

# CUANTIFICACIÓN MEDIANTE TIG DE LOS CAMBIOS EN LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL EN SIERRA BERMEJA (MÁLAGA) TRAS EL INCENDIO DE SEPTIEMBRE DE 2021

Antonio Gallegos Reina

Departamento de Geografía de la Universidad de Málaga, a.gallegos@uma.es, <http://orcid.org/0000-0002-2711-111X>

## 1. Introducción y objetivos

### Introducción:

En septiembre de 2021 se produjo en Sierra Bermeja, en la provincia de Málaga, uno de los peores incendios forestales sufridos en la última década en Andalucía. Las laderas meridionales de Sierra Bermeja vierten sobre la Costa del Sol, de cuyo litoral apenas dista 5 kilómetros. El área incendiada se quedó cerca de alcanzar las 10.000 hectáreas, dejando una persona fallecida y grandes pérdidas ecológicas y económicas.

No obstante, la transformación de una gran área forestal próxima a la aglomeración urbana de la Costa del Sol en terreno quemado tiene otras repercusiones. Al desastre natural del incendio en sí le seguirán en los próximos años otros de no menor importancia, como la pérdida de suelo y el aumento de los caudales de avenida e inundaciones. La correlación entre incendios forestales e inundaciones en ámbitos mediterráneos ha sido ampliamente estudiada por numerosos autores, pero los trabajos se centran principalmente en las causas y características de esta relación, y no tanto en su cuantificación.

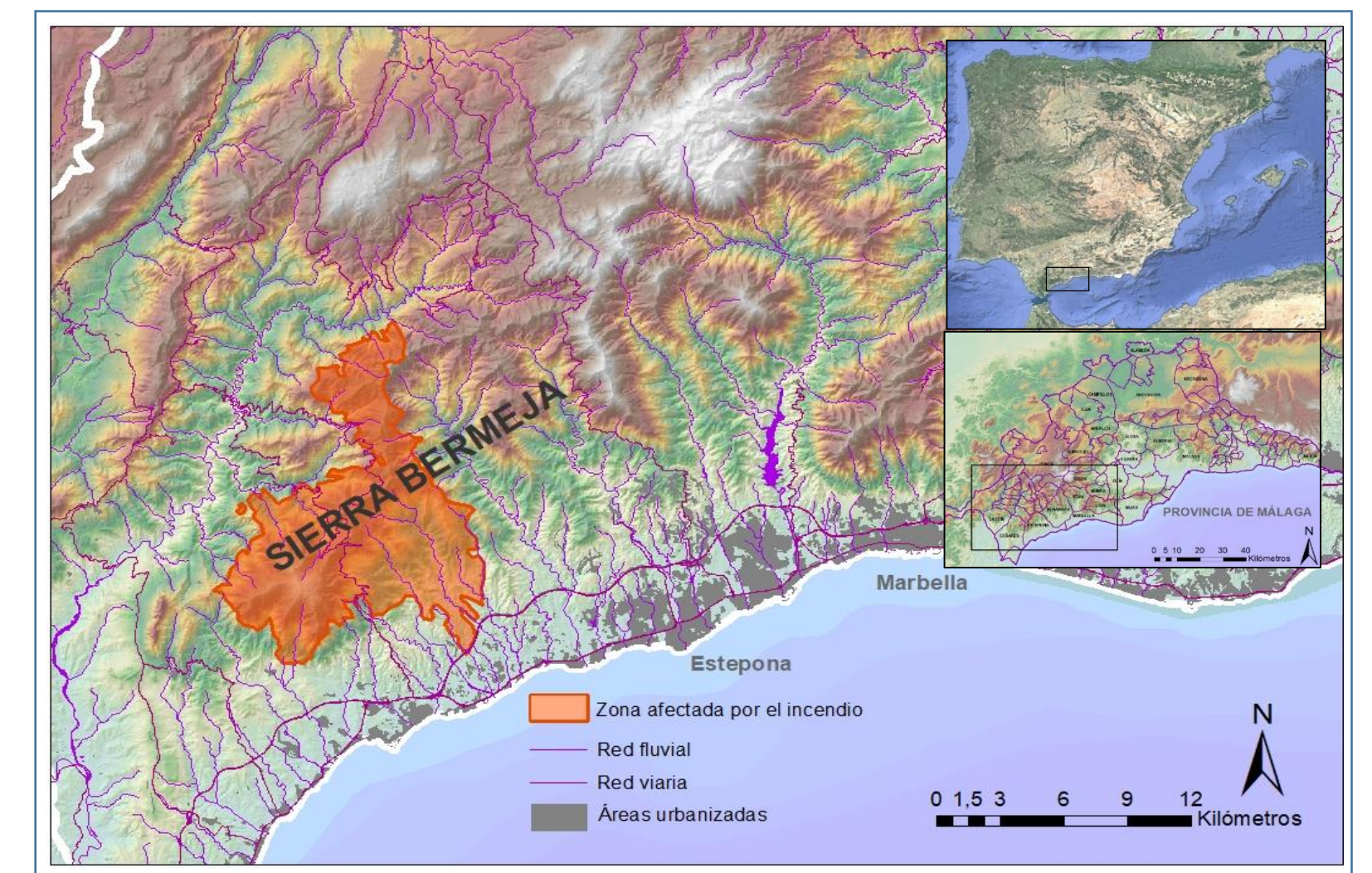
### Objetivos:

El objetivo principal de este trabajo es determinar, mediante tecnología SIG, la variación de la escorrentía superficial asociada al cambio de escenario, bajo condiciones medioambientales previas y posteriores al incendio, y evaluar sus efectos potenciales sobre las inundaciones en los distintos términos municipales afectados.

## 2. Área de estudio

- Sierra Bermeja se localiza en la provincia de Málaga (España), en las Alpujarrides occidentales, en la Zona Interna de las Cordilleras Béticas (Figura 1).
- Se individualiza claramente dentro de estas por tratarse de un afloramiento peridotítico, procedente de las zonas profundas del interior de la Tierra, que intruyen en la corteza y ascienden tectónicamente hasta la superficie. Estos afloramientos representan uno de los conjuntos de rocas ígneas ultrabásicas de mayor extensión a escala mundial.
- La toxicidad del substrato ha limitado la existencia de zonas de cultivo o núcleos de población, encontrándose en su mayor parte cubierto por formaciones arboladas densas (coníferas) y matorral disperso con pastizal.
- Su peculiaridad geológica da lugar a un buen número de endemismos vegetales, y da lugar igualmente a la diferenciación de un sector biogeográfico propio (sector Bermejense). Dentro de esta riqueza florística destaca el pinsapar de Los Reales, el único del planeta sobre peridotitas, que llegó a ser afectado parcialmente por el incendio.
- Al pie de los relieves escarpados de la sierra, hacia el sur, las pendientes se suavizan a media ladera, en los materiales del Maláguide, y más aún en la proximidad de la costa, en el flysch del Campo de Gibraltar.

Figura 1. Localización del área de estudio y afección del incendio forestal



## 3. Metodología

- En un principio se ha definido el perímetro del incendio, mediante la aplicación del índice NBR (*Normalized Burn Ratio*) a imágenes de satélite 'Sentinel 2', previas y posteriores al suceso - **Fase 0**
  - Este índice permite identificar áreas quemadas a partir de una fórmula, que combina el uso de imágenes de infrarrojo cercano (NIR) y de infrarrojo de onda corta (SWIR). La diferencia entre las respuestas espectrales de la vegetación saludable y las áreas quemadas alcanzan su pico en dichas regiones NIR y SWIR del espectro.
- Para la obtención de la escorrentía superficial se ha trabajado con imágenes ráster, en celdas de 10 metros/píxel. Para cada celda se ha calculado:
  - la máxima lluvia diaria anual esperable en cada celda (**precipitación estimada**) - **Fase 1**
    - El valor de precipitación máxima diaria (media anual) se ha obtenido a partir de la información recopilada por la publicación 'Máximas lluvias diarias en la España peninsular' (Ministerio de fomento, 1999) para las estaciones meteorológicas de la mitad occidental de la provincia de Málaga con series de datos superiores a 20 años. Vendría a corresponderse con el día de mayor pluviosidad estadística del año, considerando el mismo periodo de 24 horas que se usa para realizar los análisis hidrológicos en estudios de inundabilidad. Los datos se han interpolado mediante el método de kriging, que pondera los valores medidos circundantes para calcular la predicción de ubicaciones sin medición, estimando con ello la variación espacial continua que se presupone en el comportamiento de las precipitaciones.
  - la **capacidad de infiltración antes y después del incendio** en esa misma celda - **Fase 2**
    - La capacidad de infiltración se ha obtenido mediante el umbral de escorrentía ( $P_o$ ), usando el método del número de curva del *Soil Conservation Service*. Éste, modificado y adaptado para el caso español por Témez, es ampliamente utilizado por la facilidad para estimar sus parámetros a partir de criterios fácilmente evaluables, como la pendiente, los usos del suelo, sus características hidrológicas o una clasificación basada en el espesor, textura y drenaje del suelo, todas ellas propiedades extraíbles de caracterizaciones edáficas y litológicas. Su aplicación en España está regulada por la Instrucción 5.2-IC de drenaje superficial, del Ministerio de Fomento (2017).
    - El mapa de cubierta vegetal y usos del suelo ha sido recalculado para la situaciones pre y post-incendio con el fin de obtener sendos mapas diacrónicos del umbral de escorrentía.
- Conociendo la precipitación estimada en el evento tormentoso y el umbral a partir del cual el suelo genera escorrentía, se ha estimado la escorrentía generada. Esta escorrentía es comparada antes y después del incendio de 2021 - **Fase 3**
  - A partir de la precipitación máxima diaria media anual y del umbral de escorrentía ( $P_o$ ) se obtiene la lluvia neta productora de escorrentía (en  $l/m^2$ ) para cada celda.
  - La cartografía resultante muestra la distribución espacial de las principales zonas que contribuyen a la generación de flujos de avenida y en qué medida lo hacen bajo las condiciones de uso del suelo de los escenarios pre y post-incendio.

$$\text{Escorrentía neta en cada celda} = \text{media anual de la máxima lluvia diaria en cada celda} - \text{capacidad de infiltración en cada celda}$$

## 5. Resultados y conclusiones

### Resultados

- El incendio afectó a los términos municipales de Genalguacil (46,6% del total superficial), Jubrique (32,7%), Estepona (32,4%), Júzcar (22%), Faraján (16,8%) y Casares (8,5%).
- En esta zona de la provincia de Málaga, las precipitaciones alcanzan valores máximos medios más elevados que el promedio provincial. No obstante, la tipología y densidad vegetal de la zona permite un alto grado de infiltración, con un umbral de escorrentía medio para el conjunto de municipios afectados de  $83 l/m^2$ . Tras el incendio, la "protección frente a la generación de escorrentía" (umbral crítico de escorrentía superficial) se ha visto menguada en estos municipios en  $22 l/m^2$ , lo que supone una **reducción de la capacidad de infiltración del 27%**.
- Considerando tanto las precipitaciones como la capacidad de infiltración, se observa que **la escorrentía por  $m^2$  en el conjunto de municipios afectados por el incendio, para un evento tormentoso con una precipitación equivalente a la máxima lluvia diaria del año, aumenta de 18 a  $34 l/m^2$  (Tabla 1).**
- Respecto al total de escorrentía esperable, **llega a escurrir un 171% más de lo que lo haría en condiciones normales, previas al incendio.**

### Conclusiones

- Este estudio contribuye a **conocer mejor cómo puede afectar el incendio de septiembre de 2021 a la magnitud de los flujos de avenida** aguas abajo. Además, permite comparar dicha escorrentía antes y después del incendio, lo que nos sirve como **aproximación teórica sobre la problemática en escenarios similares de regiones mediterráneas.**
- Estimar la escorrentía potencial previsible bajo ambos escenarios ambientales **permite orientar las acciones que las administraciones responsables pueden y deben llevar a cabo mediante las herramientas de gestión y ordenación territorial.** Es, asimismo, un trabajo que puede ser replicado en distintos casos, gracias al uso de materiales y métodos fácilmente accesibles y estandarizados.
- Las masas boscosas de Sierra Bermeja hasta el pasado año constituían una excelente garantía contra las inundaciones en la Costa del Sol Occidental. Su alto umbral de escorrentía permitía atenuar los riesgos de las lluvias torrenciales. En los próximos años, y mientras el bosque, sotobosque y suelos no vuelvan a recuperar sus características previas al incendio, se debe estar prevenido ante futuros episodios torrenciales, y la información aquí aportada debiera ser de interés para ello.
- **El actual Cambio Global, que está incrementando de forma sustancial la peligrosidad de incendios y de inundaciones en medios mediterráneos semiáridos, requiere promover y potenciar la investigación científico-técnica en este sentido, con la aplicación de modelos de predicción hidrológica que impliquen el mínimo nivel de incertidumbre, y así poder diseñar estrategias de adaptación y resiliencia adecuadas.**

Ámbito Espacial	Escorrentía neta media por $m^2$ ( $l/m^2$ )			Total de escorrentía ( $m^3$ )		
	Antes	Después	Incremento	Antes	Después	Incremento
Provincia de Málaga	15.13	16.41	1.28	44.108	47.815	3.708
Comarca Costa del Sol Occidental	28.51	33.99	5.48	9.105	10.874	1.769
Comarca Serranía de Ronda	12.42	14.94	2.53	6.216	7.469	1.254
Municipios afectados	18.39	33.98	15.59	3.269	5.606	2.336
Casares	23.53	23.88	0.35	1.067	1.083	16
Estepona	27.70	51.39	23.70	1.512	2.810	1.298
Faraján	9.89	21.36	11.47	81	176	94
Genalguacil	15.87	44.63	28.76	200	562	362
Jubrique	14.11	37.73	23.61	220	589	369
Júzcar	14.19	28.94	14.75	189	386	197
Área del incendio	12.47	78.04	65.57	481	3.013	2.531

Tabla 1. Resultados estadísticos de la escorrentía neta y escorrentía total que cabe esperar para un evento tormentoso equivalente a la media anual de la máxima lluvia diaria.