

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el cambio climático supone uno de los mayores problemas a los que se enfrenta el ser humano. La concienciación de la sociedad frente a este problema es ahora mayor que en ninguna época pasada y, por ello, se están tomando muchas medidas para intentar paliar los efectos producidos por la actividad humana sobre la Tierra. Algunas de estas medidas a nivel general son el uso del transporte público en lugar del automóvil individual, un uso responsable de la electricidad en los hogares o la reducción de los gases generados por los combustibles fósiles en su labor de generación de energía, sustituyendo las plantas de energía no renovables, como las de carbón, por plantas de energías renovables, como la eólica o la solar.

En este trabajo se ha centrado la atención en este último punto, en concreto en las plantas solares de placas fotovoltaicas. Los gobiernos de muchos países de la Unión Europea ya han aprobado algunas medidas para que en un futuro toda la energía o la gran mayoría de ella se genere de manera limpia y respetuosa con el medio ambiente, reduciendo así el efecto invernadero. Gran parte de estas medidas se centran en la sustitución de las plantas existentes por plantas de energía renovables, ayudando a las empresas precursoras de este tipo de energía con subvenciones y ayudas para lograr este objetivo.

Según la *Ley 7/2021, del 20 de mayo, de cambio climático y transición energética*, se deben alcanzar ciertos objetivos energéticos para los años 2030 y 2050, que permitan cumplir las obligaciones en materia de clima y desarrollo sostenible. Algunas de estas metas suponen alcanzar una penetración de energías de origen renovable en el consumo de energía final de, al menos, un 42 % y alcanzar un sistema eléctrico con, al menos, un 74 % de generación a partir de energías de origen renovables, para el año 2030, y alcanzar la neutralidad climática y tener un sistema eléctrico basado, exclusivamente, en energías de origen renovable, para el 2050.

Dentro de las energías renovables se ha centrado este trabajo en la energía solar fotovoltaica, tal como se ha comentado anteriormente. Este tipo de generación de energía utiliza la radiación solar para lograr su objetivo de producir energía eléctrica, mediante el cambio de potencial que se produce en las células fotovoltaicas. Por lo tanto, debe tenerse en cuenta que la irradiación solar del emplazamiento de la planta sea óptima, atendiendo principalmente a la situación climática de la zona de estudio.

Por otro lado, el emplazamiento de este tipo de plantas genera un tema de discusión en la sociedad, debido a la influencia en el paisaje natural que se genera. Por ello, existen unos condicionantes paisajísticos que deben ser tenidos en cuenta, evitando zonas protegidas por su paraje natural o las especies de flora y fauna que allí conviven, y la toma de medidas para disminuir en la medida de lo posible el impacto visual de este tipo de instalaciones.

Se ha centrado este trabajo en los condicionantes hidrológicos e hidráulicos que tienen influencia sobre la planta, estudiando la red hidrográfica correspondiente a la zona de estudio. Los cauces próximos a una planta solar deben ser estudiados, ya que la delimitación de su Dominio Público Hidráulico y sus zonas de protección constituyen algunas de las zonas limitantes a la implantación de las placas solares, así como del vallado de la futura planta.

Para este tipo de trabajos son muy útiles los Sistemas de Información Geográfica (SIG), como ArcGIS o QGIS, que permiten introducir la información relevante para el estudio de alternativas del emplazamiento de la planta, observando claramente las zonas protegidas, las zonas climáticas y demás parámetros, así como el tratamiento de esta información para obtener otros factores que influyen en la decisión del emplazamiento como la pendiente del terreno, que faciliten la toma de decisiones de la ubicación final de la planta.

Tal como se verá más adelante, se ha elegido como ubicación de la zona de estudio el municipio de Écija, en la provincia de Sevilla. El clima en la parte noroeste de Andalucía es ideal para este tipo de plantas, debido al gran número de horas de sol que hay al año, el cual es uno de los factores más influyentes para la colocación de las plantas solares fotovoltaicas, tal como se ha explicado con anterioridad.

1.1. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es la elección final de una alternativa de emplazamiento de una planta solar fotovoltaica, atendiendo a los condicionantes que limitan la zona de posible ubicación, poniendo especial interés a los condicionantes hidrológicos, mediante el estudio hidrológico e hidráulico de la zona estudiada y la red hidrográfica que tenga repercusión en la planta, definiendo el Dominio Público Hidráulico (DPH) y sus zonas de protección adyacentes, con la finalidad de situar la disposición final de la planta.

Entre estos objetivos se encuentran los siguientes:

- Descripción del medio físico de la zona, incluyendo los usos de suelo, el relieve, la red hidrográfica de los cauces más importantes y la climatología característica de la zona.
- Descripción de las redes de transporte, los núcleos de población y el resto de las infraestructuras adyacentes a las posibles ubicaciones de la planta.
- Descripción de los espacios protegidos cercanos a la posible ubicación de la planta.
- Descripción del impacto visual generado por la posible ubicación de la planta.
- Estudio pluviométrico de la zona estudiada para la obtención de las precipitaciones de diseño.
- Estudio hidrológico de la zona estudiada para la obtención de los caudales de diseño.
- Estudio hidráulico de la zona estudiada para la obtención de las llanuras de inundación para los periodos de retorno analizados.
- Delimitación de las zonas limitantes a la implantación.
- Estudio de diferentes alternativas y elección final de la ubicación de la planta.
- Propuesta final de la disposición de los trackers y el vallado de la futura planta

1.2. Alcance del trabajo

Este trabajo está orientado a la elección final de la implantación de una planta solar fotovoltaica. El alcance de este trabajo contempla el estudio de una zona, elegida mediante la influencia de una serie de condicionantes, los cuales se explicarán con detalle a lo largo de esta memoria, y con especial atención a los condicionantes referentes a la hidrología de la zona, incluyendo un estudio de precipitaciones y el cálculo de los caudales e hidrogramas de los cauces y cuencas influentes en la planta, para su posterior modelado hidráulico, con la finalidad de delimitar las zonas limitantes a la implantación de la planta solar.

Finalmente, se ha realizado un análisis de varias alternativas dentro de la zona de estudio, entre las que se ha escogido una ubicación final para la planta y se ha definido su implantación definitiva, en función de todos los condicionantes estudiados.

1.3. Metodología empleada

Con respecto a la metodología empleada en este trabajo, se ha seguido el siguiente proceso:

- En primer lugar, se ha realizado un estudio de la zona, observando la climatología, la litología y usos de suelo, el relieve y las pendientes del terreno, las infraestructuras existentes y las zonas protegidas, entre otros factores.
- Teniendo en cuenta la localización de la planta, se definen la red hidrográfica influente en la planta, así como las cuencas vertientes existentes en la zona. Se ha obtenido del organismo de cuenca correspondiente, en este caso de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG). También se han utilizado la red hidrográfica del CNIG, la de la REDIAM y la del IGN como métodos de comparación, observando que la correspondiente a la confederación es más restrictiva y actual.

- Se ha realizado un estudio hidrológico, con el fin de hallar las precipitaciones y los caudales de diseño de la zona de estudio. Para las precipitaciones se han empleado tres metodologías de cálculo: la realización de un estudio estadístico a partir de los registros históricos de precipitaciones de las estaciones pluviométricas influyentes en la zona de estudio y el empleo de las coberturas raster de la REDIAM y el CAUMAX. Por otro lado, para el cálculo de los caudales de diseño se han empleado dos metodologías: el Método Racional Modificado y el método del Hidrograma Unitario. Cabe destacar que se ha realizado la comparación de los resultados obtenidos mediante las distintas alternativas, optando siempre por la elección más desfavorable. Una vez obtenidos los caudales de diseño asociados a las distintas cuencas estudiadas y para los periodos de retorno analizados (5, 100 y 500 años) se han obtenido los hidrogramas de cálculo.
- A continuación, se ha realizado un estudio hidráulico, teniendo en cuenta los hidrogramas obtenidos en el estudio hidrológico como entradas de caudal en el modelo hidráulico implementado. Con este estudio se han obtenido los resultados de calados y velocidades de los cauces analizados.
- A partir de los resultados obtenidos, se han delimitado las zonas limitantes a la implantación de la futura planta solar, teniendo en cuenta las restricciones de las normativas empleadas.
- Teniendo en cuenta estos condicionantes se ha realizado un estudio multicriterio de alternativas, llegando a una elección final para la implantación de la planta solar fotovoltaica.
- Al final del trabajo se incluyen algunas de las conclusiones que se han sacado del trabajo realizado y de los resultados obtenidos.

Cabe destacar que en cada apartado correspondiente se ha explicado con claridad y profundidad cada una de las metodologías adaptadas para los cálculos y procesos seguidos, y que, al final del documento, se incluyen algunos planos que pueden servir de ayuda para entender el trabajo realizado.

1.4. Normativa

En este apartado se muestran la normativa que se ha aplicado en este trabajo, categorizada según su ámbito de aplicación.

1.4.1 Ambiental, patrimonial y sectorial

- Ley 3/1995 de 23 de marzo y su Reglamento de Aplicación (Real Decreto 155/1998 de 21 de Julio), relativa a vías pecuarias.
- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.
- Decreto 283/1995 de 21 de noviembre. Reglamento de Residuos de la Comunidad Autónoma de Andalucía.
- Decreto 292/1995 de 12 de diciembre. Reglamento de Evaluación de Impacto ambiental de la Comunidad Autónoma de Andalucía.
- Decreto 297/1995 de 19 de diciembre. Reglamento de Calificación Ambiental.
- Decreto 14/1996 de 16 de enero. Reglamento de la calidad de las aguas litorales.
- Decreto 74/1996 de 20 de febrero. Reglamento de la calidad del aire.
- Decreto 153/1996 de 30 de abril. Reglamento de Informe Ambiental.
- Ley de Patrimonio Histórico Español de 25/06/1985.
- Ley de Patrimonio Histórico de Andalucía de 3/07/1991.
- Decreto 4/1993 de 26 de enero. Reglamento de organización administrativa del Patrimonio Histórico de Andalucía.
- Decreto 19/1995 de 7 de febrero. Reglamento de protección y fomento del Patrimonio Histórico de

Andalucía.

1.4.2 Estudio hidrológico e hidráulico

- Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico.
- Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico.
- Real Decreto 638/2016, de 9 de diciembre, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, el Reglamento de Planificación Hidrológica, aprobado por el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, y otros reglamentos en materia de gestión de riesgos de inundación, caudales ecológicos, reservas hidrológicas y vertidos de aguas residuales.
- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.
- Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación.
- Plan Hidrológico Nacional (Ley 10/2001, de 5 de julio) posteriormente modificado por la Ley 11/2005, de 22 de junio.
- Instrucción de Planificación Hidrológica aprobada mediante ORDEN ARM/2656/2008, de 10 de septiembre.
- Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica.
- Real Decreto 1159/2021, de 28 de diciembre, por el que se modifica el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica.
- Ley 9/2010 de 30 de julio de aguas de Andalucía y el artículo 32 de la Ley 7/2002, de 17 de diciembre, de Ordenación Urbanística de Andalucía.
- Real Decreto 1/2016, de 8 de enero, por el que se aprueba la revisión de los Planes Hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar, y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Oriental, Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana y Ebro. 2º ciclo 2015-2021.

1.5. Localización de la zona de estudio

La planta solar fotovoltaica que se quiere realizar se ha emplazado en el término municipal de Écija, perteneciente a la provincia de Sevilla (Andalucía, España). En la siguiente imagen (*Ilustración 1.1*) se puede ver claramente la situación de la zona de estudio.

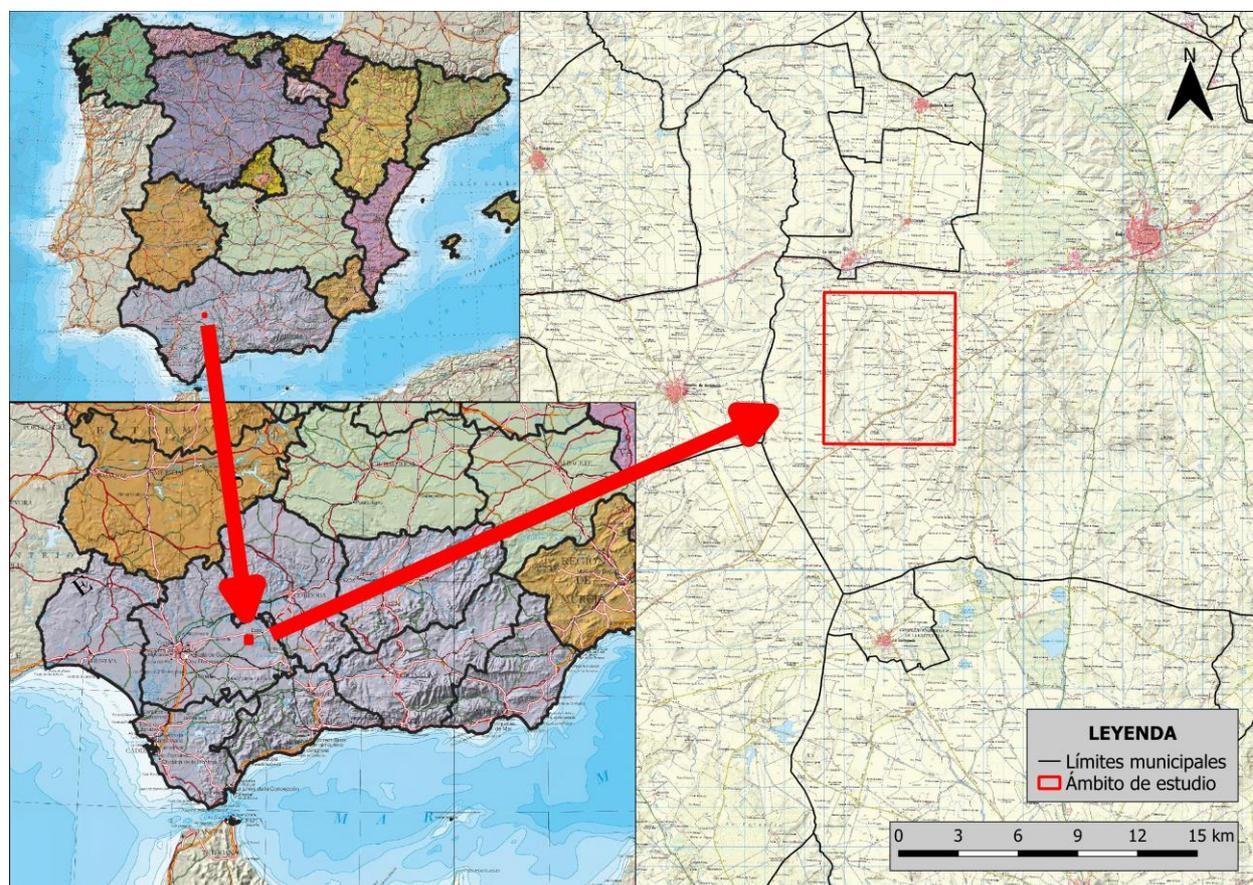


Ilustración 1.1. Ubicación del ámbito de estudio

Para la localización final de la planta se ha realizado un análisis comparativo entre algunas alternativas propuestas, llegando a la solución más favorable. Estas alternativas se han elegido dentro del ámbito de estudio marcado en la imagen anterior, según una primera visualización de la zona. En los apartados posteriores se ha procedido a la descripción del entorno y de los condicionantes que se han utilizado para llegar a la solución final del emplazamiento.

A continuación, se incluye otra imagen (*Ilustración 1.2*) en la que se pueden ver las tres alternativas para el emplazamiento de la planta solar fotovoltaica (PSFV) que se han tenido en cuenta para su estudio, así como de los municipios en los que está enmarcado el ámbito de estudio.

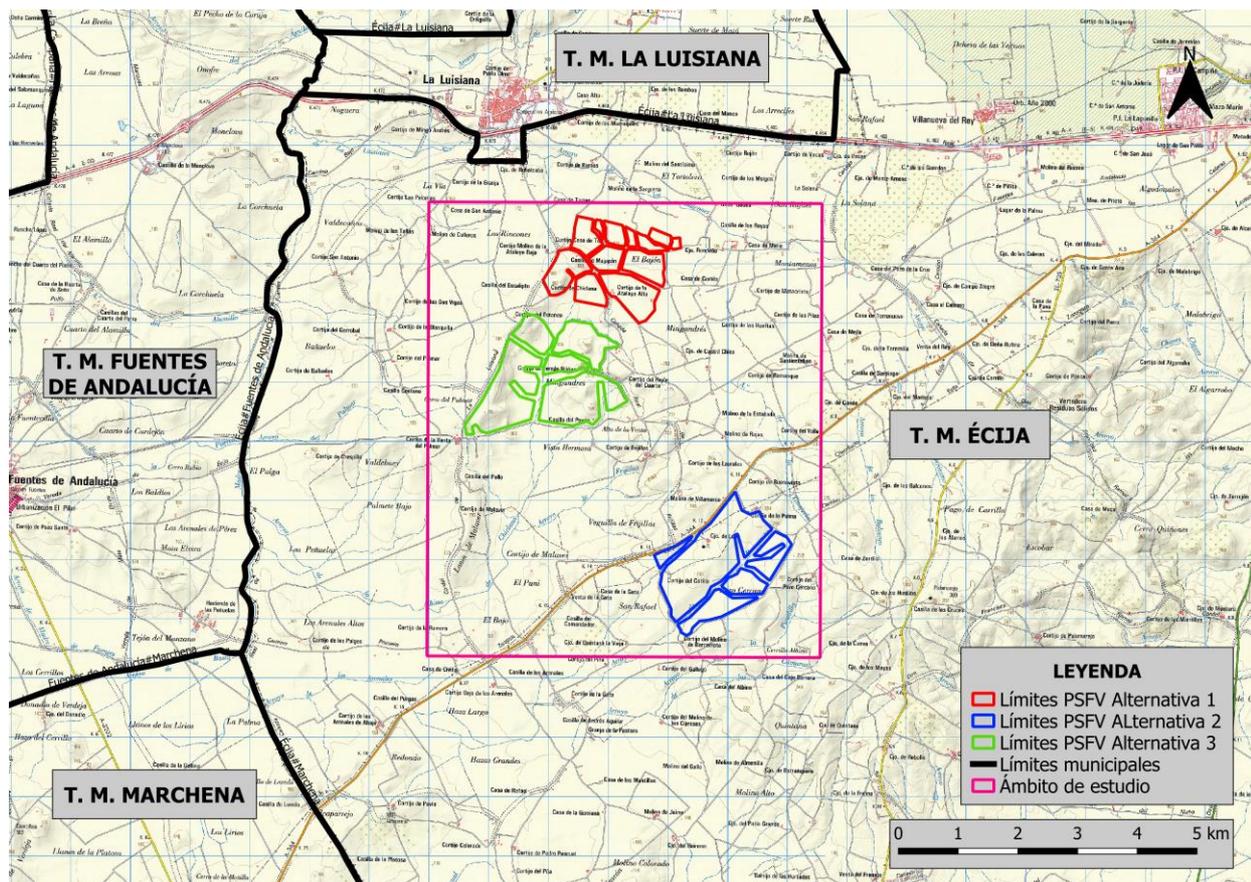


Ilustración 1.2. Términos municipales en los que se sitúan las alternativas propuestas

Tal como se ha mencionado anteriormente, la zona estudiada se encuentra en el municipio de Écija, más concretamente en la parte oeste del municipio, cercana a su frontera con el T.M. La Luisiana, que lo frontea por la parte norte. A la izquierda de la zona estudiada se sitúan también cercanos los municipios de Fuentes de Andalucía y Marchena.

El término municipal de Écija es el más grande de la provincia de Sevilla en cuanto a extensión, con una superficie de 978.51 km² y situado a 86.6 km de la capital sevillana, según datos del Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (IECA). Cuenta con un número de habitantes de 39,893 en el año 2020, con una media de edad de 41 años.

La principal actividad económica del municipio es la agricultura, destacando los cultivos herbáceos de secano, siendo el trigo y el girasol los más representativos. Además, también son importantes el sector industrial y el de servicios.

2 DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO

A continuación, se exponen en este apartado las características del medio físico en el que se enmarca el ámbito de estudio y que servirán, junto con otros condicionantes que se desarrollan en los siguientes apartados, como factores fundamentales para la elección final del emplazamiento de la PSFV.

2.1. Orografía

En primer lugar, se ha analizado la composición del suelo de la zona estudiada, haciendo una clasificación del suelo en función de su cronología geológica y de las unidades litológicas que se pueden encontrar en el ámbito de estudio.

En la siguiente imagen (*Ilustración 2.1*) se puede ver la clasificación según los periodos geológicos de los materiales que componen el suelo de la zona de estudio. Se distinguen cuatro periodos distintos, siendo dos de ellos del periodo cuaternario, compuestos originados por los sedimentos debido a la actividad fluvial más reciente de los arroyos cercanos, y dos del terciario, de una época anterior. La alternativa 1, representada en color rojo, se sitúa en una zona con los materiales más jóvenes, mientras que las otras dos alternativas se sitúan sobre un terreno con materiales más antiguos.

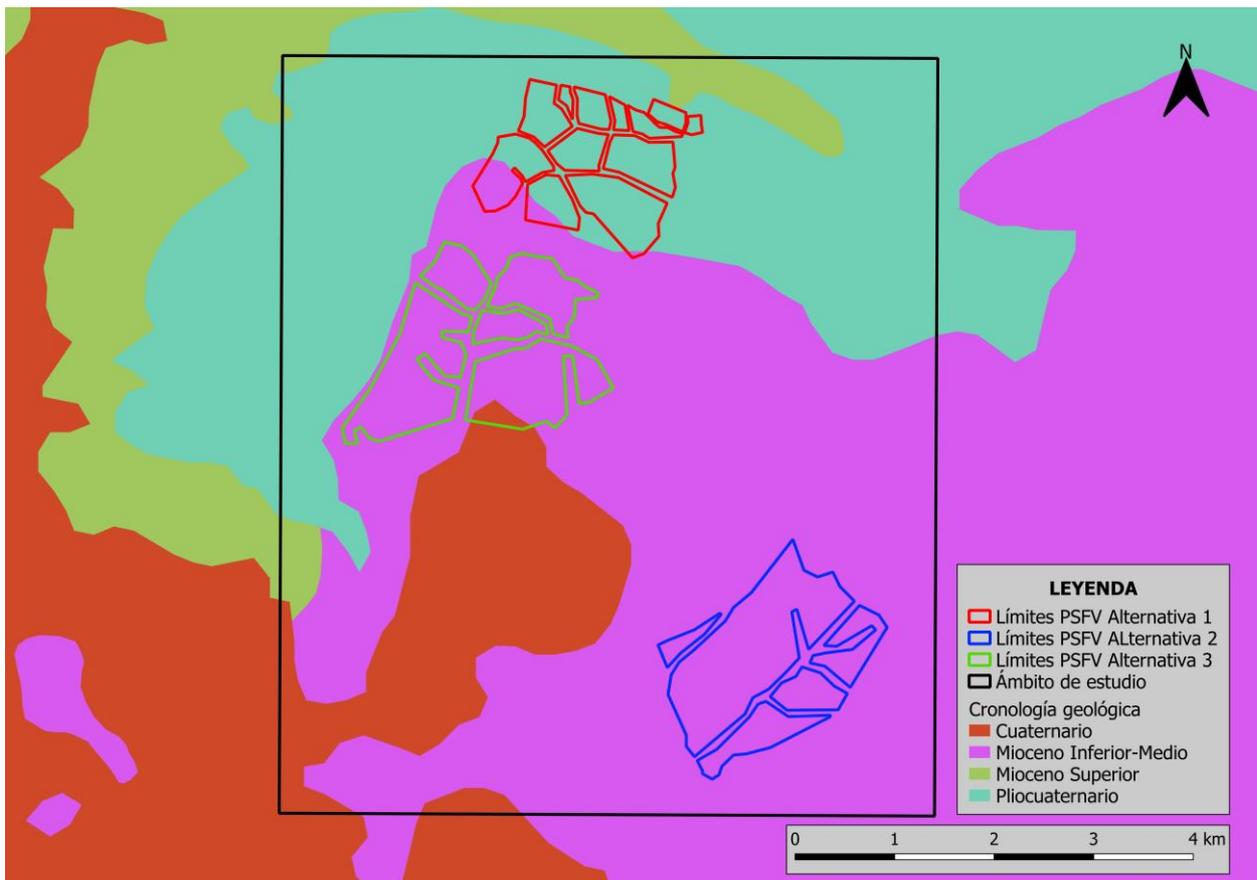


Ilustración 2.1. Cronología geológica

Con respecto a la unidad litológica del terreno, destacan en la zona las arenas y las margas, características de la cuenca del río Guadalquivir, demarcación a la que pertenece el ámbito de estudio seleccionado. En la zona también pueden aparecer otros materiales como lutitas, calizas y algunos conglomerados. Las margas, arenas y terrenos calizos son suelos deseables para las cimentaciones de las obras requeridas, ya que tienen un buen drenaje y resistencia, mientras que los terrenos arcillosos son indeseables, por los asentamientos que se pueden producir.

Tal como puede verse en la siguiente imagen (*Ilustración 2.2*), las alternativas 1 y 2 se sitúan en terrenos con arenas, margas y calizas abundantes. La tercera alternativa para la planta también tiene en su mayoría este tipo de materiales, aunque en su zona sur pueden aparecer algunos tramos de terreno arcilloso.

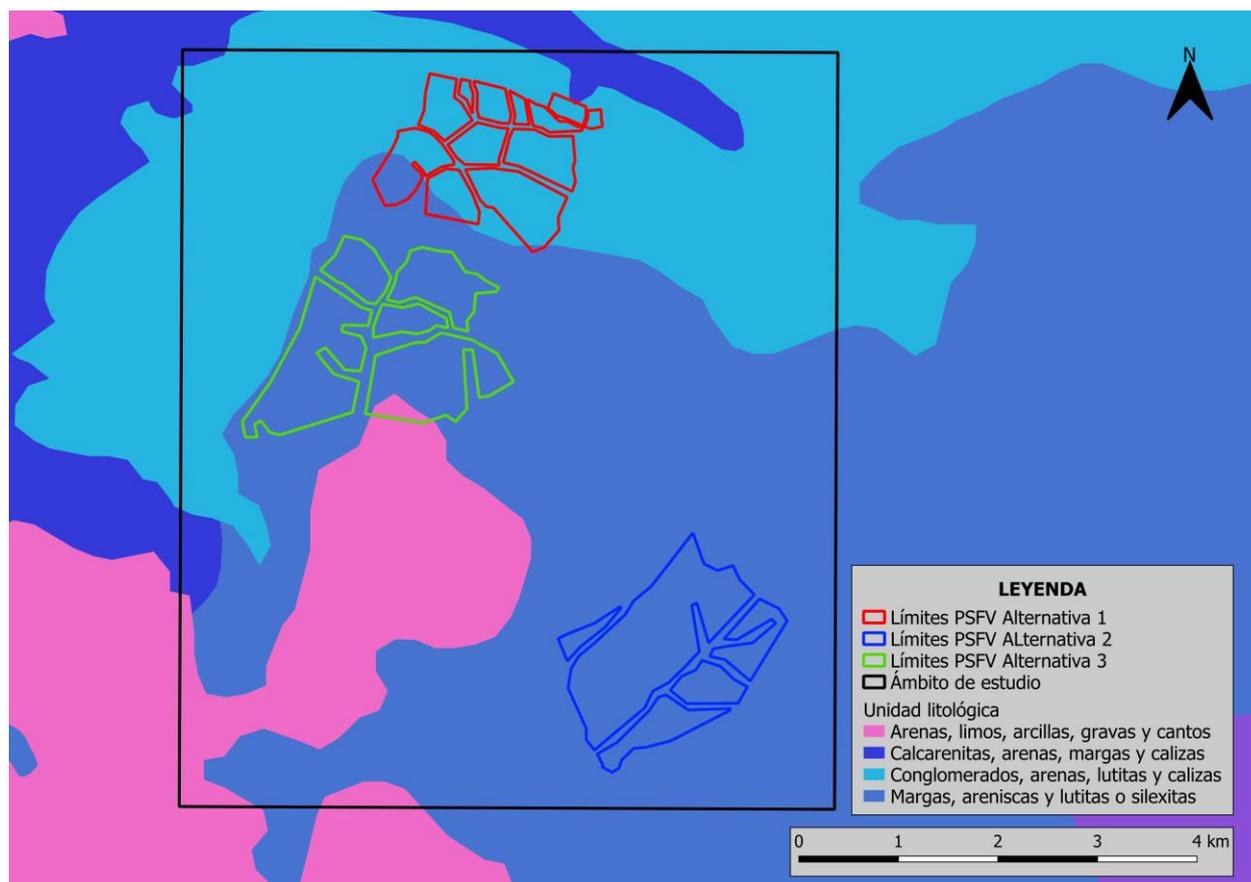


Ilustración 2.2. Unidad litológica

La composición del suelo es un parámetro fundamental en cualquier proyecto, ya que puede complicar mucho el diseño de las obras, especialmente las cimentaciones de las mismas, teniendo que recurrir en algunos casos a la colocación de refuerzos, impermeabilización del suelo o materiales más resistentes para poder ejecutar las obras necesarias.

Además, como adelanto al estudio hidrológico que se ha realizado, cabe destacar esta característica del suelo para la determinación de un parámetro como el umbral de escorrentía, con el que se mide el nivel de infiltración del suelo, que es un factor muy importante en este tipo de estudios.

2.2. Usos de suelo

En el municipio de Écija la actividad laboral más importante es la agricultura. Es por ello, que los usos de suelo predominantes están destinados a labores de cultivo. Se ha escogido una zona alejada de los núcleos urbanos más importantes, de modo que se ocupen este tipo de parcelas.

Los usos del suelo se han obtenido del Mapa de Ocupación del Suelo en España del año 2018, incluido en el proyecto europeo Corine Land Cover (CLC), que se ha obtenido del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG).

Tal como puede verse en la siguiente imagen (*Ilustración 2.3*), hay tres tipos de usos de suelo en el ámbito de estudio, destacando en su mayoría los terrenos regados permanentemente. Los usos de suelo, junto a su codificación del CLC son:

- 212 - Terrenos regados permanentemente
- 222 - Frutales y plantaciones de bayas
- 223 - Olivares

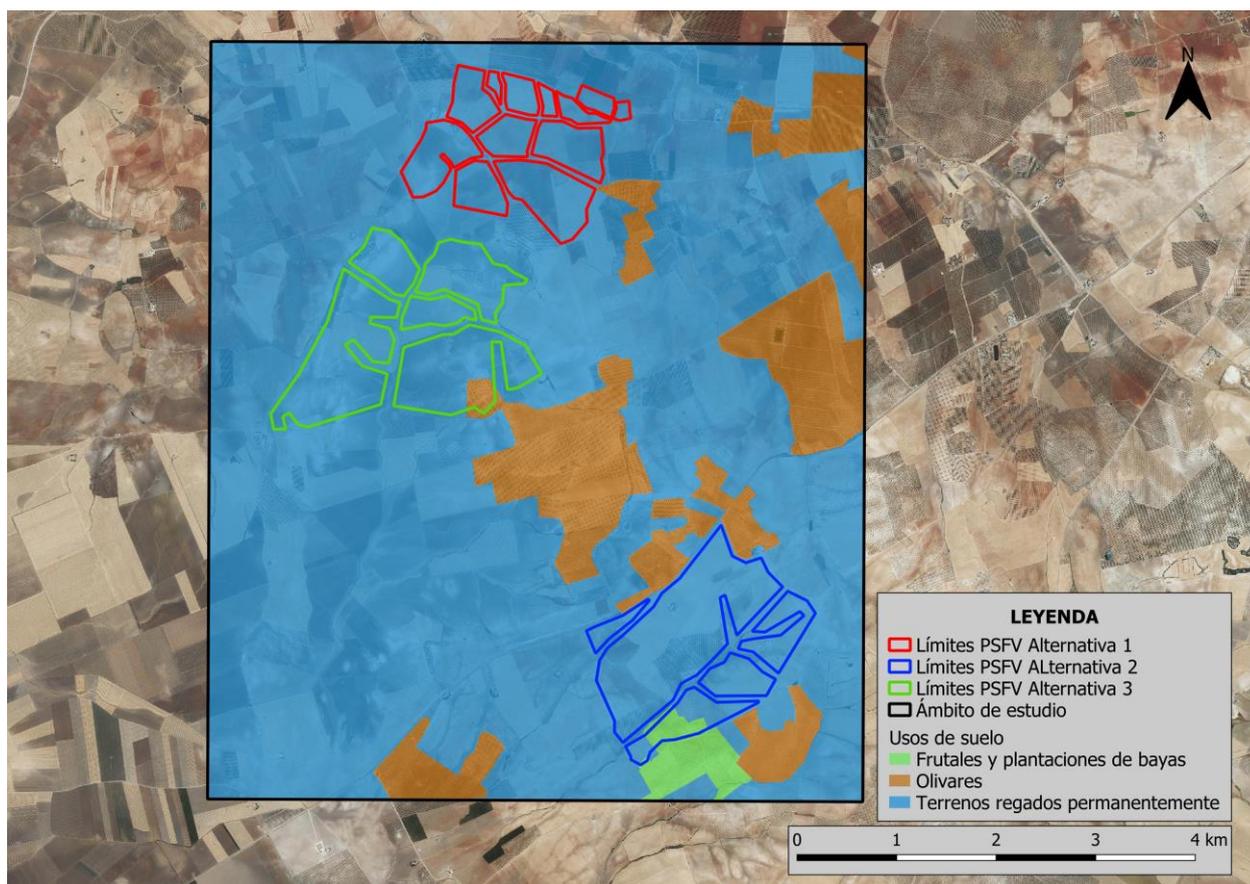


Ilustración 2.3. Usos de suelo

Los usos de suelo también son muy importantes para determinar las pérdidas de precipitación en los estudios hidrológicos. Tal como se verá más adelante, son un factor determinante a la hora de definir el umbral de escorrentía de la zona de estudio.

2.3. Relieve

Otro factor para tener en cuenta es el relieve de la zona estudiada, incluyendo tanto la altimetría como las pendientes.

Se ha obtenido la altimetría mediante el uso del Modelo Digital del Terreno (MDT) del CNIG con una precisión de 5 x 5 m. En la siguiente imagen (*Ilustración 2.4*), se puede ver que la zona estudiada comprende desde una elevación de 130 hasta los 282 msnm, situándose la alternativa 2 en la parte más alta.

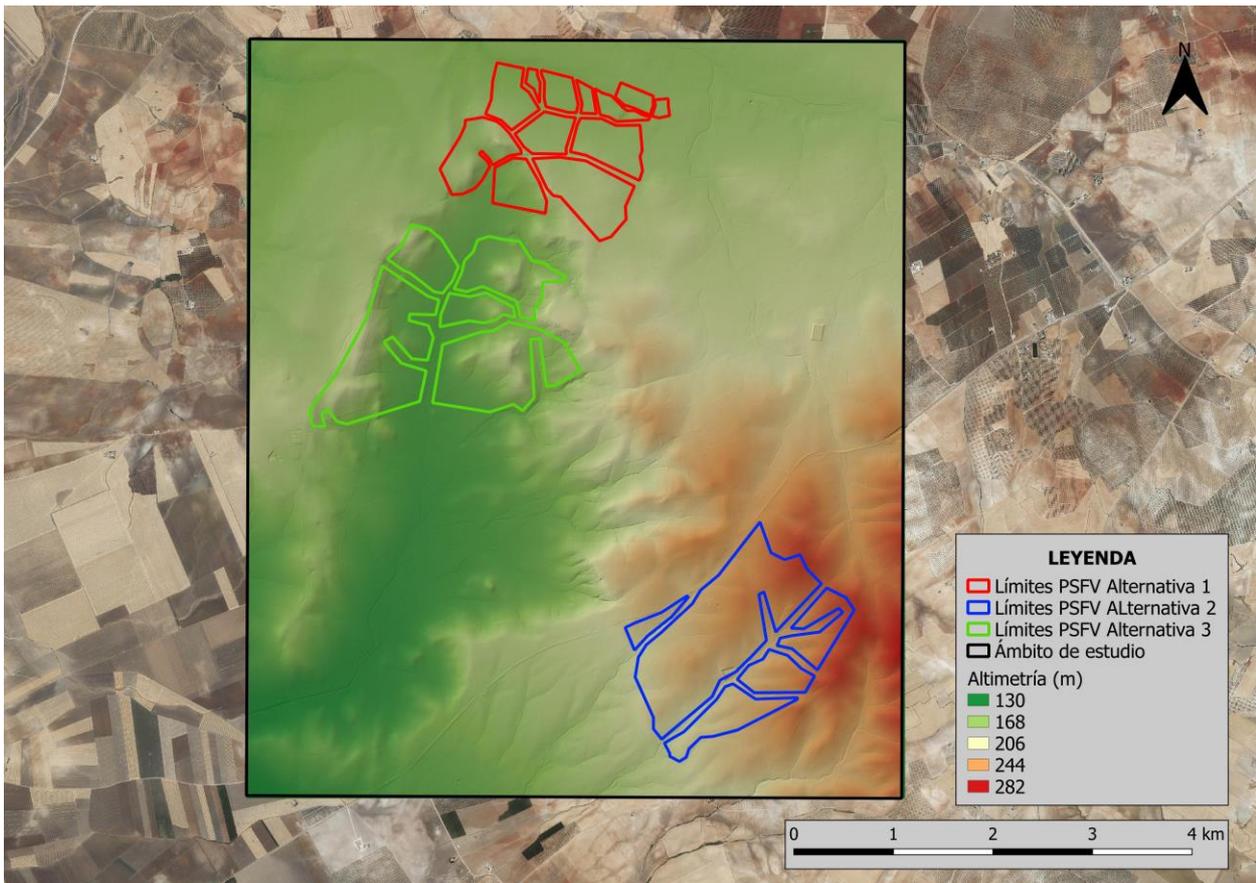


Ilustración 2.4. Altimetría (m)

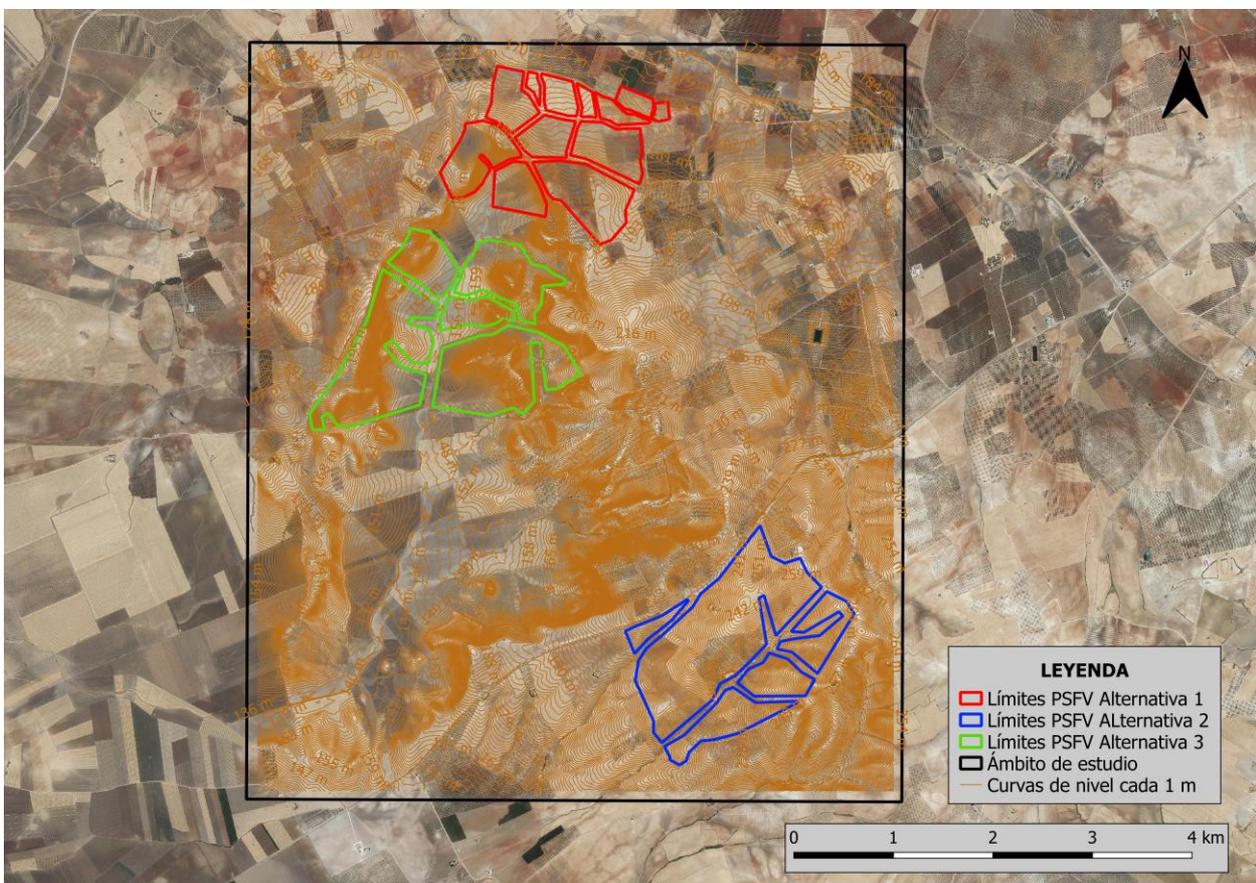


Ilustración 2.5. Curvas de nivel cada 1 metro

En la ilustración anterior (*Ilustración 2.5*) se pueden ver las curvas de nivel obtenidas a partir del MDT. Con estas curvas se puede ver más fácilmente la red hidrográfica de arroyos de la zona y ayudan a discernir las zonas con más variaciones de elevaciones existentes. Puede verse como las curvas están muy juntas en la ubicación de la tercera alternativa, así como en la parte sur de la primera alternativa.

Esto se ve más claro en la siguiente imagen (*Ilustración 2.6*), en la que se pueden ver las pendientes obtenidas a partir de estas elevaciones.

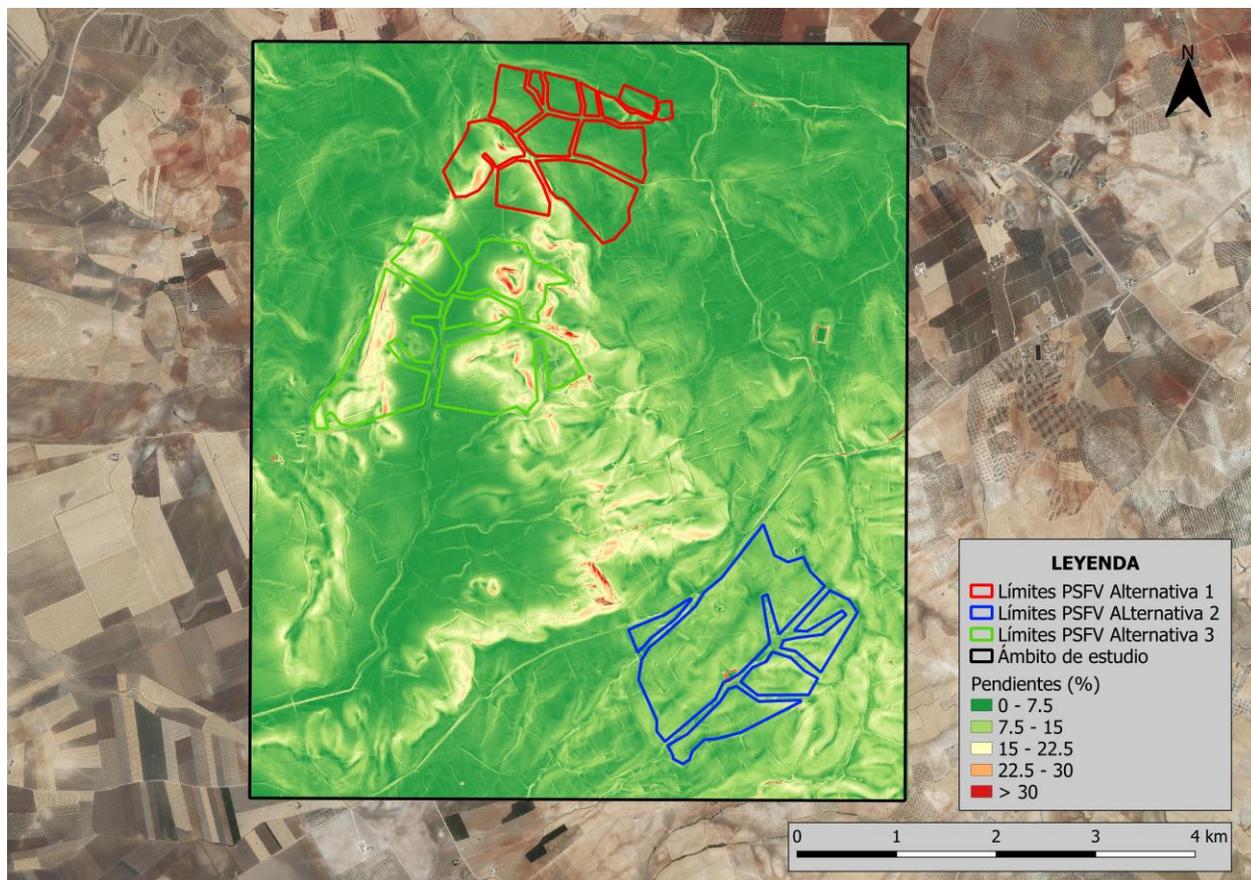


Ilustración 2.6. Pendientes (%)

Como se ha comentado, en la tercera alternativa se registran pendientes muy altas, por encima del 30 % en algunos casos, y en unas zonas de gran extensión. Esto es algo bastante negativo, ya que dificulta la colocación de las placas solares. En la alternativa 1 se registran unas pendientes bastante suaves, excepto en la zona sur, en la que se pueden observar algunas mayores, mientras que en la segunda alternativa se pueden ver unas pendientes bastante constantes en valores más suaves.

2.4. Climatología

Otro aspecto a destacar es la climatología de la zona de estudio. Al estar las tres alternativas en el mismo municipio no hay diferencias apreciables entre cada una de ellas, por lo que no será un condicionante diferencial para la elección final de la localización de la planta. Sin embargo, sí que es muy importante como factor para la elección de la zona de estudio, ya que la situación climática es uno de los principales argumentos que pueden decidir si la zona es óptima para la ubicación de una planta solar.

Tal como se comentó en el apartado introductorio, la colocación de una PSFV viene determinada en función de las horas de sol, las precipitaciones y la temperatura de la zona elegida, con respecto a los parámetros que dependen del clima.

La información GIS de la situación climática de la zona se ha obtenido de los Datos Espaciales de Referencia de Andalucía (DERA), mientras que se han consultado algunas otras fuentes para el resto de los parámetros climáticos mencionados, las cuales se recogen en la bibliografía.

El municipio de Écija se encuentra en una unidad climática correspondiente a la mediterránea continental, tal como se puede ver en la siguiente imagen (*Ilustración 2.7*). Este tipo de clima se caracteriza por temperaturas extremas tanto en invierno como en verano, es decir, muy cálidas en las épocas de verano y muy frías en invierno, y pocas precipitaciones durante el año, siendo éstas más frecuentes en otoño y primavera.

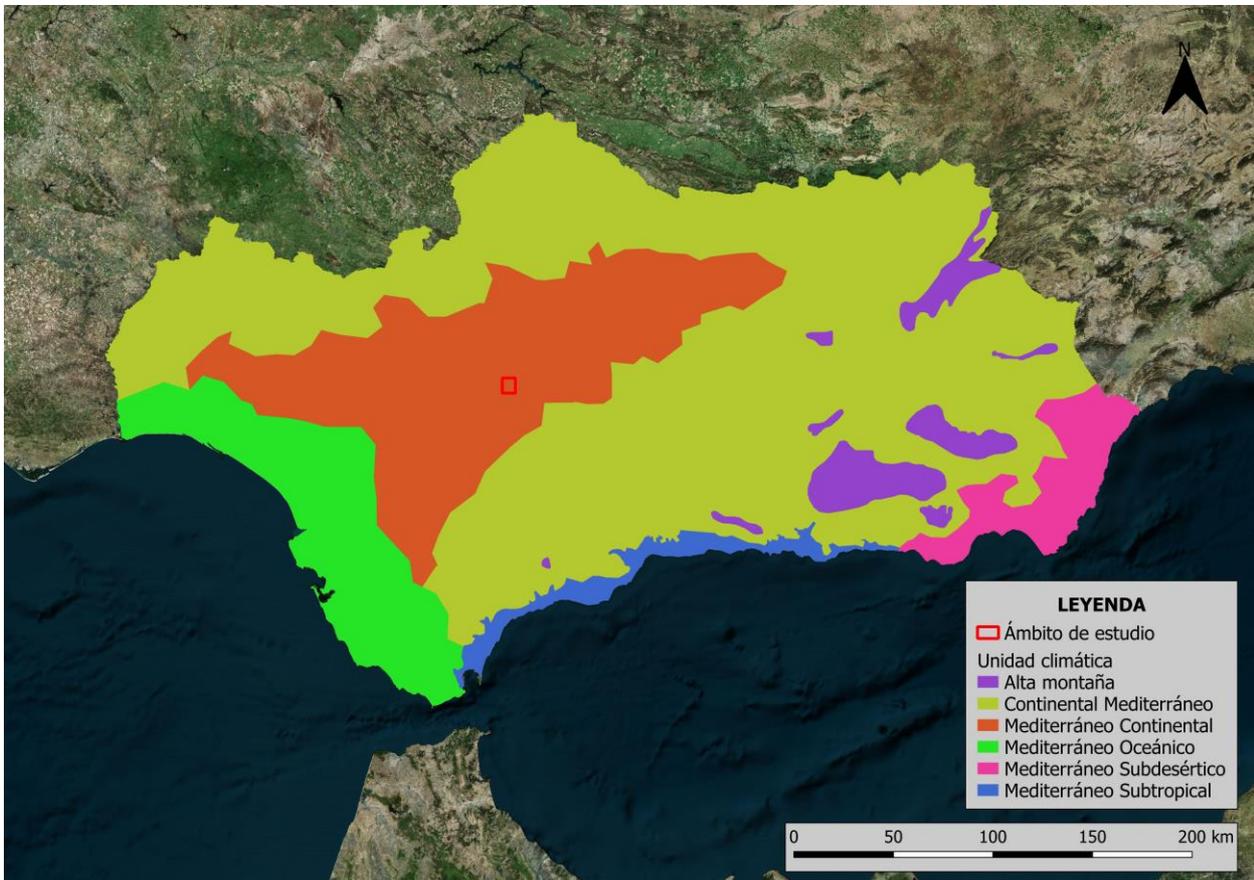


Ilustración 2.7. Unidad climática

En Écija la temperatura media anual es de 17 °C, según información del DERA, que es la temperatura habitual en la provincia de Sevilla. Se puede ver una ilustración (*Ilustración 2.8*) en la que se representa claramente la situación de Andalucía.

También se incluye una gráfica (*Ilustración 2.9*), en la que se puede observar la evolución del promedio de temperatura máxima y mínima a lo largo del año, por meses, en la que se puede observar que la temperatura máxima media en verano puede alcanzar los 36 °C, y la mínima en invierno los 3 °C.

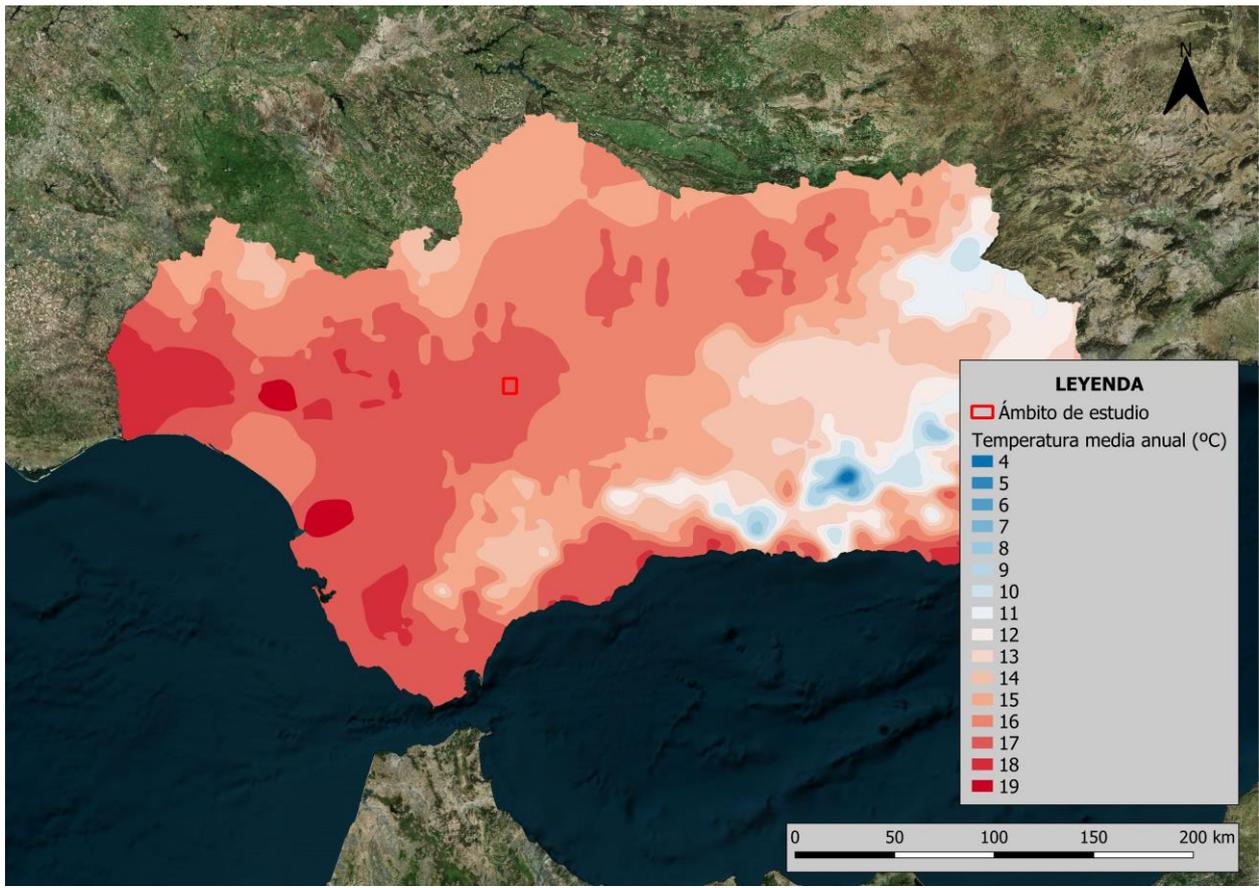


Ilustración 2.8. Temperatura media anual (°C)

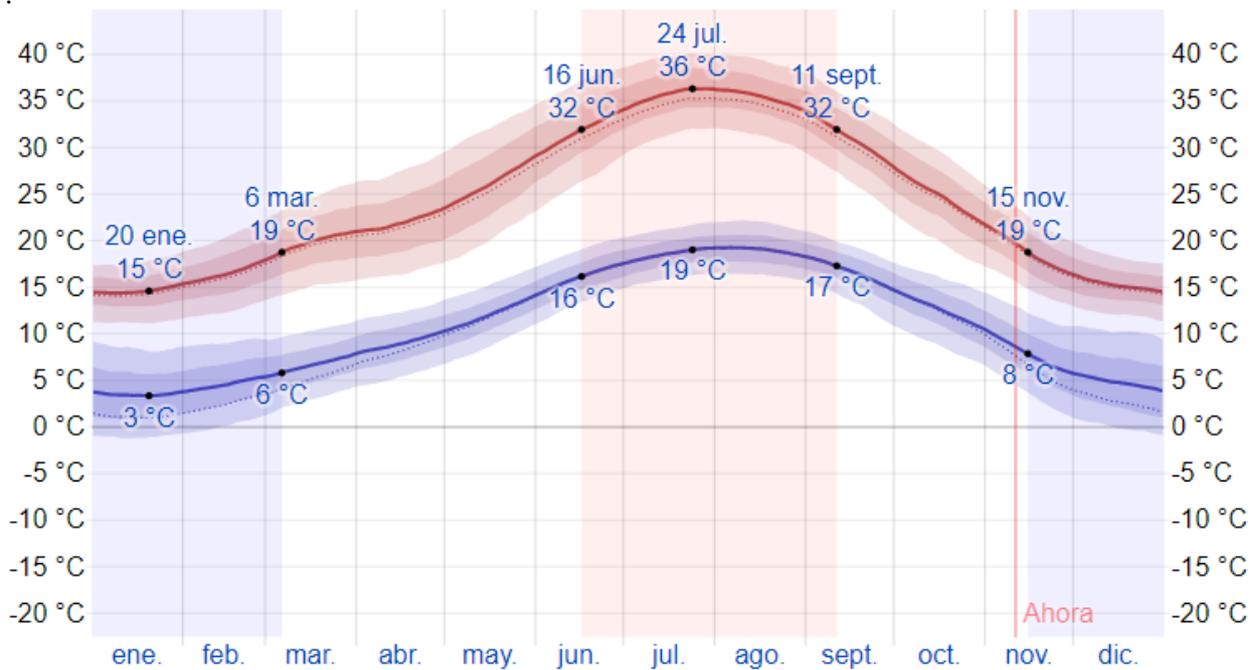


Ilustración 2.9. Temperatura máxima (línea roja) y mínima (línea azul) promedio diaria en Écija

La nubosidad es un aspecto importante a tener en cuenta, ya que mientras menos nubes haya en la zona, menos precipitaciones se generarán y más horas de sol habrá. En la siguiente gráfica (*Ilustración 2.10*) puede verse que Écija es un municipio con un nivel de nubosidad variable a lo largo del año, siendo diciembre el mes en el que se generan más nubes.

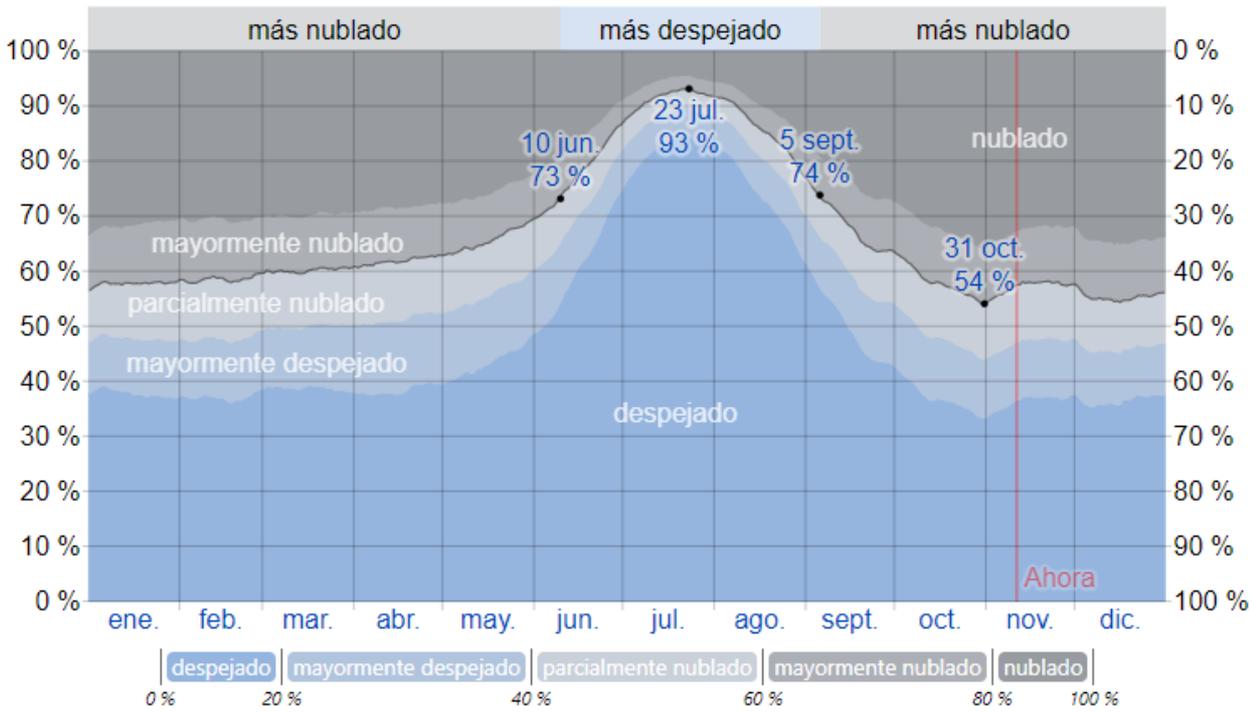


Ilustración 2.10. Porcentaje de cielo cubierto de nubes en Écija

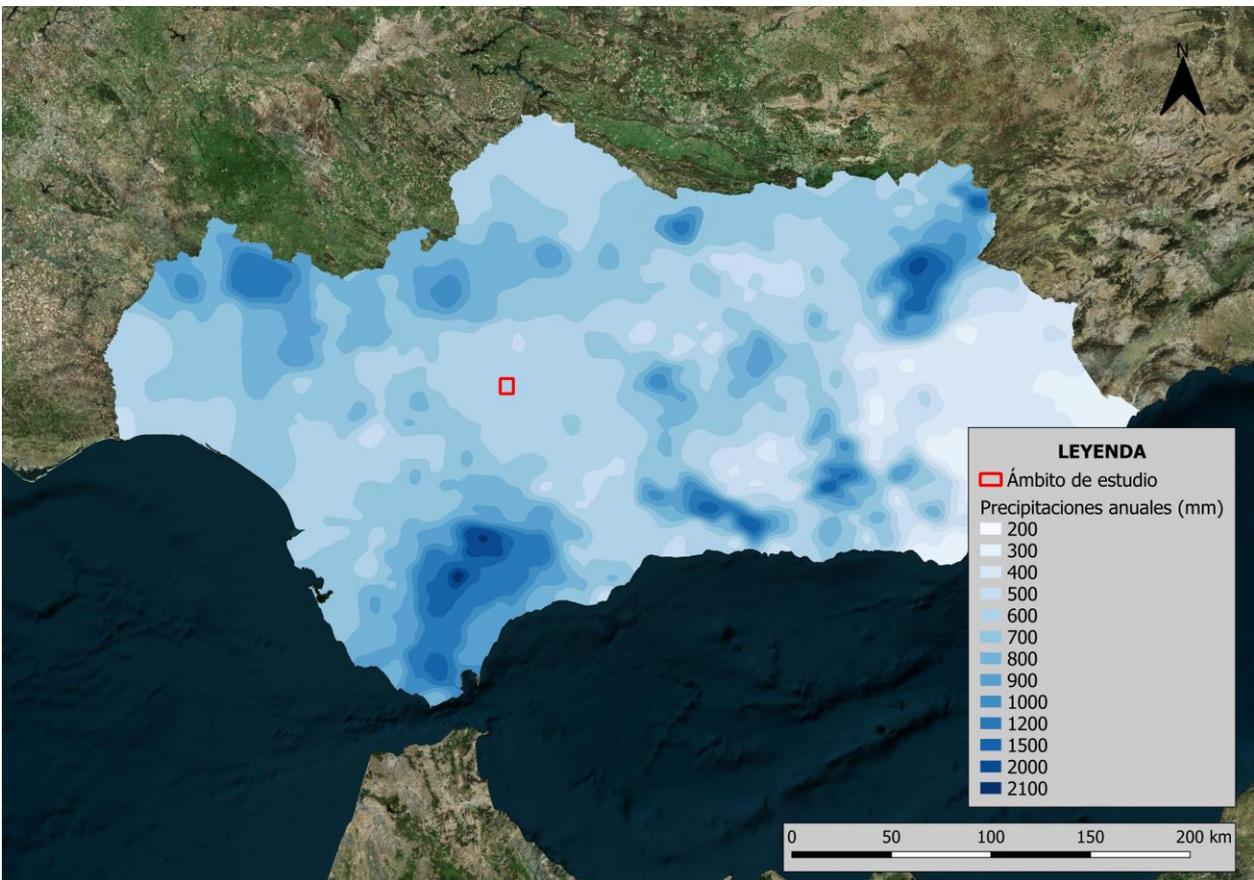


Ilustración 2.11. Precipitación media anual (mm)

Con respecto a las precipitaciones, la precipitación media anual del municipio es de unos 600 mm, tal como se puede ver en la imagen anterior (*Ilustración 2.11*). Los meses más lluviosos son noviembre y diciembre, y los que menos lluvias registran son los de verano, julio y agosto. Más adelante se ha realizado un estudio hidrológico en el que se ha profundizado más en este factor.

