideradas son **Z1**, en el entorno del Llac de Sant Maurici, **Z2** justo hasta la ubicación del camping Voraparc y Peret, **Z3** hasta el camping Sol i Neu, y **Z4** hasta la posición del camping La Mola (figura 6).

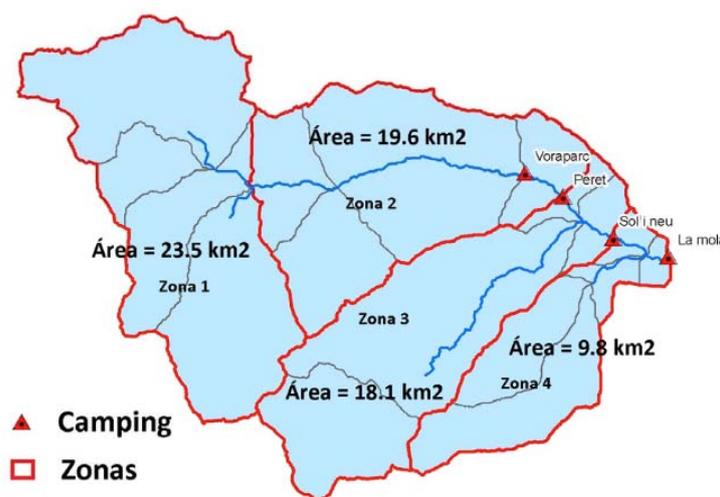


Figura 7 | División de la cuenca en subcuencas (zonas) para el área de Espot.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Campings en la zona del río Escrita – Lago De Sant Maurici (Espot)

Se han considerado 21 combinaciones de precipitación según afecten a cada una de las 4 subcuencas o a combinaciones de las mismas sobre los distintos campings. Cada combinación de tormenta se ha estudiado para el periodo de retorno que provoca el caudal de inundación de cada camping. De los análisis hidráulicos podemos indicar que el caudal de inicio de inundación de Voraparc serían 115.7 m³/s, que corresponde a un periodo de retorno de 10 años, el de inundación de Solau / Peret serían 64.9 m³/s asociado a un periodo de retorno de 2 años, el caudal de inundación de Sol i Neu sería 78.5 m³/s con periodo de retorno 5 años y para el camping la Mola el mismo caudal, 78.5 m³/s con el mismo periodo de retorno de 5 años.

Realizadas las combinaciones de tormenta en diferentes zonas, para cubrir al máximo las diferentes posibilidades de distribución espacial de precipitación, se presentan los datos por camping en las tablas adjuntas, donde se indican las combinaciones de tormenta, y la precipitación acumulada para indicar la alerta de inundación con un tiempo de anticipación de 1 hora.

Camping Voraparc

Tres combinaciones pueden ser esperadas para el camping Voraparc. A continuación se presenta la tabla con las combinaciones y los valores obtenidos.

Tabla 2 | Resultados para camping Voraparc.

Camping	Q_inun (m3/s)	T_Q_inun	P_por_zona	T	Q_max (m3/s)	P_acum/zona (mm) - 1 hora de anticipación			
						Z1	Z2	Z3	Z4
Voraparc	115.7	10	Z10_Z21_Z30_Z40	100	111.9		81.5/117.7 T=2:40h		
			Z11_Z20_Z30_Z40	20	115.2	76.6/85.9 T=3:40h			
			Z11_Z21_Z30_Z40	12	113.2	68.4/76.6 T=3:40h	68.4/76.6 T=3:40h		

La tabla 2 se puede leer y explicar de la siguiente manera:

Si se observa la combinación **Z10_Z21** (solo tormenta en zona 2) podemos decir que es necesario una tormenta de período de retorno 100 para generar el caudal de inundación en el camping. Como se observa en la tabla, el caudal de inundación del camping es 115.7 m³/s y el caudal generado por **Z2** con un T100 es igual a 119.0 m³/s. Esto lleva asociado que en la tormenta de T100 tienen que acumularse hasta 81.7 mm para lanzar la alerta de evacuación. Puede ser considerada como una medida fiable de tomar en consideración ya que corresponde a más de un 80% del total de tormenta caída.

La situación de **Z11_Z20** y **Z11_Z21** se puede explicar de la misma manera que la anterior y en ambos casos la medida de tormenta acumulada es un indicador fiable para el caso de estudio. En ambos casos el T es mayor debido a que la zona de aportación **Z1** es la que tiene mayor influencia en la punta de caudal debido a que tiene una superficie mayor que **Z2**.

Camping Solau/Peret

Nuevamente tres combinaciones pueden ser esperadas para el camping Solau/Peret. A continuación se presenta la tabla con las combinaciones y los valores obtenidos.

Tabla 3 | Resultados para camping Solau/Peret.

Camping	Q_inun (m3/s)	T_Q_inun	P_por_zona	T	Q_max (m3/s)	P_acum/zona (mm) - 1 hora de anticipación			
						Z1	Z2	Z3	Z4
Peret	64.9	2	Z10_Z21_Z30_Z40	23	64.6		70.3/89.1 T=3:00h		
			Z11_Z20_Z30_Z40	7	64.8	61.7/66.6 T=3:50h			
			Z11_Z21_Z30_Z40	3	64.1	54.5/58.9 T=4:00h			

La situación observada en Solau/Peret es muy similar a lo observado en la tabla 3 y puede ser explicada de la misma manera ya que ambos campings se encuentran separados por aproximadamente 1 km. Sin embargo, el caudal de inundación es mucho menor ya que el camping se encuentra aguas arriba del pueblo de Espot al costado de un sector en el cual el río se encuentra canalizado. La zona es bastante baja por lo tanto es más fácil de inundarse.

Nuevamente se observa que **Z1** es la zona con mayor influencia en la generación de la punta del hidrograma de caudal.

Camping Sol i Neu

Este camping se puede ver afectado por tres zonas de aportación (**Z1**, **Z2** y **Z3**) por lo tanto el número de combinaciones puede llegar a siete. A continuación se presenta la tabla con las combinaciones y los valores obtenidos.

Tabla 4 | Resultados para camping Sol i Neu.

Camping	Q_inun (m3/s)	T_Q_inun	P_por_zona	T	Q_max (m3/s)	P_acum/zona (mm) - 1 hora de anticipación			
						Z1	Z2	Z3	Z4
SoliNeu	78.5	5	Z10_Z20_Z31_Z40	150	76.3			107.1/126.3 T=3:20h	
			Z10_Z21_Z30_Z40	40	78.3		85.7/98.4 T=3:30h		
			Z10_Z21_Z31_Z40	16	77.2		73.2/82.1 T=3:40h	73.2/82.1 T=3:40h	
			Z11_Z20_Z30_Z40	9	73.7	68.9/71.3 T=4:30h			
			Z11_Z20_Z31_Z40	8	77.1	66.7/68.9 T=4:40h		66.7/68.9 T=4:40h	
			Z11_Z21_Z30_Z40	6	76.2	62.2/64.3 T=4:30h	62.2/64.3 T=4:30h		
			Z11_Z21_Z31_Z40	5	75.1	59.9/61.9 T=4:30h	59.9/61.9 T=4:30h	59.9/61.9 T=4:30h	

La tabla 4 muestra cómo se producen las combinaciones agregando una zona más (**Z3**). La lectura de la tabla se realiza de la misma manera que las anteriores, en la cual la suma de la precipitación acumula corresponde al umbral mediante al cual se dicta la alerta de evacuación en el camping. En todos los casos la suma es bastante alta en relación a su total, por lo tanto, el método puede ser fiable como medida de alerta.

Nuevamente se observa la influencia de la **Z1** en la generación de la punta de caudal. En cualquiera de las combinaciones en que se encuentre esta zona el T disminuye.

También se observa que la zona 3 (**Z3**) al ser la más pequeña, es la que menos influencia tiene en la punta de caudal, por ende, cuando solo esta zona de aportación recibe precipitación o en combinación con la zona 2 (**Z2**), los T son mayores.

Camping La Mola

Este camping se puede ver afectado por el máximo de zonas de aportación (**Z1, Z2, Z3 y Z4**), por lo tanto, el número de combinaciones puede llegar a catorce. A continuación se presenta la tabla con las combinaciones y los valores obtenidos.

Tabla 5 | Resultados para camping La Mola.

Camping	Q_inun (m3/s)	T_Q_inun	P_por_zona	T	Q_max (m3/s)	P_acum_zona (mm) / P_total - 1 hora de anticipación			
						Z1	Z2	Z3	Z4
LaMola	78.5	5	Z10_Z20_Z30_Z41	>500	68.9				123.5/150.2 T=3:40h
			Z10_Z20_Z31_Z40	150	75.3			114.9/126.3 T=3:50h	
			Z10_Z20_Z31_Z41	75	76.3			111.6/111.6 T=5:00h	111.6/111.6 T=5:00h
			Z10_Z21_Z30_Z40	40	77.2		91.1/98.4 T=4:00h		
			Z10_Z21_Z30_Z41	25	75.7		83.9/90.6 T=4:00h		83.9/90.6 T=4:00h
			Z10_Z21_Z31_Z40	17	76.3		75.4/82.9 T=3:50h	75.4/82.9 T=3:50h	
			Z10_Z21_Z31_Z41	13	76		72.5/78.2 T=4:00h	72.5/78.2 T=4:00h	72.5/78.2 T=4:00h
			Z11_Z20_Z30_Z40	10	77.8	72.9/73.6 T=4:50h			
			Z11_Z20_Z30_Z41	9	76.5	71.3/71.3 T=5:00h			71.3/71.3 T=5:00h
			Z11_Z20_Z31_Z40	8	77.9	68.9/68.9 T=5:00h		68.9/68.9 T=5:00h	
			Z11_Z20_Z31_Z41	7	73.6	66.6/66.6 T=5:00h		66.6/66.6 T=5:00h	66.6/66.6 T=5:00h
			Z11_Z21_Z30_Z40	6	75	64.3/64.3 T=5:00h	64.3/64.3 T=5:00h		
			Z11_Z21_Z30_Z41	6	76.8	64.3/64.3 T=5:00h	64.3/64.3 T=5:00h		64.3/64.3 T=5:00h
			Z11_Z21_Z31_Z40	5	75.4	61.9/61.9 T=5:00h	61.9/61.9 T=5:00h	61.9/61.9 T=5:00h	

En la tabla 5 se observa como la zona 4 (**Z4**) no es capaz de generar inundación con T500 ($Q = 68.9 \text{ m}^3/\text{s}$). Es necesario un T más alto para alcanzar el caudal de inundación.

Adicionalmente se puede ver también la influencia de **Z1** en la generación de las puntas de caudal. En cualquier combinación que **Z1** se encuentre presente, los T tienden a ser más bajos. La segunda área de influencia más importante es **Z2**. Esto se debe principalmente al tamaño de cada una de las zonas, donde **Z1** es la de mayor tamaño.

Finalmente, se observa que en cada uno de las combinaciones la lluvia acumulada hasta una hora antes de la punta de caudal es más del 85% del total, lo que permite considerarla como una medida fiable de alerta.

CONCLUSIONES

Hidrología

- La selección y construcción detallada del modelo hidrológico es esencial para poder describir la hidrología de cuencas de montaña.
- La inclusión o exclusión de tramos de río en el modelo hidrológico es crucial para calcular la propagación de manera correcta en cuencas de montañas.
- Cambios sutiles en el modelo de pérdida (Número de Curva) pueden generar cambios significativos en las puntas de caudal.
- Una incorrecta discretización de la cuenca (subdivisión de cuencas) puede generar complicaciones en la obtención de resultados viables bajo el sistema de alerta propuesto.

Sistema de Alerta

- Para cada camping se propone un SAPI basado en medidas de lluvia registrada en la zona aguas arriba del camping.
- La división de la cuenca del Escrita en 4 zonas fue suficiente para aplicar la metodología propuesta en este estudio.
- En cada uno de los campings en estudio la precipitación acumulada fue siempre mayor a un 80% del total de precipitación caída en cada zona.
- La metodología utilizada en este estudio puede ser útil en zonas montañosas con un nivel de monitoreo menos detallado.
- Es necesario contar con información base de lluvia (pluviómetros) en tiempo real en diversos puntos de la zona de estudio.

REFERENCIAS

Ven Te Chow, Maidment, D. R., Mays, L.W. (2000): Hidrología Aplicada. McGraw-Hill Interamericana.

Gómez, M. y Nanía, I. (2004). "Ingeniería Hidrológica". Grupo Editorial Universitario, P. 278, Granada, España.