



**Universidad
Europea** CANARIAS

Trabajo Fin de Máster

Plan de adaptación al cambio climático en el municipio
de Las Gabias

Autor

Antonio Javier Pachón Povedano

Director

Loic Revuelta Luis

Escuela de Arquitectura

Octubre 2025

Resumen

Este Trabajo de Fin de Máster desarrolla un plan de adaptación al cambio climático en el municipio de Las Gábias (Granada), un territorio mediterráneo caracterizado por la combinación de veranos secos y calurosos con precipitaciones torrenciales de carácter irregular. El estudio identifica los principales riesgos climáticos que afectan al municipio: inundaciones pluviales y torrenciales, efecto isla de calor urbano y periurbano, desertificación e incendios forestales.

La metodología combina la recopilación y análisis de normativa y planes locales de sostenibilidad con técnicas de teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se emplean índices de vegetación (NDVI), modelos digitales del terreno (MDT), análisis de pendientes, distancia a cauces e imágenes satelitales Landsat y Sentinel para calcular la temperatura superficial terrestre (LST) y realizar un modelo de riesgo de inundación mediante combinación lineal ponderada (WLC).

Los resultados muestran coincidencia parcial entre las zonas inundables oficiales (IGN) y las obtenidas mediante el método WLC, destacando la utilidad de este último para integrar factores de escorrentía y vegetación. Asimismo, se detecta que el municipio presenta un fenómeno de “isla térmica inversa”, con áreas rurales y periurbanas que alcanzan temperaturas superficiales más altas que los núcleos urbanos.

Las propuestas de adaptación se centran en soluciones basadas en la naturaleza: restauración de cauces, permeabilización urbana, corredores verdes, cubiertas vegetales y planes de gestión agroforestal. Estas medidas permitirían reducir la vulnerabilidad, mejorar la resiliencia climática local y contribuir al cumplimiento de la Agenda 2030 municipal.

Palabras clave: cambio climático, adaptación, Las Gábias, inundaciones, isla de calor urbano, NDVI, LST, soluciones basadas en la naturaleza.

Abstract

This Master's Thesis develops a climate change adaptation plan for the municipality of Las Gabias (Granada, Spain), located in the Mediterranean region and characterized by hot, dry summers and irregular torrential rainfall. The study identifies the main climate-related risks for the area: flash floods, urban and peri-urban heat island effects, desertification, and wildfire hazards.

The methodology integrates the analysis of local environmental policies and planning instruments with remote sensing and Geographic Information Systems (GIS). Vegetation indices (NDVI), Digital Elevation Models (DEM), slope and river proximity data, together with Landsat and Sentinel satellite imagery, were used to calculate Land Surface Temperature (LST) and to build a flood risk map through a Weighted Linear Combination (WLC) approach.

Results indicate a partial overlap between officially recognized flood-prone areas (IGN) and those obtained through WLC, with the latter providing additional insights into runoff and vegetation effects. Furthermore, the municipality exhibits an “inverse heat island” phenomenon, where surrounding rural and peri-urban areas reach higher surface temperatures than urban cores.

Adaptation strategies are proposed, focusing on nature-based solutions such as riverbank restoration, permeable urban surfaces, green corridors, vegetated rooftops, and agroforestry management. These measures aim to reduce local vulnerability, enhance climate resilience, and support the achievement of the municipal 2030 Agenda.

Keywords: climate change, adaptation, Las Gabias, floods, urban heat island, NDVI, LST, nature-based solutions.

Índice

Resumen.....	2
Abstract.....	3
1. Introducción.....	7
2. Antecedentes.....	8
2.1 Relevancia del cambio climático para Las Gabias (Granada).....	8
3. Marco teórico.....	10
3.1 Modelización y adaptación de infraestructuras hídricas.....	10
3.2 Efecto “isla de calor” urbano en municipios pequeños.....	11
3.2.1 Importancia de LST en el estudio del UHI.....	11
3.2.2 Medidas de mitigación.....	12
3.3 Implicaciones para Las Gabias.....	12
3.4 Análisis del marco normativo y planificación vigente.....	13
4. Objetivos.....	15
5. Metodología.....	16
5.1 Obtención del mapa de riesgo de inundaciones mediante WLC.....	17
5.1.1 Variables consideradas.....	17
5.1.2 Zonas con mayor riesgo de inundaciones según método WLC.....	20
5.2 Cálculo de LST.....	21
5.3 Reclasificación de los datos ráster obtenidos.....	21
6. Análisis y resultados.....	22
6.1 Inventario de riegos naturales y efectos del cambio climático.....	22
6.2 Procedimiento para determinación de zonas inundables y UHI.....	26
6.2.1 Obtención del NDVI.....	26
6.2.2 Cálculo de pendientes.....	29
6.2.3 Determinación de distancia a cauces.....	30
6.2.4 Determinación de zonas con mayor riesgo de inundaciones.....	32
6.2.5 Cálculo LST.....	33
6.3 Propuestas de mitigación para los fenómenos de cambio climático que afectan a Las Gabias...39	
6.3.1 Mitigación de riesgo de inundación.....	39
6.3.2 Mitigación del riesgo de UHI.....	46
7. Conclusiones.....	55
8. Futuras líneas de trabajo.....	57
Referencias.....	58

Índice de tablas

Tabla 1 Reclasificación del NDVI según riesgo de inundación.....	28
Tabla 2 Reclasificación de pendiente según riesgo.....	30
Tabla 3 Reclasificación de distancia a cauces según riesgo.....	31

Índice de figuras

Figura 1 Ventana de “raster calculator” en ARCmap.....	18
Figura 2 Herramienta “Slope” (Pendiente) de ARCmap.....	19
Figura 3 Herramienta “Euclidean distance” en ARCmap.....	20
Figura 4 Mapa sísmico de la península Ibérica.....	22
Figura 5 Zonas inundables con tiempo de retorno de 10, 50 y 100 años.....	23
Figura 6 Mapa de riesgo por desertificación en España.....	24
Figura 7 NDVI para el municipio de Las Gabias.....	27
Figura 8 NDVI clasificado según riesgo.....	28
Figura 9 Pendientes clasificadas por riesgo.....	29
Figura 10 Distancia a cauces clasificada por riesgo.....	31
Figura 11 Zonas con mayor riesgo de inundaciones.....	33
Figura 12 Temperatura superficial aproximada para Las Gabias.....	34
Figura 13 Temperatura superficial clasificada por percentiles.....	36
Figura 14 Clasificación por cuantiles y estadísticas asociadas a la capa LST.....	37
Figura 15 Uso de suelo en el municipio de Las Gabias.....	38
Figura 16 Riesgo de inundación en Gabia Grande.....	40
Figura 17 Riesgo de inundación en San Javier e Híjar.....	41
Figura 18 Riesgo de inundación en Pedro Verde y Gabia Chica.....	42
Figura 19 Imágenes del estado actual del tramo del río Dílar a su paso por Las Gabias (agosto, 2025); A) Sentido en dirección del caudal; B) Sentido contrario a la dirección del caudal; C) Vegetación presente en el cauce y área de inundación; D) Especie invasora “Arundo donax” o caña común.....	44
Figura 20 Percentiles de LST para Gabia Grande.....	47
Figura 21 Percentiles de LST para Pedro Verde y Gabia Chica.....	48
Figura 22 Percentiles de LST para la urbanización San Javier e Híjar.....	49
Figura 23 Imagen satelital del día 31/07/2025.....	50
Figura 24 A) Imagen satelital; B) Zonas urbanas con mayor temperatura superficial en Gabia Grande.	52
Figura 25 A) Temperatura superficial; B) Imagen satelital del paseo arbolado.....	53

1. Introducción

El cambio climático constituye uno de los mayores retos ambientales, sociales y económicos del siglo XXI. En la cuenca mediterránea, los efectos del calentamiento global se manifiestan con especial intensidad: aumento de las olas de calor, sequías más prolongadas y precipitaciones torrenciales que incrementan el riesgo de inundaciones. Estos impactos son particularmente relevantes en municipios de tamaño medio, como Las Gubias (Granada), cuya localización en un entorno agrícola y periurbano lo hace especialmente sensible a la dualidad sequía-diluvio y al fenómeno de isla de calor.

La importancia de este trabajo radica en proporcionar un plan de adaptación local que permita identificar riesgos prioritarios, diseñar medidas eficaces y contribuir al desarrollo sostenible y resiliente del municipio. En este contexto, se abordan tres problemáticas principales: las inundaciones pluviales y torrenciales, el efecto de isla de calor urbana y periurbana, y la desertificación asociada a la pérdida de vegetación.

Para alcanzar estos objetivos, se ha empleado una metodología mixta basada en el análisis normativo y la planificación municipal, junto con herramientas de teledetección y sistemas de información geográfica. Se han utilizado imágenes satelitales (Sentinel y Landsat) para calcular índices de vegetación (NDVI) y temperatura superficial terrestre (LST), además de modelos digitales del terreno y capas hidrológicas. El análisis multicriterio mediante combinación lineal ponderada (WLC) permitió cartografiar la susceptibilidad a inundaciones y cruzarla con información territorial.

2. Antecedentes

El consenso científico actual señala que el cambio climático ya está alterando la frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos (olas de calor, sequías, lluvias torrenciales, incendios), con impactos crecientes sobre población, ecosistemas y economía. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (AR6) sintetiza que el calentamiento de origen humano ya afecta a extremos en todas las regiones, generando pérdidas y daños generalizados, con riesgos que aumentan rápidamente a medida que sube la temperatura media global (*AR6 Synthesis Report: Summary for Policymakers Headline Statements*, 2025).

En la cuenca mediterránea, donde se sitúa Andalucía, el efecto combinado de calentamiento pronunciado, reducción de precipitación media y aumento de la variabilidad climática hace que los episodios secos sean más persistentes y los eventos de precipitación extrema más intensos. Proyecciones y evaluaciones EURO-CORDEX para España muestran incrementos en índices de precipitación extrema y cambios en subdiarios que agravan la peligrosidad de inundaciones repentinas; al mismo tiempo, se anticipa un descenso de la precipitación estacional con alta variabilidad interanual, reforzando la dualidad sequía-diluvio típica del Mediterráneo (Lorenzo & Alvarez, 2020; Vicente-Serrano et al., 2025). Un ejemplo paradigmático se registró el 29 de octubre de 2024 en Valencia, donde la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) midió 771,8 L/m² en solo 14 horas, con una tasa máxima de 184,6 L/m² en una hora (Sánchez-Almodóvar et al., 2025).

2.1 Relevancia del cambio climático para Las Gabias (Granada)

Para municipios mediterráneos interiores con mosaicos de agricultura de secano, matorral y trama urbana —como Las Gabias—, la combinación de calor creciente, sequía estival y episodios torrenciales intensifica tres frentes de riesgo prioritarios:

1. Inundaciones pluviales y torrenciales en cuencas pequeñas: mayor pico de escorrentía al coincidir suelos secos y sellados con lluvias intensas; dependencia crítica de pendiente, distancia a cauces y cobertura vegetal para modular la respuesta hidrológica. La evidencia regional sobre extremos y depresiones aisladas en niveles altos (DANA) respalda priorizar infraestructura verde y permeabilización para reducir daños (Lorenzo & Alvarez, 2020).

2. Isla de calor (urbana y periurbana): las olas de calor más frecuentes se acoplan con superficies de baja evapotranspiración (suelos desnudos, cultivos en barbecho, monte seco) y con tejidos urbanizados pobres en arbolado, elevando el estrés térmico. La evidencia europea apoya soluciones basadas en la naturaleza (SBN) —arbolado, cubiertas verdes, corredores— como medidas costo-eficientes para reducir la temperatura y aportar co-beneficios para la salud (Marando et al., 2022).

3. Peligrosidad de incendios: el binomio sequía acumulada y olas de calor reduce la humedad del combustible fino y aumenta la propagación en laderas expuestas (S-SE). La reciente atribución en el Mediterráneo confirma que estos regímenes extremos son más probables hoy que en el pasado, reforzando la necesidad de gestión del combustible y mosaicos agroforestales.

3. Marco teórico

El cambio climático, con el aumento de la temperatura media global, está asociado a una mayor frecuencia e intensidad de eventos de precipitación extrema en la región mediterránea. En particular, los episodios de DANA, conocidos localmente como “gota fría”, son responsables de concentrar enormes volúmenes de lluvia en periodos muy cortos, superando a menudo la capacidad de diseño de las infraestructuras hídricas convencionales (Eguibar et al., 2021).

3.1 Modelización y adaptación de infraestructuras hídricas

Para evaluar el riesgo y diseñar medidas de adaptación al cambio climático, es imprescindible combinar modelos hidrológicos (simulación estadística de precipitaciones y retornos) con modelos hidráulicos (geometría de cauces y barreras). El estudio en la llanura costera de Oliva (Valencia) destaca cómo la topografía plana y los factores antropogénicos potencian la propagación de la lámina de agua, recomendando una definición precisa de barreras y cuencas de retención para cada periodo de retorno (Eguibar et al., 2021).

Las soluciones basadas en la naturaleza (SBN), como zonas de retención temporales, humedales urbanos y corredores verdes, han demostrado reducir picos de caudal y mejorar la infiltración. El “Paradigma de Valencia” ejemplifica la reconversión de antiguos cauces y embalses en espacios verdes multifuncionales, ofreciendo simultáneamente protección contra inundaciones, recarga de acuíferos y mejora de la calidad paisajística (Ripp et al., 2025).

La incorporación de **pronósticos hidrometeorológicos** avanzados (ensembles) permite anticipar mejor la magnitud y localización de las crecidas repentinas. En la cuenca del Serpis (Valencia), modelos de predicción por conjuntos mejoraron la precisión del pronóstico de inundaciones repentinas, facilitando una gestión proactiva de compuertas y embalses (Amengual et al., 2017).

3.2 Efecto “isla de calor” urbano en municipios pequeños

Aunque en núcleos urbanos como Las Gabias el UHI (Urban Heat Island) sea menos acusado que en grandes ciudades, descuidar su mitigación puede provocar aumentos de temperatura de 4 a 6 °C en horas nocturnas, reduciendo confort y elevando la demanda energética de refrigeración (Vardoulakis et al., 2013). Estudios en ciudades mediterráneas de tamaño medio (ej. Kalamata, Grecia) muestran intensidades máximas de UHI nocturno al amanecer, vinculadas a la morfología urbana, la densidad edificada y la escasa ventilación natural (Kyriakopoulos et al., 2022).

3.2.1 Importancia de LST en el estudio del UHI

La Temperatura Superficial del Terreno obtenida mediante sensores térmicos satelitales como los de Landsat 9 es una variable esencial para analizar el fenómeno del UHI, ya que refleja el calentamiento diferencial entre áreas urbanas y su entorno. Así lo demuestra el estudio de Cetin et al., que empleó imágenes Landsat 8 y 9 para analizar la evolución del UHI en la ciudad de Kayseri (Turquía), correlacionando LST con índices como NDVI y NDBI para entender cómo la pérdida de vegetación influye en el aumento térmico urbano (Cetin et al., 2024).

Relación inversa entre NDVI y LST

Estudios ampliamente reconocidos han comprobado que existe una relación inversa significativa entre vegetación (NDVI) y LST, lo que subraya la capacidad del verde urbano para mitigar el efecto UHI. Un clásico en este campo es Weng, Lu y Schubring, quienes cuantificaron esta relación en entornos urbanos mediante análisis comparativos de NDVI y LST (Weng et al., 2004). Asimismo, Weng revisó métodos de teledetección térmica al servicio del análisis climático urbano, incluyendo el papel de NDVI como indicador de enfriamiento orgánico (Weng, 2009).

Imágenes Landsat para el mapeo del UHI

Varios estudios han aplicado de forma práctica la combinación de LST (Landsat) y NDVI para cartografiar la intensidad del UHI y su evolución temporal. Un ejemplo es el caso de Shenzhen y Hong Kong, donde se identificaron patrones UHI basados en LST, NDVI y otros índices urbanos (Tsou et al., 2017). Además, el análisis en Teherán comparó LST nocturno y diurno a partir de productos MODIS, Sentinel-3 y Landsat-8, evidenciando diferencias claras entre núcleo urbano y suburbios, y una fuerte correlación negativa entre NDVI bajo y altas temperaturas (Zargari et al., 2024).

3.2.2 Medidas de mitigación

- **Infraestructura verde distribuida:** pequeñas plazas, jardines y corredores vegetales que reducen la temperatura de superficie (LST) hasta 3 °C y mejoran la humedad local (Delgado-Capel et al., 2023). Este estudio además se ha realizado en la ciudad de Granada, la capital de provincia del municipio, con unas condiciones climáticas similares a las de Las Gabias debido a su cercanía (10 km).
- **Superficies permeables y reflectantes** en aceras y plazas, que disminuyen la absorción de calor.
- **Sistemas de agua urbana** (fuentes, estanques) que, mediante evaporación, contribuyen al enfriamiento microclimático.

La aplicación de estas estrategias, combinadas con una planificación urbana participativa, puede evitar la consolidación rápida de UHI incluso en pueblos de tamaño medio.

3.3 Implicaciones para Las Gabias

En el contexto del cambio climático y sus manifestaciones locales, las implicaciones para el municipio de Las Gabias adquieren especial relevancia debido a su combinación de

factores urbanos, agrícolas y topográficos que incrementan la vulnerabilidad frente a fenómenos extremos como las inundaciones y las olas de calor. A partir de la revisión teórica sobre adaptación climática y gestión territorial, se identifican a continuación las principales líneas de actuación orientadas a fortalecer la resiliencia municipal mediante el diagnóstico ambiental, la implementación de soluciones basadas en la naturaleza y la creación de sistemas de medición y vigilancia continuos.

- **Diagnóstico local:** instalar una red de sensores pluviométricos y termométricos para caracterizar eventos de DANA y UHI en distintos barrios.
- **Implementación de SBN:** diseñar infraestructuras verdes y zonas de retención adaptadas al tejido urbano de Las Gabias, priorizando espacios públicos y márgenes de cauces.
- **Plan de medición y vigilancia:** evaluar periódicamente la eficiencia de las medidas, ajustando el diseño según los resultados observados.

3.4 Análisis del marco normativo y planificación vigente

El Ayuntamiento de Las Gabias, en su web institucional (Portal de Transparencia | Ayuntamiento de Las Gabias), tiene una sección dedicada a los estudios de impacto ambiental, paisajísticos y evaluaciones de riesgo de elementos medioambientales.

En esta sección se encuentra el Plan de Acción de Las Gabias, un documento publicado en 2018 que recopila las problemáticas ambientales mediante una actualización del diagnóstico ambiental, que afectan a los diferentes sectores e infraestructuras de la sociedad del municipio. Tras un análisis intensivo se redacta un plan de acción ambiental para contrarrestar las consecuencias de las problemáticas expuestas anteriormente mediante una serie de acciones, tanto sociales como técnicas, para un desarrollo sostenible. Además se

encuentra la Agenda urbana de Las Gabilas 2030 (*AGENDA 2030 LAS GABIAS*, 2025) que también contiene información de interés ambiental, cambio climático y energía.

4. Objetivos

El objetivo principal de este TFM es el desarrollo de un plan de adaptación al cambio climático en el municipio de Las Gábias en Granada. Se plantean los siguientes objetivos específicos que en su conjunto brindan información relevante para alcanzar dicho objetivo principal:

1. Analizar el marco normativo y de planificación vigente en materia de cambio climático y ordenación territorial.
2. Recopilar y tratar información climática, territorial y ambiental relevante para la elaboración del plan de adaptación. Se prestará especial atención a los datos relacionados con la exposición a riesgos, la sensibilidad del territorio y la capacidad adaptativa de la población.
3. Delimitar el alcance temático y territorial del plan, priorizando los riesgos climáticos más significativos. Esta priorización permitirá enfocar el proyecto en las amenazas más relevantes para la sostenibilidad del municipio, en función del diagnóstico previo y del análisis de vulnerabilidad.
4. Desarrollar un plan de adaptación local frente al cambio climático, estructurado en base a la información recopilada, el análisis territorial y el marco normativo vigente. Este plan incluirá medidas específicas y viables, alineadas con principios de sostenibilidad, resiliencia y participación ciudadana.
5. Plan de monitorización para medir cambios en los indicadores clave que permitan evaluar si las medidas reducen exposición y/o vulnerabilidad.

5. Metodología

Una vez se tiene el área de interés delimitada, el municipio de Las Gabias en Granada, se empezará con la búsqueda de información local, planes de ordenación y agendas de los ayuntamientos. Esto con el fin de tener un inventario inicial de los principales problemas ambientales que pueda tener dicho área respecto a los efectos del cambio climático y las actuaciones que el gobierno local o autonómico van a ejecutar para solventarlos. Se realizará una revisión de los instrumentos aplicables a escala municipal y supramunicipal, como los Planes Generales de Ordenación Urbana (PGOU), planes especiales, normativas ambientales locales, y estrategias regionales de adaptación.

Con información oficial se procederá con la búsqueda en portales nacionales o autonómicos de información geográfica/ambiental. Esta búsqueda se realiza para España, en la zona de estudio de este trabajo, principalmente en el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM). Ambos portales aportan desde datos económicos, sociales, de planificación o uso del suelo, hasta ambientales e históricos de precipitaciones.

Para el municipio seleccionado, Las Gabias, se van a determinar el NDVI y LST. El NDVI junto con modelos digitales de terreno (MDT) y datos históricos de precipitaciones, nos puede ayudar a visualizar las zonas con mayor riesgo de inundación. Esto debido a que menos vegetación y una pendiente poco inclinada favorecen la acumulación de agua en lugar de la infiltración en el suelo o la escorrentía. También es necesario tener en cuenta la distancia a los cauces de ríos para el método WLC que nos dará una combinación ponderada de diferentes capas de información espacial. Como resultado se obtendrá un índice que muestra el nivel de riesgo/idoneidad para un determinado fenómeno para cada punto en el espacio (Choubin et al., 2019; Elkhachy, 2015; Kazakis et al., 2015; Lee & Rezaie, 2022).

5.1 Obtención del mapa de riesgo de inundaciones mediante WLC

Para la elaboración del mapa de riesgo de inundaciones en el municipio de Las Gabilas se ha empleado el método de WLC (Combinación Lineal Ponderada en inglés), una técnica de evaluación multicriterio ampliamente utilizada en análisis espacial dentro de los SIG. Este método permite integrar de forma conjunta distintas variables relevantes en la determinación de la susceptibilidad a inundaciones, asignando a cada una un peso relativo en función de su importancia en el fenómeno.

5.1.1 Variables consideradas

Se han seleccionado tres factores clave para la modelización del riesgo de inundaciones en el ámbito de estudio, de acuerdo con la bibliografía científica y las fuentes de datos disponibles:

Cálculo NDVI

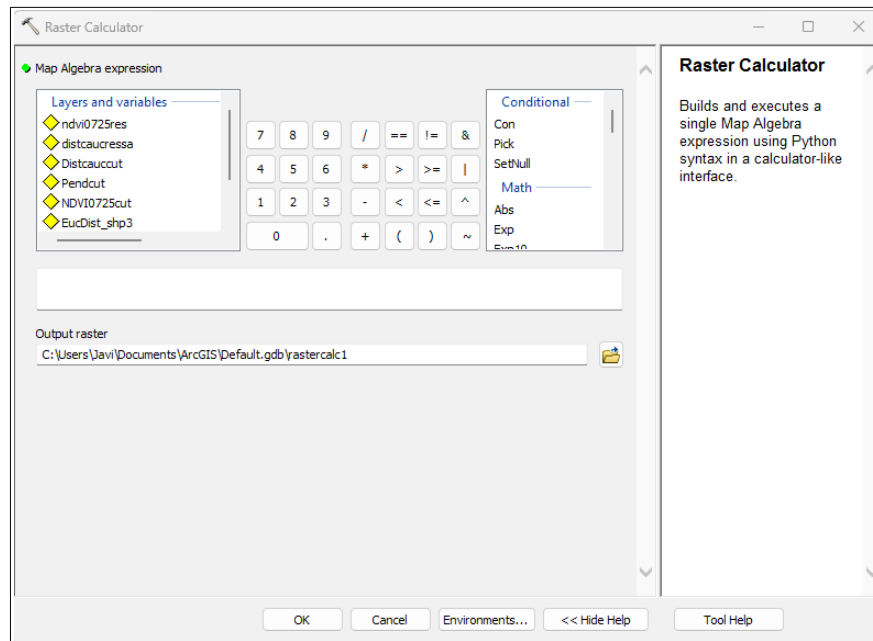
Para la obtención del NDVI se necesita previamente una imagen satelital con las bandas B04 (rojo) y B08 (infrarrojo cercano). Para la zona de estudio se descargan desde el portal Copernicus Browser. Una vez se tengan descargadas ambas bandas o la imagen entera se procede a cargarlas en un SIG para su operación (QGIS o ARCmap). En el software SIG se procede a usar la calculadora ráster (raster calculator) para operar ambas bandas (Figura 1). La fórmula es la siguiente:

$$NDVI = (B08.TIFF - B04.TIFF) / (B08.TIFF + B04.TIFF)$$

Con el LST y NDVI se obtienen las zonas que más temperatura concentran y se contrastan entre sí para relacionar calor en la superficie con carencia de vegetación. De esta manera se localizan las áreas más vulnerables al UHI

Figura 1

Ventana de “raster calculator” en ARCmap.

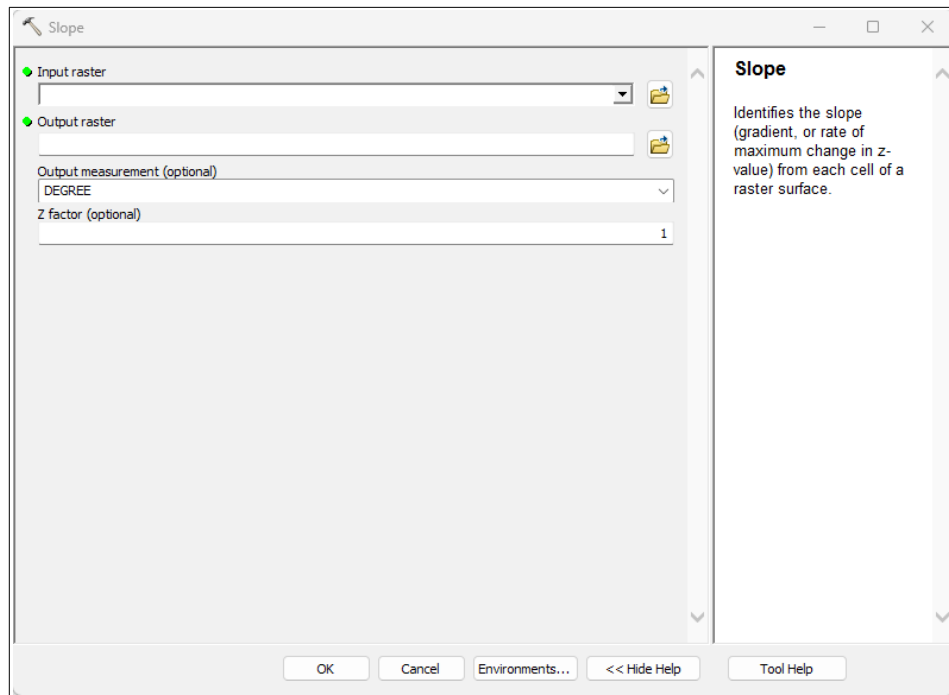


Cálculo de pendientes

Para la obtención de una capa de información geográfica que muestre la pendiente en el espacio se debe primero tener el MDT de la zona de estudio. Con este archivo se puede calcular la pendiente mediante la herramienta de ARCmap “Slope” (Figura 2).

Figura 2

Herramienta “Slope” (Pendiente) de ARCmap.

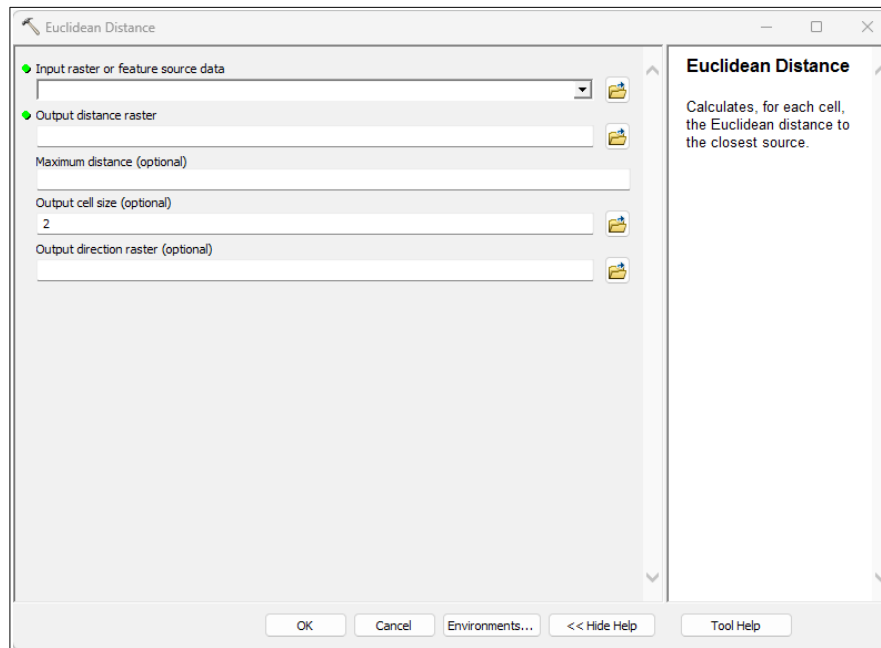


Cálculo de distancia a cauces

Para una correcta evaluación de las zonas más susceptibles de inundación se debe de incluir para el WLC la distancia para cada punto del espacio a un cauce. Esto determina la exposición de las diferentes áreas a la influencia de los cauces que están presentes en el municipio. Para su cálculo se debe de tener una capa vectorial que contenga los cauces que hay presentes, posteriormente se ejecuta la herramienta “Euclidean distance” (Figura 3). Esta herramienta devuelve, para una capa introducida, la distancia a los polígonos/líneas que conforman la capa para cada punto del espacio.

Figura 3

Herramienta “Euclidean distance” en ARCmap.



5.1.2 Zonas con mayor riesgo de inundaciones según método WLC

1. Estandarización de variables: cada uno de los factores se reclasificará mediante la herramienta “reclassify” en una escala ordinal de 1 (muy bajo) a 5 (muy alto), de forma que valores altos representan una mayor contribución al riesgo de inundación. Esta estandarización permite la combinación directa de capas con unidades y rangos distintos.

2. Asignación de pesos: se otorgará a cada variable un peso relativo atendiendo a criterios técnicos y al conocimiento científico sobre la dinámica de inundaciones en entornos urbanos y periurbanos. Estos pesos reflejan la importancia relativa de cada factor dentro del modelo.

3. Combinación lineal ponderada: las capas estandarizadas serán integradas mediante la expresión:

$$WLC = \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i$$

Donde w_i representa el peso asignado a cada variable y x_i su valor estandarizado. El resultado final es un mapa continuo con valores entre 1 y 5, que refleja la susceptibilidad relativa a inundaciones en el municipio.

5.2 Cálculo de LST

La LST se obtendrá a partir de la banda térmica de Landsat-9 (B10) convirtiendo primero los valores radiométricos a temperatura de brillo y aplicando a continuación la corrección por emisividad derivada del NDVI. Para estimar la emisividad se utilizará un ráster de NDVI (por ejemplo de Sentinel-2 que ya se ha obtenido) y se asignarán valores representativos según la cobertura (vegetación densa, vegetación escasa/suelo, superficies urbanas), de modo que la corrección Planck-basada reduzca el sesgo entre temperatura de brillo y temperatura real de la superficie. El resultado será un ráster LST en grados centígrados que se puede clasificar por rangos o percentiles y cruzar espacialmente con capas de uso del suelo, pendientes y unidades administrativas para extraer estadísticas zonales y detectar parches térmicos relevantes.

5.3 Reclasificación de los datos ráster obtenidos

Los umbrales de reclasificación (NDVI, pendiente, distancia a cauces...), así como los pesos en el WLC, se adoptaron siguiendo rangos comúnmente utilizados en estudios similares de susceptibilidad a inundaciones (ej. Choubin et al., 2019; Kazakis et al., 2015). Estos valores se adaptaron de forma preliminar al caso de Las Gabias y se reconoce que futuros estudios deberían afinarlos con datos de campo o mediante percentiles locales.

6. Análisis y resultados

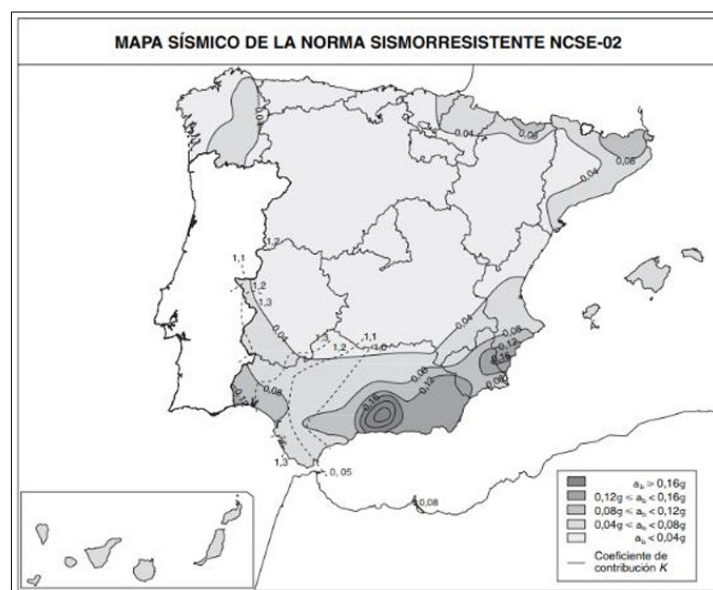
6.1 Inventario de riesgos naturales y efectos del cambio climático

El análisis del marco normativo y de planificación vigente en materia de cambio climático y ordenación territorial (Agenda 2030 Las Gabilas , 2025), muestra apartados específicos para las cuestiones de riesgos naturales, medioambiente y cambio climático. Los principales riesgos que pueden afectar al municipio de Las Gabilas son:

- Sismicidad: Liberación de energía de la corteza terrestre acumulada, como consecuencia del choque de las placas tectónicas. Se puede apreciar que es la zona sísmica mas activa de la península (Figura 4).

Figura 4

Mapa sísmico de la península Ibérica.



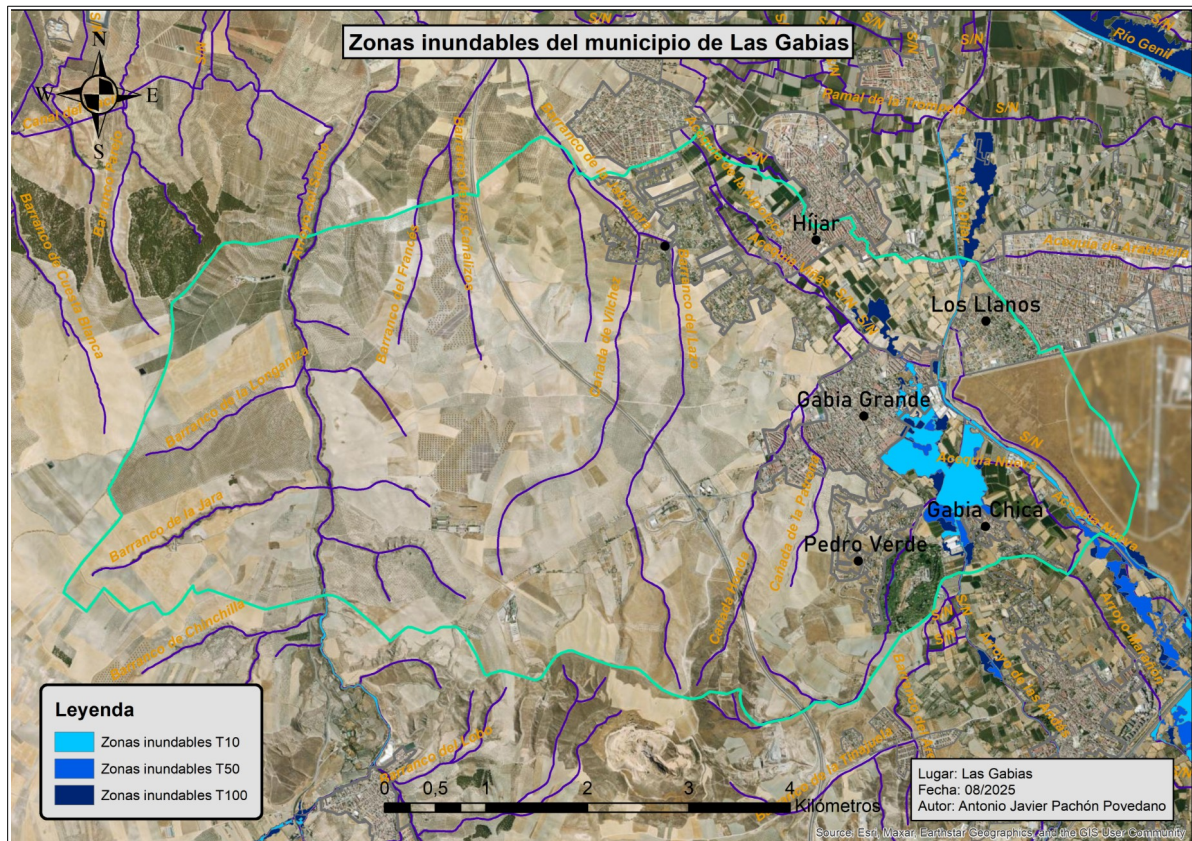
Fuente: Norma sismorresistente NCSE-02

- Inundaciones: Crecidas repentinas de los niveles de los ríos o escorrentía intensa debido a fenómenos de precipitación intensos que afectan a zonas urbanizadas y

cultivos. Las Gabias presentan posibilidad de inundación (Figura 5) por la presencia del río Dílar, que baja directamente de Sierra Nevada, y con el clima actual que se caracteriza por inviernos fríos y lluviosos, y veranos secos y calurosos.

Figura 5

Zonas inundables con tiempo de retorno de 10, 50 y 100 años.



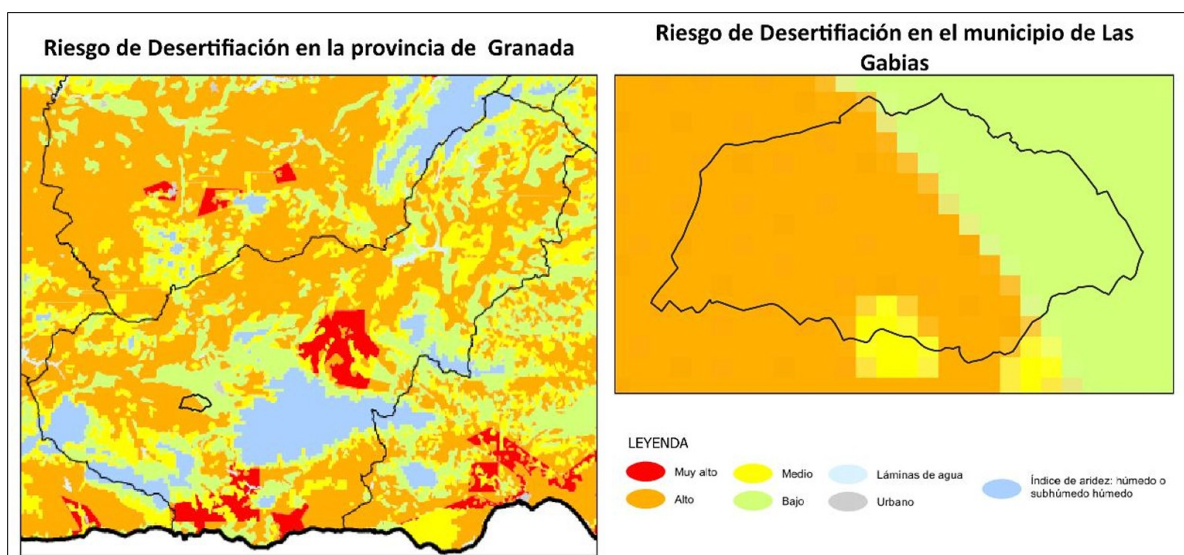
Fuente de los datos: IGN

- Desertificación: El riesgo de pérdida de fertilidad física del suelo afectando a los campos de cultivo principalmente. Está relacionado con la geomorfología del terreno y las condiciones bioclimáticas de la zona: Pérdida de vegetación que retenga agua, la succione de nivel freático o que reduzca la insolación en el suelo y la consecuente

evapotranspiración del agua presente. Como se aprecia en la figura 6, la desertificación esta afectando a gran parte del municipio.

Figura 6

Mapa de riesgo por desertificación en España.



Fuente: (PAND, 2008).

La Agenda 2030 de Las Gábias también tiene un análisis DAFO en cuestiones climáticas y se consideran para abordar dicho análisis los siguiente retos:

- Proteger y conservar el paisaje agro-natural tradicional.
- Fomentar el uso de los espacios y corredores verdes del municipio.
- Dotar al municipio de infraestructuras que aseguren un sistema hidrológico seguro, sostenible y que respete las infraestructuras tradicionales.
- Dotar al municipio de un punto limpio.
- Reducir las emisiones de CO2 y ser más eficientes energéticamente.

Dichos retos se alinean parcialmente con el objetivo principal del TFM.

Por otro lado los planes de acción para el municipio en algunos puntos podrían ser insuficientes. Esto debido a que la problemática expuesta no se ve reflejada en actuaciones para su resolución. Las medidas de actuación sobre las problemáticas expuestas deberían encontrarse en los apartados de Plan de Acción, en concreto en los planes 1 y 3 (Las Gabias Natural y Las Gabias Resiliente respectivamente).

Las Gabias Natural (plan para la protección del medio ambiente) tiene como principales actuaciones:

- Plan Especial de Protección del Paisaje.
- Recuperación Paisaje de la Vega de Granada.
- Área de esparcimiento del río Dílar

Para el plan Las Gabias Resiliente (mejora de la resiliencia frente al cambio climático) las actuaciones programadas son las siguientes:

- Plan Las Gabias + Energética.
- Edificios públicos cero emisiones.
- Mejora de las Infraestructuras de Alumbrado Público.
- Programa de fomento y mejora de la gestión de residuos.
- Dotar al municipio de un Punto Limpio.
- Puntos de recarga de vehículos eléctricos.

Como se aprecia en las medidas propuestas, faltan en cuestiones de riesgo de inundaciones e infraestructuras para su canalización y protección del municipio. Además de tampoco ofrecer medidas reales y efectivas en cuestión de desertificación. Se proponen principalmente, para la resolución de las problemáticas expuestas, la creación de áreas de esparcimiento en torno al río Dílar, fomentar el uso de corredores verdes, y medidas de protección del paisaje y la Vega de Granada; pero dejando de lado la desertificación que en el mismo documento se expone. Se tocan los temas de forma superficial y exponiendo qué hace

falta hacer o a qué objetivo de desarrollo sostenible (ODS) están vinculados, pero no cómo hacerlo. Por lo tanto se prosigue con la búsqueda de soluciones a las problemáticas objetivo.

6.2 Procedimiento para determinación de zonas inundables y UHI

Para el municipio de Las Gabias se van a dimensionar las capas de información geográfica a la extensión del municipio. Esto se lleva a cabo para agilizar los cálculos y el procesamiento del programa ARCmap. El inventario de capas que se van a utilizar y redimensionar son:

1. Bandas B04 y B08 para la obtención del NDVI.
2. MDT de la zona de estudio, del que se obtendrá la capa con las pendientes.
3. Hidrografía en el municipio (ríos, arroyos y acequias).
4. LST mediante la banda B10.
5. Uso de suelo. Esta capa de información vectorial servirá para la interpretación de los datos.

6.2.1 Obtención del NDVI

Se descargó la imagen completa del día 21/07/25 para el tratamiento de las bandas por separado. La descarga se realizó a través del portal Copernicus Browser, del satélite Sentinel-2 L2A. Los archivos concretos con los que se calcula el NDVI son:

1. “T30SVG_20250721T105619_B04_10m.JP2” que corresponde con el rojo (banda B04).
2. “T30SVG_20250721T105619_B08_10m.JP2” que corresponde con el infrarrojo cercano (banda B08).

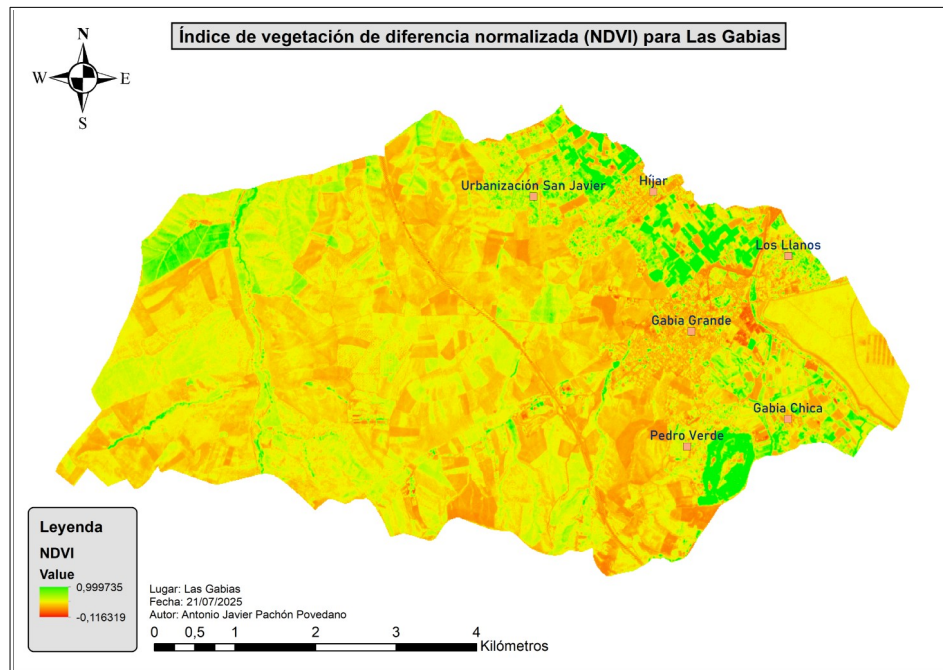
Una vez cargados en el SIG se ejecuta “raster calculator” con la fórmula:

$$\text{NDVI} = (\text{B08.TIFF} - \text{B04.TIFF}) / (\text{B08.TIFF} + \text{B04.TIFF})$$

Obteniendo el ráster NDVI y ajustando la extensión de la capa a la del municipio (Figura 7).

Figura 7

NDVI para el municipio de Las Gabias.



Pero para su análisis WLC se requieren valores discretos, por lo tanto hace falta reclasificar, con la herramienta “Reclassify”, por rangos que correspondan a menor vegetación y mayor riesgo (5); o mayor vegetación y menor riesgo (1) (Tabla 1 y Figura 8).

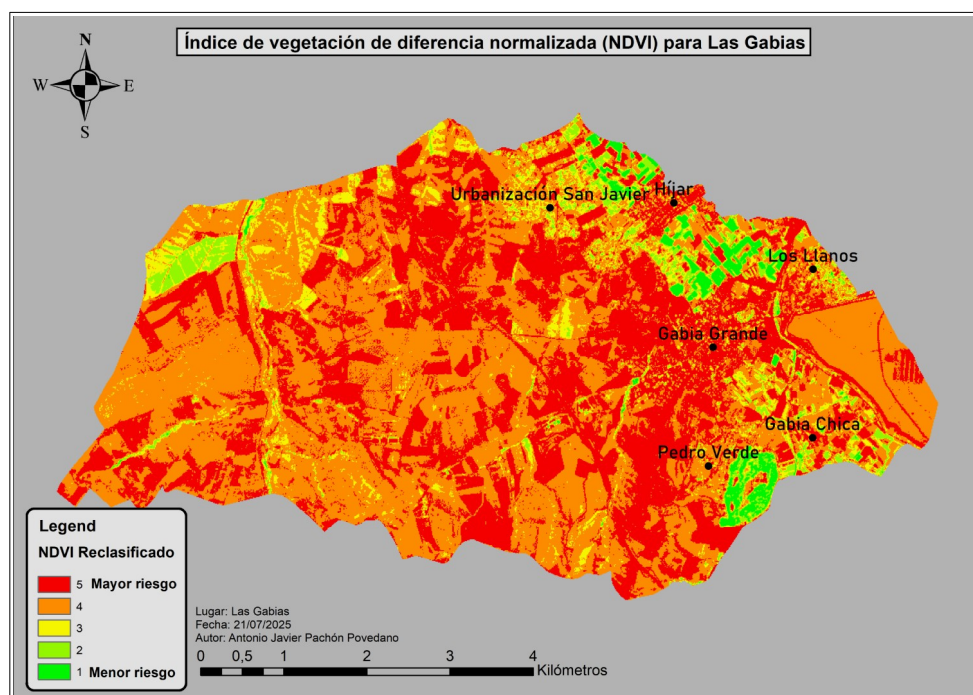
Tabla 1

Reclasificación del NDVI según riesgo de inundación.

NDVI	Interpretación	Valor de riesgo
< 0,1	Suelo desnudo / Urbano	5
0,1 – 0,2	Vegetación escasa	4
0,2 – 0,3	Vegetación baja	3
0,3 – 0,5	Vegetación moderada	2
> 0,5	Vegetación densa	1
Fuente: Cetin et al., 2024.		

Figura 8

NDVI clasificado según riesgo.



6.2.2 Cálculo de pendientes

Para el cálculo de las pendientes se requiere el MDT de la zona de estudio. Para Las Gábias se descarga del IGN. Una vez descargado se carga en el SIG y se ejecuta la herramienta “Slope” para el cálculo de las pendientes. Al igual que la capa NDVI, requiere ajuste y reclasificación (Tabla 2). Obteniendo la capa de pendientes para Las Gábias (Figura 9).

Figura 9

Pendientes clasificadas por riesgo.

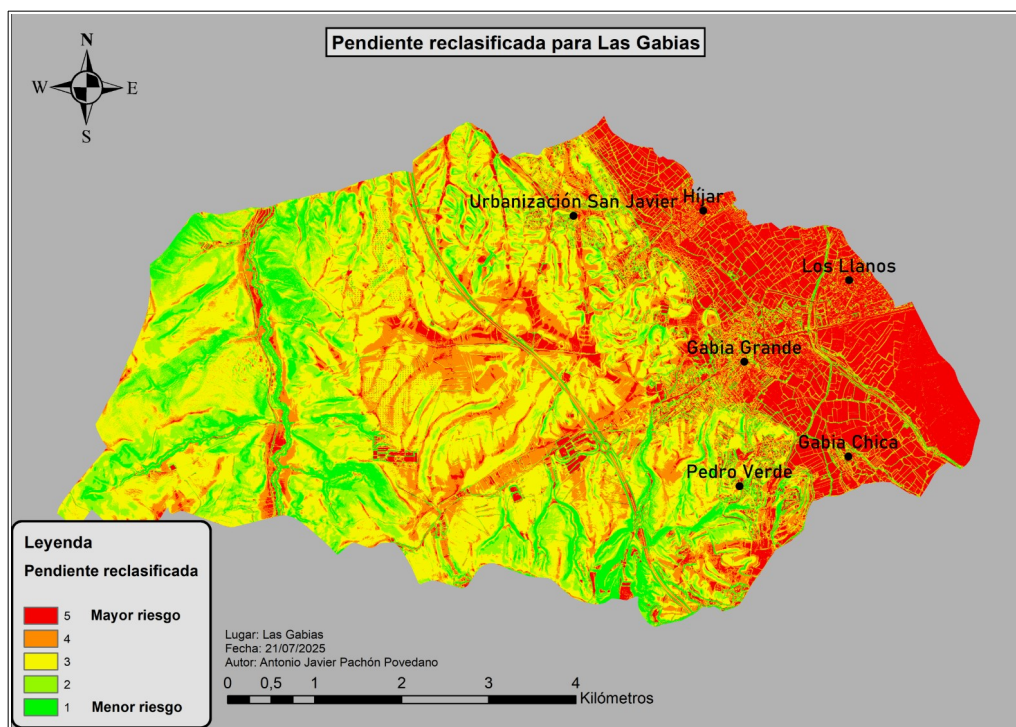


Tabla 2

Reclasificación de pendiente según riesgo.

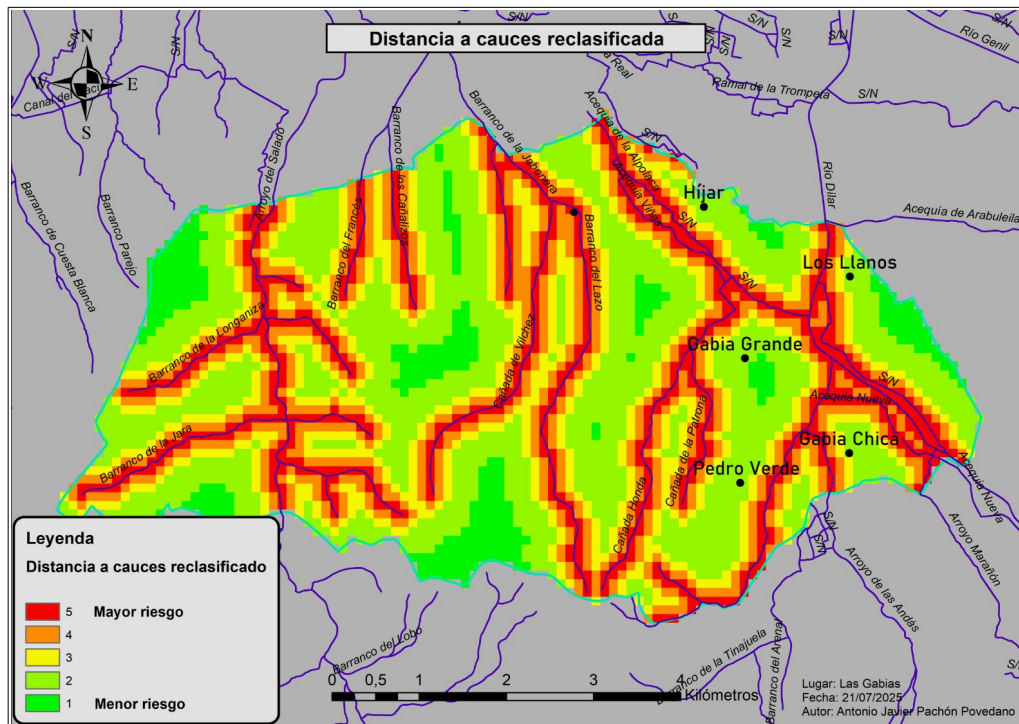
Pendiente (°)	Riesgo de inundación	Valor
< 2	Muy alto	5
2 - 5	Alto	4
5 - 15	Medio	3
15 - 35	Bajo	2
> 35	Muy bajo	1
Fuente: Kazakis et al., 2015.		

6.2.3 Determinación de distancia a cauces

La herramienta SIG que nos ofrece la distancia a los cauces para cada punto del espacio es la llamada “Euclidean distance”. Para su ejecución hace falta tener la información geográfica referente a los cauces que pasen por el municipio en un archivo vectorial y se obtendrá un archivo ráster. Al igual que las demás capas se debe de reclasificar para que corresponda con valores ponderables discretos y no los absolutos (Figura 10 y Tabla 3).

Figura 10

Distancia a cauces clasificada por riesgo.

**Tabla 3**

Reclasificación de distancia a cauces según riesgo.

Distancia a cauces (m)	Riesgo de inundación	Valor
0 – 50	Muy alto	5
50 - 100	Alto	4
100 - 200	Medio	3
200 - 500	Bajo	2
> 500	Muy Bajo	1

Fuente: Kazakis et al., 2015.

6.2.4 Determinación de zonas con mayor riesgo de inundaciones

El método WLC consiste en un análisis multicriterio para el cuál se requiere información geográfica previa a la que se atribuirá un peso para su ponderación, con el objetivo de determinar las zonas con mayor riesgo de inundación. Las capas que se utilizan y sus pesos son:

1. NDVI (40%)
2. Distancia a los cauces (30%)
3. Pendiente (30%)

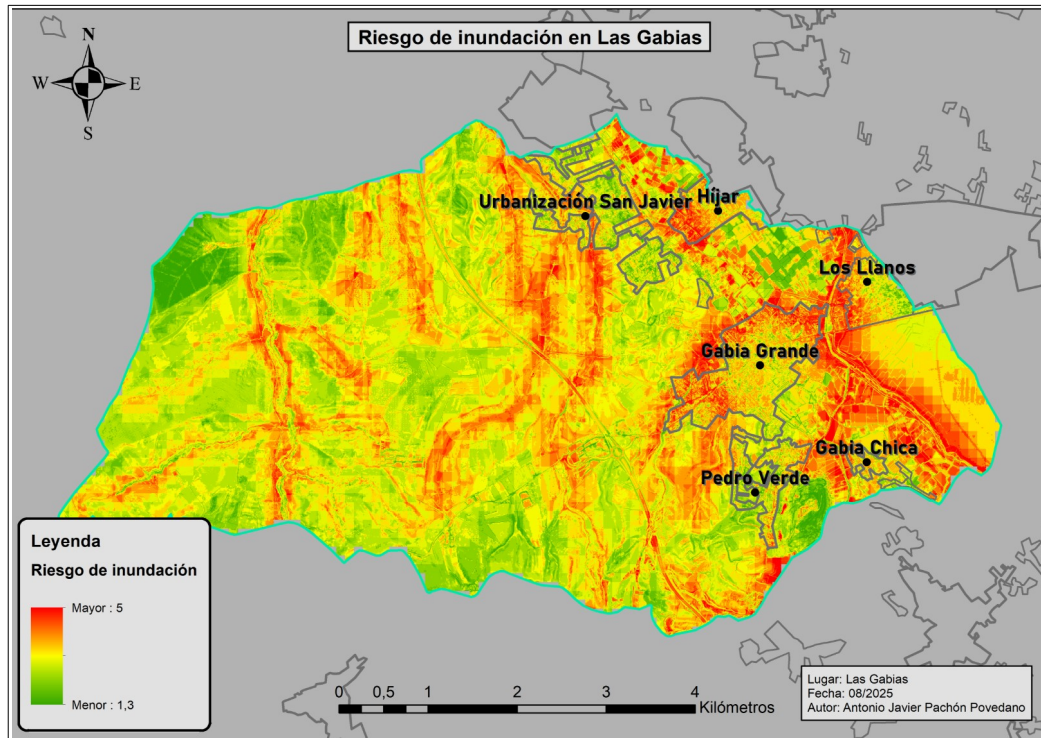
Quedando la fórmula siguiente:

$$WLC = (NDVI \cdot 0,4) + (Distancia\ a\ cauces \cdot 0,3) + (Pendiente \cdot 0,3)$$

Para el cálculo se va a utilizar la herramienta “Raster calculator”, obteniendo la capa de zonas con mayor riesgo de inundaciones (Figura 11).

Figura 11

Zonas con mayor riesgo de inundaciones.



6.2.5 Cálculo LST

Para el cálculo de la temperatura de la superficie terrestre se parte de una imagen satelital del Landsat 9, obtenida el día 04/08/2025, en plena ola de calor afectando a toda España. El archivo descargado desde su portal web contiene todas las bandas que es capaz el satélite de captar pero sólo es útil en este punto la banda 10 (sensor térmico infrarrojo). El archivo .TIFF que corresponde a la banda 10 ya está ajustado a la temperatura superficial en grados kelvin pero hace falta ajustarlo a °C, para ello se sigue la fórmula siguiente (*Archivo EROS Del USGS - Archivo Landsat - Colección de Datos de Nivel 1 Del Sensor de Imágenes Terrestres Operacionales Landsat 8-9 y Sensor Térmico Infrarrojo 2 | Servicio Geológico de Estados Unidos, n.d.*):

$$LST = (B10 \cdot 0,00341802 + 149) - 273,15$$

Estando los valores usados localizados en el archivo MLT.txt que viene acompañando a los archivos ráster del Landsat 9:

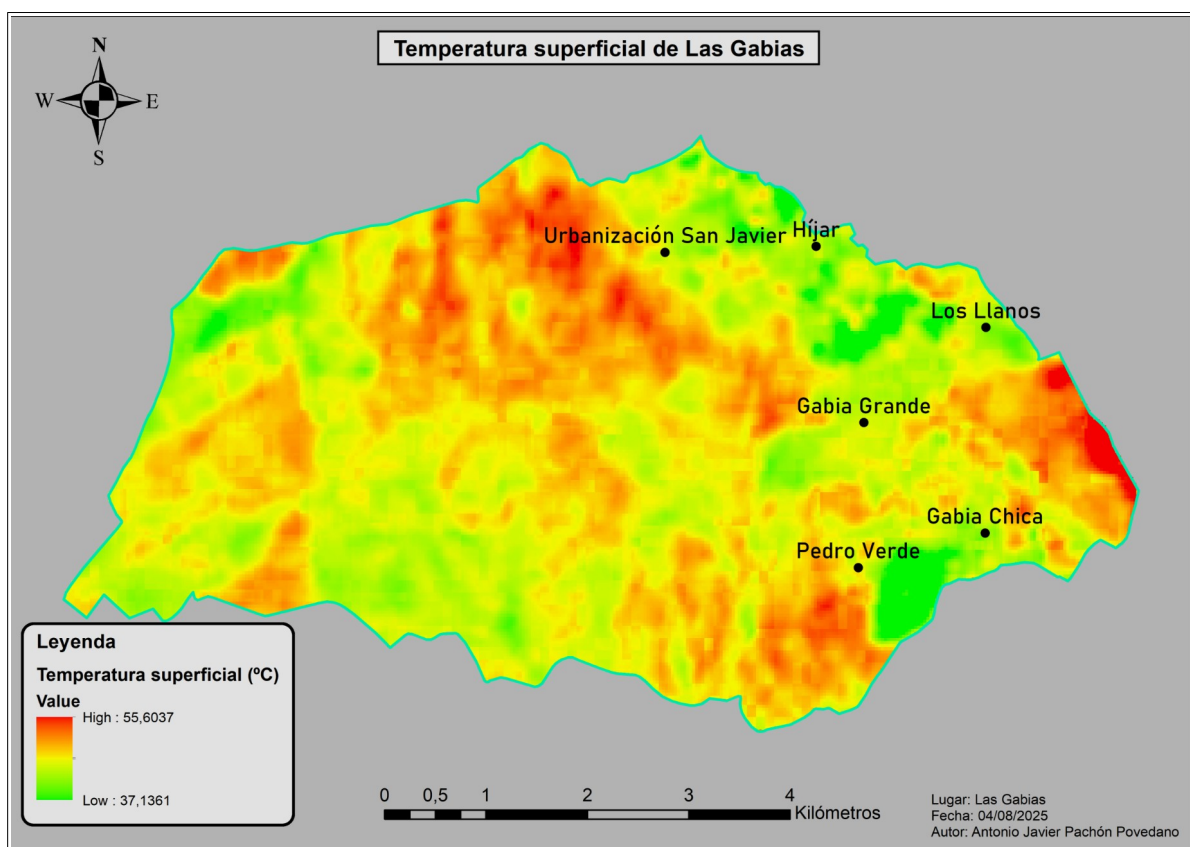
TEMPERATURE_MULT_BAND_ST_B10 = 0.00341802

TEMPERATURE_ADD_BAND_ST_B10 = 149.0

Obteniendo el mapa representando LST (Figura 12).

Figura 12

Temperatura superficial aproximada para Las Gabias.



Para la obtención de unos valores de LST más precisos hace falta corregir el valor contrastando la temperatura superficial con la emisividad de la superficie terrestre. Para ello se utiliza la emisividad superficial según NDVI, clasificando los valores de la siguiente forma con la herramienta “reclassify”:

- $NDVI < 0,2 \rightarrow \epsilon=0,97$ (suelo desnudo/urbano)
- $NDVI 0,2-0,5 \rightarrow \epsilon=0,98$ (vegetación media)
- $NDVI > 0,5 \rightarrow \epsilon=0,99$ (vegetación densa)

Además de tener que utilizar la temperatura superficial en grados Kelvin y ajustarla mediante la resta final de 273,15.

Calculamos con “raster calculator” la LST ajustada por emisividad con la fórmula siguiente:

$$LST \text{ ajustado} = \frac{BTk}{1 + \frac{\lambda \cdot BTk}{\rho} \cdot \ln(\epsilon)} - 273,15$$

Donde:

- BTk: la temperatura calculada en K correspondiente a la banda 10.
- λ : Longitud de onda central. Para la banda 10 del Landsat 9 corresponde a los 10,895 μ m.
- ϵ : Emisividad superficial según NDVI.
- ρ : 14388 μ m·K

Y se clasifican los valores por percentiles para una visualización clara de los datos obtenidos, además de obtener estadísticas importantes (Figura 13 y figura 14).

Figura 13

Temperatura superficial clasificada por percentiles.

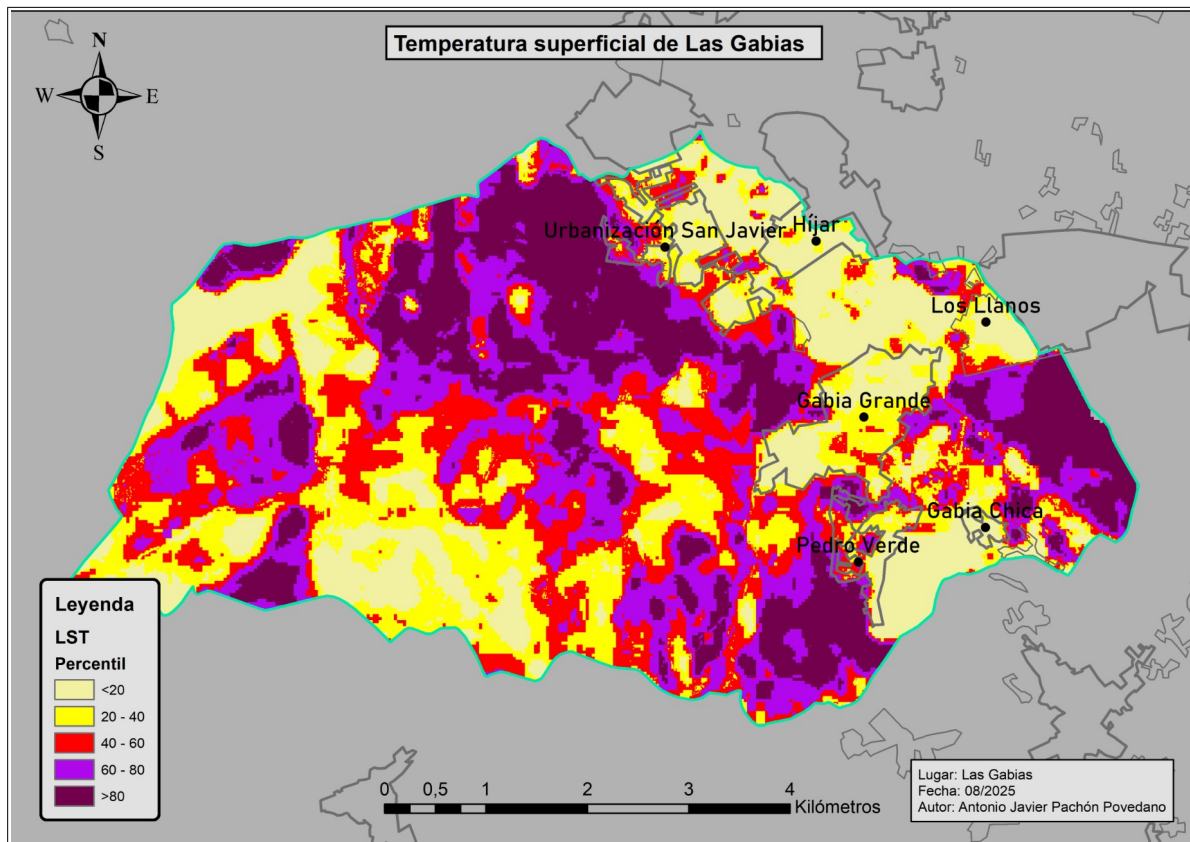
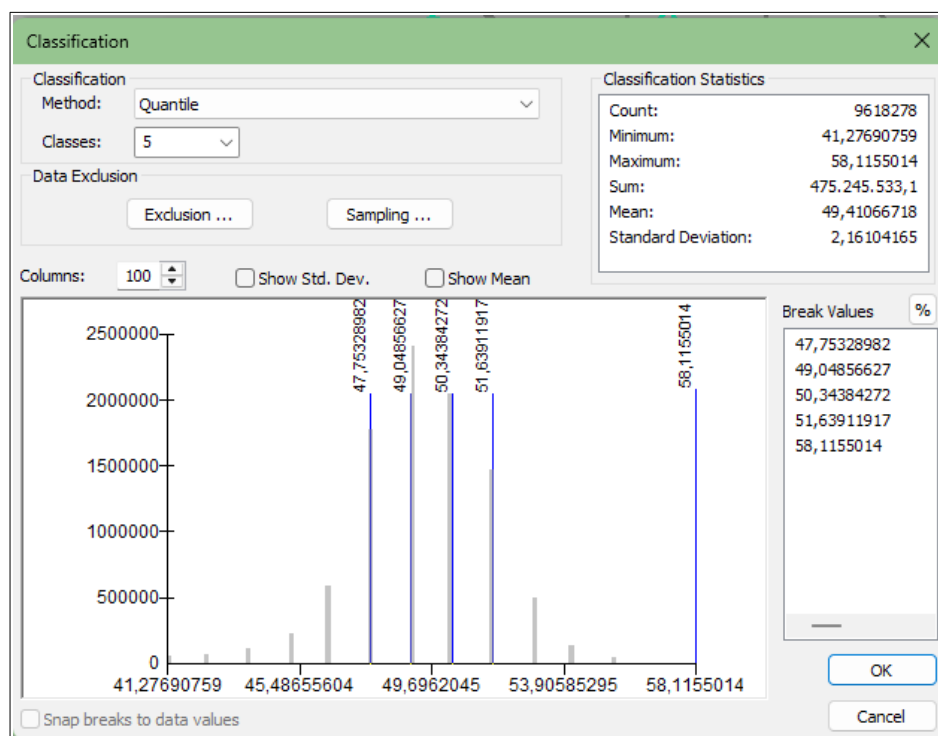


Figura 14

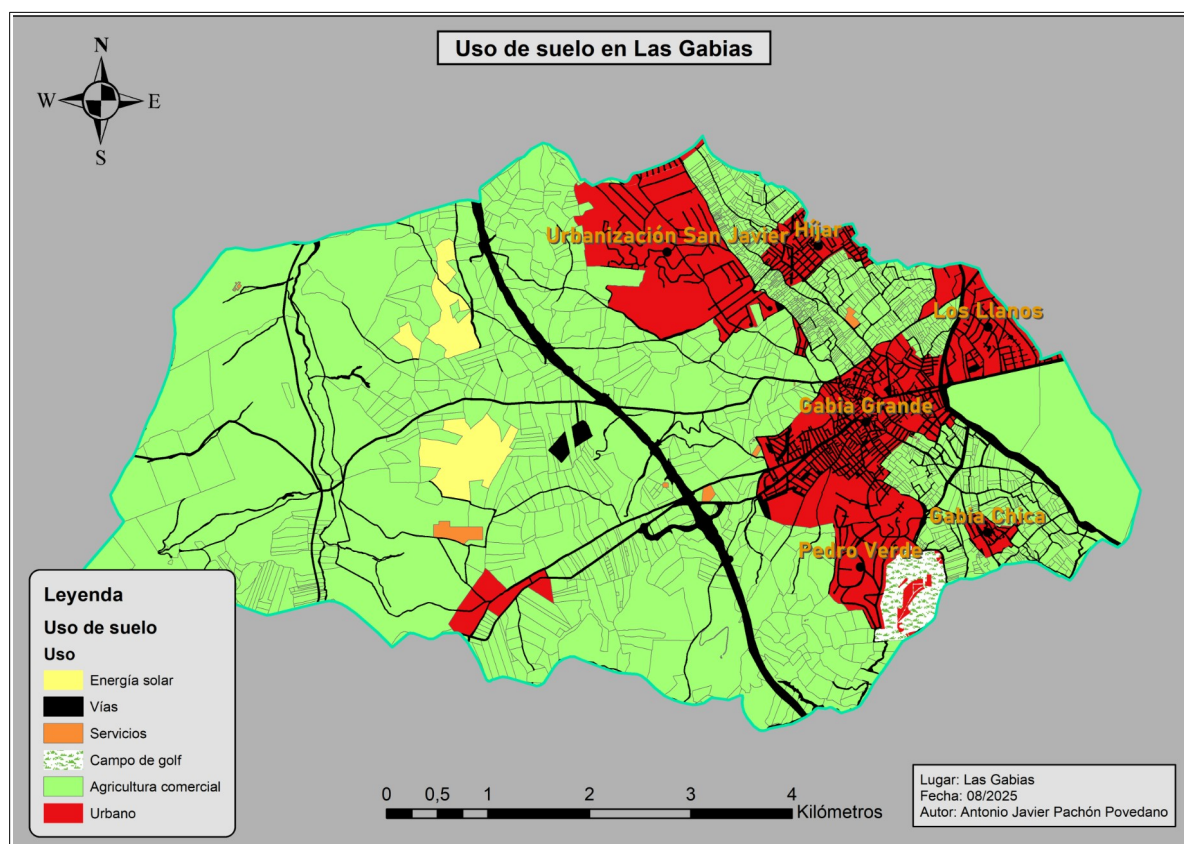
Clasificación por cuantiles y estadísticas asociadas a la capa LST.



En el mapa de LST (Figura 13), las áreas **moradas** (percentiles más cálidos) coinciden espacialmente con parches de suelo desnudo, principalmente cultivos de secano (olivares o frutos con cáscara con nula cubierta vegetal del suelo) y las franjas periurbanas, mientras que las zonas **amarillas** representan los percentiles menos cálidos, asociadas a cobertura vegetal escasa o baja (Figura 15).

Figura 15

Uso de suelo en el municipio de Las Gabias.



Esta distribución indica la presencia de una **isla térmica inversa** en la periferia de Las Gabias: la menor humedad y la baja capacidad de evapotranspiración de los suelos desnudos hacen que las áreas rurales/periurbanas alcancen temperaturas superficiales superiores a las de algunos núcleos urbanos. Este patrón —reforzado por la diferencia térmica observada entre los percentiles extremos— tiene implicaciones directas para la planificación local, pues sugiere que las medidas de mitigación (incremento de la cubierta vegetal, restauración de márgenes ribereños y superficies permeables) deberían priorizarse en las zonas moradas para reducir la exposición térmica y mejorar el confort ambiental.

6.3 Propuestas de mitigación para los fenómenos de cambio climático que afectan a Las Gabias

Para una correcta mitigación de las problemáticas que afectan al municipio de Las Gabias se requiere la identificación de las zonas más vulnerables o afectadas por los efectos del cambio climático. En los apartados anteriores se han determinado las diferentes zonas clasificadas según el riesgo de sufrir unos fenómenos concretos, por lo tanto se van a visualizar dichas zonas, analizar y proponer, según sus necesidades, las SBN oportunas.

6.3.1 Mitigación de riesgo de inundación

Una vez localizadas las zonas más propensas a inundarse, según lo calculado anteriormente, se procede a la propuesta de actuaciones que reduzcan la probabilidad de ocasionar daños por parte de precipitaciones elevadas o riadas repentinas.

Áreas principales para la actuación

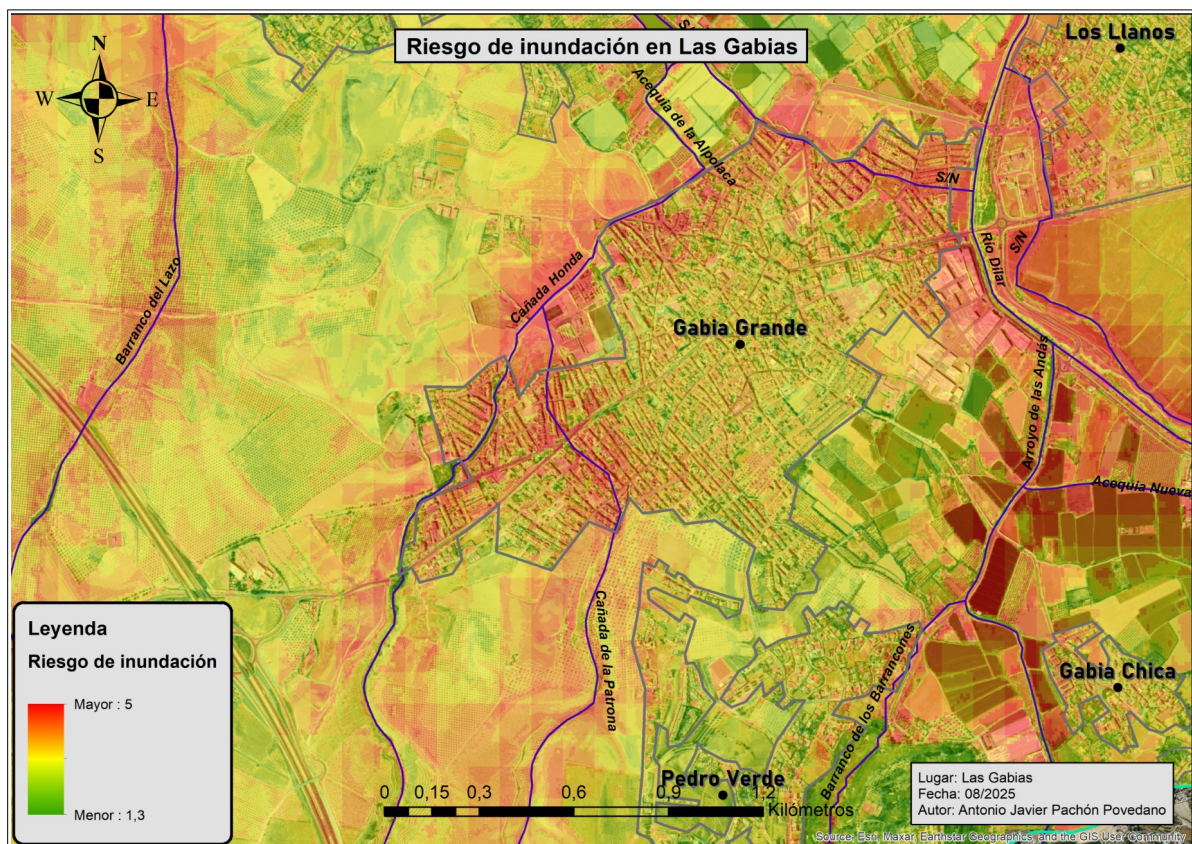
Las áreas en las que se debe priorizar las tareas de adaptación al riesgo de inundaciones son las que corresponden con una tonalidad roja, indicando mayor riesgo/probabilidad de inundación, y que se encuentren en las inmediaciones o interiorizadas en zonas urbanizadas (Figura 11). Estas áreas enumeradas son:

1. Inmediaciones del río Dílar: En las inmediaciones del río Dílar, a su paso por Gabia Grande, presenta un riesgo significativo de inundación. Esto debido a que el río procede directamente de Sierra Nevada y, junto a un fenómeno de DANA que pueda suceder, podría desbordarse con un caudal mayor al que está diseñado el cauce ya que presenta abundante vegetación, inclusive invasora “*Arundo donax*” (Figura 19D) que promueve el daño con fenómenos de riadas o inundaciones al partirse sus tallos y formar parte de los materiales arrastrados por las posible riadas o salidas de cauce. Las infraestructuras o construcciones que son susceptibles de sufrir daño son tanto el polígono industrial (sobretudo las zonas más próximas al río), Las viviendas situadas

en la zona noreste de Gabia Grande junto al río también tienen un alto riesgo de inundación (Figura 16). Se debe a que tiene los tres factores clave que son pendiente menor de 2°, proximidad a cauces a menos de 50 metros y un NDVI bajo (correspondiente con suelo urbano).

Figura 16

Riesgo de inundación en Gabia Grande.



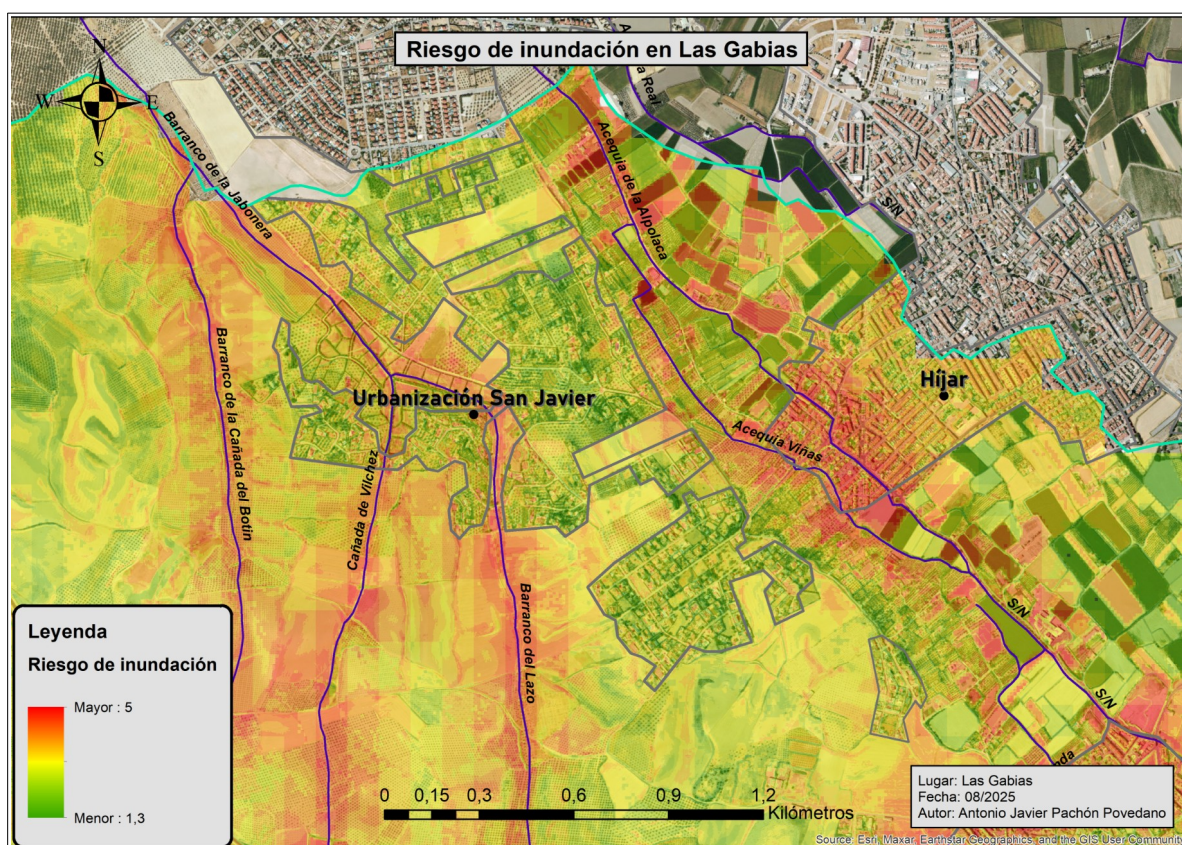
2. Inmediaciones de la cañada Honda y cañada de la Patrona: Al oeste de Gabia Grande pasan dos cañadas atravesando zonas urbanizadas (Figura 16). Según el método WLC hay riesgos de que se produzcan desbordamientos ocasionando inundaciones. Pero a diferencia de lo descrito en el primer punto de este apartado, estos cauces no provienen de Sierra Nevada, por lo cual el recorrido y cuenca hidrológica no son de la

misma magnitud. Aún así en casos extremos de precipitaciones como sucedió en el fenómeno de la DANA de Valencia podría llegar a inundarse.

3. Híjar, en la zona suroeste (Figura 17), tiene una gran susceptibilidad para las inundaciones debido principalmente al paso de dos acequias (que implica que el flujo de la lámina de agua tiene esa dirección) y su pendiente inferior a 2° que favorece la acumulación de agua.

Figura 17

Riesgo de inundación en San Javier e Híjar.



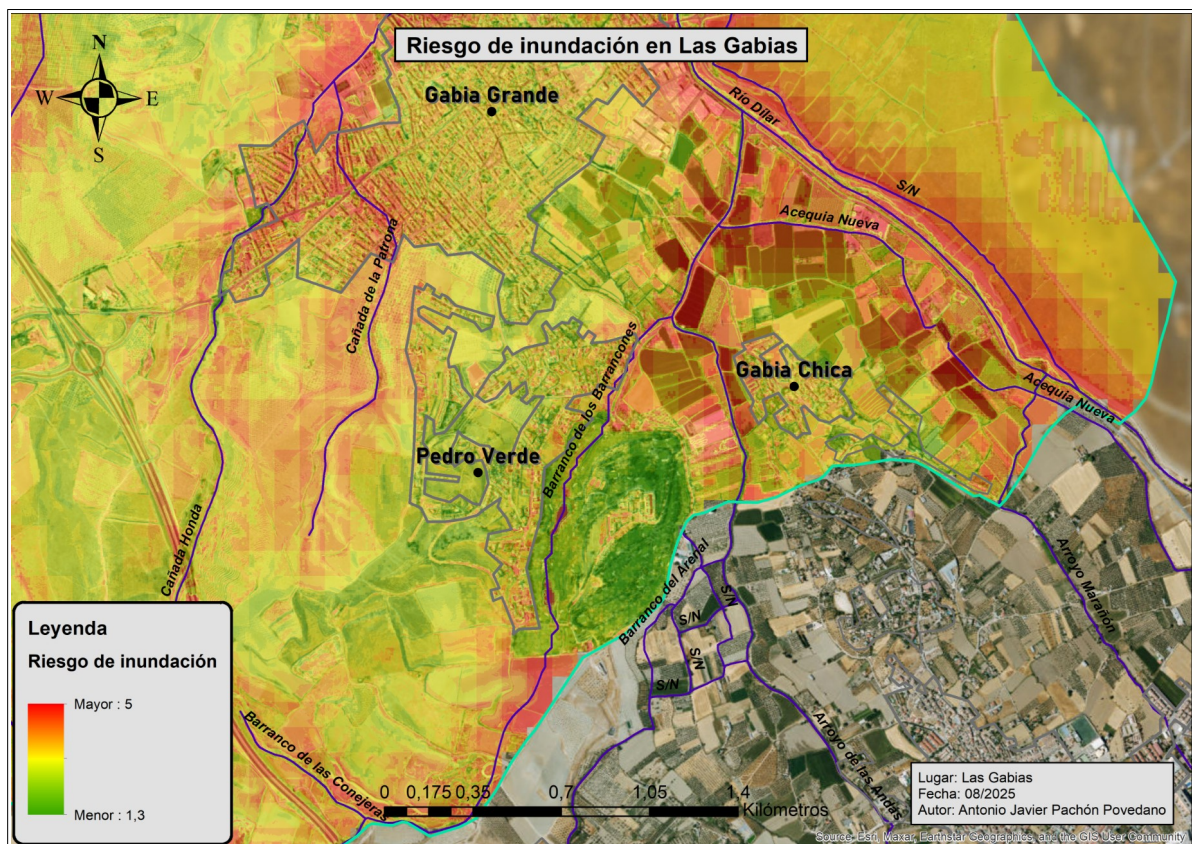
4. En cambio la zona de la urbanización San Javier tiene menor riesgo, y el presente está concentrado en lugares donde no hay construcciones. El área con mayor riesgo

corresponde con solares en los que no hay construcciones ni cultivos por lo que aún habiendo alta probabilidad de inundación, el riesgo se reduce.

5. En Pedro Verde (Figura 18) no hay prácticamente riesgo de inundación debido a que en la zona hay abundante vegetación y pendiente, ocasionando escorrentía e infiltración del agua.

Figura 18

Riesgo de inundación en Pedro Verde y Gabia Chica.



6. Gabia Chica por su parte si tiene mayor probabilidad de inundación en el área urbana (zona noroeste de la aldea) y en los campos de cultivo de los alrededores que son principalmente herbáceos que ya han sido recogidos a fecha de la realización de este

TFM, por lo que la infiltración se ha reducido significativamente. A eso se combina la baja pendiente ($<2^\circ$) en toda la zona.

Propuestas de mejora y monitorización

1. Las inmediaciones del río Dílar (figura 19), a fecha de agosto de 2025, están prácticamente secas. Tanto el área verde que está al margen derecho del cauce (figura 19A) como la vegetación presente en el cauce están secas. Esto sumado a que el suelo en gran parte de la sección del cauce del río esta también compactado e impermeabilizado en cierta medida. Estas características favorecen que el agua no se infiltre en el subsuelo y vaya aumentando el caudal conforme avanza por el cauce al sumarse la escorrentía. Por ello las medidas que se proponen en este punto son:
 - Eliminación de vegetación seca y reemplazo por arbustos o vegetación de baja altura en el mismo cauce, principalmente especies resilientes que tengan raíces profundas para aguantar el estrés hídrico en verano (retama, tomillo y romero, por ejemplo). Esto favorece la infiltración del agua en el subsuelo, frenando las posibles riadas.
 - En los márgenes del cauce plantar árboles de rivera (álamos, fresnos, chopos u olmos). Al igual que el punto anterior, los árboles de rivera actúan de manera efectiva en la infiltración de agua en el subsuelo.
 - Eliminación de la especie invasora *Arundo donax*. Esta especie es contraproducente en fenómenos de riadas o inundaciones porque desplaza la vegetación autóctona, reduce el caudal de los ríos al estrechar los cauces, taponar infraestructuras y favorece la propagación de incendios debido a la gran cantidad de biomasa que acumula. Esto se puede realizar mediante campañas de poda preventiva por parte del ayuntamiento y con posibilidad de participación ciudadana.

- Monitorización de precipitaciones y caudal: Para ello se deben de colocar sensores en diferentes segmentos del río Dílar para controlar el caudal, además de sensores pluviométricos para la correcta monitorización y ayudar a la actuación en caso de peligro o catástrofe. Además, el río Dílar pasa anteriormente por otros municipios por lo cual la comunicación y acceso a dichos datos, así como la instalación de estos sensores deben de estar coordinados por todos ellos a lo largo del recorrido del río.

Figura 19

Imágenes del estado actual del tramo del río Dílar a su paso por Las Gabias (agosto, 2025); A) Sentido en dirección del caudal; B) Sentido contrario a la dirección del caudal; C) Vegetación presente en el cauce y área de inundación; D) Especie invasora “Arundo donax” o caña común.





2. Para el resto de zonas con alto riesgo de Gabia Grande se debe hacer una revisión del alcantarillado para comprobar su correcto funcionamiento, así como llevarlo al límite para cuantificar su capacidad máxima. Si los datos de lluvias torrenciales sobrepasan la capacidad de desagüe ($>40 \text{ mm/m}^2$ acumulados para la DANA del 29 de octubre de 2024 en la zona de Granada, sin contar la Sierra Nevada que llegó a tener precipitaciones superiores a los 100 mm/m^2 acumulados), se deberán de mejorar los sistemas de alcantarillado. Ya sea aumentando el número de alcantarillas, aumentando la capacidad del alcantarillado subterráneo, además de construir asfaltos y aceras permeables.
3. En Híjar las soluciones mas adecuadas son las que se han indicado en el punto anterior para Gabia Grande.
4. Para la urbanización San Javier, al no tener construcciones en las zonas con mayor probabilidad de inundación, se deberá de planear urbanísticamente ya que así se pueden adaptar las construcciones e infraestructuras teniendo en cuenta la problemática en su proyección, reduciendo así los costes posteriores para su adaptación.

5. En Gabia Chica el mayor riesgo es en los campos de cultivo, donde se inundan con precipitaciones elevadas. Además de la zona noroeste que deberá mejorar su infiltración al tener un riesgo alto de inundación. En el caso de que el riesgo sea en cultivos, la metodología es diferente a lo visto anteriormente. Para ello se requiere de agricultura de conservación, en el caso de los cultivos leñosos, para tener una cubierta vegetal que favorezca la infiltración y así no se saturen las raíces de los árboles (causando probablemente su muerte y pérdida económica). Además se pueden diseñar redes de desagüe en caso de inundaciones en los campos agrícolas, desviando el flujo hacia el río Dílar debido a su cercanía y pendiente favorable.

6.3.2 Mitigación del riesgo de UHI

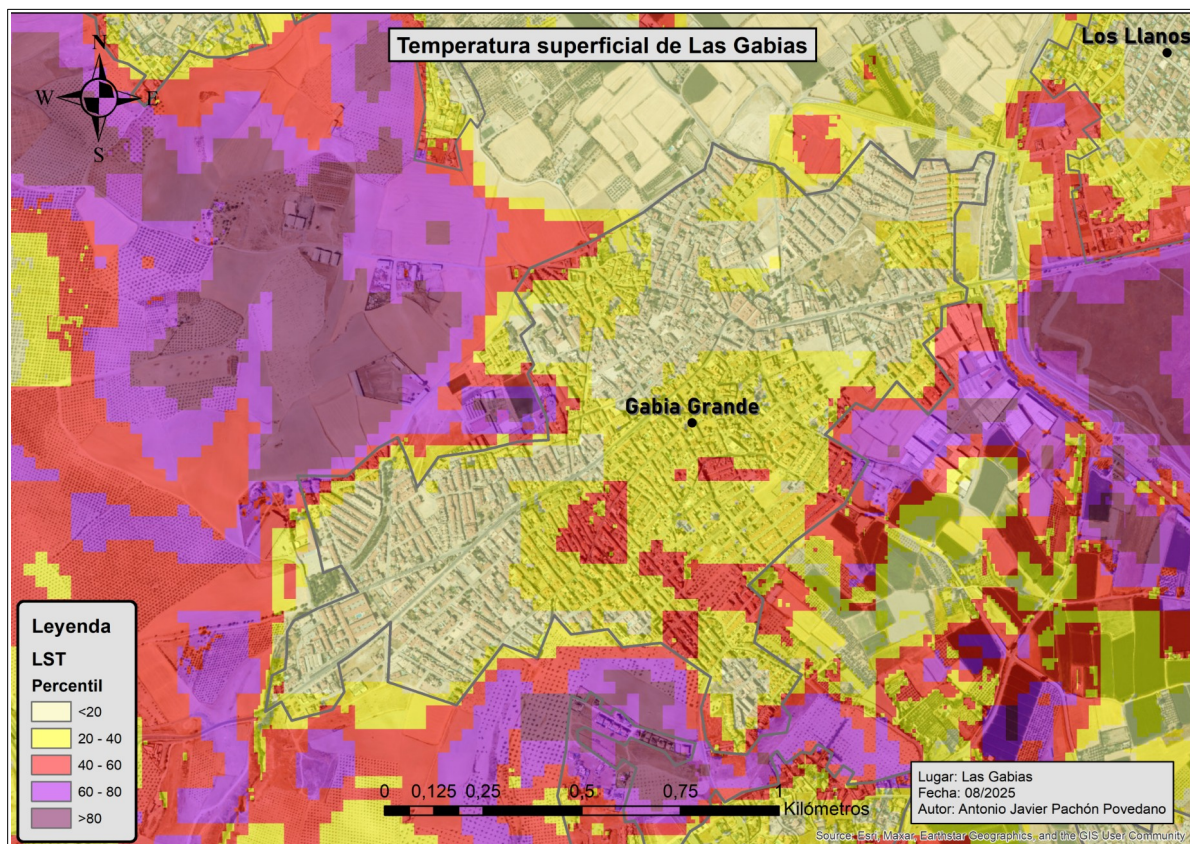
Una vez localizadas las zonas que mayor temperatura alcanzan, se procede a la propuesta de actuaciones que reduzcan el efecto tanto de isla de calor urbana, como de isla de calor urbana inversa, que es el más presente en el municipio.

Áreas principales para la actuación

1. En Gabia Grande (figura 20) se observa que, en el centro del área urbanizada, hay parches rojos que corresponden con los percentiles entre 40 y 60 más calientes rodeados de temperaturas inferiores. Son principalmente zonas en las que hay pocos árboles en las aceras y no hay suficiente sombra, además de la presencia de descampados con suelo desnudo y áreas con mayor superficie de asfalto expuesta al sol. Los alrededores de la zona urbana de Gabia Grande que pertenecen a los percentiles más cálidos (>60) son polígonos industriales sin vegetación de ningún tipo, así como campos con suelo desnudo, olivares sin cubierta vegetal y el polideportivo situado al oeste. En Los Llanos, el área con percentiles >60 corresponde con una zona de construcción de viviendas.

Figura 20

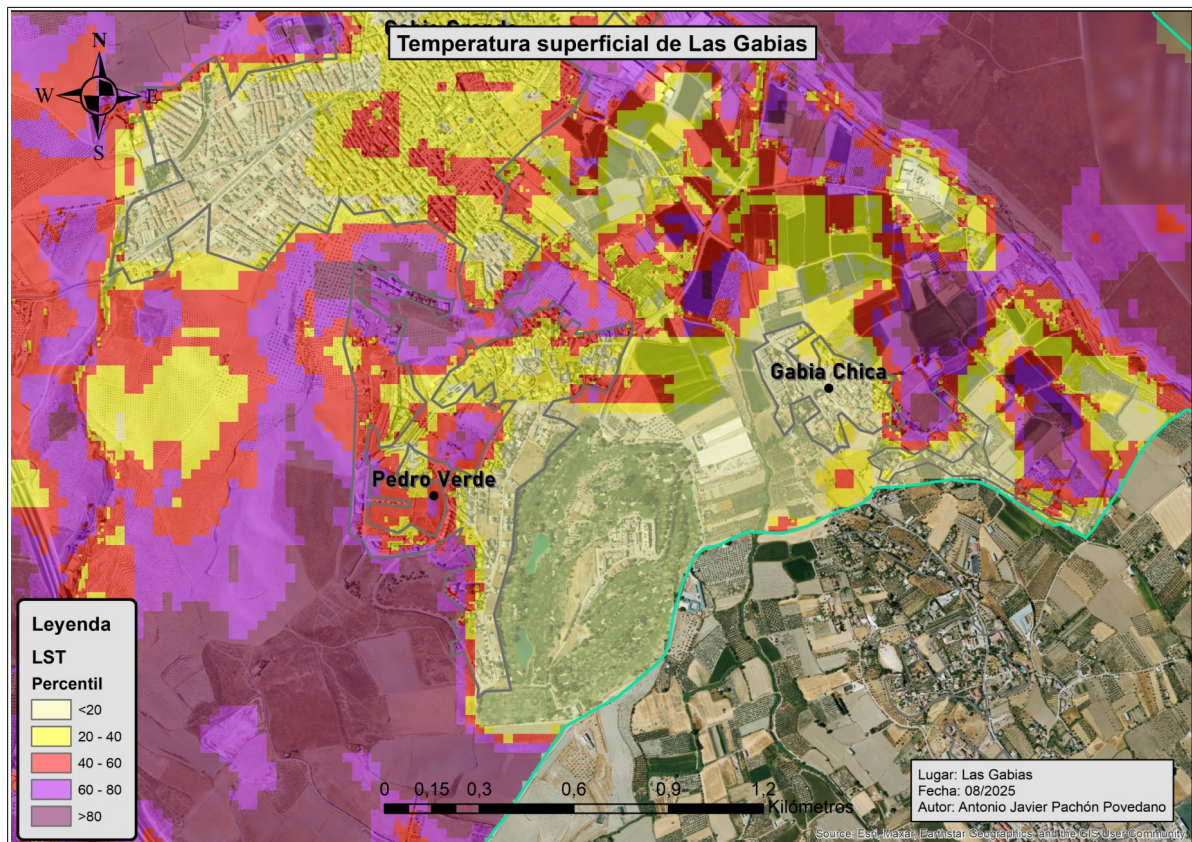
Percentiles de LST para Gabilas Grande.



- La situación de Pedro Verde y Gabilas Chica (figura 21) es diferente al resto del municipio debido a la presencia del campo de golf de Las Gabilas y los cultivos de su alrededor. Al ser una zona con mayor humedad por la presencia de la vegetación del campo de golf y su riego periódico, se consigue tener una mitigación de hasta 13°C en la temperatura del suelo en 600 metros de diferencia (entre el campo del golf y las zonas con suelo descubierto más próximas). Las zonas con mayor temperatura corresponden con áreas de suelo desnudo sin vegetación o con vegetación seca.

Figura 21

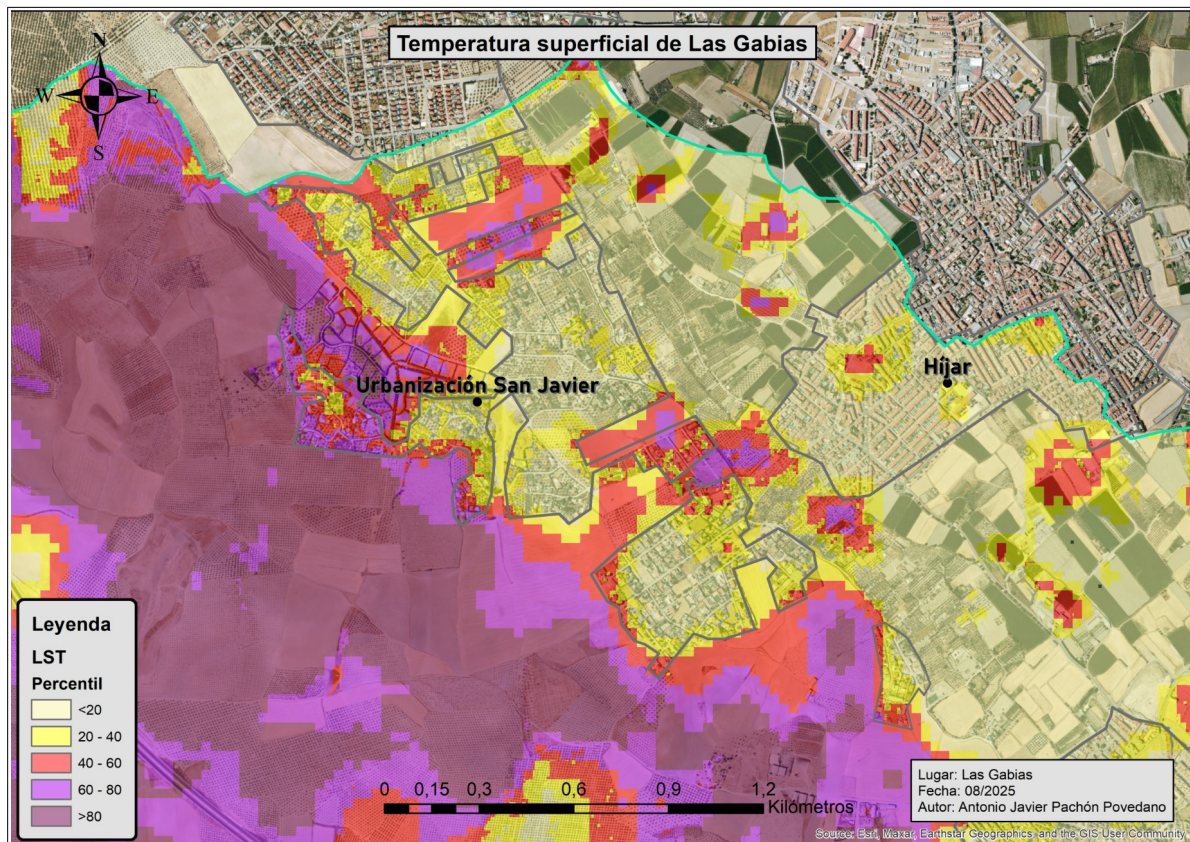
Percentiles de LST para Pedro Verde y Gabia Chica.



3. Se aprecia, tanto en la zona norte como sureste de la urbanización San Javier (figura 22), que franjas de terreno con suelo descubierto o con vegetación seca concentran las mayores temperaturas captadas en la pedanía. Lo mismo sucede con Híjar, solamente que este fenómeno se da en su interior al tener un parche con percentil entre 40-60 que corresponde con un descampado situado en el centro de la pedanía.

Figura 22

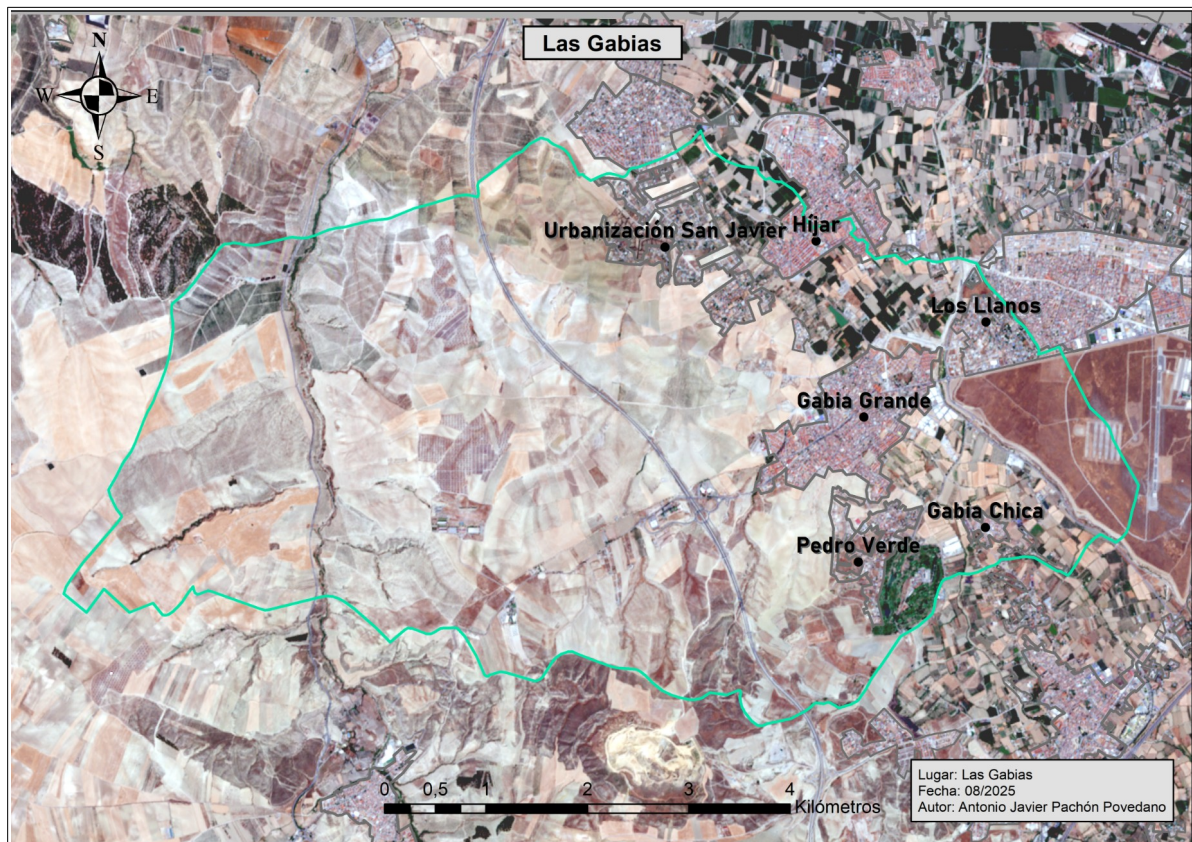
Percentiles de LST para la urbanización San Javier e Híjar.



4. Para las zonas que corresponden tanto a agricultura comercial como las plantas de generación fotovoltaica y que poseen los percentiles >80 (figuras 13 y 15) ocurre el fenómeno denominado isla térmica inversa. Este fenómeno se caracteriza por tener mayores temperaturas en suelos desnudos y secos alrededor de núcleos urbanizados que están relativamente más frescos. Como se puede apreciar en la figura 23, el municipio está rodeado de suelos secos y desnudos en su mayoría, que favorecen la acumulación de calor.

Figura 23

Imagen satelital del día 31/07/2025.



Fuente: Copernicus.

Propuestas de mejora y monitorización

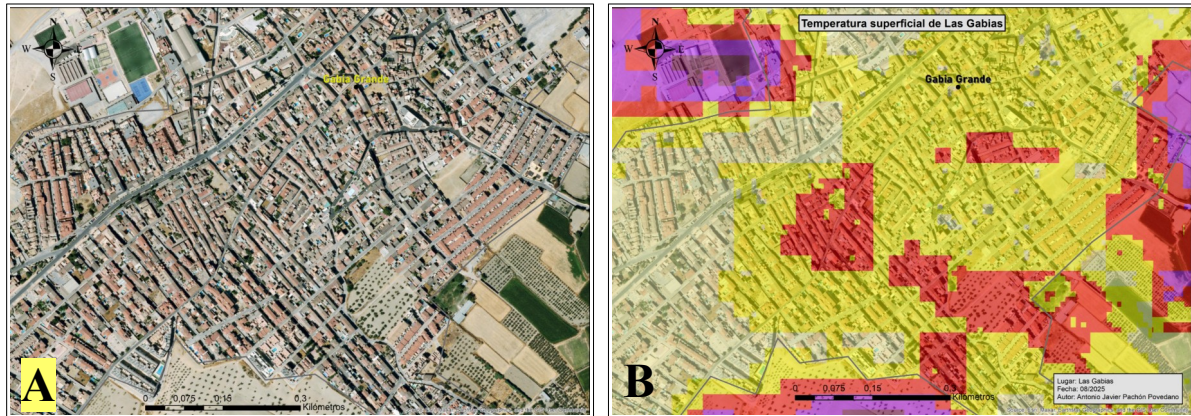
1. En la zona urbana de Gabia Grande se concentran los puntos más calientes en parcelas con descampados u olivares que han sido absorbidos por la edificación (figura 24). Estas parcelas si tienen actividad productiva, ya sea familiar o comercial, deberán de ser mantenidas adecuadamente por sus propietarios. En caso de estar abandonadas o pertenecer al ayuntamiento, se propone que para las extensiones con olivos o arbolado disperso se instale una cubierta vegetal diversa para que retenga la humedad y reduzca las temperaturas en las áreas circundantes.

Además se puede apreciar que en las zonas con tonalidades rojas (percentiles 40-60) no poseen las calles sombras de ningún tipo (salvo la que puedan aportar las viviendas), por lo que el efecto de la radiación solar ahí es mayor. Hace falta un rediseño urbano de las calles para incluir en estas árboles que aporten sombra y reflejen la radiación solar, así como pequeños canales y fuentes a lo largo de las calles para mitigar el calor y servir de aporte de humedad a los árboles que se planten y al ambiente.

Para el parche que se observa al oeste con tonalidades moradas (percentiles 60-80 y >80), correspondiente con un área que consta de diversas instalaciones deportivas. Urgen medidas para evitar problemas de salud graves o la inutilización de dichas instalaciones en las temporadas de mayor calor. Por ello es importante matizar la falta de vegetación en la zona y la presencia de el campo de fútbol 11 de Las Gabias, que es de césped artificial. La Federación de Fútbol de Granada (RFAF) lo cataloga como "Hierba Artificial" en su consulta de campos por lo que uno de los problemas que presentan es la acumulación de calor. Por tanto, se propone que dicho campo se someta un estudio de viabilidad para el cambio de suelo de juego por césped (más caro de mantener principalmente por el gasto en agua) o el cubrimiento del campo con un sistema de toldos para mitigar el efecto en las horas de mayor incidencia solar; además de colocar en los alrededores y entre las pistas deportivas arbolado para aporte de sombra y jardines.

Figura 24

A) Imagen satelital; B) Zonas urbanas con mayor temperatura superficial en Gabilas Grande.



Fuente de imagen satelital: Esri, Maxar.

2. En Pedro Verde las zonas con mayores temperaturas (percentiles >60) corresponden a parcelas sin construir con vegetación seca. En Gabilas Chica esos mismos percentiles son principalmente parcelas agrícolas no leñosas ya recolectadas (ajo y cebada) y leñosas (olivos y almendros) que tienen la cubierta vegetal seca o inexistente (hay presentes ambos casos). Por lo tanto, al estar rodeados los núcleos habitados por temperaturas superiores a las que hay presentes en su interior, uno de las opciones es conectar las pedanías entre sí y con Gabilas Grande mediante corredores verdes. En este municipio ya hay algo parecido (Figura 25) y funciona aparentemente bien al reducir la temperatura de un percentil >60 a estar entre el 20-40 en escasos metros. Consta de un paseo por el que pasa paralelamente una acequia y tiene sombra debido a árboles repartidos a lo largo de toda esta área.

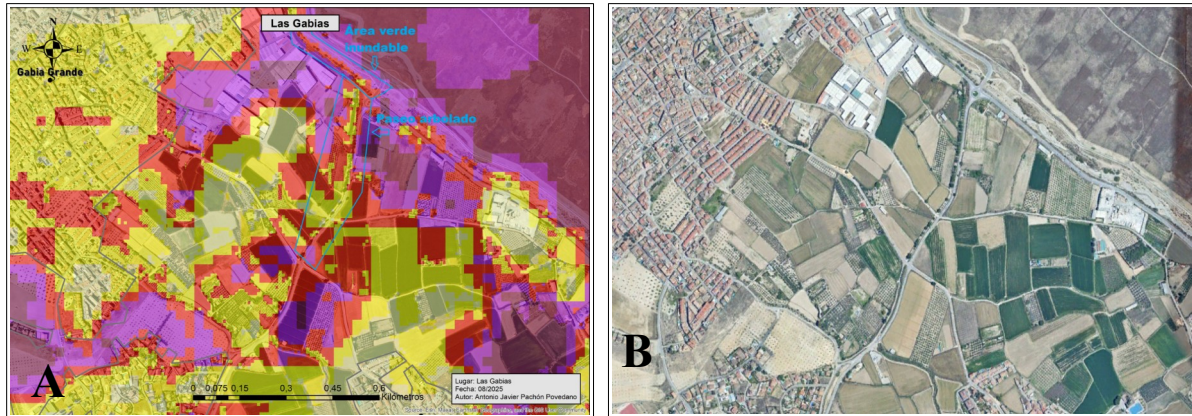
Cabe destacar que el área verde recreativa del margen del río Dílar reduce también,

pero en menor medida, la temperatura respecto a las inmediaciones. Se puede

comprobar a lo largo del tiempo cómo afecta la sombra y el tamaño de los árboles a la temperatura superficial de esta zona verde.

Figura 25

A) Temperatura superficial; B) Imagen satelital del paseo arbolado.



Fuente de la imagen B: Google Earth

3. Las zonas con mayor problemática de temperatura superficial para las pedanías de Híjar y la urbanización San Javier son aquellas que coinciden con parches desnudos de suelo (descampados, parcelas construibles pero sin cubierta de ningún tipo o campos de cultivos leñosos con escasa cubierta vegetal).

Se propone, para Híjar, la adaptación del descampado que se encuentra en el interior de la pedanía con LST 40-60. Ya sea como parking techado (con chapa, inclusive se podría complementar con energía solar fotovoltaica) o con la creación de un parque con jardín para aliviar la concentración de calor en esa área.

Para San Javier se deben de tomar medidas en la zona oeste de la pedanía. La zona con percentiles >60, próxima a la zona edificada, corresponde con parcelas separadas por cipreses y aparentemente con suelo construible. Por lo tanto, la principal actuación en dicha zona podría ser la de cubierta vegetal o construir un parque

periurbano. Ambas medidas se pueden implementar de manera temporal hasta que se construya definitivamente en dichas parcelas que, aparentemente, llevan sin cambios al menos dos décadas (según las imágenes satelitales de Google Earth).

4. Las zonas con percentiles >80 que se encuentran en las afueras (temperaturas mayores a $51,6^{\circ}\text{C}$), correspondientes principalmente con cultivos leñosos con escasa cubierta vegetal o seca. Las actuaciones en este tipo de terrenos son más costosas de llevar a cabo, principalmente por la inclinación siendo $>5^{\circ}$ en la mayor parte de las zonas (Figura 9). Esto debido a la dificultad de llevar primero agua a la zona, con el objetivo de favorecer el crecimiento de vegetación espontánea y que cubra el terreno reduciendo la absorción de calor del suelo. También se podría aplicar hidrosiembra en los márgenes de autovía y carreteras para aliviar la sensación térmica en los trayectos por la zona.
5. La monitorización de la temperatura, tanto del suelo como del aire, es clave para la previsión y la toma de decisiones en esta cuestión. Por ello se requiere la colocación de termómetros repartidos por el municipio de manera homogénea, principalmente por zonas habitadas y de concurrencia habitual de población. Esto sumado a una revisión periódica del municipio con los datos de Landsat, como se ha realizado en este TFM, para la comprobación de la correcta implementación y efectividad de las medidas que se pongan en marcha.

7. Conclusiones

A partir del análisis realizado, se concluye que la combinación de técnicas aplicadas en este TFM —el cálculo de la Temperatura Superficial del Terreno (LST) a partir de la banda térmica de Landsat-9 y su cruce espacial con NDVI, uso del suelo y resultados del análisis multicriterio WLC— entrega información robusta y complementaria para caracterizar las dinámicas térmicas y de riesgo en Las Gabias.

El WLC, al incorporar variables como pendiente, distancia a cauces y cobertura vegetal, muestra una coincidencia parcial con las zonas inundables cartografiadas por el IGN pero amplía el área de atención al identificar sectores susceptibles fuera del trazado inmediato del cauce; por tanto, funciona como una herramienta de identificación preventiva y priorización operativa que debe confirmarse y ajustar mediante validación de campo.

En lo relativo a la LST, la escena analizada (04/08/2025) revela un patrón de “isla térmica inversa”: no son exclusivamente las áreas urbanas más consolidadas las que presentan las temperaturas superficiales más altas, sino que muchos sectores periurbanos y rurales —caracterizados por baja vegetación (NDVI reducido), suelos desnudos y polígonos industriales con escaso arbolado— alcanzan LST superiores a las zonas edificadas. Este hallazgo obliga a replantear las prioridades de intervención: además de acciones de sombra y arbolado en el núcleo urbano, resulta imprescindible restaurar y aumentar la cobertura vegetal en las áreas periurbanas más calientes y en parcelas industriales para aumentar la evapotranspiración y reducir el estrés térmico territorial.

Las implicaciones prácticas derivadas del estudio son por tanto dobles y complementarias: para la gestión del riesgo de inundación, las zonas priorizadas por el WLC (especialmente márgenes y tramos próximos al río Dílar y cañadas críticas) deben abordarse mediante medidas verdes y de gestión hidráulica —restauración de márgenes,

permeabilización de superficies, eliminación de obstrucciones y control de especies invasoras — junto con mejoras en la infraestructura de drenaje urbano. Para la mitigación térmica, la creación de corredores verdes conectores entre pedanías y el núcleo urbano, el refuerzo del arbolado en calles y equipamientos, y la promoción de cubiertas vegetales en parcela son medidas coherentes con la relación inversa NDVI–LST observada y con alto potencial de reducción térmica a escala local.

Finalmente, y pensando en la aplicabilidad del TFM, los resultados demuestran que la combinación de LST, NDVI y análisis multicriterio ofrece una base sólida para planificar intervenciones paisajísticas y de gestión del riesgo a escala municipal. Para que las recomendaciones se traduzcan en medidas efectivas es necesario integrar estos mapas con criterios de coste-beneficio, viabilidad administrativa y aceptación social, establecer indicadores de seguimiento de la LST y la cobertura vegetal, y diseñar un protocolo de monitorización que permita evaluar la eficacia de las acciones en el medio y largo plazo. Con estas precauciones y desarrollos posteriores, los métodos y hallazgos aquí presentados pueden orientar políticas locales de adaptación y mitigación climática en Las Gubias.

8. Futuras líneas de trabajo

Para una mayor prevención y comprensión de los fenómenos de cambio climático que afectan a Las Gabilas se deberían de integrar un mayor número de variables, tanto para riesgo de inundaciones como temperatura del suelo. Asimismo, una comprobación de la metodología llevada a cabo en el presente TFM mediante la observación e interpolación de la tendencia de los datos espaciales en el tiempo y el efecto de las medidas propuestas en dichos datos. No obstante, las conclusiones del trabajo deben matizarse atendiendo a las limitaciones metodológicas: la resolución espacial y radiométrica de la banda térmica y la estimación de emisividad mediante NDVI introducen incertidumbres que conviene cuantificar. Por ello es recomendable ampliar el enfoque temporal mediante series multianuales y estacionales de imágenes, incorporar técnicas de corrección atmosférica más detalladas y, sobre todo, llevar a cabo una campaña de validación in situ con sensores de temperatura superficial/aire y vuelos térmicos con dron para evaluar sesgos y ajustar los parámetros de cálculo.

Referencias

- AGENDA 2030 LAS GABIAS. (2025). <https://www.lasgabilas.es/portal-transparencia/wp-content/uploads/sites/8/2025/02/Agenda-Urbana-2030-Las-Gabilas-diligienciada.pdf>
- Amengual, A., Carrió, D. S., Ravazzani, G., & Homar, V. (2017). A Comparison of Ensemble Strategies for Flash Flood Forecasting: The 12 October 2007 Case Study in Valencia, Spain. *Journal of Hydrometeorology*, 18(4), 1143–1166. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-16-0281.1>
- AR6 Synthesis Report: Summary for Policymakers Headline Statements. (2025). https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/resources/spm-headline-statements/?utm_source=chatgpt.com
- Archivo EROS del USGS - Archivo Landsat - Colección de datos de nivel 1 del sensor de imágenes terrestres operacionales Landsat 8-9 y sensor térmico infrarrojo 2 | Servicio Geológico de Estados Unidos. (n.d.). Retrieved August 7, 2025, from <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-landsat-archives-landsat-8-9-operational-land-imager-and>
- Cetin, M., Ozenen Kavlak, M., Senyel Kurkcuoglu, M. A., Bilge Ozturk, G., Cabuk, S. N., & Cabuk, A. (2024). Determination of land surface temperature and urban heat island effects with remote sensing capabilities: the case of Kayseri, Türkiye. *Natural Hazards*, 120(6), 5509–5536. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06431-5>
- Choubin, B., Moradi, E., Golshan, M., Adamowski, J., Sajedi-Hosseini, F., & Mosavi, A. (2019). An ensemble prediction of flood susceptibility using multivariate discriminant analysis, classification and regression trees, and support vector machines. *Science of The Total Environment*, 651, 2087–2096. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.10.064>
- Delgado-Capel, M. J., Cariñanos, P., & Escudero-Viñolo, M. (2023). Capacity of Urban Green Infrastructure Spaces to Ameliorate Heat Wave Impacts in Mediterranean Compact Cities: Case Study of Granada (South-Eastern Spain). *Land* 2023, Vol. 12, Page 1076, 12(5), 1076. <https://doi.org/10.3390/LAND12051076>
- Eguibar, M. Á., Porta-garcía, R., Torrijo, F. J., & Garzón-roca, J. (2021). Flood Hazards in Flat Coastal Areas of the Eastern Iberian Peninsula: A Case Study in Oliva (Valencia, Spain). *Water* 2021, Vol. 13, Page 2975, 13(21), 2975. <https://doi.org/10.3390/W13212975>
- Elkhrachy, I. (2015). Flash Flood Hazard Mapping Using Satellite Images and GIS Tools: A case study of Najran City, Kingdom of Saudi Arabia (KSA). *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(2), 261–278. <https://doi.org/10.1016/J.EJRS.2015.06.007>

- Kazakis, N., Kougias, I., & Patsialis, T. (2015). Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and Analytical Hierarchy Process: Application in Rhodope–Evros region, Greece. *Science of The Total Environment*, 538, 555–563. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2015.08.055>
- Kyriakopoulos, P., Caouris, Y. G., Souliotis, M., & Santamouris, M. (2022). Characteristics of the urban heat island effect in the coastal Mediterranean city of Kalamata, Greece. *International Journal of Sustainable Energy*, 41(11), 1795–1818. <https://doi.org/10.1080/14786451.2022.2110101>
- Lee, S., & Rezaie, F. (2022). Data used for GIS-based Flood Susceptibility Mapping. *GEO DATA*, 4(1), 1–15. <https://doi.org/10.22761/DJ2022.4.1.001>
- Lorenzo, M. N., & Alvarez, I. (2020). Climate change patterns in precipitation over Spain using CORDEX projections for 2021–2050. *Science of The Total Environment*, 723, 138024. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.138024>
- Marando, F., Heris, M. P., Zulian, G., Udías, A., Mentaschi, L., Chrysoulakis, N., Parastatidis, D., & Maes, J. (2022). Urban heat island mitigation by green infrastructure in European Functional Urban Areas. *Sustainable Cities and Society*, 77, 103564. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2021.103564>
- Portal de Transparencia | Ayuntamiento de Las Gabias - Portal de Transparencia del Ayuntamiento de Las Gabias en GRANADA. (n.d.). Retrieved August 4, 2025, from <https://www.lasgabias.es/portal-transparencia/>
- Ripp, M., Gustafsson, C., Jigyasu, R., Arslan, M., Cortiços, N. D., & Duarte, C. C. (2025). Climate Resilience and Adaptive Strategies for Flood Mitigation: The Valencia Paradigm. *Sustainability 2025*, Vol. 17, Page 4980, 17(11), 4980. <https://doi.org/10.3390/SU17114980>
- Sánchez-Almodóvar, E., Olcina-Cantos, J., Martin-Vide, J., & Martí-Talavera, J. (2025). Daily Concentration of Precipitation in the Province of Alicante (1981–2020). *Climate*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/CLI13020021>
- Tsou, J., Zhuang, J., Li, Y., & Zhang, Y. (2017). Urban Heat Island Assessment Using the Landsat 8 Data: A Case Study in Shenzhen and Hong Kong. *Urban Science 2017*, Vol. 1, Page 10, 1(1), 10. <https://doi.org/10.3390/URBANSKI1010010>
- Vardoulakis, E., Karamanis, D., Fotiadi, A., & Mihalakakou, G. (2013). The urban heat island effect in a small Mediterranean city of high summer temperatures and cooling energy demands. *Solar Energy*, 94, 128–144. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.04.016>
- Vicente-Serrano, S. M., Tramblay, Y., Reig, F., González-Hidalgo, J. C., Beguería, S., Brunetti, M., Kalin, K. C., Patalen, L., Kržič, A., Lionello, P., Lima, M. M., Trigo, R. M., El-Kenawy, A. M., Eddenjal, A., Türkes, M., Koutroulis, A., Manara, V., Maugeri, Escuela de Arquitectura
Universidad Europea de Canarias.

- M., Badi, W., ... Potopová, V. (2025). High temporal variability not trend dominates Mediterranean precipitation. *Nature*, 639(8055), 658–666. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-08576-6>
- Weng, Q. (2009). Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(4), 335–344. <https://doi.org/10.1016/J.ISPRSJPRS.2009.03.007>
- Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89(4), 467–483. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2003.11.005>
- Zargari, M., Mofidi, A., Entezari, A., & Baaghideh, M. (2024). Climatic comparison of surface urban heat island using satellite remote sensing in Tehran and suburbs. *Scientific Reports*, 14(1), 1–23. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50757-2>