



VNIVERSITAT  
E VALÈNCIA

# GRADO EN GEOGRAFÍA Y MEDIO AMBIENTE

## *TRABAJO DE FINAL DE GRADO*

*Cálculo de la evapotranspiración en la provincia de Valencia,  
con datos de teledetección mediante el modelo Sen-ET de SNAP*

Paula Pastor Álvarez

Tutora: Ana Belén Ruescas Orient



## Contenido

RESUMEN.....	4
SUMMARY .....	4
1. Introducción .....	5
2. Material y métodos.....	8
2.1. Zona de estudio .....	8
2.2. Material .....	12
2.3. Métodos.....	15
2.3.1. Cálculo de la evapotranspiración real mediante Sen-ET de SNAP.....	15
2.3.2. Cálculo de la evapotranspiración real mediante la ecuación de FAO Penman – Moneith 24	
3. Resultados .....	28
3.1. Resultados obtenidos de la metodología de Sen-ET con SNAP .....	28
3.2. Resultados obtenidos mediante Sen-ET de SNAP y mediante la ecuación de FAO Penman – Monteith con SNAP .....	35
3.3. Comparación de los resultados de evapotranspiración real respecto a parámetros biofísicos .....	37
4. Discusión y conclusión.....	42
Bibliografía .....	45
ANEXO I: TABLAS CLIMÁTICAS .....	48
ANEXO II: CARTOGRAFÍA.....	55



## Índice de figuras

Figura 1. Mapa de la localización de la zona de estudio.	9
Figura 2. Mapa hidrológico de la provincia de Valencia.	10
Figura 3. Mapa de los usos del suelo de la provincia de Valencia (CORINE 2018).	11
Figura 4. Diagrama de flujo de la obtención de la ETR mediante Sen-ET de SNAP. Fuente. Adaptación del 'User manual for Sen-ET SNAP'	19
Figura 5. Diagrama de flujo del grafo de pre-procesamiento de S-2 con SNAP.	20
Figura 6. Operación realizada en SNAP para añadir el grafo de las elevaciones a la imagen S-2.	20
Figura 7. Operación para añadir el grafo de la información de usos del suelo a la imagen S-2.	21
Figura 8. Nueva proyección de la imagen S-3 mediante SNAP.	22
Figura 9. Mapa de la ETR calculada para el 2018, 2019 y 2020 (ver detalle en Anexo II).	29
Figura 10. Gráfico de distribución de los valores de evapotranspiración real en la provincia de Valencia para las muestras de 2018, 2019 y 2020, de izquierda a derecha y de arriba abajo.	30
Figura 11. Mapa de la ETR en el Área Metropolitana de Valencia y en las huertas cercanas.	33
Figura 12. Mapas de ETR en la cuenca del Rio Turia próximo a su desembocadura en Valencia (ver detalle en Anexo II).	34
Figura 13. Mapa de la ETR de una zona montañosa entre las comarcas de La Vall d'Albaida y La Safor.	35
Figura 14. Mapas de evapotranspiración real según el método de Sen-ET de SNAP y mediante el método de FAO Penman-Monteith(ver detalle en Anexo II).	36
Figura 15. Gráfico de distribución de los valores de evapotranspiración real en la provincia de Valencia para la muestra de 2018 mediante Sen-ET (dcha) y FAO (izda). Fuente. SNAP.	37
Figura 16. Gráfico de dispersión entre los valores de LAI in-situ y LAI S2	38
Figura 17. Gráfico de dispersión entre los valores de CCC in-situ y CCC S2	39
Figura 18. Gráfico de dispersión e histogramas de LAI y CCC de la Huerta de Valencia.	40
Figura 19. Gráfico de dispersión de los valores de LAI agrupados por tipo de vegetación.	41
Figura 20. Gráfico de dispersión de los valores de CCC agrupados por tipos de vegetación.	41
Figura 21. Gráfico de dispersión de los valores de LAI según el tipo de cultivo (derecha) y de CCC según el tipo de cultivo (izquierda).	42

## Índice de tablas

Tabla 1. Especificación de las coordenadas geográficas de la zona de estudio.	8
Tabla 2. Especificaciones de los ríos más importantes en la provincia de Valencia. Fuente. Instituto Geológico y Minero Español (IGME)	9
Tabla 3. Zonas agrícolas en la provincia de Valencia.	11
Tabla 4. Bandas de 10 m de resolución espacial y relación señal/ruido asociada (SNR).	13
Tabla 5. Bandas de 20 m de resolución espacial y relación señal/ruido asociada (SNR).	13
Tabla 6. Bandas de 60 m de resolución espacial y relación señal/ruido asociada (SNR).	13
Tabla 7. Características técnicas de S2 y S3.	14
Tabla 8. Localización y fechas de los datos descargados de S-2 y S-3 en COAH.	16
Tabla 9. Conversión de unidades	27
Tabla 10. Rango temporal para la elaboración de las bases de datos climáticos.	31
Tabla 11. Datos climáticos medios (30 días) de los años 2018, 2019 y 2020. Fuente: IVIA	32



## RESUMEN

Una buena planificación y gestión de los recursos hídricos es esencial para la optimización de los cultivos. Por este motivo es necesario llevar a cabo estudios sobre los parámetros biofísicos que regulan el contenido hídrico en determinadas áreas de cultivos. Existen diferentes metodologías de cálculo de la evapotranspiración, entre otros, el cálculo empírico o los cálculos mediante modelos físicos de ecuaciones matemáticas. Este trabajo consiste en el cálculo de la evapotranspiración mediante modelos que utilizan datos provenientes de la teledetección. Para ello se utiliza la aplicación SNAP (Sentinel Application Platform) y el modelo Sen-ET (Sentinel - Evapotranspiration). Los datos de los satélites Sentinel 2 y Sentinel 3 se utilizan junto a datos climáticos, cartografía de usos del suelo y modelos digitales de elevaciones para obtener el dato de evapotranspiración real. La finalidad principal es conocer las tasas de evapotranspiración real de la provincia de Valencia en días determinados.

**Palabras clave:** Recursos hídricos, cultivos, evapotranspiración, SNAP, Valencia

## SUMMARY

Good planning and management of water resources are essential in order to optimize crops. For these reason is necessary to perform biophysical parameters studies which regulate water content in certain crop areas. There are different methodologies to calculate evapotranspiration, such as empiric methods or using mathematical equations.

This study is based on the calculation of evapotranspiration using models based on remote sensing data. In order to perform it, Sentinel Application Platform (SNAP) and the model Sen-ET will be used. The main aim is to know evapotranspiration rate in the Valencian province at a specific moment. The remote imagines, Sentinel 2 and Sentinel 3, are downloaded from the open platform of Copernicus SciHub managed by ESA.

**Key words:** Water resource, crops, evapotranspiration, SNAP, Valencia



## 1. Introducció

Hoy en día, el cambio climático es una realidad, así como los efectos que este produce. Este proceso climático se ha visto agravado por la acción del ser humano. Las malas prácticas ambientales realizadas durante décadas han producido daños irreversibles en la faz de la Tierra.

Según la ‘Estrategia valenciana de cambio climático y energía 2030’ (*Generalitat Valenciana, 2020*) algunas de las consecuencias del cambio climático son: el calentamiento de la atmósfera y el océano; la disminución del volumen de nieve y hielo; la elevación del nivel del mar; el aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero, produciendo por ello un impacto significativo en los sistemas naturales y humanos.

Hay que destacar que las proyecciones señalan que la temperatura en superficie continuará aumentando a lo largo del siglo XXI (*Generalitat Valenciana, 2020*). Otro aspecto que se destaca es que los daños proyectados por el cambio climático serán más altos en la región mediterránea. Por ello, es de especial relevancia destacar los efectos que se producirán en la *Comunitat Valenciana*, donde se encuentra la zona de estudio de este trabajo. Algunos de estos efectos son, la escasez de los recursos hídricos, la frecuencia (cada vez más alta) de periodos de sequías, la pérdida de biodiversidad, la degradación de ecosistemas naturales y el incremento de procesos erosivos del suelo.

Uno de los problemas a los que habrá que enfrentarse es a la gestión de los recursos hídricos. Los patrones de precipitación están cambiando, así como, los fenómenos climáticos extremos, las olas de calor, las precipitaciones intensas y las sequías, ya que están aumentando en frecuencia e intensidad (*Generalitat Valenciana, 2020*).

Un sector al que afecta de manera significativa el cambio climático es la agricultura, ya que los cultivos necesitan tierra, agua, luz solar y calor adecuados para crecer. El calentamiento atmosférico ya ha alterado la duración de la estación de crecimiento en grandes partes de Europa. Las épocas de floración y cosecha de los cereales se adelantan ya varios días. Es previsible que estos cambios sigan produciéndose en muchas regiones. Así pues, en algunas zonas del Mediterráneo, el estrés hídrico y térmico extremo en los meses de verano, podría obligar a desplazar la producción de algunos cultivos estivales al invierno (*Agencia Europea del Medio Ambiente, 2015*).

Por esta razón, surge la necesidad de la realización de estudios basados en los parámetros que influyen en el crecimiento vegetativo y la gestión de los recursos hídricos. Con el fin de elaborar modelos de riego más eficientes.

Uno de los estudios más recientes de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Agencia Espacial Europea (ESA) (*Radoslaw, G, et al., 2021*) aboga por hallar una mayor eficacia de los modelos de cálculo de la evapotranspiración real mediante teledetección a escalas espaciales diferentes, por ello se



crea el portal WaPOR, con el fin de facilitar información de libre acceso de este parámetro.

El ámbito de estudio en el que se basa este trabajo es la provincia de Valencia y el objetivo principal el cálculo de la evapotranspiración real.

El fenómeno estudiado, la evapotranspiración, es la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde, a través de la superficie del suelo por evaporación y, por otra parte, mediante transpiración del cultivo (*Richard, G. & Allen, L. 2006*).

Este parámetro depende de numerosos factores meteorológicos, entre ellos la radiación solar como la fuente de energía fundamental para el desarrollo del proceso, la temperatura del aire como consecuencia de la anterior, la humedad relativa como medida de la capacidad evaporativa del ambiente y de la velocidad del viento que remueve constantemente el agua desde la superficie evaporante y transporta, en ocasiones, calor para mantener activo el proceso; pero, además, depende de las características de la vegetación del área, su tipología, densidad y estado de crecimiento, como también del suelo, sus propiedades y su contenido de humedad (*Sánchez, M. & Carvacho, L., 2011*).

Algunas de las metodologías para medir la evapotranspiración son: técnicas manuales, métodos empíricos y modelos físicos, que pueden utilizar como parámetros de entrada los datos de teledetección.

Son muchos los estudios realizados con técnicas empíricas para la obtención de la evapotranspiración. Un ejemplo de ellos es el trabajo de Soriano Soto, M.D. et al. (2012). En él se estudian las condiciones climáticas de la provincia de Valencia comparándolo con los valores de evapotranspiración de 29 estaciones climáticas de la provincia. Además, calculan la evapotranspiración potencial con los métodos de *Penman, Hargreaves, Turc* y *Thornthwaite* para comparar los resultados y determinar cuáles son los más adecuados.

Hay que destacar el estudio realizado por Pasqualotto et al. (2020). Este se basa en la estimación de la evapotranspiración potencial mediante técnicas de teledetección empleando los parámetros biofísicos necesarios. Posteriormente, compara los resultados obtenidos con diferentes metodologías empíricas, métodos estadísticos y modelos físicos, para precisar qué modelo es más exacto y preciso.

El presente trabajo se basa en la estimación, mediante técnicas de teledetección, de la evapotranspiración real (ETR) en la provincia de Valencia. La evapotranspiración real es el contenido hídrico que se pierde (se evapora y se transpira) en un momento dado y con unas condiciones climáticas específicas (radiación solar, humedad atmosférica, temperatura y velocidad del viento) y en un tipo de vegetación determinado.

Para dicho cálculo, se han utilizado imágenes satélites (Sentinel 2 y Sentinel 3) proporcionadas por la ESA. El material satelital se ha obtenido mediante la interfaz gráfica de *Copernicus Open Access Hub* (COAH). Esta plataforma, y los materiales que aquí se encuentran son de libre acceso y gratuitos.



El proyecto Copernicus, según redacta el Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico (MTERD) es una iniciativa conjunta de la Comisión Europea y de la ESA que persigue construir un sistema autónomo de observación de la tierra en base a tres pilares fundamentales: observación espacial mediante una red de satélites, observación in-situ mediante redes de estaciones de medida en tierra y medios aerotransportados, y generación de servicios de información. El principal objetivo de Copernicus es diseñar una red de información europea sostenible para monitorear, registrar y analizar datos y eventos ambientales en todo el mundo. (Fernández, J.F, et al. 2016).

Para el tratamiento de las imágenes de satélite se ha utilizado el software SNAP proporcionado por la ESA. Además, es necesaria una extensión llamada Sen-ET (*Sentinel - Evapotranspiration*), para lograr un producto final que muestre las tasas de evapotranspiración real, para cada píxel, a partir de modelos digitales del terreno (MDT) y otros datos auxiliares para completar los resultados.

Se emplea además otra metodología para el cálculo de la evapotranspiración real basada en la ecuación de la FAO de Penman-Monteith (modificación del 1998) con la finalidad de comparar los datos obtenidos de ambas metodologías.

Por último, algunos de los productos obtenidos intermedios son diferentes parámetros biofísicos. Entre ellos se encuentran el índice de área foliar (*Leaf Area Index*, LAI), este parámetro se utiliza para conocer el estado de los cultivos, y el contenido de clorofila en el dosel (*Canopy Chlorophyll Content*, CCC) que indica la cantidad de pigmentos verdes de la hoja por superficie de suelo. Ambos son determinantes en el cálculo de la evapotranspiración real mediante técnicas de teledetección. Por esta razón se procede a la comparativa de LAI y CCC obtenido, con respecto a otros datos tomados in-situ. Estos últimos datos han sido proporcionados por Nieves Pasqualotto Vicente, autora de la Tesis '*Estimation of key biophysical parameters related to crop stress through new remote sensors and multi-crop in-situ data*' (2020). Esta comparación entre datos espaciales e in-situ proporciona pistas más claras y concisas sobre la fiabilidad de los resultados obtenidos en este estudio.

Por tanto, el objetivo general es la generación de productos de evapotranspiración real con diferentes metodologías, en un momento determinado (en concreto en tres días del mes de octubre de los años 2018, 2019 y 2020), obteniendo así valores próximos a la realidad.

Los objetivos específicos del estudio son, por una parte, conocer las plataformas de libre acceso que permiten la descarga de imágenes satélite, saber manejar el software SNAP y la extensión Sen-ET para la obtención de los productos de evapotranspiración real y, por otro lado, conocer y aplicar la fórmula de FAO Penman-Monteith (1998) que utiliza insumos similares a la proporcionada en el Sen-ET, aunque con algunas variaciones. Por último, comparan los productos intermedios de LAI y CCC con respecto a la base de datos in-situ proporcionada por Pasqualotto et al. (2020) de diferentes cultivos en la huerta de Valencia en el año 2018, introduciendo así metodologías de validación.

## 2. Material y métodos

En el siguiente apartado se exponen las zonas de estudios, los materiales utilizados en el estudio, y las diferentes partes del proceso que se ha llevado a cabo para hallar la evapotranspiración real en la provincia de Valencia, tanto con el método de Sen-ET de SNAP como con la metodología de FAO Penman-Monteith con SNAP.

### 2.1. Zona de estudio

La zona de estudio es la provincia de Valencia. Esta se encuentra localizada al este de la Península Ibérica, limita con las provincias de Castellón y Teruel al norte, Cuenca y Albacete al oeste, Alicante en el sur y con el mar Mediterráneo al oeste (Figura 1). Sin embargo, como la procedencia de los datos satelitales abarca cuadrículas de 100 x 100 Km, no tanto límites administrativos, también se contemplan zonas próximas a los límites administrativos de la provincia de Valencia (como el norte de la provincia de Alicante). Por ello las coordenadas que delimitan la zona de estudio están descritas en la Tabla 1.

Tabla 1. Especificación de las coordenadas geográficas de la zona de estudio.

VÉRTICES	LATITUD	LONGITUD
<b>1</b>	39° 43' 36'' N	0° 39' 59'' W
<b>2</b>	39° 41' 38'' N	0° 36' 44'' E
<b>3</b>	38° 44' 47'' N	0° 41' 56'' W
<b>4</b>	38° 42' 27'' N	0° 33' 41'' E

El clima predominante en el área de estudio es de carácter mediterráneo, con inviernos suaves, y veranos calurosos. Los periodos de lluvia más intensos se dan en los meses de marzo y abril (en primavera), y en septiembre y octubre (en otoño). Es destacable señalar el fenómeno de 'gota fría' o 'lluvias torrenciales' característico de algunas zonas costeras de dicha región. La temperatura media anual es de entre 15 y 17°C (AEMET, 2021).

En cuanto a la hidrología, el sistema hidrográfico de la provincia de Valencia es de tipo mediterráneo, uno de sus rasgos característicos es la irregularidad de sus cauces fluviales y la torrencialidad en periodos de lluvias intensas de sus aguas.

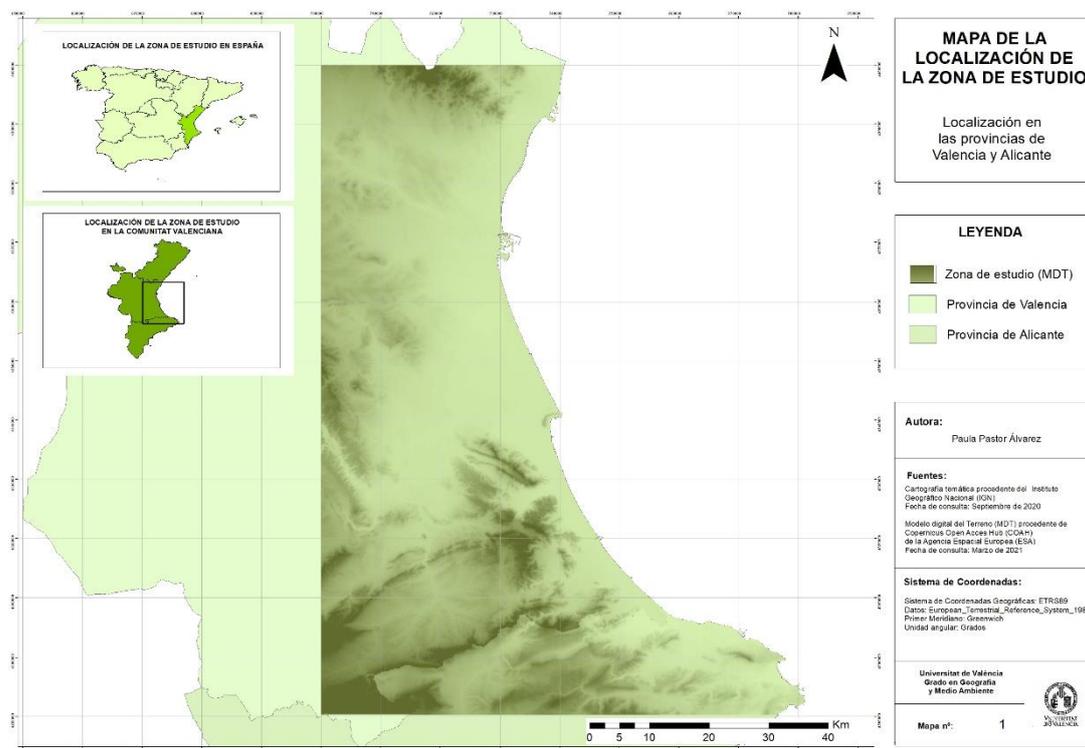


Figura 1. Mapa de la localización de la zona de estudio.

Los principales ríos localizados en la zona de estudio son; el río Turia y el río Júcar. En la Tabla 2 aparecen detallados los datos más relevantes del río Turia y el Júcar, haciendo referencia únicamente al ámbito de la Comunidad Valenciana. Se observa que el río Turia es el más extenso de toda la comunidad con una longitud de 180 Km, siendo también el que registra un mayor desnivel, 750m. Sin embargo, la cuenca hidrográfica del río Júcar es considerablemente mayor que la del Turia, teniendo esta una superficie de 6.215 Km<sup>2</sup>, mientras que la del Turia es de 2.580 Km<sup>2</sup>. En cuanto al caudal, el río Júcar cuenta con un registro de 1.815 Hm<sup>3</sup> anuales, mientras que la del Turia es de 490 Hm<sup>3</sup> al año.

Tabla 2. Especificaciones de los ríos más importantes en la provincia de Valencia. Fuente. Instituto Geológico y Minero Español (IGME)

<b>RÍOS</b>	<b>LONGITUD (Km)</b>	<b>DESNIVEL (m)</b>	<b>CUENCA (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>APORTACIÓN (Hm<sup>3</sup>/año)</b>
<b>JÚCAR</b>	155	400	6.215	1.815
<b>TURIA</b>	180	750	2.580	490

Además, se destacan otros ríos de especial relevancia como, por ejemplo, los ríos Ebrón, Palancia, Andilla, Reatillo, Madre, Buñol, Magro, Capriel, Grande, Canyoles, Albaida y

Serpis (Figura 2). Atendiendo al método de Strahler (1957), se han incluidos aquellos de orden 1, 2, 3 (cauces primarios, secundarios y terciarios respectivamente).

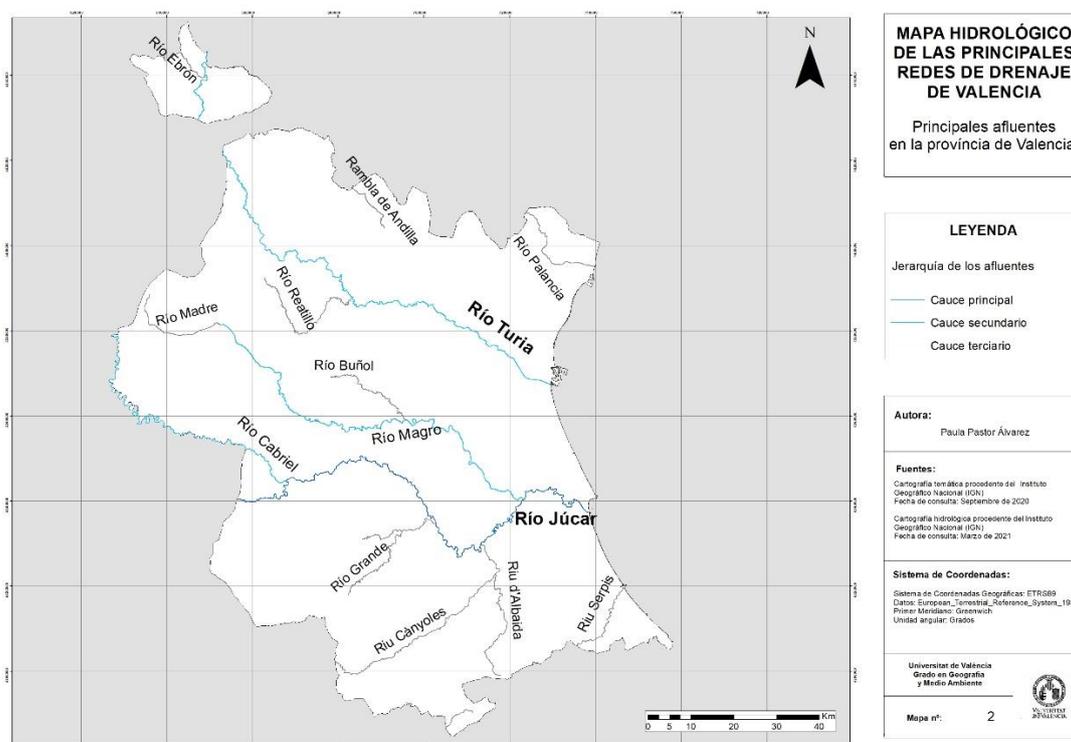


Figura 2. Mapa hidrológico de la provincia de Valencia.

Hay zonas de la provincia de Valencia donde se localizan problemas de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas por nitritos a causa de las malas prácticas ambientales realizadas en el ámbito agrícola. Esto se debe a la utilización de fertilizantes nitrogenados en las tierras de cultivos. Además, la gestión de estos aspectos es fundamental para reducir la vulnerabilidad de los acuíferos, ya que los recursos hídricos son un recurso natural y escaso, necesarios para la vida.

Uno de los aspectos más significativos, en lo que refiere al consumo del agua, son los usos del suelo (Figura 3), en el año 2018 la *Comunitat Valenciana* fue la comunidad autónoma con el gasto de agua por habitante al día más alto, concretamente 175L por habitante y día, (INE, 2018).

Es importante destacar las zonas urbanas de mayor envergadura, en el caso de la zona de estudio es el área metropolitana de Valencia, además de que incluye en sus inmediaciones la Albufera (laguna costera). En cuanto a humedales, también hay otros espacios lacustres como la *Marjar de la Safor* o la *Marjal de Pego-Oliva*. Valencia también cuenta con un territorio dedicado a la agricultura denominado La Huerta de Valencia, de especial

relevancia en este estudio, ya que se dispone de muestras para la comparación de determinados parámetros biofísicos.

Por otro lado, el sector agrícola cuenta con un total de 283.180 hectáreas (ha) en la provincia de Valencia, de los cuales 171.197 ha son de regadío, y el resto de secano, como se observa en la Tabla 3.

Tabla 3. Zonas agrícolas en la provincia de Valencia.

Fuente. Estadística agraria y pesquera de la Generalitat Valenciana, 2018

CULTIVOS EN LA COMUNITAT VALENCIANA 2018		
Secano (ha)	Regadío (ha)	Superficie total (ha)
111.983	171.197	283.180

El suelo forestal en la provincia de Valencia ocupa una superficie de 604.544 ha (55.94% del total del suelo) según el Plan de Acción Territorial Forestal de la *Comunitat Valenciana* (PATFOR, 2013).

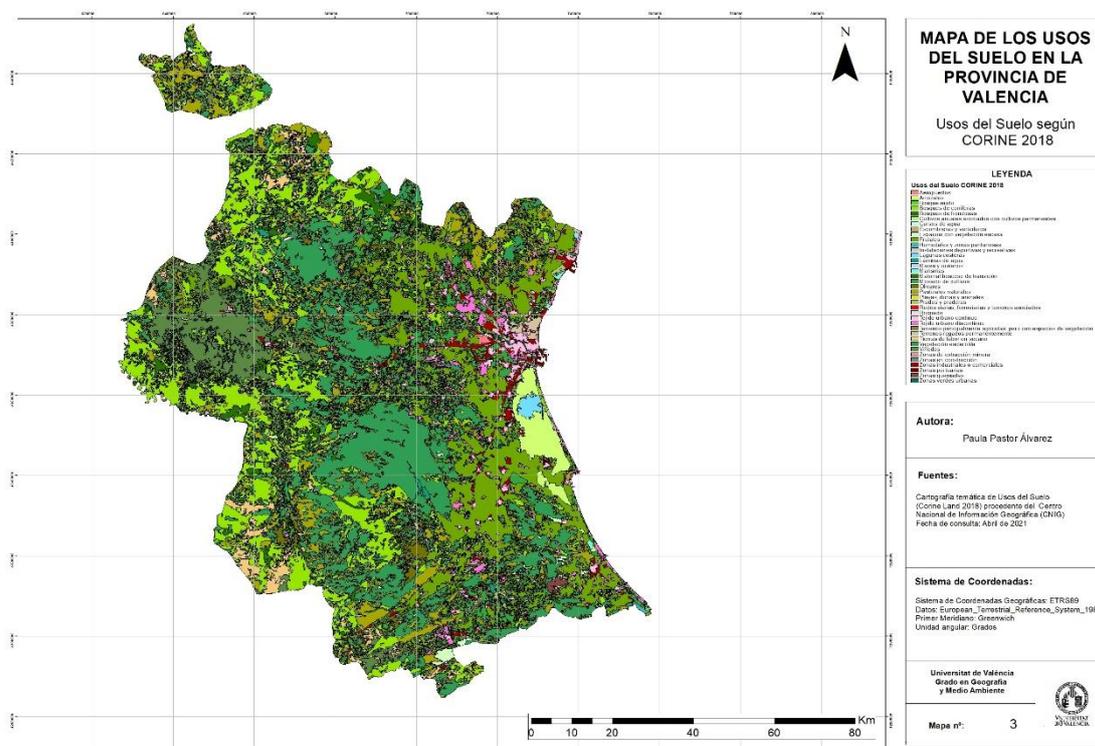


Figura 3. Mapa de los usos del suelo de la provincia de Valencia (CORINE 2018).



La segunda zona de estudio, con la que se lleva a cabo el análisis comparativo de los valores de LAI y CCC, se localiza en la Huerta de Valencia. Esta se encuentra a las afueras de la ciudad de Valencia. Las coordenadas del área de estudio son: 39° 31' 11.73'' N, 0° 23' 20.48'' W con una altitud sobre el nivel del mar de 18 m, (Datum WGS84).

El área se caracteriza por ser una llanura aluvial con una superficie aproximada de 12.000 ha, ubicada a 6 Km del mar. El clima es mediterráneo con inviernos suaves y veranos calurosos, en cuanto a la temperatura media anual es de aproximadamente 18°C. Por lo general, las lluvias son estacionales, siendo en verano mínimas y en los meses de primavera y otoño máximas, con un valor medio de 230 mm.

La Huerta de Valencia se caracteriza por un complejo sistema de riego histórico basado en acequias, que llevan el agua a este suelo fértil, donde se pueden observar diferentes cultivos como el arroz, la chufa y diferentes especies de hortalizas y huertos, además de cítricos. Dichos cultivos se encuentran actualmente en parcelas de 40 a 100m de longitud (< 1 ha).

## 2.2. Material

La plataforma utilizada para el procesamiento de los datos es SNAP (*Sentinel Application Platform*), esta está definida como una herramienta de trabajo que contienen todas las 'ToolBox' para tratar los datos de los diferentes satélites de la serie Sentinel (y mucho otros). El complemento empleado y que contiene las funciones necesarias para aplicar el modelo del cálculo de la evapotranspiración con Sen-ET. La escala de trabajo está centrada en un píxel de 20 x 20 m, por lo que la resolución es tan fina que podría utilizarse a nivel de parcela.

El complemento Sen-ET, utiliza cinco tipos de datos de entrada;

- Datos ópticos de Sentinel-2 *Multispectral Instrument* (S-2 MSI) tras la corrección atmosférica (L2A).
- Datos térmicos de Sentinel-3 *Sea and Land Surface Temperature Radiometer* (S-3 SLSTR)
- Datos meteorológicos provenientes del modelo ERA5 generado por *el European Centre for Medium – Range Weather Forecasts*, ECMRWF.
- Modelos de elevación digital (MDT)
- Mapa de usos del suelo del *CORINE Land Cover*.

Los datos de S-2 MSI, son un conjunto de imágenes multiespectrales de alta resolución espacial, media resolución espectral y alto ancho de franja, que se utiliza en los estudios y servicios de Monitoreo Terrestre de Copernicus, incluido el monitoreo de la vegetación, el suelo y la cubierta de agua, así como la observación de vías navegables interiores y áreas costeras. El instrumento multiespectral S-2 MSI muestrea en 13 bandas espectrales: cuatro bandas a 10 metros (Tabla 4), seis bandas a 20 metros (Tabla 5) y tres bandas a 60 metros de resolución espacial (Tabla 6) (European Spatial Agency, 2020).

Tabla 4. Bandas de 10 m de resolución espacial y relación señal/ruido asociada (SNR).

<b>Nº DE BANDA</b>	<b>LONGITUD DE ONDA CENTRAL (nm)</b>	<b>BANDA ANCHA (nm)</b>	<b>Lref (RESPLANDOR DE REFERENCIA) (Wm-2 sr-1 microm-1)</b>	<b>SNR Lref</b>
2	490	65	128	154
3	560	35	128	168
4	665	30	108	142
8	842	115	103	172

Tabla 5. Bandas de 20 m de resolución espacial y relación señal/ruido asociada (SNR).

<b>Nº DE BANDA</b>	<b>LONGITUD DE ONDA CENTRAL (nm)</b>	<b>BANDA ANCHA (nm)</b>	<b>Lref (RESPLANDOR DE REFERENCIA) (Wm-2 sr-1 microm-1)</b>	<b>SNR Lref</b>
5	705	15	74,5	117
6	740	15	68	89
7	783	20	67	105
8b	865	20	52,5	72
11	1610	90	4	100
12	2190	180	1,5	100

Tabla 6. Bandas de 60 m de resolución espacial y relación señal/ruido asociada (SNR).

<b>Nº DE BANDA</b>	<b>LONGITUD DE ONDA CENTRAL (nm)</b>	<b>BANDA ANCHA (nm)</b>	<b>Lref (RESPLANDOR DE REFERENCIA) (Wm-2 sr-1 microm-1)</b>	<b>SNR Lref</b>
1	443	20	129	129
9	945	20	9	114
10	1375	30	6	50

La finalidad de la utilización de este material es la caracterización del estado biofísico de la superficie terrestre. Para este caso se ha seleccionado la resolución de 20 metros. Se escoge esta resolución porque corresponde a la resolución nativa de las bandas MSI de borde rojo y de infrarrojo de onda corta que son críticas para el procesador biofísico de SNAP (Tabla 5). Esta resolución también es suficiente para capturar la mayoría de las características del paisaje de interés.

En segundo lugar, los datos utilizados de S-3 provienen del radiómetro de temperatura de la superficie del mar y la tierra (SLSTR), la captación de datos consiste en un radiómetro de temperatura de barrido de doble vista, que vuela en órbita terrestre baja (800 – 830 Km de altitud).

En la Tabla 7, se pueden observar las diferencias técnicas que existen entre el instrumento MSI del satélite Sentinel-2 y el instrumento SLSTR de Sentinel-3. La vida útil de ambos satélites es de 7 años aproximadamente. En cuanto a la longitud de onda, S-2 registra entre 429 y 1377 nm, mientras que S-3 trabaja en un rango más extenso, entre 380 y 2500 nm. La altitud media donde se sitúa S-2 es de 786 Km y la de S-3 es de 740 Km (situadas ambas en la exosfera). El ancho de franja orbital es en el primer caso de 209 Km y para S-3 de 740 Km. En cuanto a la resolución espacial, S-2 trabaja con tres resoluciones de 10m, de 20m y de 60m, en cambio S-3 trabajo únicamente a dos resoluciones, una de 500m y otra a 1000m. Las bandas espectrales en el caso de S-2 son 13, y para S-3 son 11 bandas.

Tabla 7. Características técnicas de S2 y S3.

CONJUNTO DE DATOS	VIDA ÚTIL (años)	LONGITUD DE ONDA (nm)	ALTITUD MEDIA (Km)	ANCHO DE FRANJA ORBITAL (Km)	RESOLUCIÓN ESPACIAL (m)	PERIODO DE REVISIÓN (días)	BANDAS ESPECTRALES (nº)
Sentinel -2 MSI	7,25	492 - 1377	786	290	10 - 20 - 60	5	13
Sentinel - 3 SLSTR	7,5	380 - 2500	814	740	500 - 1000	1 - 2	11

Se precisa también de datos meteorológicos. Estos son necesarios para establecer las condiciones que impulsan y modulan la transferencia de energía entre la superficie y la atmósfera y consisten en bases de datos climáticos proporcionados por el reanálisis del ECMWF ERA-5.



Los reanálisis climáticos combinan observaciones pasadas con modelos de pronósticos para generar series de tiempo consistentes de múltiples variables climáticas (*European Comission, 2020*).

Según el ECMWF (2020), ERA5 proporciona estimaciones por hora de una gran cantidad de variables climáticas, atmosféricas, terrestres y oceánicas. Los datos cubren la Tierra en una cuadrícula de 30 Km y resuelven la atmósfera utilizando 137 niveles desde la superficie hasta una altura de 80 Km. ERA5 incluye información sobre las incertidumbres de todas las variables a resoluciones espaciales y temporales reducidas.

El siguiente conjunto de datos que utiliza el procesador Sen-ET es un modelo digital de elevaciones (MDT). Se utiliza para ajustar la temperatura del aire a la altura correcta (la base del ECMWF es de 100 m sobre el suelo) y para tener en cuenta las condiciones de iluminación solar y de elevación al afilar las temperaturas de la superficie terrestre derivada del S3 - SLSTR (LST) (*European Spatial Agency, 2020*).

Land Cover Map son mapas que representan la cobertura terrestre (Figura 3), es decir, información espacial sobre diferentes tipos de cobertura física de la superficie terrestre, por ejemplo, bosques, pastizales, tierras de cultivo, lagos, humedales... (*Copernicus Global Land Service, 2020*). Esta información espacial identifica los diferentes tipos de cultivo (entre otras cosas), esencial para hallar la evapotranspiración real, ya que cada uno de estos tiene tasas de transpiración diferentes, dependiendo de su fisiología, fenología y la etapa de crecimiento. En la zona litoral de la provincia de Valencia existe una gran área dedicada al regadío, aprovechando los recursos hídricos de la zona (Albufera de Valencia, la cuenca del río Turia, la cuenca del río Júcar o el río Serpis, son solo algunos ejemplos de donde se lleva a cabo esta tipología de cultivo). También hay grandes áreas donde predomina el matorral, además de contar con otras zonas con predominancia de coníferas. Otros tipos de cultivos que se pueden observar son los frutales en secano, olivares en secano, viñedo en secano, pastizal-matorral y asociaciones de viñedo y frutales (*Sistema de Información Geográfica de Datos Agrarios, 2021*).

## 2.3. Métodos

### 2.3.1. Cálculo de la evapotranspiración real mediante Sen-ET de SNAP

La metodología se ha realizado con el complemento Sen-ET del SNAP para el tratamiento de imágenes satélite. A continuación, se detallan los pasos que se han seguido para la obtención del mapa de evapotranspiración real de Valencia en un momento determinado. Cabe recordar que este procedimiento se ha ejecutado para cada uno de los mapas finales de evapotranspiración pertenecientes a los años 2018, 2019 y 2020 (Tabla 8).

En primer lugar, se detalla la obtención de los productos provenientes de los satélites Sentinel-2 y Sentinel-3 mediante COAH. Posteriormente aparece el procedimiento que se ha llevado a cabo para la obtención de los datos climáticos de ERA5 de ECMWF.

Por último, se detalla el procedimiento que se debe seguir para la obtención de la evapotranspiración mediante SNAP.

a) Descarga de datos de Sentinel-2 y Sentinel-3

La descarga de datos S-2 MSI y S-3 SLTR se puede realizar desde COAH. Para ello, ha sido necesario la creación de un usuario.

Una vez realizado el registro, se ha introducido la información correspondiente atendiendo a las necesidades específicas de este trabajo. En la Tabla 8, se detalla la localización de los datos (se debe especificar con un polígono la zona de interés, si no se realiza esta delimitación se obtienen datos de toda la superficie terrestre), y las fechas de las imágenes.

Tabla 8. Localización y fechas de los datos descargados de S-2 y S-3 en COAH.

LOCALIZACIÓN	FECHA DE LA IMAGEN SATÉLITE
Provincia de Valencia	03/10/2018
Provincia de Valencia	08/10/2019
Provincia de Valencia	17/10/2020

Se especifica un intervalo en las fechas con el objetivo de hallar datos sin nubosidad. Ya que esto facilita el análisis de las imágenes satelitales en SNAP. Una vez descargados los productos se obtendrán en formato SAFE (netcdf) que SNAP puede leer.

b) Obtención de los datos ERA5 de ECMWF

Para la adquisición de los datos meteorológicos de ERA5 de ECMWF, hay que acceder a *Copernicus Climate Data Store*, y disponer de usuario. Para ello basta con registrarse, el acceso también es libre y sin coste para el usuario.

En este caso, también es necesario especificar el intervalo de fechas. Otro factor que hay que completar es el 'Área de interés' (para este estudio se ha precisado el área de interés con los valores [38/-1] y [40/1]). Otro factor que se tiene en cuenta es la nubosidad.

El conjunto de productos que se obtiene contiene la siguiente información:

- Temperatura del aire
- Humedad del aire
- Datos de viento
- Radiación solar entrante del cielo
- Radiación solar

c) Procedimiento para la obtención de la evapotranspiración con Sen-ET de SNAP

A continuación, se detalla el procedimiento que se ha llevado a cabo para la obtención de la evapotranspiración real en la provincia de Valencia mediante SNAP.

En la Figura 4, se refleja el diagrama de flujo de las operaciones realizadas mediante Sen-ET de SNAP para la obtención de la evapotranspiración real. El primer paso para la determinación de dicho parámetro es la obtención de los siguientes datos de entrada: datos meteorológicos, el espectro de la hoja, los parámetros biofísicos (LAI y CCC), los parámetros estructurales de las hojas y cultivos y la observación geométrica (ángulos), con ello se estima la irradiancia de onda larga y la irradiancia de onda corta. Por otro lado, son necesarios los siguientes productos para estimar los flujos de energía de la superficie de la tierra, estos son: la temperatura superficial de la Tierra (*Land Surface Temperature*, LST), la fracción verde de la vegetación, los parámetros aerodinámicos del suelo y la máscara de nubes de Sentinel-2. Así pues, se obtienen los flujos instantáneos que determinaran la evapotranspiración real, dando un valor para cada píxel.

Por lo que refiere a los flujos de energía de la superficie de la tierra empleados, esta metodología se basa en el balance de energía de dos fuentes (*Two-Source Energy Balance*, TSEB) (ESA, 2020).

En el esquema de modelado de TSEB, la temperatura de la superficie terrestre radiométrica direccional (TR) diferencia entre  $T_C$  y  $T_S$ , la primera haciendo referencia a la temperatura del dosel arbóreo (*canopy*) y la segunda se refiere a la temperatura del suelo (*soil*).

$$TR(\theta) = [f(\theta)T_C^4 + (1 - f(\theta))T_S^4]^{0.25}$$

Donde:

- $f(\theta)$ = es la fracción del campo de visión del sensor ocupado por la vegetación en el ángulo cenital de visión ( $\theta$ ).

$$f(\theta) = 1.0 - \exp(-Kbe\Omega_\theta F)$$

Donde:

- $Kbe$ = es la estimación del coeficiente de extinción teniendo en cuenta la distribución del ángulo de la hoja.
- $\Omega_\theta$ = es el factor de agrupamiento angular estimado.
- $F$ = es el índice del área de la planta.
- $f(\theta)$  tiene un valor máximo impuesto de 0,9 para evitar que el modelo se vuelva inestable a valores muy altos de  $F$  y  $\theta$ .

Los dos componentes de temperatura ( $T_C$  y  $T_S$ ) junto con la temperatura del aire ( $T_A$ ) son utilizados para calcular los flujos de calor sensibles al dosel y al suelo.

$$H = Hc + Hs$$



$$Hc = \rho c p \frac{Tc - T_{AC}}{R_X}$$

$$Hs = \rho c p \frac{T_s - T_{AC}}{R_S}$$

Donde:

- $T_{AC}$  = se refiere a la temperatura del aire dentro del dosel.

$$T_{AC} = \frac{\frac{T_A}{R_A} + \frac{T_S}{R_S} + \frac{T_C}{R_X}}{\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_S} + \frac{1}{R_X}}$$

Donde:

- $R_A$  = es la resistencia aerodinámica al transporte de calor en la capa de aire superficial
- $R_S$  = es la resistencia aerodinámica al transporte de calor en la capa de superficie de suelo
- $R_X$  = es la resistencia aerodinámica al transporte de calor en la capa límite del dosel de las hojas.

Por último, se calculan los flujos de calor latente (LE). Este flujo también diferencia entre el calor latente del dosel ( $LE_C$ ) y el calor latente del suelo ( $LE_S$ ). En el  $LE_C$  se toma la aproximación del parámetro de *Priestly – Taylor* y el supuesto de transpiración potencial. En cambio, para la determinación de  $LE_S$  se estima como el residuo de los otros flujos del suelo.

$$LE = LE_C + LE_S$$

$$LE_C = R_{n,c} \alpha_{PT} f g \frac{sp}{sp + \gamma}$$

$$LE_S = R_{n,s} - G - Hs$$

Dónde:

- $\alpha_{PT}$  = es la aproximación al parámetro de *Prestly – Taylor*
- $f g$  = es la fracción de vegetación verde y que transpira
- $Sp$  = es la pendiente de la curva de la presión de saturación de vapor de agua
- $\gamma$  = constante psicométrica
- $R_{n,c}$  = es la radiación neta de dosel
- $R_{n,s}$  = es la radiación neta del suelo
- $G$  = Es el flujo de calor del suelo, que se deriva como una fracción constante de radiación de onda neta del suelo.

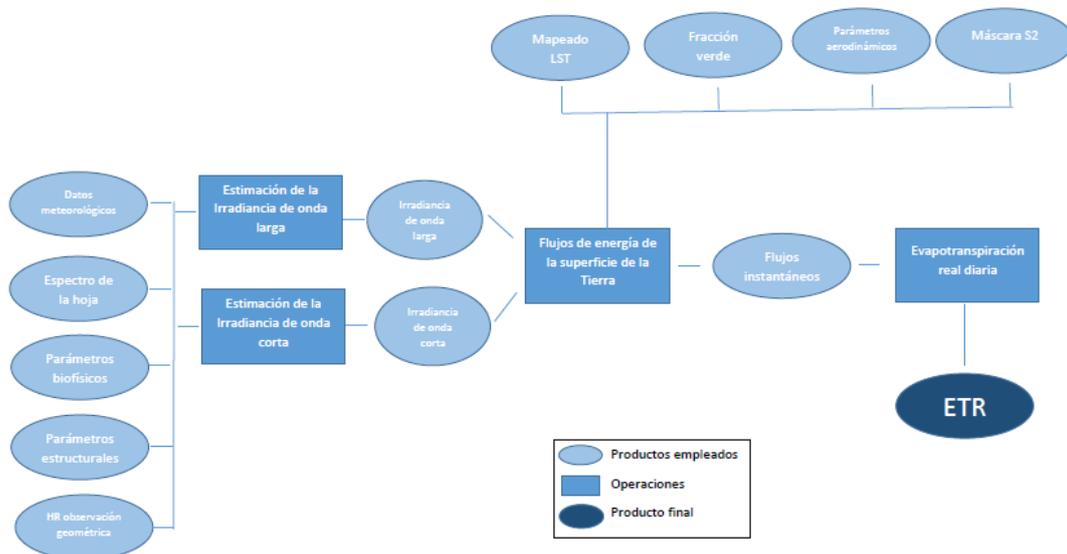


Figura 4. Diagrama de flujo de la obtención de la ETR mediante Sen-ET de SNAP. Fuente. Adaptación del 'User manual for Sen-ET SNAP'

Los pasos que se han seguido mediante SNAP, para la obtención del producto final (la evapotranspiración real) se detallan a continuación:

- Grafo de pre-procesamiento de Sentinel-2

El primer paso que se lleva a cabo es el pre-procesamiento de la imagen S-2 descargada anteriormente. Este grafo pre-procesa las escenas de nivel 2 (Level-2A o L2A). Es decir, utiliza datos de reflectancia de la superficie (datos de radiancia corregidos del efecto atmosférico). Se hace un remuestreo llevando la resolución de las 13 bandas a 20 metros píxel. Los productos de esta operación son elementos individuales, además de estimar los parámetros biofísicos de las bandas de reflectancia (Figura 5).

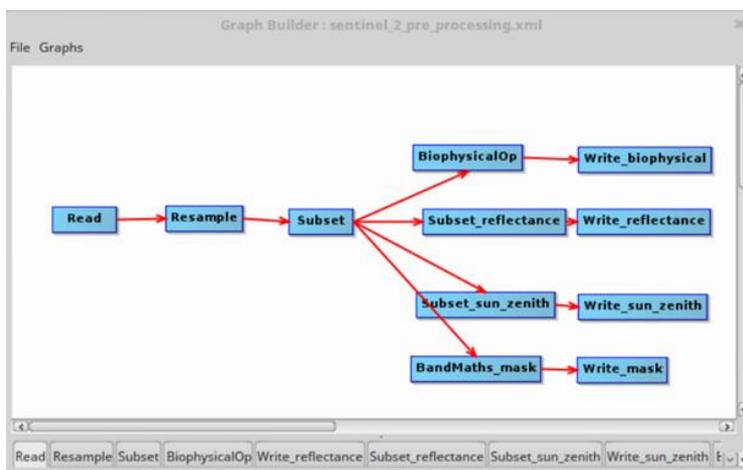


Figura 5. Diagrama de flujo del grafo de pre-procesamiento de S-2 con SNAP.

Esta operación se realiza mediante ‘Batch processing’ (procesamiento automático en masa) donde se utiliza como input la imagen del S2 MSI en L2A. Así pues, como resultado se obtienen 4 elementos distintos: la reflectancia de la superficie, la altura del sol sobre el horizonte, la máscara de nubes y los parámetros biofísicos, concretamente el índice de área foliar (*Leaf Area Index*, LAI), la fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida (*Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation*, FAPAR), fracción de cobertura de vegetación verde (*Fraction of Green Vegetation Cover*, FCOVER), concentración de pigmentos de clorofila (*Chlorophyll pigment concentration*, Cab) y el contenido de agua (*Water Content*, Cw).

- Grafo de elevaciones

Este proceso consiste en añadir un grafo con una alta resolución del modelo digital de elevaciones (Figura 6), para que se combine con la imagen de S-2. Por ello, se obtiene un resultado de un nuevo producto donde se combinan ambos elementos.

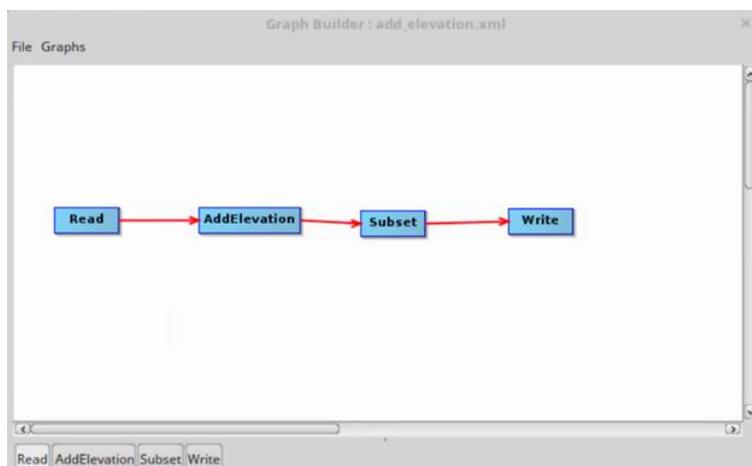


Figura 6. Operación realizada en SNAP para añadir el grafo de las elevaciones a la imagen S-2.

- Grafo de usos del suelo

Este procedimiento es similar al anterior. Se añade un grafo de usos de suelo, para combinarlo con la imagen S-2. La información de usos del suelo proviene de Land Cover Map 2015 (Figura 7).

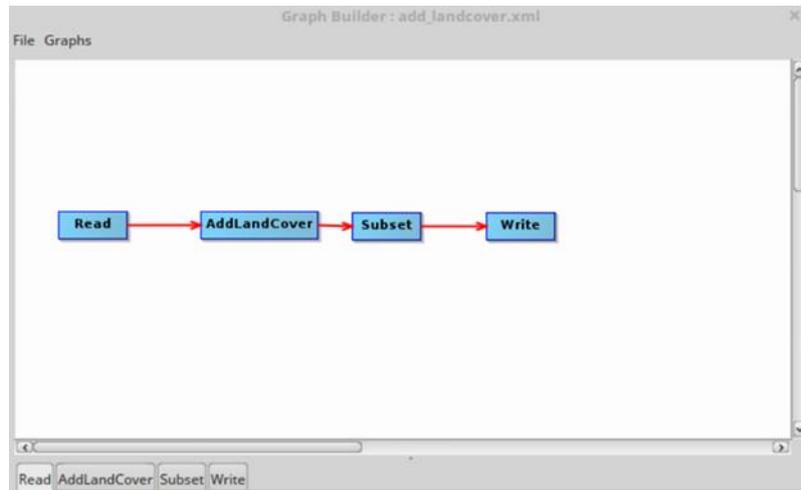


Figura 7. Operación para añadir el grafo de la información de usos del suelo a la imagen S-2.

- Estimación de la reflectancia y transmitancia foliar

Esta función estima la reflectancia y la transmitancia de las hojas basándose en la clorofila y el contenido de agua de las plantas. Para ejecutar esta función son necesarios los productos obtenidos en el pre-procesamiento de la imagen S-2, más concretamente los parámetros biofísicos (reflectancia, LAI, FAPAR, etc).

- Estimación de la fracción verde de la vegetación

Esta función estima la fracción de vegetación verde. Para ello utiliza los productos obtenidos de 'parámetros biofísicos'. En este caso se insertaron el índice de área foliar (LAI) y la fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida (FAPAR). También son necesarias las bandas angulares del cenit solar (producto obtenido en el primer paso, de pre-procesamiento de S-2).

- Producción de mapas de parámetros de la vegetación estructural

Una vez realizado este procedimiento, se pueden generar mapas de parámetros estructurales de la vegetación, estos están basados en el mapa de cobertura terrestre (Land Cover) y una tabla de consulta (*Look Up Table*, LUT). Esta tabla está disponible en el programa SNAP, sin embargo, hay que especificarlo en la ejecución de la función;

*Optical > Thematic level processing > Sen-ET > Vegetation structural parameters > processing parameters > Look-up-table > Reference data*

Además de esta información, también son necesarios los productos de las propiedades biofísicas de las plantas y la estimación de la fracción verde de la vegetación.

- Estimación de la rugosidad aerodinámica

La siguiente función estima la longitud de la rugosidad aerodinámica para el transporte de cantidad de movimiento (m) y la altura de desplazamiento en el plano cero (m) basándose en el LAI y los mapas de los parámetros estructurales de la vegetación, obtenidos en el apartado anterior. Hay que tener en cuenta que para el cálculo de la rugosidad aerodinámica se utiliza como referencia el parámetro 'Soil roughness' (rugosidad del suelo).

- Grafo de pre-procesamiento Sentinel-3

Esta función consiste en realizar una nueva proyección de la imagen satélite S-3, para obtener nuevos productos individuales (Figura 8). Los productos de salida son; un elemento referente a los ángulos cenitales de la longitud y la latitud, un elemento que contiene la máscara de nubosidad y un producto que contiene los datos de temperatura de la superficie terrestre.

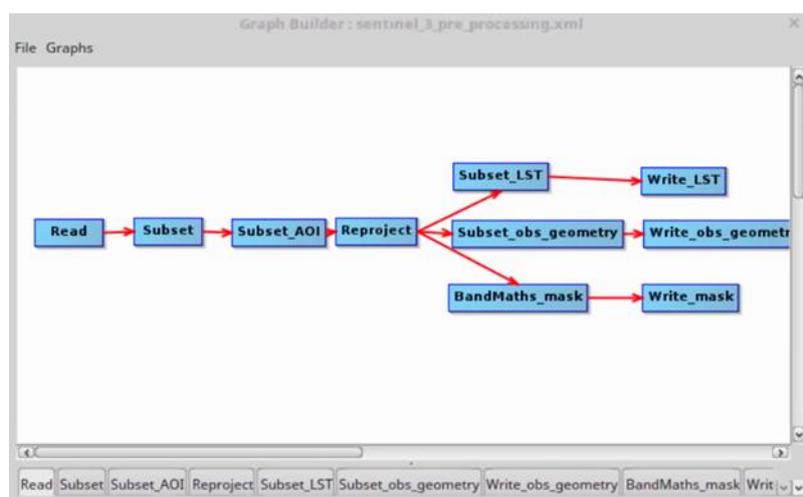


Figura 8. Nueva proyección de la imagen S-3 mediante SNAP.

- Corregistro

El objetivo de esta acción es volver a proyectar y a muestrear una imagen de origen, en una imagen de plantilla. Para ello utiliza *GDAL Warp*. GDAL es una biblioteca de traducción para formatos de datos geospaciales vectoriales y raster que se publica bajo una licencia de código abierto estilo X / MIT por la Fundación Geoespacial de Código Abierto (Warmerdam, F., et al 2020).



- Escalado LST

Para llevar a cabo esta función es necesario disponer del software Python. Este es un lenguaje de programación de tipo interpretado, funcional, orientado a objetos e interactivo (*Python<sup>TM</sup>*, 2020). La función ‘*Sharpen LST*’ (escalado LST) se utiliza para el ajuste de la temperatura de la superficie terrestres SLSTR (S-3) respecto a la resolución espacial de S-2. Se pasa de los 500 m de partida a los 20 m en un proceso de ajuste o *downscaling*.

Para ello son necesarios los siguientes productos de entrada; la reflectancia de S-2, la temperatura de la superficie terrestre (LST de S-3), el modelo digital de elevaciones (MDT), el producto que obtenemos del anterior paso de corrección, y, de nuevo el LST de S-3, junto con la máscara de calidad creada en el pre-procesamiento de SLSTR.

El producto que se obtiene es la banda de temperatura de la superficie terrestre escalada a 20 m píxel.

- Preparación de datos de reanálisis ERA5

Para la utilización de esta herramienta son necesarios los datos climáticos de ERA5 de ECMWF (en el apartado *b*) *Obtención de los datos ERA5 de ECMWF* se detalla el procedimiento para descargarlos). La finalidad de esta acción es combinar los datos climáticos con el resto de insumos.

- Estimación de la irradiación de onda larga

Esta función tiene como objetivo el cálculo de la irradiación de onda larga de la atmósfera ( $W=m^2$ ) basándose en los datos climáticos (ERA5). Para ejecutar la función es necesario ajustar los parámetros de la banda de temperatura del aire (K), la banda de presión de vapor (mb), la de presión del aire (mb) y la altura de medición de la temperatura del aire (m). Así pues, el producto obtenido contiene la irradiación de onda larga de la superficie de estudio.

- Cálculo de la radiación neta de onda corta

La función de esta herramienta en la estimación de la radiación neta de onda corta basándose en datos meteorológicos y biofísicos. Para este cálculo son necesarios los siguientes datos de entrada; el producto obtenido de la estimación de la reflectancia y transmitancia foliar, las propiedades biofísicas de la vegetación (S-2), el mapa de los parámetros estructurales de vegetación, los datos climáticos ERA5 y los productos del ángulo solar cenital (S-3).

Hay que tener en cuenta los parámetros de la reflectancia visible del suelo y la reflectancia del infrarrojo cercano del suelo.

El producto final obtenido contiene los datos de radiación neta de onda corta.

- Cálculo de los flujos de la energía de la superficie terrestre

Esta función tiene como objetivo el cálculo de los flujos de energía de la superficie terrestre, teniendo en cuenta la energía latente, la sensible, el calor del suelo y la radiación neta.

Los datos de entrada necesarios para realizar este cálculo son; la capa de LST escalada (S-3), el ángulo solar cenital (S-3), los parámetros biofísicos (S-2), los mapas de los parámetros estructurales de vegetación, el producto de la fracción verde de vegetación (S-2), la rugosidad aerodinámica, los productos meteorológicos ERA5, la radiación neta de onda corta, la irradiación de onda larga y, por último, el producto de la máscara de S-2.

Los parámetros que se deben tener en cuenta en el proceso de ejecución de esta función son la rugosidad del suelo, la altura de medición, emisividad de la vegetación verde, emisividad del suelo, los componentes de los flujos anteriormente calculados, los componentes de la temperatura y los parámetros aerodinámicos.

Una vez realizado este procedimiento se obtiene el flujo de energía de la superficie terrestre, indispensable para el cálculo de la evapotranspiración real diaria.

- Estimación de la evapotranspiración real diaria

Esta función estima la evapotranspiración real diaria, extrapolando el flujo de calor latente instantáneo y la irradiancia solar diaria.

Los datos de entrada son dos: el producto del flujo de calor latente instantáneo y los datos meteorológicos del reanálisis de ERA5.

El resultado obtenido de esta operación es la evapotranspiración real diaria.

$$\text{Evapotranspiración diaria} = \frac{mm}{\text{día}}$$

### 2.3.2. Cálculo de la evapotranspiración real mediante la ecuación de FAO Penman – Monteith.

El producto de evapotranspiración diaria mediante el método de FAO también se calcula a una resolución de píxeles de 20 metros. El algoritmo se basa en la lógica de la ecuación de Penman-Monteith, que incluye entradas de datos de reanálisis meteorológicos diarios junto con productos de datos de detección remota del espectroradiómetro de imágenes de resolución moderada (Sentinel-2 y Sentinel-3), así como la dinámica de las propiedades de la vegetación, el albedo y la cobertura terrestre.

El método de la FAO Penman-Monteith<sup>1</sup> para el cálculo de la evapotranspiración consta de la siguiente ecuación, en la cual se combinan distintos parámetros físicos y climáticos, como el flujo de radiación neta en superficie, el flujo de calor en el suelo, la presión de

vapor del aire, la densidad media del aire, el calor específico del aire, la presión de vapor de saturación, la constante psicométrica y la resistencia superficial y aerodinámica.

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + 86400\rho_a C_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)}$$

Donde:

- $\lambda$ : flujo de calor latente ( $\text{MJkg}^{-1}$ ) que se extrae del producto LAND\_SURF (latent\_heat\_flux,  $\text{Wm}^{-2}$ )
- $\Delta$  ( $\text{kPa}^\circ\text{C}^{-1}$ ): es la pendiente de la presión de saturación del vapor de agua y la temperatura, que se calcula mediante la siguiente ecuación (T es la temperatura del aire en  $^\circ\text{C}$ ) y se almacena en ERA\_processed:

$$\Delta = \frac{4098 \left[ 0.6108 \exp \left[ \frac{17.27T}{T + 237.3} \right] \right]}{(T + 237.3)^2}$$

- $R_n$  ( $\text{MJm}^2\text{day}^{-1}$ ): es la radiación neta que se calcula con la diferencia de la radiación de onda corta de la vegetación (NET\_SW\_RAD) y el suelo con la irradiancia de onda larga (LW\_IR): primero se calcula por tipo de cubierta (*canopy o soil*), después donde hay valores negativos se establece que es 0 (He, M., 2019); y finalmente se suman ambos valores.
- $G$  ( $\text{MJm}^2\text{day}^{-1}$ ): es el flujo de calor del suelo, ground\_heat\_flux en LAND\_SURF
- $\rho_a$  ( $\text{kgm}^{-3}$ ): es la densidad el aire húmedo, se establece una constante de  $1,2 \text{ kgm}^{-3}$
- $C_p$  ( $\text{MJkg}^{-1}\text{C}^{-1}$ ): es la capacidad de calor específico del aire húmedo y es igual a  $101,3 \text{ MJ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
- $e_s$  ( $\text{kPa}$ ): es la presión de saturación del vapor de agua, depende de la T:

$$e_s = 0.6108 \exp \left[ \frac{17.27T}{T + 237.3} \right]$$

- $e_a$  ( $\text{kPa}$ ): es el vapor de agua y se extrae de los datos de ERA5 (vapour\_pressure), pasa de Pa a kPa
- $\gamma$  ( $\text{kPa}^\circ\text{C}^{-1}$ ): es la constate psicométrica, según la FAO depende de la  $C_p$  y la presión atmosférica (P):

$$\gamma = \frac{C_p P}{\lambda MV_{ratio}} =$$

<sup>1</sup> <http://www.fao.org/3/x0490e/x0490e06.htm>



$MV_{ratio}$  es 0,622

$$\Upsilon = 0,665 \times 10^{-3}$$

$$P = 101,3 \left( \frac{293 - 0,0065z}{293} \right)^{526} \text{ siendo } z \text{ la elevación sobre el nivel del mar}$$

Si asumimos una elevación media sobre el nivel del mar de 150 m (estimados desde el MDT), la constante psicométrica es igual a  $85,031617 \text{ kPa}^\circ\text{C}^{-1}$

- $r_a$  ( $\text{sm}^{-1}$ ) es la resistencia aerodinámica

$$r_a = \frac{\ln\left[\frac{Z_m - d}{Z_{om}}\right] \ln\left[\frac{Z_h - d}{Z_{oh}}\right]}{k^2 U_z}$$

Dónde:

- $k^2 = 0,4^2$
- $U_z$  ( $\text{ms}^{-1}$ ): es la velocidad del viento
- $Z_m$  (m): es la altura de la medida del viento
- $Z_{om}$  (m): es la rugosidad que gobierna la transferencia del momentum
- $Z_h$  (m): es la altura de la medida de humedad
- $Z_{oh}$  (m): es la rugosidad que gobierna la transferencia de calor y vapor
- $d$  (m): es el desplazamiento del plano cero (en S2\_aerodynamic\_roughness)

Como los datos de velocidad del viento vienen de los datos de reanálisis (ERA5), hemos asumido una altura de medidas de 100m. Se ha utilizado para  $Z_m$  y  $Z^*m$  los datos de roughness\_length en S2\_aerodynamic\_roughness. Otra manera de calcular esto sería sustituir dichos parámetros por constantes como hacen Pasqualotto et al. (2020).

- $r_s$  ( $\text{sm}^{-1}$ ): Es la resistencia de las plantas, suelo y superficies de agua a la evaporación, que se extrae del cálculo  $rl/LAI$  (LAI está en S2\_biophysical)
- $r_l$  ( $\text{sm}^{-1}$ ): Es la resistencia de las estomas en una hoja bien iluminada. Depende del cultivo y de la edad de la planta y es muy difícil de calcular en una imagen. Pasqualotto et al. (2020) consideran un valor mínimo y constante de  $100 \text{ sm}^{-1}$

Tabla 9. Conversión de unidades

PARÁMETROS	SÍMBOLO	UNIDADES NECESARIAS	UNIDADES EN PRODUCTOS
Flujo de calor latente	$\lambda$	$\text{MJkg}^{-1}$	$\text{Wm}^{-2}$
Pendiente	$\Delta$	$\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$	$\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$
Temperatura aire (100m)	T	$^{\circ}\text{C}$	K
Radiación neta	Rn	$\text{MJm}^2\text{day}^{-1}$	$\text{Wm}^{-2}$
Flujo de calor del suelo	G	$\text{MJm}^2\text{day}^{-1}$	$\text{Wm}^{-2}$
Densidad aire húmedo	$\rho_a$	$\text{kgm}^{-3}$	$\text{kgm}^{-3}$
Capacidad de calor específico	$C_p$	$\text{MJkg}^{-1}\text{C}^{-1}$	$\text{MJkg}^{-1}\text{C}^{-1}$
Presión de saturación	$e_s$	kPa	kPa
Vapor de agua	$e_a$	kPa	Pa
Constante psicométrica	$\gamma$	$\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$	$\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$
Resistencia aerodinámica	$r_a$	$\text{sm}^{-1}$	$\text{sm}^{-1}$
Resistencia a la evaporación	$r_s$	$\text{sm}^{-1}$	$100/\text{m}^2\text{m}^{-2}$
Velocidad del viento (100m)	$U_z$	$\text{ms}^{-1}$	$\text{ms}^{-1}$
Longitud rugosidad	Zm	m	m
Plano de desplazamiento cero	d	m	m
Presión atmosférica	P	Pa	kPa
Resistencia estomatal	$r_l$	$\text{sm}^{-1}$	$\text{sm}^{-1}$

La temperatura del aire debe ajustarse de representar la temperatura a 2 m sobre el suelo a representar la temperatura a 100 m sobre el suelo. Esto se lleva a cabo usando el MDT y el gradiente de aire húmedo<sup>1</sup>. Este ajuste (y el uso de la velocidad del viento de 100 m) es necesario porque, debido a la baja resolución espacial de los datos meteorológicos, es mejor asumir que representa condiciones por encima de la altura de mezcla, es decir, a una altura donde la influencia directa de la superficie de la tierra en las condiciones atmosféricas es débil.

<sup>1</sup> <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5%3A+data+documentation>



Para convertir las unidades:

- Se establece que  $1 \text{ W}$  es igual a  $1 \text{ Js}^{-1}$  y  $1 \text{ Wm}^{-2}$  es igual a  $0.0864 \text{ MJm}^2\text{day}^{-1}$
- Se establece que  $1 \text{ Wm}^{-2}$  equivale a  $2.5 \text{ MJKg}^{-1}$
- Respecto a la presión,  $1 \text{ Pa}$  es igual a  $0.001 \text{ kPa}$ .
- La temperatura en grados Kelvin pasa a Celsius restándole 273.15.

### 3. Resultados

#### 3.1. Resultados obtenidos de la metodología de Sen-ET con SNAP

La evapotranspiración real es el proceso combinado entre la evaporación y la transpiración de una unidad vegetal en una superficie determinada. La técnica empleada para la obtención de la evapotranspiración real ha sido la aplicación del modelo Sen-ET de SNAP. Se ha aplicado esta metodología para las tres muestras de los años 2018, 2019 y 2020 (cuyas fechas se especifican en la Tabla 5).

En la Figura 9 se puede observar los resultados obtenidos para los tres años, observando diferencias significativas sobre todo en la muestra del 2020. Como se ha comentado anteriormente, la evapotranspiración depende de diferentes parámetros, entre ellos un modelo digital de elevaciones, los usos del suelo, la reflectancia y la transmitancia foliar, la fracción verde de vegetación, la vegetación estructural, la rugosidad aerodinámica, datos climáticos, radiación de onda larga, radiación de onda corta y el flujo de la energía de la superficie terrestre. Todo ello, procesado con diferentes operaciones matemáticas mediante teledetección, generan como resultado la evapotranspiración real (mm/día).

**CÁLCULO DE LA  
EVAPOTRANSPIRACIÓN  
REAL SEGÚN EL MÉTODO  
DE SEN-ET DE SNAP**

<b>Autora:</b> Paula Pastor Álvarez	<b>Sistema de coordenadas:</b> Referencias espaciales: WGS_1984_UTM_zone_30N Datos: D_WGS_1984 Unidades angulares: Grados
<b>Fuente:</b> Imágenes satélite procedentes de la Agencia Espacial Europea (ESA)	Universitat de València Grado en Geografía y Medio Ambiente Mapa nº 4

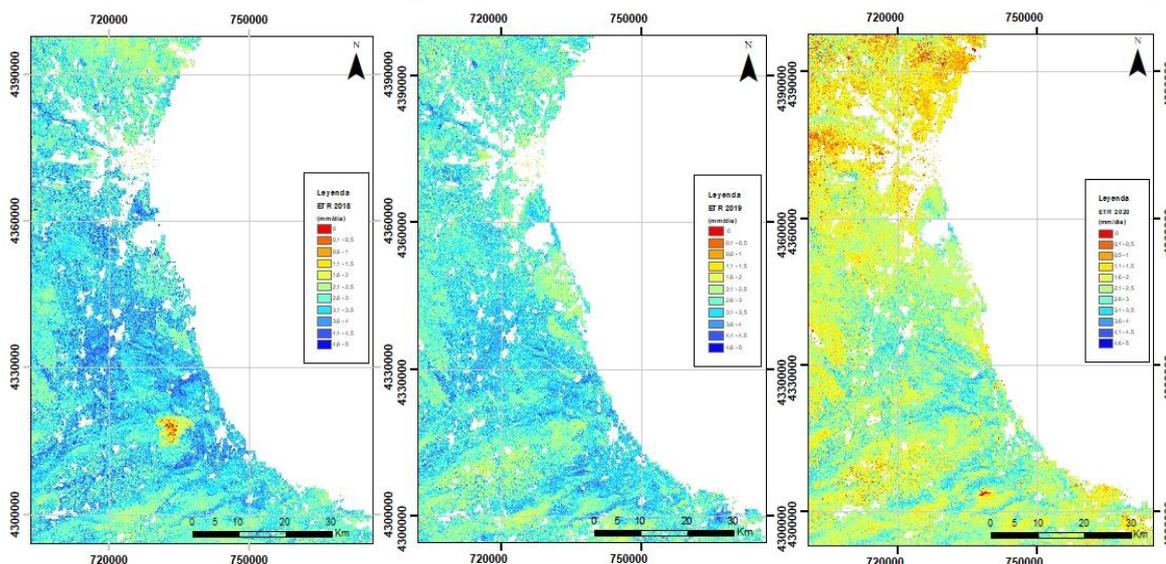


Figura 9. Mapa de la ETR calculada para el 2018, 2019 y 2020 (ver detalle en Anexo II).

En cuanto al análisis cualitativo de las imágenes de la evapotranspiración real (Figura 9) se puede observar que aquella imagen donde se registra el valor más alto de evapotranspiración real es la imagen de 2018 donde se observan valores de hasta 4,949 mm/día (figura 10). Por otro lado, cabe destacar que existe una frecuencia de distribución más alta entre los valores de 2,5 y 3,5 mm/día.

Le sigue la del 2019 (Figura 9) donde se puede apreciar una frecuencia de distribución más pronunciada en el intervalo de valores de 3,5 y 5 mm/día (Figura 10), lo cual puede derivarse de que es el año con mayores precipitaciones de las tres muestras, exactamente 2535,1 mm/mes. Sin embargo, el valor máximo de evapotranspiración real registrado es menor que en el año 2018, concretamente de 4,533 mm/mes.

Por último, la imagen del 2020 (Figura 9), es la que más difiere, y esto puede deberse principalmente a la escasez de precipitaciones (496,6 mm). Por ello, la frecuencia de distribución de los valores oscila entre 2 y 3 mm/día en su mayoría (Figura 10). Por otro lado, cabe destacar que se registra el valor máximo de evapotranspiración diaria más bajo de las tres muestras, concretamente un valor de 4,028 mm/día.

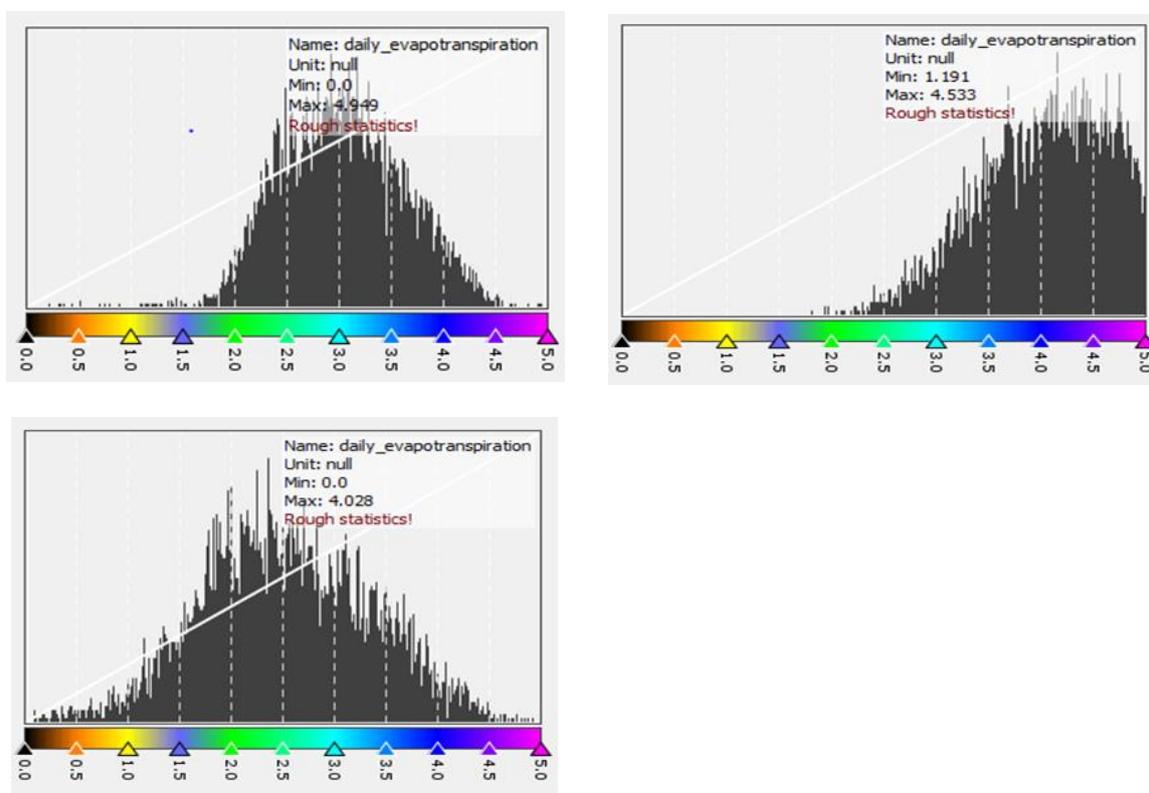


Figura 10. Gráfico de distribución de los valores de evapotranspiración real en la provincia de Valencia para las muestras de 2018, 2019 y 2020, de izquierda a derecha y de arriba abajo.

Para contrastar los datos obtenidos de evapotranspiración real en la provincia de Valencia se han seleccionado las 28 estaciones meteorológicas de dicha provincia disponibles en la Red SIAR, la cual pertenece al Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), con la finalidad de conocer el contexto climático para cada año en el periodo de tiempo correspondiente a cada producto obtenido. Las estaciones están localizadas en los municipios de: Algemesí, Algimia d'Alfara, Benavites, Benifaió, Bolbaite, Bélgida, Bétera, Carcaixent, Carlet, Cheste, Chulilla, Gandía, Godelleta, Llutxent, Lliria, Moncada, Montesa, Pedralba, Picassent, Polinyà del Xúquer, Campo Arcís, Requena, Sagunt, Tavernes de la Valldigna, Moncada (2), Villalonga, Villanueva de Castellón y Xàtiva.

El criterio para la elaboración de la base de datos ha sido, en primer lugar, la fijación de un rango temporal de un mes, para ello se ha seleccionado la fecha de inicio un mes antes de la fecha de satélite. Esto se ha repetido para cada muestra. En la Tabla 10 aparecen detalladas las fechas de inicio y final de la base de datos climática.



Tabla 10. Rango temporal para la elaboración de las bases de datos climáticos.

MUESTRAS	FECHA DE INICIO	FECHA FINAL
1	3/9/2018	3/10/2018
2	8/9/2019	8/10/2019
3	17/9/2020	17/10/2020

Para que se produzca el fenómeno de evapotranspiración son necesarias unas determinadas condiciones climáticas; la existencia de recursos hídricos, tiene que haber alguna fuente de energía que convierta el agua líquida en vapor de agua y se tiene que producir un fenómeno físico que separe el vapor de agua de la superficie de evaporación (SiAR, 2021).

Por ello se seleccionan los siguientes parámetros climáticos:

- Temperatura media (°C)
- Humedad relativa (%)
- Velocidad del viento (Km/h)
- Radiación solar (MJ/m<sup>2</sup>)
- Precipitación (mm)

Con todo ello, se ha realizado para cada año, un tratamiento estadístico básico, para conocer las medias mensuales (las tablas para conocer los datos medios por estaciones y por año aparecen en el Anexo I). Cabe destacar que se ha realizado el cálculo del promedio para cada uno de los parámetros, excepto para la precipitación acumulada (mm), este parámetro se calcula realizando un sumatorio de todos los datos diarios. La Tabla 11 resume los datos climáticos medios de las 28 estaciones, para conocer la climatología de la zona, en un periodo de tiempo previo al de las muestras.

Tabla 11. Datos climáticos medios (30 días) de los años 2018, 2019 y 2020. Fuente: IVIA

FECHA	TEMPERATURA MEDIA (°C)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA (%)	VELOCIDAD DEL VIENTO MEDIA (KM/H)	RADIACIÓN (MJ/M <sup>2</sup> )	PRECIPITACIÓN (MM)
<b>3/9/2018</b> - <b>3/10/2018</b>	22,2	77,2	3,1	16,1	2255,1
<b>8/9/2019</b> - <b>8/10/2019</b>	21,6	72,2	3,8	16,0	2535,1
<b>17/9/2020</b> - <b>17/10/2020</b>	19,3	60,0	4,3	16,1	499,6

Así pues, se puede observar que el año donde se registra una temperatura media (para los meses de septiembre y octubre) más alta es el 2018 (22,2 °C), seguido del año 2019 (21,6 °C), y, por último, el año 2020 con una temperatura de 19,3°C. En cuanto a la humedad relativa, entre los años 2018 y 2019 no se observan grandes diferencias (77,2 y 72,2 % respectivamente), sin embargo, en el año 2020 se registra el valor más bajo de los tres con una humedad relativa del 60%.

La velocidad del viento más alta se registra en el año 2020, con un valor de 4,3 Km/h. Sin embargo, en la radiación solar, no existen grandes diferencias entre los tres años, registrando en las tres muestras valores de aproximadamente 16 MJ/m<sup>2</sup>.

Por otro lado, la precipitación acumulada más alta es la del 2019, con un valor de 2535,1 mm/mes, seguido de la muestra de 2018 con un valor de 2255,1 mm/mes. Por último, se sitúa la muestra de 2020 con 499,6 mm/mes.

Así pues, se observa que el año 2020 ha sido el más seco de los tres, debido a las escasas precipitaciones, y por el bajo valor de la humedad relativa.

Algunos de los patrones que se repiten en las tres imágenes son, por un lado, las menores tasas de evapotranspiración real que se registran en las zonas urbanas, como por ejemplo en el área metropolitana de Valencia, donde se registran tasas de entre 0,5 y 1,5 mm/día en el año 2018, de 1 a 2 mm/ día en 2019 y de 0,5 a 1,5 mm/día para el año 2020. Sin embargo, los datos de la Huerta de Valencia (inmediaciones de la ciudad de Valencia), en cuanto a evapotranspiración real, varían considerablemente, debido a la existencia de mayor biomasa, terrenos agrícolas o por la disposición de recursos hídricos. Por ejemplo, el caso más significativo es el del 2018, mientras que en las zonas urbanas de la ciudad de Valencia se registran tasas de entre 0,5 y 1,5 mm/día, en la zona de la Huerta de

Valencia se registran las tasas más altas de este parámetro que fluctúan entre 4 y 5 mm/día (Figura 11).

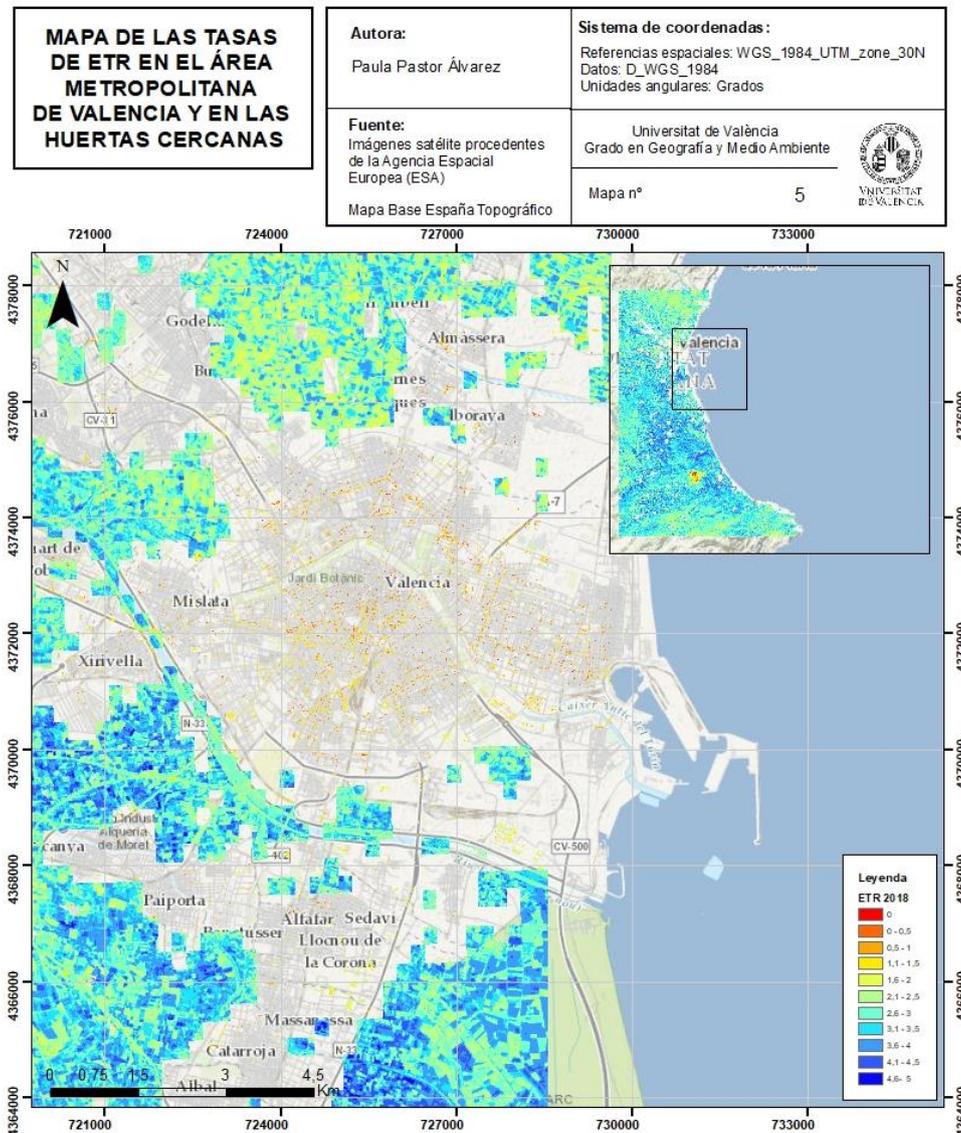


Figura 11. Mapa de la ETR en el Área Metropolitana de Valencia y en las huertas cercanas.

Otro de los patrones que se registran en las tres imágenes son las mayores tasas de evapotranspiración real asociadas a las cuencas de drenaje de los principales ríos, como el Turia o el Júcar o en las masas de agua. En el caso de las imágenes satélite tratadas, el caso del Río Turia es donde mejor se aprecia el aumento de la evapotranspiración en el lecho fluvial y en sus inmediaciones, como se puede observar en la Figura 12, sobre todo en los años 2018 y 2019, ya que hay una mayor precipitación acumulada mensual (Tabla 11).

<p><b>MAPAS DE ETR DE LA CUENCA DEL RIO TÚRIA A SU DESEMBOCADURA EN VALENCIA</b></p>	<p><b>Autora:</b> Paula Pastor Álvarez</p>	<p><b>Sistema de Coordenadas:</b> Sistema de Coordenadas Geográficas: ETRS89 Datos: European_Terrestrial_Reference_System_1989 Primer Meridiano: Greenwich Unidad angular: Grados</p>	
	<p><b>Fuentes:</b> Imágenes satélite procedentes de la Agencia Espacial Europea (ESA)</p>	<p>Universitat de València Grado en Geografía y Medio Ambiente</p>	
	<p>Mapa nº:</p>	<p>6</p>	

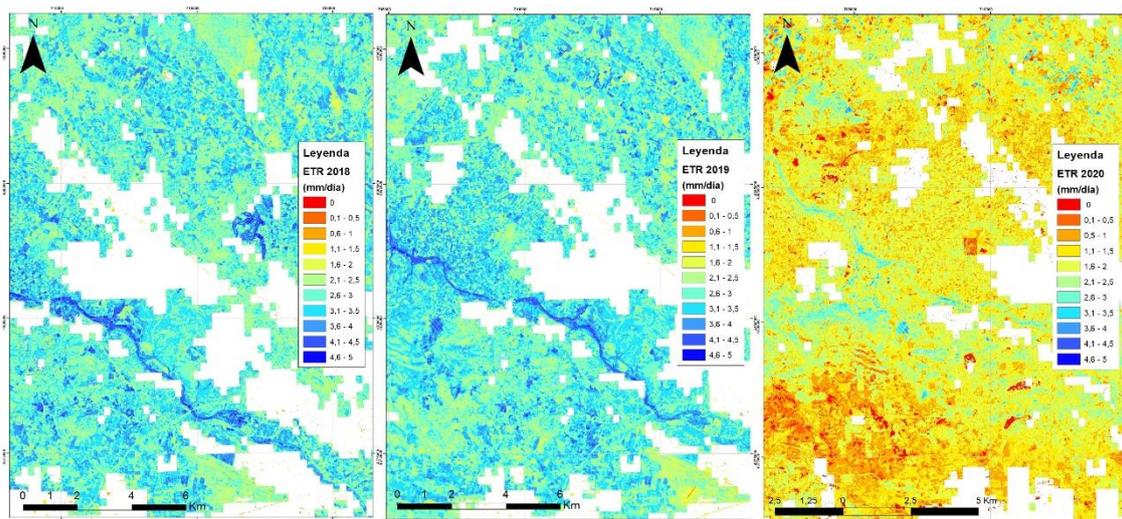


Figura 12. Mapas de ETR en la cuenca del Rio Turia próximo a su desembocadura en Valencia (ver detalle en Anexo II).

Otro hecho característico es que no en todas las zonas forestales o naturales hay mayores tasas de evapotranspiración. Por ejemplo, se localiza una zona entre las comarcas de la *Vall d'Abaida* y *La Safor* (ambas en la provincia de Valencia) donde se halla una zona montañosa ( $38^{\circ} 59' 26,81''N$   $0^{\circ} 18' 52,14''O$  y a una altura sobre el nivel del mar de 557m), cercana a la Sierra del Montdúver (de Gandía) donde se observan unos valores muy bajos de evapotranspiración (Figura 13). En este lugar ocurre que mientras disminuyen las cotas de nivel (la altura) va aumentando la tasa de evapotranspiración, ya que los recursos hídricos desaguan en vaguadas cercanas, llegando a los afluentes más cercanos, en este caso, se trata del río *Pinet*, el cual desemboca sus aguas en el río *Vernisa*, por tanto, se observa una relación directa entre la disposición de las aguas con mayores tasas de evapotranspiración real diaria.

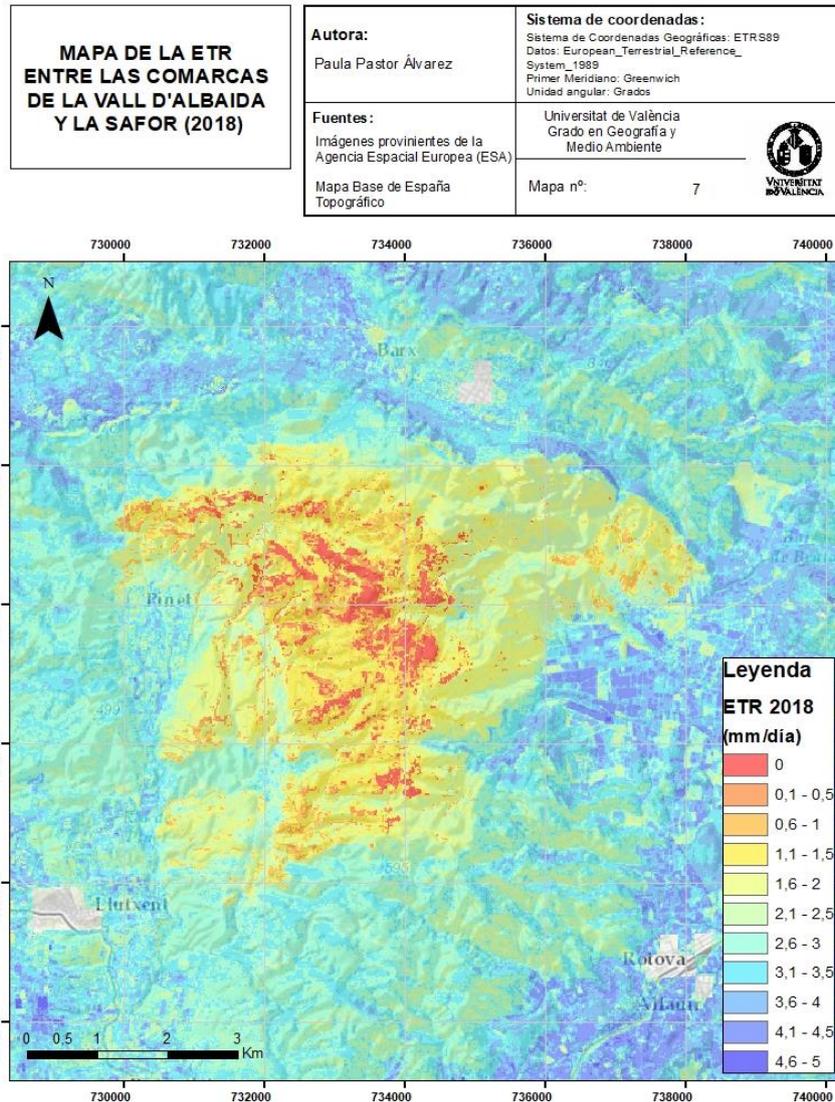


Figura 13. Mapa de la ETR de una zona montañosa entre las comarcas de La Vall d'Albaida y La Safor.

### 3.2. Resultados obtenidos mediante Sen-ET de SNAP y mediante la ecuación de FAO Penman – Monteith con SNAP

En este apartado se procede a la comparación de los resultados de la evapotranspiración real a partir de dos metodologías distintas. La primera de ellas se basa en el modelo propuesto por el software de libre acceso SNAP de la ESA. Por otro lado, la otra metodología empleada es la aplicación manual de la fórmula de FAO Penman-Monteith.

Para ello se ha procedido a la comparativa de los productos obtenidos de ambos tratamientos, y se ha generado la Figura 14 donde aparecen los dos mapas que reflejan la evapotranspiración real para ambos métodos (a la derecha se localiza en modelo Sen-ET

y la izquierda el modelo FAO). Esta comparativa se ha realizado con la imagen de satélite del año 2018. La finalidad de este apartado es conocer cuáles son las diferencias más significativas entre ambos modelos, y si estos varían entre sí. A grandes rasgos, se puede observar que los dos modelos varían considerablemente, ya que no se obtienen los mismos valores de píxel con la misma imagen satélite.

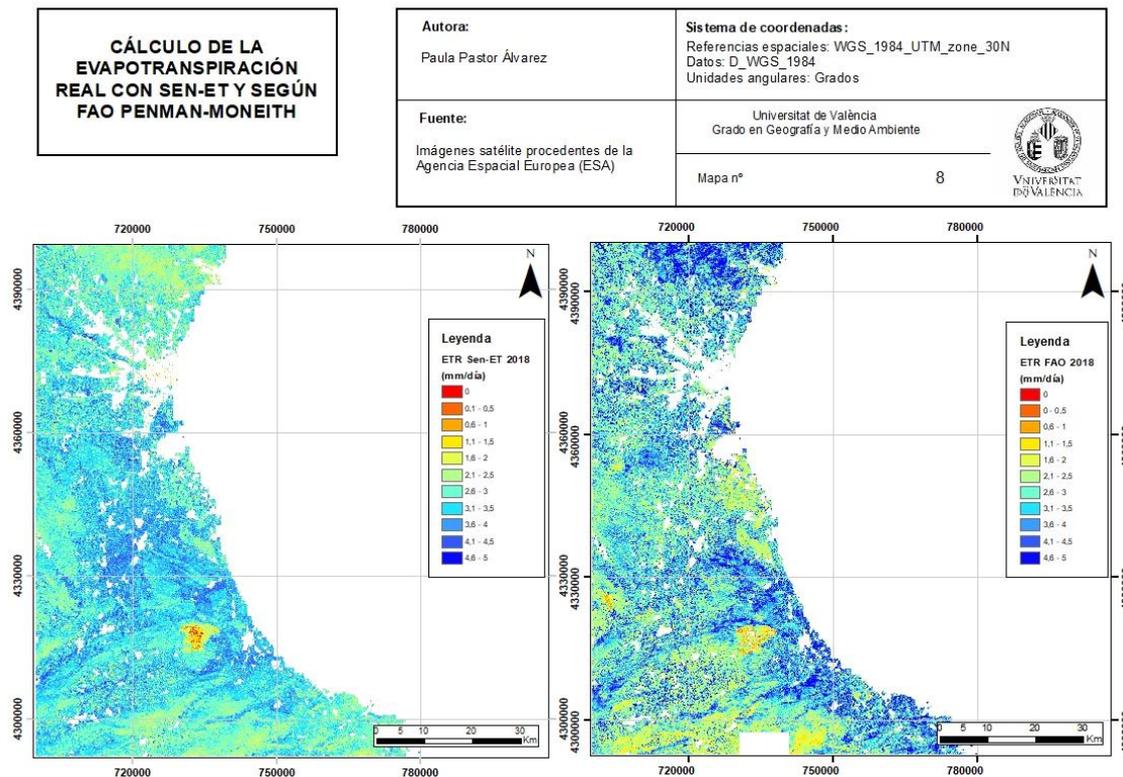


Figura 14. Mapas de evapotranspiración real según el método de Sen-ET de SNAP y mediante el método de FAO Penman-Monteith(ver detalle en Anexo II).

En cuanto a los gráficos de distribución de valores (Figura 15), se puede observar una anomalía en el caso de FAO, ya que se registran valores negativos, y en el caso del máximo es de 19,76 mm/día, una tasa no normalizada para este parámetro. Se ha contrastado con los valores de evapotranspiración real ofrecidos en el GeoPortal del MTERD (2021), donde se registran unos valores, de dicho parámetro, que va de 400 a 1000 mm/año, si convertimos estos valores a mm/día, los valores oscilan de entre 1,09 a

2,73 mm/día, por lo que, se ajusta mejor a la realidad el modelo de Sen-ET de SNAP, siendo el registro de valores de 0 a 4,95 mm/día.

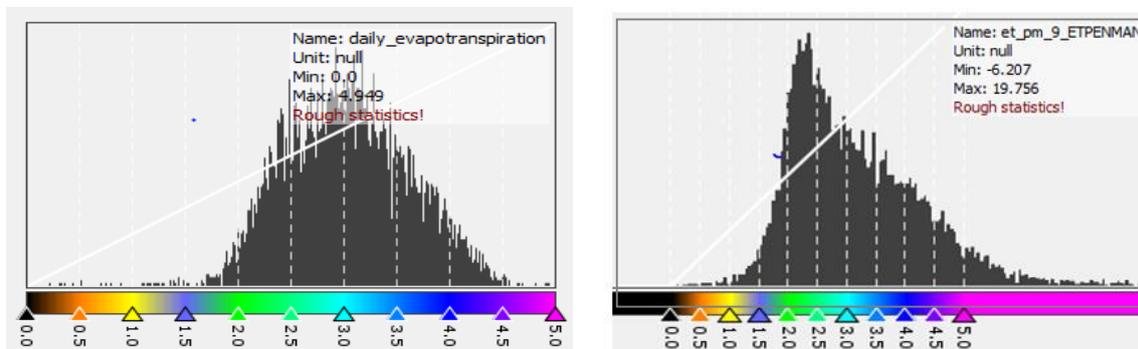


Figura 15. Gráfico de distribución de los valores de evapotranspiración real en la provincia de Valencia para la muestra de 2018 mediante Sen-ET (dcha) y FAO (izda). Fuente. SNAP.

Si nos basamos en la distribución de los valores, se puede observar que en el caso de Sen-ET se registra el mayor número de valores entre 2,5 y 3,5 mm/día, mientras que, en el caso de FAO, siguiendo estos criterios, los valores oscilan entre 2 y 3 mm/día.

Estas variaciones vienen dadas por algunas diferencias de cálculo entre los dos modelos. Por ejemplo, en el caso de Sen-ET se utiliza un grafo de elevaciones, que otorga un valor de altitud para cada píxel, mientras que en el método de FAO se toma el valor promedio del MDT, que en este caso es de 150m, este valor se utilizará posteriormente para el cálculo de la constante psicométrica, por lo que se establece un valor constante de  $85,03161 \text{ KPa}^\circ\text{C}^{-1}$ . Otro de los factores que puede influir es la capacidad de calor específico del aire húmedo, en la que se toma un valor constante de  $101,3 \text{ MJkg}^{-1}.\text{C}^{-1}$ . Por último, se toma un valor fijo de 100m para la velocidad del viento. Por ello, existen algunas diferencias entre los valores de píxel de los dos métodos, para la misma imagen y para el mismo año (2018), Figura 14.

### 3.3. Comparación de los resultados de evapotranspiración real respecto a parámetros biofísicos

Como bien se ha descrito en apartados anteriores, Pasqualotto, N., et al. (2020), ha proporcionado una base de datos de parámetros biofísicos, tomados in-situ en parcelas de la Huerta de Valencia. Los parámetros de interés que se han seleccionado para este estudio han sido el LAI y el CCC. El LAI hace referencia al Índice de Área Foliar, y el CCC al Contenido de Clorofila en el Dosel. El primer parámetro es la superficie foliar por unidad de superficie de suelo, mientras que el segundo hace referencia al contenido de pigmentos verdes de la hoja por superficie de suelo. Los parámetros biofísicos de la vegetación, están

considerados indicadores importantes de la salud, crecimiento y productividad de los cultivos (*Pasqualotto, N. et al., 2020*).

El muestreo se ha realizado para diferentes parcelas, con distintos cultivos, entre ellos; la alcachofa, la alfalfa, la adelfa, el calabacín, la calabaza, la cebolla, la chufa, la lechuga, el naranjo, nogales, olivos, palmito y para la patata.

En primer lugar, se compara el parámetro biofísico de LAI tomado in-situ respecto a los valores de LAI obtenidos desde el satélite (LAI S2). Para ello se realiza un gráfico de dispersión (Figura 16), para hallar la línea de regresión (la ecuación de la recta, en este caso,  $y=0,4265x$ ) y el error cuadrático ( $R^2$ ). Este último parámetro muestra la relación de ajuste que existe entre las dos variables. Para la interpretación de este valor, es necesario conocer que un  $R^2=1$  es un ajuste perfecto. En este caso,  $R^2$  es de 0,3494, así pues, no se establece un ajuste óptimo entre LAI in-situ y LAI S-2.

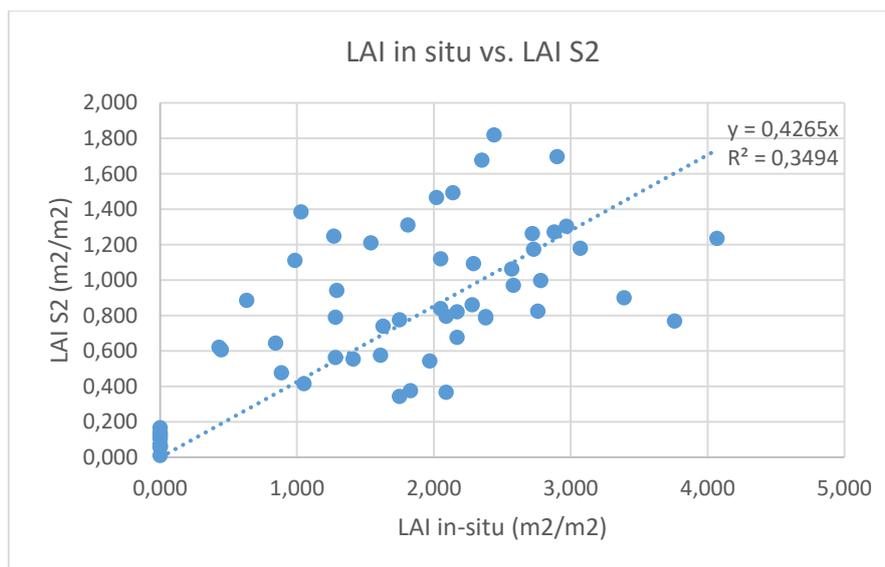


Figura 16. Gráfico de dispersión entre los valores de LAI in-situ y LAI S2

A continuación, se ha realizado el mismo procedimiento, con el parámetro biofísico de CCC. En el que se compara CCC in-situ respecto a CCC S-2. En la Figura 17, se observa que, de la regresión lineal, se puede extraer la ecuación de la recta, en este caso,  $y=0,2208x$ , y el error cuadrado, en este caso es  $R^2=0,0018$ . Este último parámetro indica que no hay un ajuste de la recta óptimo, ya que su valor está próximo a 0.

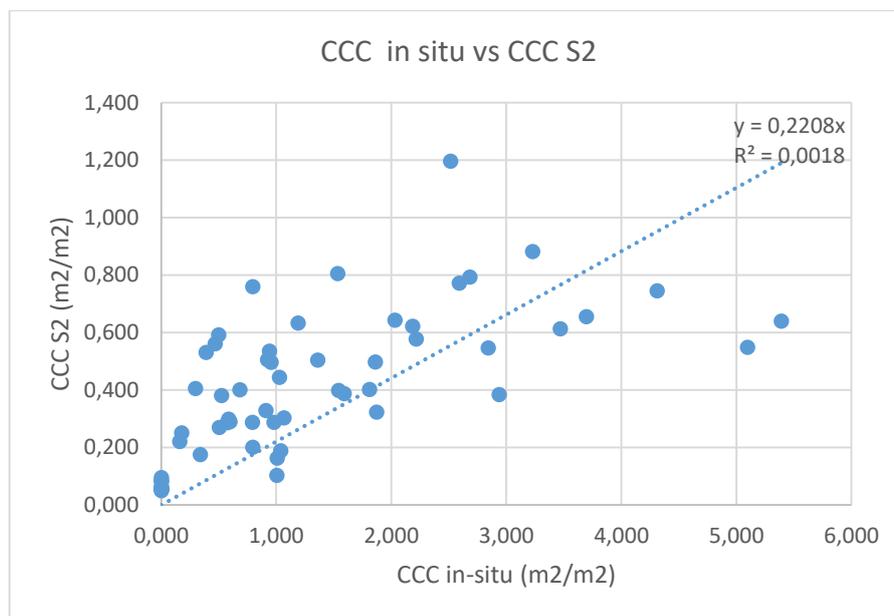


Figura 17. Gráfico de dispersión entre los valores de CCC in-situ y CCC S2

Por lo que se observa en la Figura 16 y la Figura 17 (no teniendo ninguna un ajuste perfecto) el parámetro que tiene un mayor ajuste entre los datos satelitales y los tomados in-situ es el de LAI.

A continuación, se comparan los parámetros biofísicos de LAI y CCC en la Huerta de Valencia obtenidos mediante satélite (Figura 18). En ella se muestra un gráfico de dispersión con valores correspondientes a los datos de ambos parámetros. La línea de regresión tiene un coeficiente de correlación (Pearson) de 0,5, por lo que se establece una correlación positiva, aunque bastante baja, entre LAI y CCC (ya que este valor está entre  $0 < r < 1$ ). El error cuadrático medio (en inglés, *Root-Mean Square Error*, RMSE) indica las diferencias entre los valores de dos variables. Para interpretar este valor es necesario conocer que cuanto más se aproxime a 0 más perfecta será la relación de ajuste entre los valores de dichas variables. En este caso el RMSE es de 1,37, por lo que no se observa un ajuste aproximado de los valores de LAI y CCC. Esto puede deberse a que los valores corresponden a diferentes cultivos, y tanto LAI, como CCC varían en función de la fenología y tipología de cultivos, no pudiendo establecerse una correlación en términos generales.

Los histogramas muestran donde hay una mayor frecuencia de concentración de valores (Figura 18), así pues, se observa que para el caso de LAI ( $m^2/m^2$ ) hay una mayor concentración entre 2,0 y 2,5, y una menor concentración entre 3,0 y 4,0. Cabe recordar que los valores de 3 a 5 son comunes para muchos cultivos desarrollados (FAO, 2006).

El histograma referente al CCC muestra una mayor frecuencia de concentración en los valores más bajos, entre 0,5 y 2,5  $g/m^2$ , y por tanto una menor concentración en los valores más altos (de 3 a 5  $g/m^2$ ).

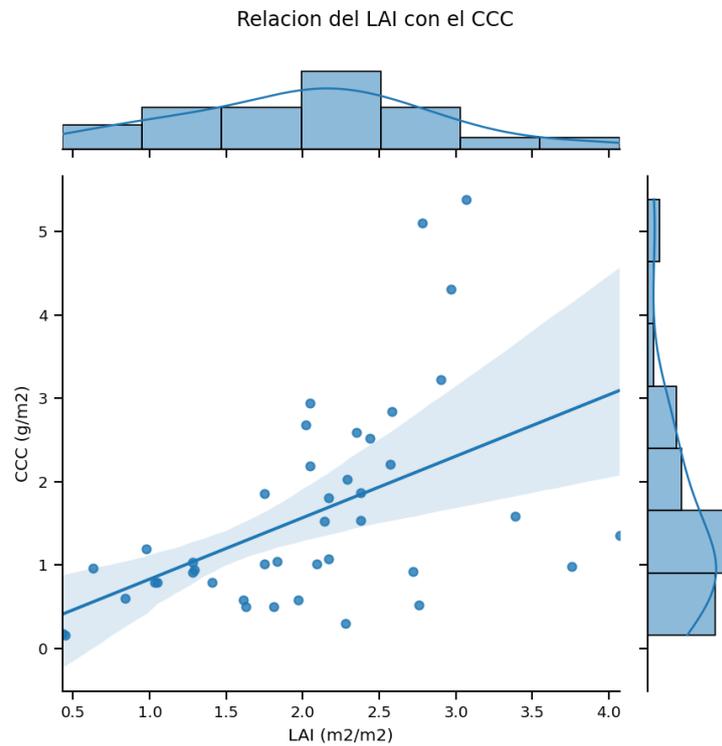


Figura 18. Gráfico de dispersión e histogramas de LAI y CCC de la Huerta de Valencia.

Por otro lado, se ha comparado la relación entre la evapotranspiración real obtenida mediante Sen-ET de SNAP con los datos tomados in-situ de LAI y CCC.

En la Figura 19 se observa un gráfico de dispersión con los valores agrupados por tipos de vegetación. Se definen cuatro tipos, uno haciendo referencia a la vegetación asociada a la huerta, un segundo tipo referente a herbáceos, otro de matorral y por último otro tipo asociado a los árboles. Los valores de evapotranspiración real más elevados parecen darse en los cultivos leñosos, en los que hay una mayor presencia del suelo. La huerta muestra en general valores de LAI más bajos, aunque hay una variabilidad clara debido a los diferentes tipos de cultivos y su fenología. Por ejemplo, se observa que aquellas

superficies con mayor LAI en huerta (ver Figura 20 para completar), como podría ser la chufa, contribuye también con valores más elevados de evapotranspiración real.

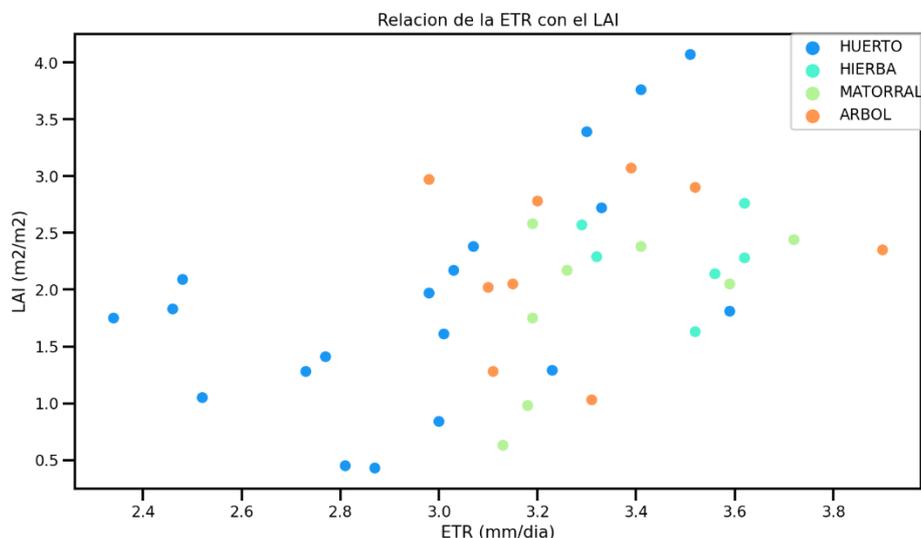


Figura 19. Gráfico de dispersión de los valores de LAI agrupados por tipo de vegetación.

En la Figura 20, se ha realizado la misma clasificación por tipos de vegetación que en la anterior (Figura 19) pero con los valores de CCC. En ella se puede observar que los valores más altos de contenido de pigmentos verdes en las hojas por superficie de suelo están asociados al grupo de los árboles, pudiendo deberse este hecho a la mayor biomasa que presentan estos. En cambio, los valores más bajos, se asocian al grupo de las especies de la huerta, ya que este parámetro depende de la fenología y el grado de madurez de las especies.

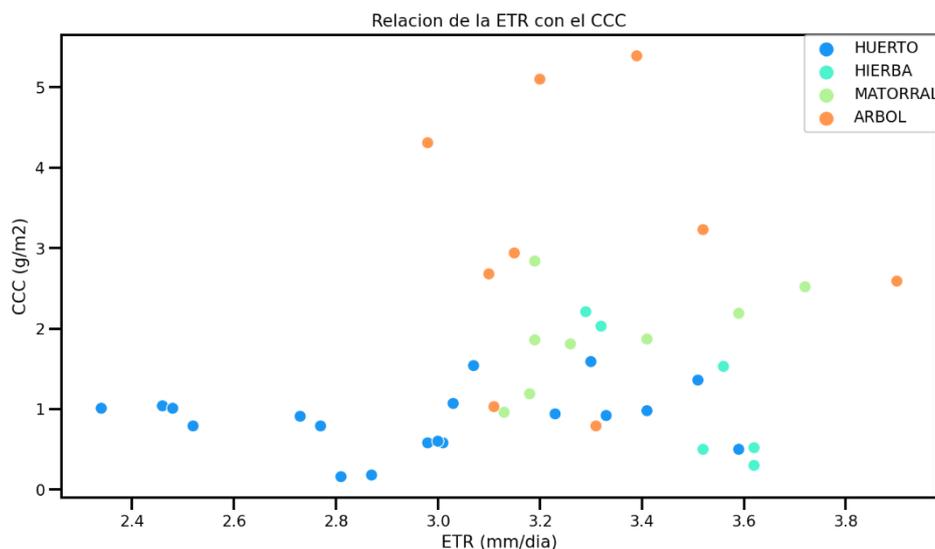


Figura 20. Gráfico de dispersión de los valores de CCC agrupados por tipos de vegetación.

En la figura 21 se puede observar, la relación entre LAI y la evapotranspiración real (gráfico de la derecha) y la relación entre CCC y la evapotranspiración real (en el gráfico de la izquierda) agrupando las muestras según la tipología de cultivo. En este caso, se pueden observar 13 especies, siendo estas; alcachofa (*Cynara scolymus*), alfalfa (*Medicago sativa*), adelfa (*Nerium oleander*), calabacín (*Cucurbita pepo*), calabaza (*Cucurbita maxima*), cebolla (*Allium cepa*), chufa (*Cyperus esculentus*), lechuga (*Lactuca sativa*), naranjo (*Citrus x sinensis*), nogales (*Juglans regia*), olivos (*Olea europaea*), palmito (*Chamaerops humilis*) y la patata (*Solanum tuberosum*).

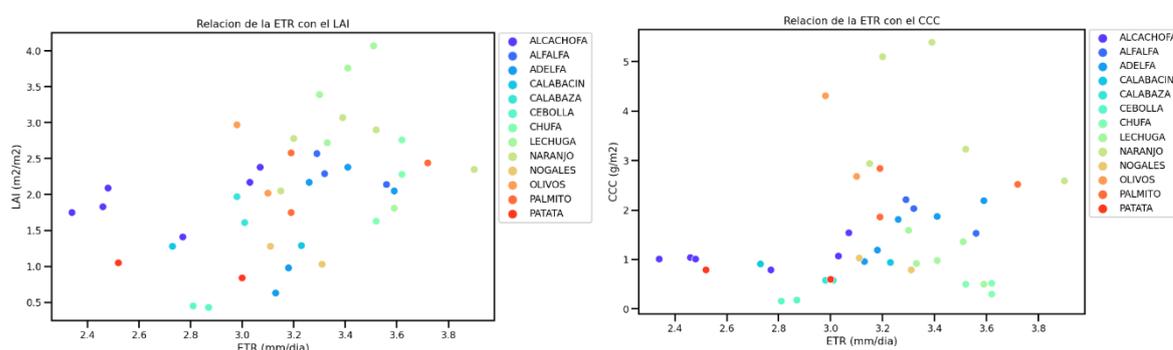


Figura 21. Gráfico de dispersión de los valores de LAI según el tipo de cultivo (derecha) y de CCC según el tipo de cultivo (izquierda).

#### 4. Discusión y conclusión

La finalidad general de este estudio es hallar la evapotranspiración real mediante técnicas de teledetección, y así poder obtener resultados de este parámetro, ya que en muchos estudios se basan en la evapotranspiración potencial, la cual emplea un gran número de constantes, sin ajustarse a los valores reales que ofrecen los datos de campo o el tratamiento de imágenes remotas.

Además, algunas de las ventajas que ofrece el tratamiento de imágenes satélite es el fácil acceso a sus datos, ya que existen diferentes plataformas con información satelital de libre acceso, como es el caso de COAH de la ESA, del cual se ha obtenido las imágenes para este estudio, o WaPOR de FAO. Otra de las ventajas que ofrece esta herramienta, es la eficacia en el tiempo de toma de muestras, ya que no es necesaria la etapa de muestreo en campo para la obtención de información, tampoco son necesarios los instrumentos específicos (como el lisímetro), y se puede acceder a material remoto de cualquier parte del globo.

Uno de los objetivos de este estudio era conocer las herramientas disponibles, y emplear el software SNAP, para la obtención de los productos. Además de ello, se han utilizado

diferentes metodologías, lo que ha generado el aprendizaje de estas y un grado mayor de profundización en el software y las ecuaciones utilizadas.

Por otro lado, en cuanto a los resultados, se ha podido observar que para el análisis de los productos obtenidos mediante Sen-ET y FAO, era necesario un análisis del contexto climático. Para ello se ha aplicado un tratamiento estadístico sencillo que permite explicar algunos de los resultados. Por ejemplo, que, en el caso del 2019, según la distribución de los valores, se obtienen unos valores más altos en un mayor número de píxeles de evapotranspiración real debido a que hay mayor precipitación acumulada (2535,1 mm/día), por tanto, al haber mayores recursos hídricos disponibles, sumado a una temperatura de 21,6°C y una radiación de 16 MJ/m<sup>2</sup> se produce un mosaico de tasas de evapotranspiración real más elevadas que en las otras dos muestras.

Por otro lado, se ha observado de la comparación de las tres muestras (2018, 2019 y 2020) que se repiten varios patrones. Uno de ellos es la menor tasa de evapotranspiración real en las zonas urbanas, esto es debido a la escasez de biomasa de estas áreas y su mayor escorrentía. Otro de los patrones observados es que en presencia de masas de agua o afluentes se observa unas tasas de evapotranspiración real más elevadas que la media. Otro factor es la afección de la morfología de zonas montañosas a las tasas de evapotranspiración, ya que para que se den mayores tasas de este parámetro no es necesario que se encuentren en lo alto de zonas montañosas o en zonas boscosas, si no que depende más de la disponibilidad de las aguas o las redes de drenaje, tanto superficiales como subterráneas, para que se den valores mayores. Por tanto, se puede afirmar que la evapotranspiración real depende directamente de la disponibilidad de los recursos hídricos.

En cuanto a la comparativa entre los dos modelos de cálculo de la evapotranspiración real se ha observado que la metodología que se ajusta mejor a la realidad, es la de Sen-ET de SNAP, ya que se ha contrastado con los valores ofrecidos por el GeoPortal del MTERD. Por tanto, se puede afirmar, que dicha metodología es más exacta y precisa para la zona de estudio que la propuesta por FAO Penman-Monteith.

Por último, en las comparativas entre las tasas de evapotranspiración real mediante Sen-ET de SNAP (para el año 2018), con los datos in-situ proporcionados por Pasqualotto, N. et al. (2020), se puede extraer que en la comparativa entre los parámetros de LAI in-situ respecto a LAI S-2 y de CCC in-situ respecto a CCC S-2, hay una relación de ajuste más precisa en el caso de LAI, siendo el error cuadrático más próximo a 1 que en el caso de CCC.

En cuanto a la comparación de LAI con la evapotranspiración real se observa que los valores más altos están asociados a los cultivos leñosos debido a una mayor presencia de suelo. Pese a ello, hay que mencionar el caso de la chufa (*Cyperus esculentus*), que obtiene un valor elevado de LAI y de evapotranspiración real, siendo esta una especie enmarcada en el grupo de la huerta.

En el caso de la comparativa de CCC y evapotranspiración real, el grupo con mayores tasas de ambos parámetros es el de los árboles, esto puede deberse a la disposición de una



mayor biomasa. En cambio, los valores más bajos se asocian al grupo de las especies de la huerta, ya que el parámetro de CCC depende de la fenología y el grado de madurez del cultivo.

Como conclusión hay que destacar la importancia de los recursos hídricos y como gestionarlos, ya que debido al cambio climático estos escasean cada vez más. Otro de los factores clave que ayudaría a la mejora de dicha gestión sería la eficacia en los modelos de riego, ya que como se ha comentado en apartados anteriores, la agricultura es uno de los sectores que más requerimiento hídrico tiene.

Por otro lado, la escasez del agua podría comportar graves problemas en el medio, como por ejemplo la salinización del suelo, la intrusión marina en los acuíferos, la pérdida de biodiversidad a causa de la degradación de ecosistemas lacustres, y otros tantos problemas asociados.

Por ello, es responsabilidad de todos ser conscientes de aquello que consumimos y otorgarle la importancia que merece a los recursos naturales que nos acompañan a lo largo de nuestras vidas.



## Bibliografia

A.E.M.E.T. (s. f.-a). *Valores climatológicos normales*. Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España. Recuperado 28 de enero de 2021, de <http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos>

Baixauli, F. & Miñana, F. & Mas, H. & Llansola, J. & Santana, K. & de Vicente, J. & Oliver-Villanueva, J.V. & Lerma-Arce, V. & Cabrera, M. & Caballero, D. & Rojas Briales, E. & Reyna, S. & Fabra, M. & Manrique-Alba, A. & Blanco, A. & Escrig del Valle, A. (2013). *Plan de Acción Territorial Forestal de la Comunidad Valenciana (PATFOR)*.

C.G.L.S. (s. f.-b). *Land Cover | Copernicus Global Land Service*. Providing biogeophysical products of global land surface. Recuperado 5 de noviembre de 2020, de <https://land.copernicus.eu/global/products/lc>

C.O.A.H. (s. f.-c). *Open Access Hub*. Open Hub. Recuperado 14 de mayo de 2021, de <https://scihub.copernicus.eu/>

*Copernicus*. (s. f.). Copernicus. Recuperado 14 de mayo de 2021, de <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/agencia-europea-medio-ambiente-informacion-ambiental/copernicus/default.aspx>

E.E.A. (2015, 11 mayo). *La agricultura y el cambio climático*. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2015/articulos/la-agricultura-y-el-cambio-climatico>

*ESA Sen-ET*. (s. f.). Sen-ET Introduction. Recuperado 25 de noviembre de 2020, de <https://www.esa-sen4et.org/>

*Estadísticas agrícolas - Generalitat Valenciana*. (s. f.). Generalitat Valenciana. Recuperado 20 de abril de 2021, de <https://agroambient.gva.es/es/estadistiques-agricoles>

European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. (2021, 5 marzo). *ERA5*. ECMWF. <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5>

European Spatial Agency. (2020). *User Manual for Sen-ET SNAP Plugin* (1.1.0 ed.). DHI-Grass.

Fernández, J. F., Fernández, C. & Feménias, P., & Heike, P. (14 de Octubre de 2016). *"The Copernicus Sentinel-3 Mission"*. Obtenido de 20th International Workshop on Laser Ranging: [https://cdis.nasa.gov/lw20/docs/2016/papers/P32-Fernandez\\_paper.pdf](https://cdis.nasa.gov/lw20/docs/2016/papers/P32-Fernandez_paper.pdf)

Generalitat Valenciana. (s. f.). *Estrategia valenciana de cambio climático y energía*. Generalitat Valenciana 2020–2030. Recuperado 15 de marzo de 2021, de <https://agroambient.gva.es/es/web/cambio-climatico/2020-2030>



Instituto Geológico y Minero de España. (12 de Abril de 2021). *Hidrología*. Obtenido de [http://www.igme.es/actividadesigme/lineas/HidroyCA/publica/libros1\\_HR/libro21/pdf/lib21/5\\_hidrologia.pdf](http://www.igme.es/actividadesigme/lineas/HidroyCA/publica/libros1_HR/libro21/pdf/lib21/5_hidrologia.pdf)

IVIA. (s. f.). Red SIAR. Recuperado 29 de abril de 2021, de <http://riegos.ivia.es/datos-meteorologicos>

Instituto Nacional de Estadística (INE). (2018, noviembre). *Estadística sobre el Suministro y Saneamiento del Agua*. [https://www.ine.es/prensa/essa\\_2018.pdf](https://www.ine.es/prensa/essa_2018.pdf)

Ministerio de Transición Ecológica y Reto demográfico. (5 de Mayo de 2021). *GeoPortal*. Obtenido de <https://sig.mapama.gob.es/geoportal/>

Pasqualotto, N., Delegido, J., Van Wittenberghe, S. & Moreno, J. (Febrero de 2020). *Estimation of key biophysical parameters related to crop stress through new remote sensors and multi-crop in situ data*. Universitat de València.

Python TM. (s. f.). *SpanishLanguage - Python Wiki*. Python. Recuperado 30 de enero de 2021, de <https://wiki.python.org/moin/SpanishLanguage>

Radoslaw, G., Peiser, L., Nieto, H., & Koetz, B. (2021, 25 mayo). *ET4FAO Final Virtual Workshop "Consistent Estimation of Evapotranspiration at Multiple Spatial Scales Using Copernicus Data"* [Ponencia]. ET4FAO Final Virtual Workshop, On-line, FAO.

Richard G. Allen, L. S. (2006). *FAO. Evapotranspiración del cultivo: Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma.

He, M., J.S. Kimball, Y. Yi, S.W. Running, K. Guan, A. Moreno, X. Wu, and M. Maneta, 2019. Satellite data-driven modeling of field scale evapotranspiration in croplands using the MOD16 algorithm framework. *Remote Sensing of Environment* 230, 111201, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.05.020>.

Sistema de Información Agroclimática para el Regadío. (1990, mayo). *Cálculo de ETo: Método de Penman-Moneith*. Gobierno de España. [https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/C%C3%A1lculo%20ET0dic12\\_tcm30-82979.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/C%C3%A1lculo%20ET0dic12_tcm30-82979.pdf)

*Sistema de Información Geográfica de Datos Agrarios*. (s. f.). SIGA. Recuperado 24 de mayo de 2021, de <https://sig.mapama.gob.es/siga/>

Soriano Soto, M. D., Pons Marti, V., García-España, L., & Llinares, J. (2012). Comparación de los valores de evapotranspiración en la provincia de Valencia utilizando diferentes modelos. *Ponencia presentada en: VIII Congreso de la Asociación Española de Climatología celebrado en Salamanca*, 642-650.

Strahler, A. N. (1957), "Quantitative analysis of watershed geomorphology", *Transactions of the American Geophysical Union*, 38 (6): 913–920, Bibcode:1957TrAGU..38..913S, doi:10.1029/tr038i006p00913



*User Guides - Sentinel-2 MSI - Overview - Sentinel Online - Sentinel.* (s. f.). The European Space Agency. Recuperado 15 de noviembre de 2020, de <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/overview>

*User Guides - Sentinel-3 SLSTR - Sentinel Online - Sentinel.* (s. f.). The European Space Agency. Recuperado 17 de noviembre de 2021, de <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-3-slstr>

Warmerdam, F., & Rouault, E. (s. f.). *GDAL — GDAL documentation*. GDAL. Recuperado 15 de mayo de 2021, de <https://gdal.org/index.html>



## ANEXO I: TABLAS CLIMÁTICAS

**DATOS CLIMÁTICOS MEDIOS DE VALENCIA EN SEPTIEMBRE - OCTUBRE DE 2018**

<b>Estación</b>	<b>Temperatura media (°C)</b>	<b>Humedad relativa media (%)</b>	<b>Velocidad del viento media (Km/h)</b>	<b>Radiación (MJ/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>
<b>Alghemesí</b>	22,7	78,1	2,3	15,7	77,8
<b>Alghimia de Alfara</b>	22,2	72,5	2,9	16,6	61,9
<b>Benavites</b>	22,1	77,4	2,9	16,7	50,5
<b>Benifaió</b>	22,8	78,6	3,3	16,2	56,1
<b>Bolbaite</b>	21,4	79,2	2,9	13,2	87,7
<b>Bélgida</b>	21,8	85,0	3,4	16,2	113,3
<b>Bétera</b>	22,2	76,8	2,9	16,6	67,2
<b>Carcaixent EEA</b>	23,4	80,9	3,0	16,4	74,1
<b>Carlet CE Coop</b>	23,1	78,5	3,3	15,9	65,4
<b>Cheste</b>	21,2	78,3	1,8	15,9	107,5
<b>Chulilla</b>	21,4	72,5	3,1	17,0	57,0
<b>Gandia Marxuquera</b>	22,1	83,3	1,9	15,4	119,4
<b>Godelleta</b>	22,0	76,8	3,2	16,0	101,9
<b>Llutxent EEA</b>	22,0	81,5	5,2	15,4	96,3
<b>Lliria</b>	21,9	71,1	3,1	16,3	76,2
<b>Moncada IVIA</b>	23,2	75,8	4,0	16,1	82,5
<b>Montesa</b>	21,8	78,4	1,8	16,2	43,2



<b>Pedralba</b>	21,7	73,9	2,8	16,5	152,7
<b>Picassent</b>	22,2	79,1	2,7	15,9	124,4
<b>Polinyà de Xúquer</b>	22,7	77,6	4,2	15,2	105,8
<b>Campo Arcís</b>	20,4	71,3	3,9	17,3	30,3
<b>Requena Cerrito</b>	20,7	69,4	4,4	17,2	24,3
<b>Sagunt</b>	23,2	71,4	3,6	16,5	42,2
<b>Tavernes de Valldigna</b>	22,7	80,0	3,9	15,6	76,3
<b>Moncada3</b>	22,9	77,0	4,5	17,1	67,8
<b>Villalonga</b>	22,6	75,3	2,5	15,0	147,5
<b>Villanueva de Castellón</b>	22,6	81,6	2,2	15,5	81,6
<b>Xàtiva</b>	22,4	80,3	2,1	16,5	64,2
<b>Media</b>	22,2	77,2	3,1	16,1	2255,1



**DATOS CLIMÁTICOS MEDIOS DE VALENCIA EN SEPTIEMBRE - OCTUBRE DE 2019**

<b>Estación</b>	<b>Temperatura media (°C)</b>	<b>Humedad relativa media (%)</b>	<b>Velocidad del viento (Km/h)</b>	<b>Radiación (MJ/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>
<b>Alghemesí</b>	22,3	73,6	2,9	16,9	103,3
<b>Algimia de Alfara</b>	21,3	71,3	3,3	17,3	101,5
<b>Benavites</b>	21,7	77,6	3,5	16,8	124,1
<b>Benifaió</b>	22,6	72,6	4,1	16,7	104,0
<b>Bolbaite</b>	20,8	70,6	3,4	14,0	138,7
<b>Bélgida</b>	21,8	77,2	3,5	15,6	116,0
<b>Bétera</b>	21,4	74,0	3,1	16,6	88,1
<b>Carcaixent EEA</b>	23,1	73,5	3,2	16,5	110,3
<b>Carlet CE Coop</b>	22,7	71,9	3,4	16,4	91,2
<b>Cheste</b>	19,9	70,9	2,3	15,9	69,5
<b>Chulilla</b>	20,6	67,9	3,7	17,0	34,2
<b>Gandia Marxuquera</b>	22,3	73,7	3,1	14,8	82,8
<b>Godelleta</b>	21,5	70,8	3,4	15,3	79,4
<b>Llutxent EEA</b>	21,3	70,1	4,9	15,0	120,5
<b>Lliria</b>	21,1	70,2	3,8	17,1	29,5
<b>Moncada IVIA</b>	22,4	73,1	4,8	15,0	73,9
<b>Montesa</b>	21,5	71,1	2,7	15,4	165,0
<b>Pedralba</b>	21,4	69,0	3,3	16,4	83,2
<b>Picassent</b>	22,0	70,9	3,8	16,6	86,1



<b>Polinyà de Xúquer</b>	22,4	72,8	4,6	16,6	84,0
<b>Campo Arcís</b>	19,1	68,3	4,7	16,5	50,4
<b>Requena Cerrito</b>	19,8	64,3	4,7	17,1	34,6
<b>Sagunt</b>	22,2	73,2	4,2	16,6	94,7
<b>Tavernes de Valldigna</b>	22,7	74,7	5,1	16,0	64,6
<b>Moncada2</b>	21,3	81,2	6,7	14,4	67,2
<b>Villalonga</b>	22,6	69,3	3,7	15,1	130,5
<b>Villanueva de Castellón</b>	22,4	73,7	2,6	15,4	125,0
<b>Xàtiva</b>	22,0	73,4	2,7	15,7	83,0
<b>Media</b>	21,6	72,2	3,8	16,0	2535,1

**DATOS CLIMÁTICOS MEDIOS DE VALENCIA EN SEPTIEMBRE - OCTUBRE DE 2020**

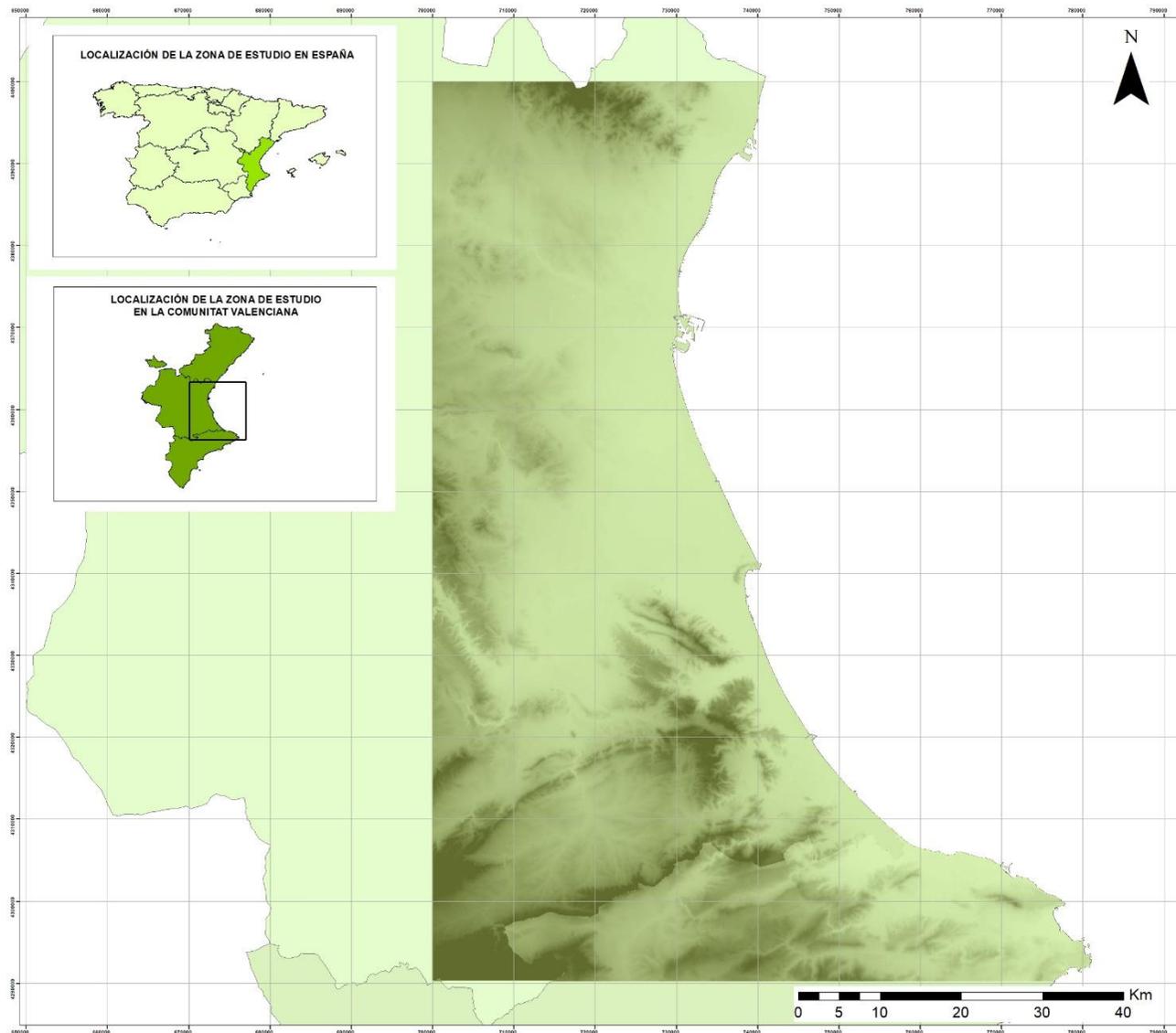
<b>Termino</b>	<b>Temperatura media (°C)</b>	<b>Humedad relativa media (%)</b>	<b>Velocidad del viento media (Km/h)</b>	<b>Radiación (MJ/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>
<b>Algemesí</b>	19,9	65,5	2,4	17,5	8,6
<b>Algimia de Alfara</b>	19,0	57,1	4,3	16,4	26,0
<b>Benavites</b>	19,0	64,6	4,1	15,2	17,2
<b>Benifaió</b>	20,4	59,4	5,6	16,2	7,5
<b>Bolbaite</b>	18,9	56,2	4,1	14,8	7,4
<b>Bélgida</b>	19,6	57,9	4,6	16,3	13,9
<b>Bétera</b>	18,8	62,4	3,4	15,2	41,8
<b>Carcaixent</b>	20,4	61,7	3,3	16,2	19,8
<b>Carlet</b>	20,4	59,8	4,1	16,3	9,0
<b>Cheste</b>	18,5	61,8	3,1	15,9	29,1
<b>Chulilla</b>	18,1	56,6	4,9	17,0	28,3
<b>Gandía</b>	19,9	60,2	3,5	16,2	5,3
<b>Godolleta</b>	19,2	57,4	5,1	16,0	15,7
<b>Llutxent</b>	19,3	58,3	7,8	15,6	5,0
<b>Llíria</b>	18,3	59,5	4,4	16,3	34,3
<b>Moncada</b>	20,0	62,1	5,1	16,1	24,2
<b>Montesa</b>	19,6	54,5	2,5	16,3	15,0
<b>Pedralba</b>	19,2	59,0	3,8	17,2	36,1
<b>Picassent</b>	19,8	58,4	4,5	16,3	7,8
<b>Polinyà de Xúquer</b>	19,9	60,3	4,7	16,7	8,2
<b>Campo Arcís</b>	15,5	68,1	5,2	15,4	25,4



<b>Requena Cerrito</b>	16,0	61,2	4,7	15,9	32,5
<b>Sagunt</b>	20,2	56,5	3,9	16,5	26,0
<b>Tavernes de la Valldigna</b>	20,2	61,1	4,8	16,5	10,5
<b>Valencia</b>	19,9	62,8	7,5	14,6	24,8
<b>Villalonga</b>	20,7	56,5	4,2	16,4	6,7
<b>Villanueva de Castellón</b>	20,0	59,6	3,0	15,3	8,5
<b>Xàtiva</b>	19,4	61,2	2,6	16,3	5,1
<b>Media</b>	19,3	60,0	4,3	16,1	499,6



## ANEXO II: CARTOGRAFÍA



**MAPA DE LA LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**

Localización en las provincias de Valencia y Alicante

**LEYENDA**

- Zona de estudio (MDT)
- Provincia de Valencia
- Provincia de Alicante

**Autora:**  
Paula Pastor Álvarez

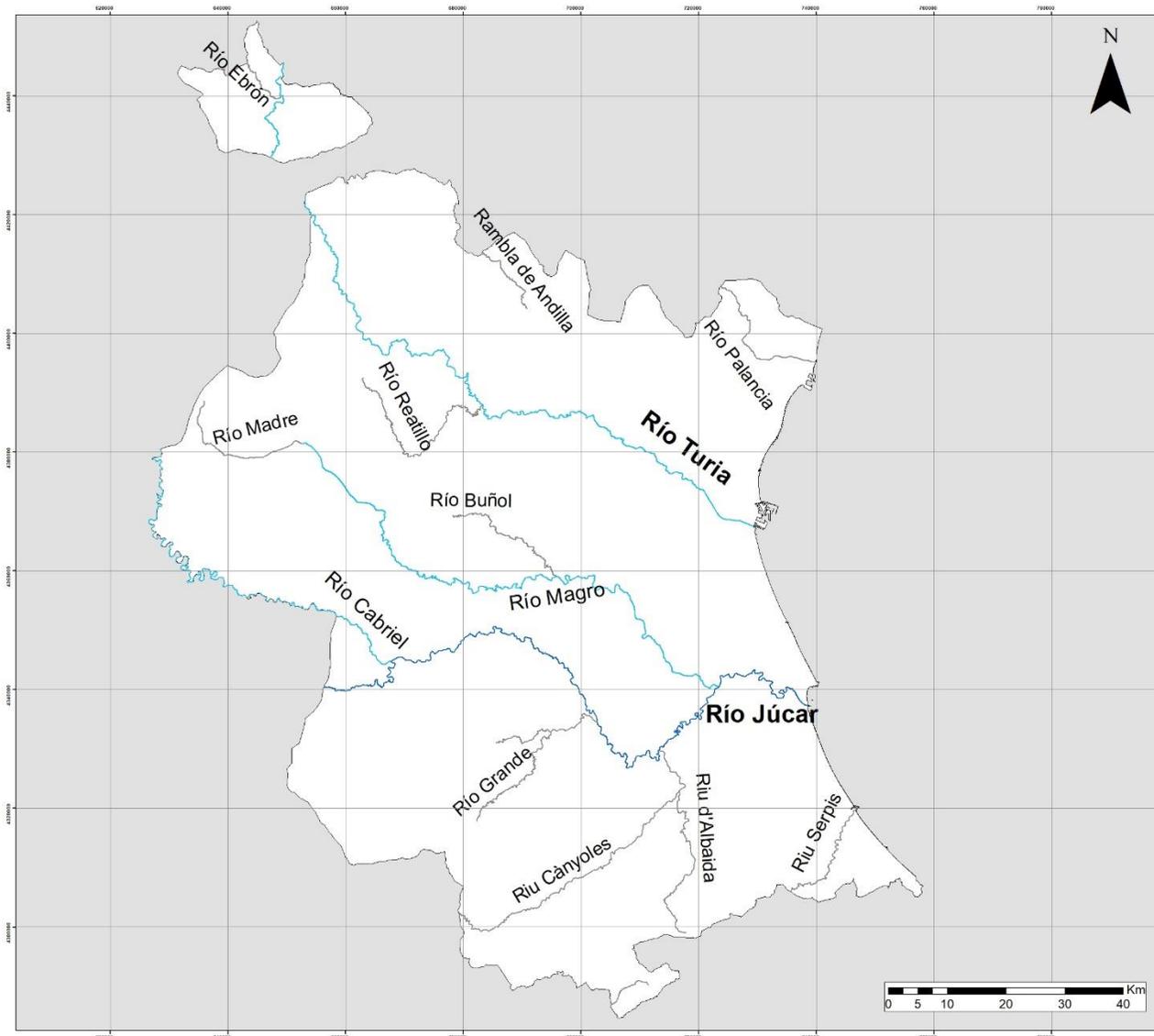
**Fuentes:**  
Cartografía temática procedente del Instituto Geográfico Nacional (IGN)  
Fecha de consulta: Septiembre de 2020  
Modelo digital del Terreno (MDT) procedente de Copernicus Open Access Hub (COAH) de la Agencia Espacial Europea (ESA)  
Fecha de consulta: Marzo de 2021

**Sistema de Coordenadas:**  
Sistema de Coordenadas Geográficas: ETRS89  
Datos: European\_Terrestrial\_Reference\_System\_1989  
Primer Meridiano: Greenwich  
Unidad angular: Grados

Universitat de València  
Grado en Geografía y Medio Ambiente



Mapa nº: 1



## MAPA HIDROLÓGICO DE LAS PRINCIPALES REDES DE DRENAJE DE VALENCIA

Principales afluentes  
en la provincia de Valencia

### LEYENDA

Jerarquía de los afluentes

- Cauce principal
- Cauce secundario
- Cauce terciario

### Autora:

Paula Pastor Álvarez

### Fuentes:

Cartografía temática procedente del Instituto Geográfico Nacional (IGN)  
Fecha de consulta: Septiembre de 2020

Cartografía hidrológica procedente del Instituto Geográfico Nacional (IGN)  
Fecha de consulta: Marzo de 2021

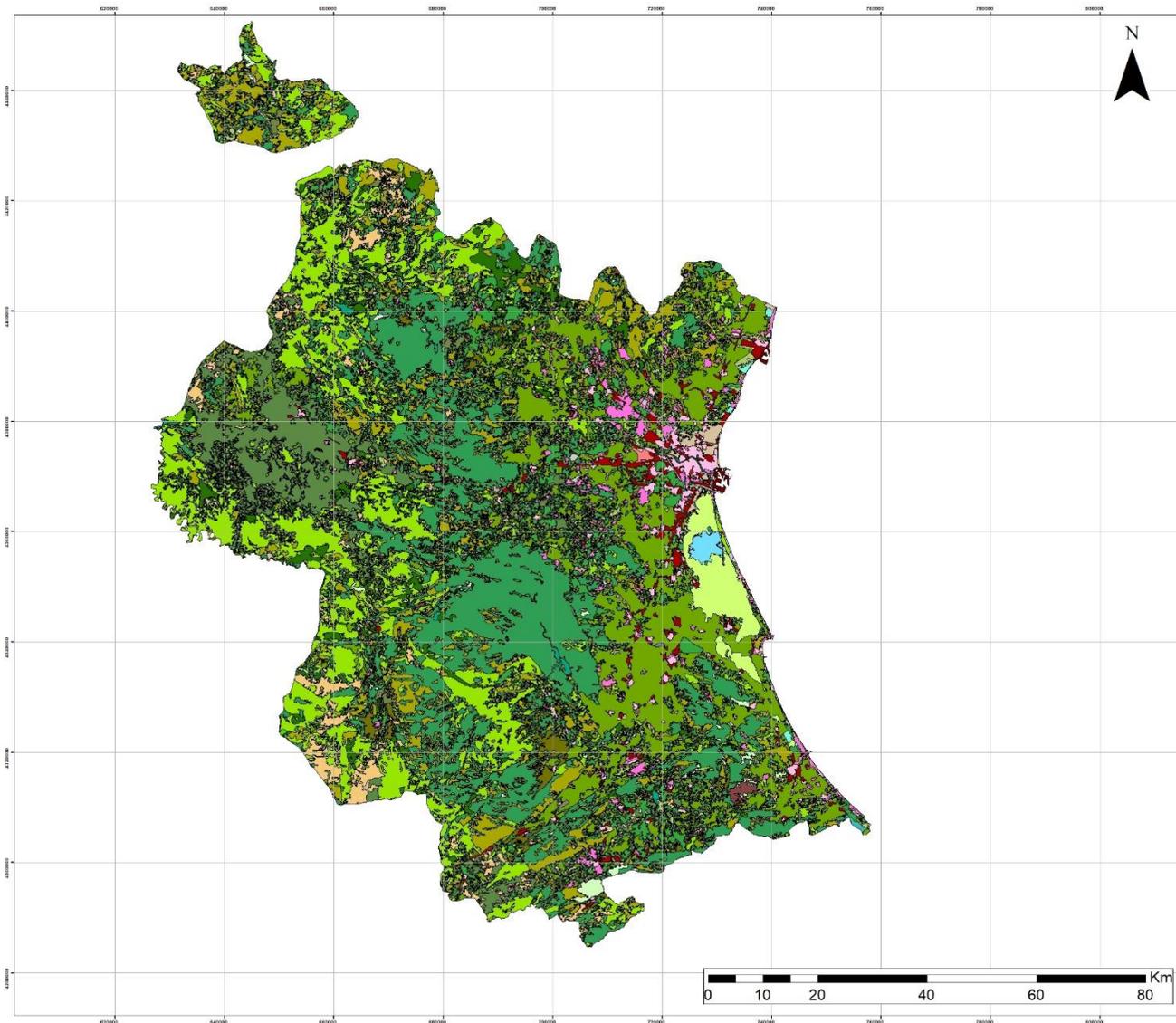
### Sistema de Coordenadas:

Sistema de Coordenadas Geográficas: ETRS89  
Datos: European\_Terrestrial\_Reference\_System\_1989  
Primer Meridiano: Greenwich  
Unidad angular: Grados

Universitat de València  
Grado en Geografía  
y Medio Ambiente



Mapa nº: 2



## MAPA DE LOS USOS DEL SUELO EN LA PROVINCIA DE VALENCIA

Usos del Suelo según  
CORINE 2018

### LEYENDA

- Usos del Suelo CORINE 2018**
- Aeropuertos
  - Arrozales
  - Bosque mixto
  - Bosques de coníferas
  - Bosques de frutales
  - Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes
  - Cultivos de agua
  - Escudriñerías y vertederos
  - Espacios con vegetación escasa
  - Fitales
  - Horticultura y zonas pantanosas
  - Instalaciones deportivas y recreativas
  - Lugares costeros
  - Marismos de agua
  - Marismos y océanos
  - Marismos
  - Marismos boscosos de transición
  - Mosaico de cultivos
  - Olivos
  - Pastizales naturales
  - Playas, dunas y arenas
  - Prados y praderas
  - Redes hídricas, ferroviarias y terrenos asociados
  - Riego
  - Tejido urbano continuo
  - Tejido urbano discontinuo
  - Terrenos principalmente agrícolas, pero con espacios de vegetación
  - Terrenos regados permanentemente
  - Terrenos de labor en secano
  - Vegetación esclerófila
  - Viveros
  - Zonas de extracción minera
  - Zonas en construcción
  - Zonas industriales o comerciales
  - Zonas portuarias
  - Zonas quemadas
  - Zonas verdes urbanas

### Autora:

Paula Pastor Álvarez

### Fuentes:

Cartografía temática de Usos del Suelo  
(Corine Land 2018) procedente del Centro  
Nacional de Información Geográfica (CNIG)  
Fecha de consulta: Abril de 2021

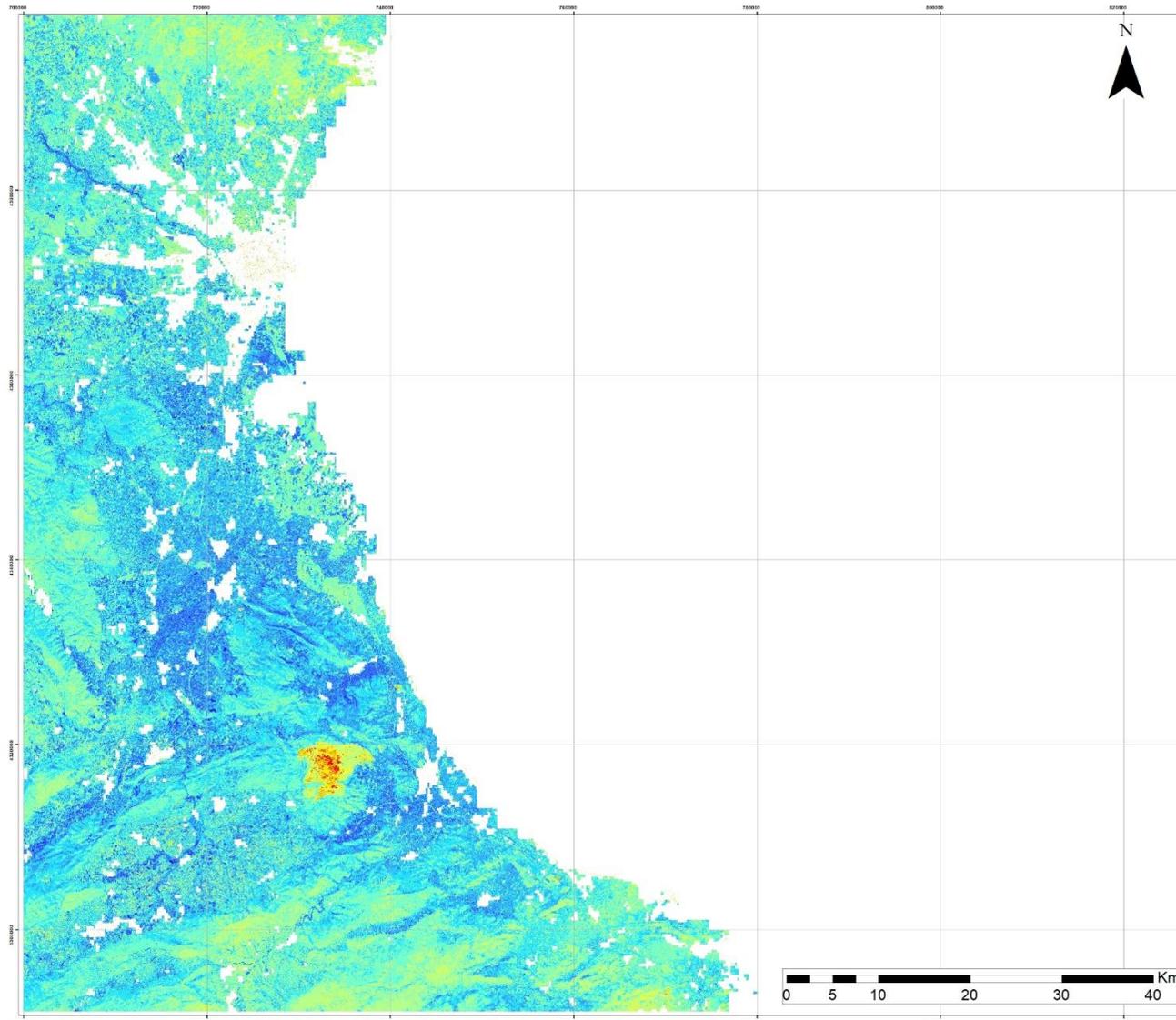
### Sistema de Coordenadas:

Sistema de Coordenadas Geográficas: ETRS89  
Datos: European\_Terrestrial\_Reference\_System\_1989  
Primer Meridiano: Greenwich  
Unidad angular: Grados

Universitat de València  
Grado en Geografía  
y Medio Ambiente



Mapa nº: 3



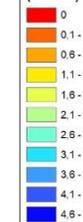
### MAPA DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL EN LA PROVINCIA DE VALÈNCIA

Mediante Sen-ET de SNAP  
para el 3 de octubre de 2018

#### LEYENDA

##### EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL 2018

(mm/día)



#### Autora:

Paula Pastor Álvarez

#### Fuentes:

Imágenes satélite procedentes de la  
Agencia Espacial Europea (ESA)

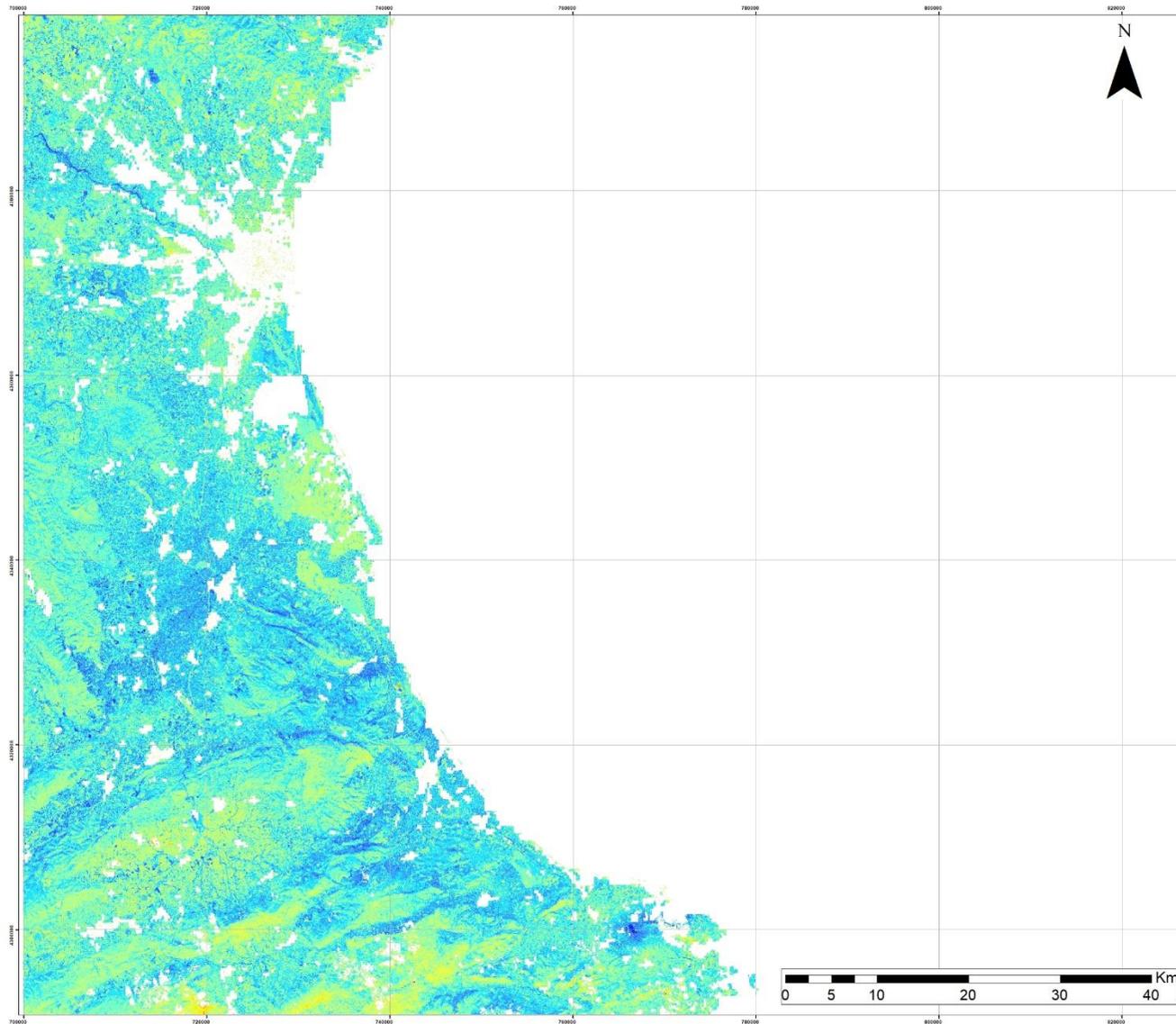
#### Sistema de Coordenadas:

Referencias espaciales: WGS\_1984\_  
UTM\_zone\_30N  
Datos: D\_WGS\_1984  
Unidades angulares: Grados

Universitat de València  
Grado en Geografía  
y Medio Ambiente



Mapa nº: 4



### MAPA DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL EN LA PROVINCIA DE VALENCIA

Mediante Sen-ET de SNAP  
para el 8 de octubre de 2019

#### LEYENDA

##### EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL 2019

(mm/día)

0

0,1 - 0,5

0,6 - 1

1,1 - 1,5

1,6 - 2

2,1 - 2,5

2,6 - 3

3,1 - 3,5

3,6 - 4

4,1 - 4,5

4,6 - 5

#### Autora:

Paula Pastor Álvarez

#### Fuentes:

Imágenes satélite procedentes de la  
Agencia Espacial Europea (ESA)

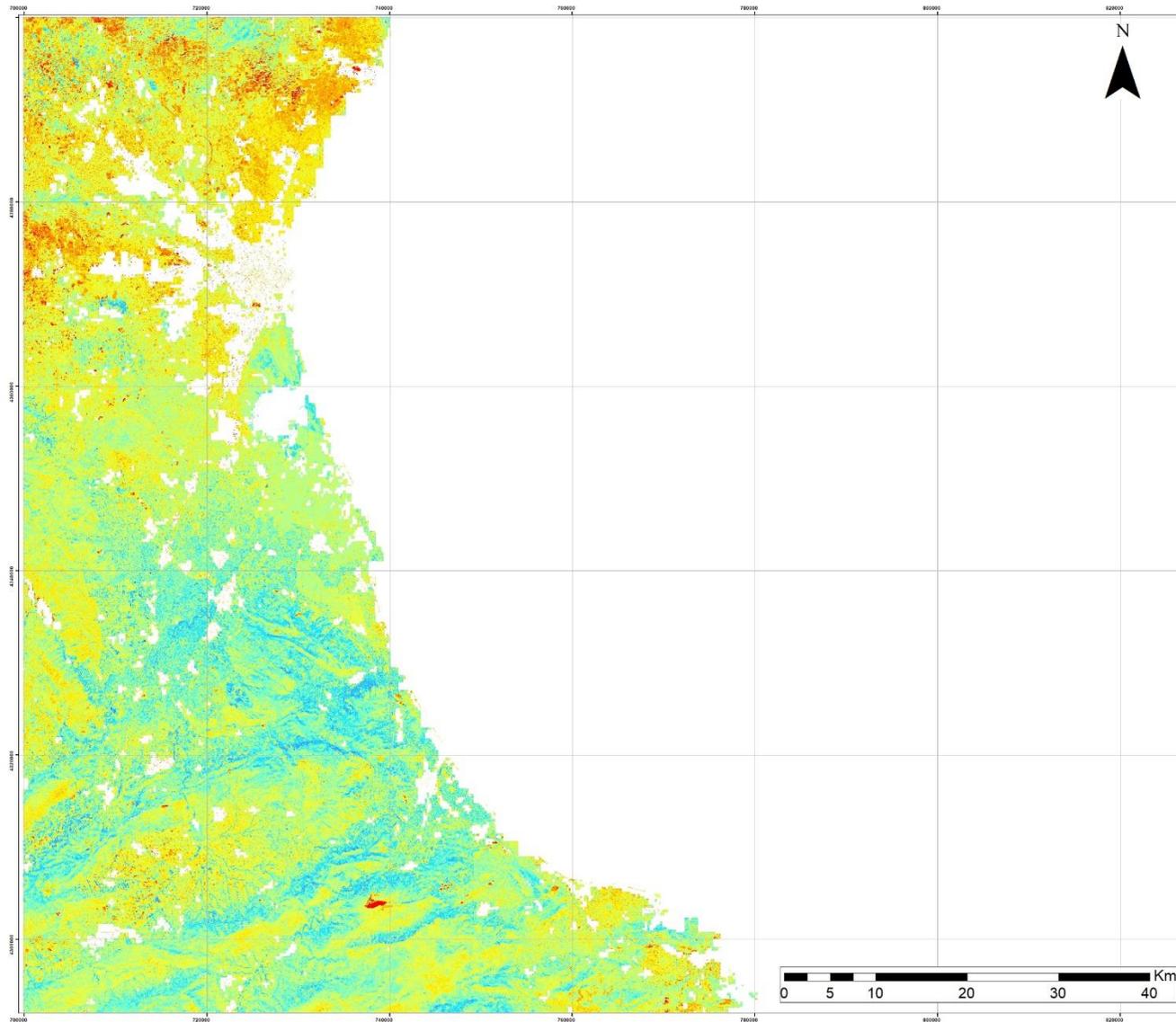
#### Sistema de Coordenadas:

Referencias espaciales: WGS\_1984\_  
UTM\_zone\_30N  
Datos: D\_WGS\_1984  
Unidades angulares: Grados

Universitat de València  
Grado en Geografía  
y Medio Ambiente



Mapa nº: 5



**MAPA DE LA  
EVAPOTRANSPIRACIÓN  
REAL EN LA PROVINCIA  
DE VALENCIA**

Mediante Sen-ET de SNAP  
para el 17 de septiembre de 2020



**Autora:**  
Paula Pastor Álvarez

**Fuentes:**  
Imágenes satélite procedentes de la  
Agencia Espacial Europea (ESA)

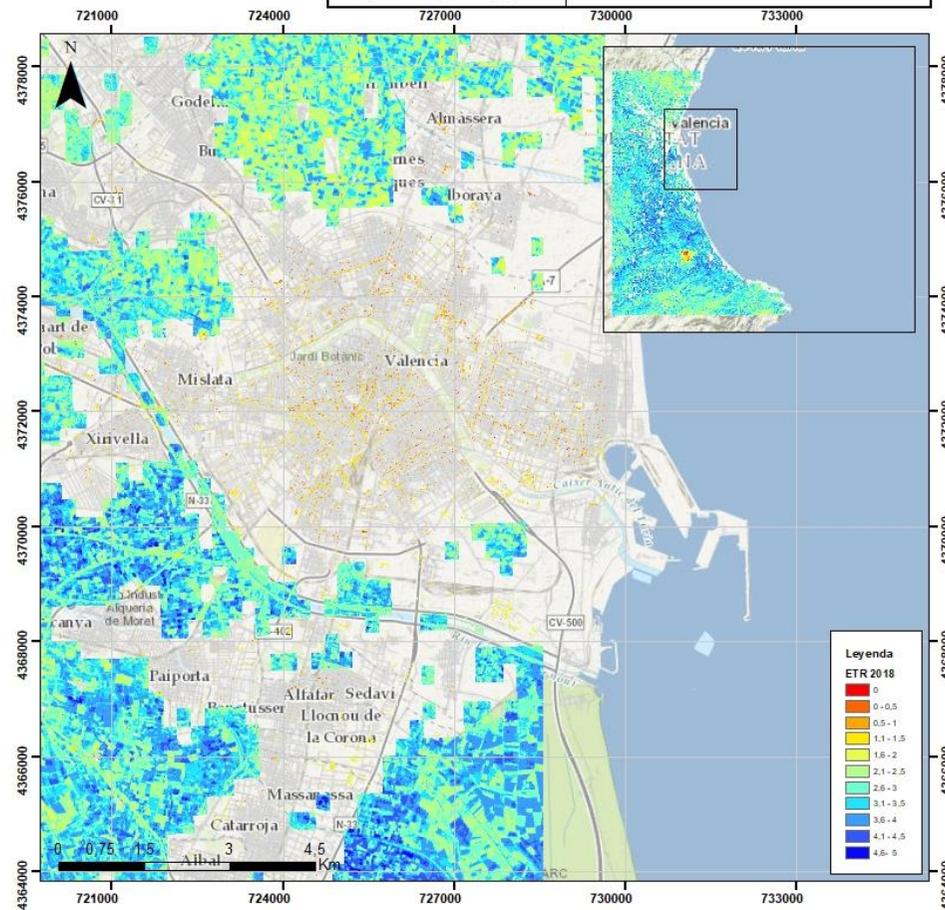
**Sistema de Coordenadas:**  
Referencias espaciales: WGS\_1984\_  
UTM\_zone\_30N  
Datos: D\_WGS\_1984  
Unidades angulares: Grados

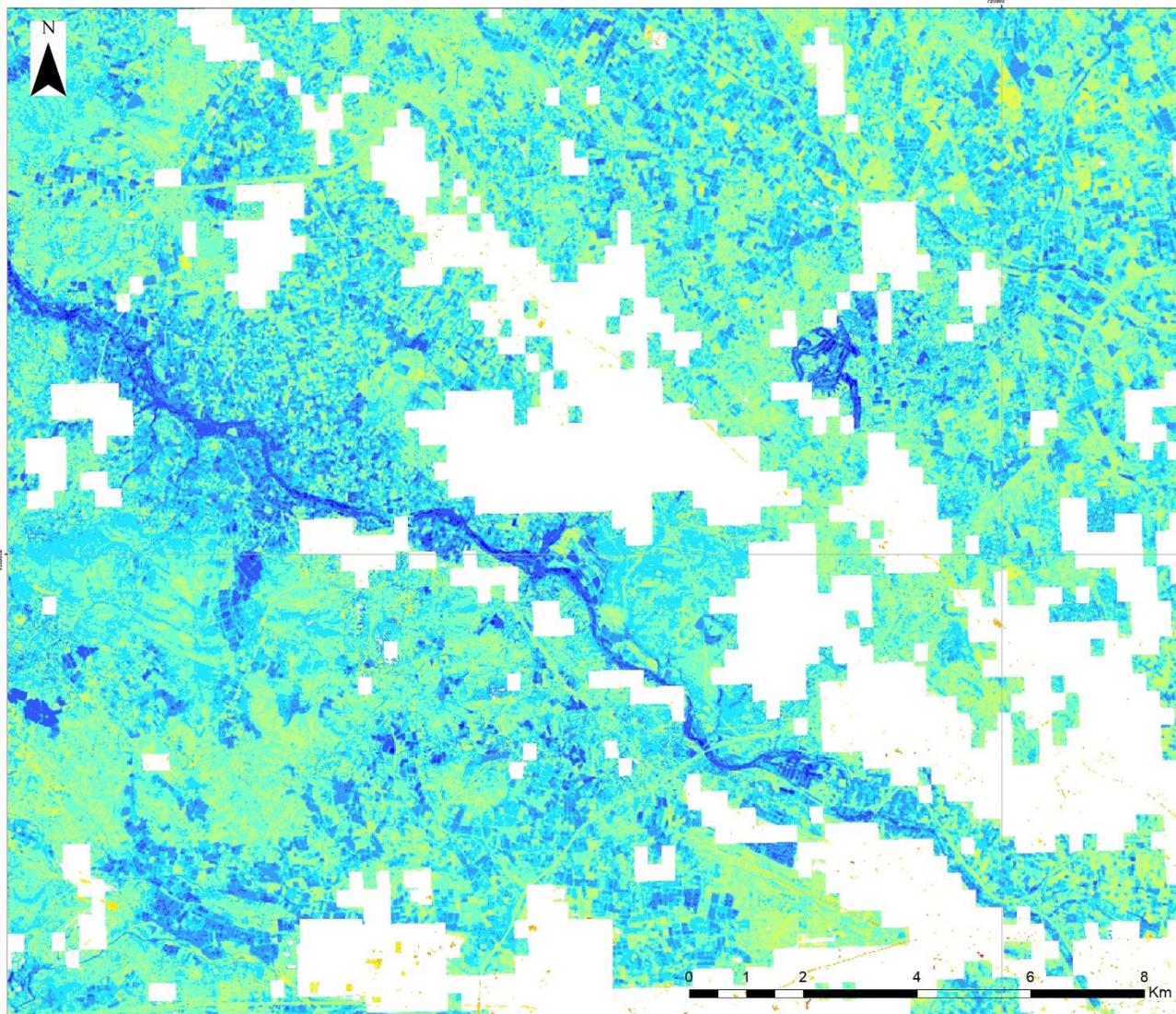
Universitat de València  
Grado en Geografia  
y Medio Ambiente

Mapa nº: 6

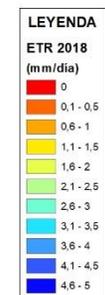
**MAPA DE LAS TASAS  
DE ETR EN EL ÁREA  
METROPOLITANA  
DE VALÈNCIA Y EN LAS  
HUERTAS CERCANAS**

<b>Autora:</b> Paula Pastor Álvarez	<b>Sistema de coordenadas:</b> Referencias espaciales: WGS_1984_UTM_zone_30N Datos: D_WGS_1984 Unidades angulares: Grados
<b>Fuente:</b> Imágenes satélite procedentes de la Agencia Espacial Europea (ESA) Mapa Base España Topográfico	Universitat de València Grado en Geografía y Medio Ambiente Mapa nº 7





**MAPA DE ETR DE LA CUENCA DEL RIO TÚRRIA A SU DESEMBOLCADURA EN VALENCIA (2018)**  
Mediante Sen-ET de SNAP

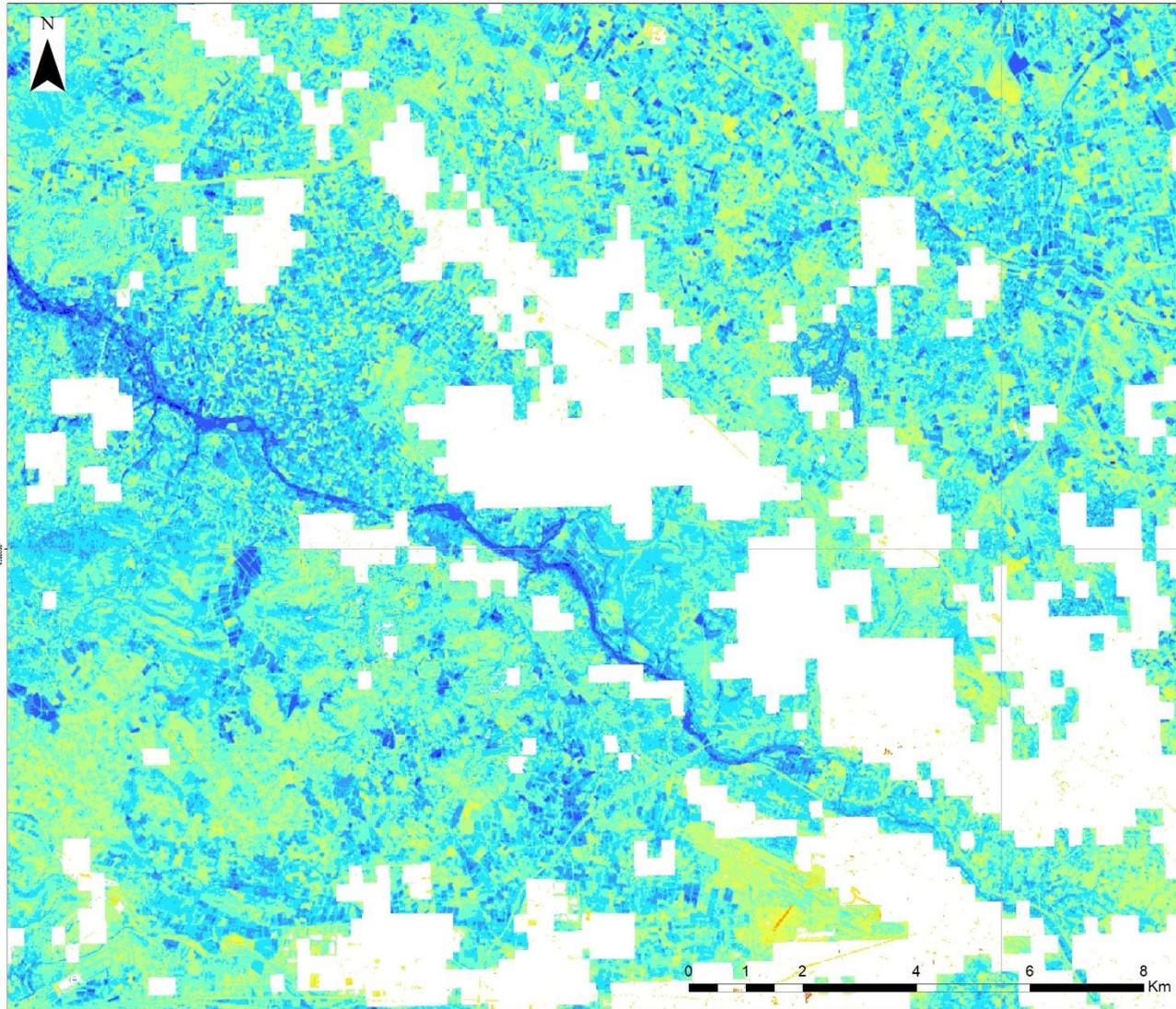


**Autora:**  
Paula Pastor Álvarez

**Fuentes:**  
Imágenes satélite procedentes de la Agencia Espacial Europea (ESA)

**Sistema de Coordenadas:**  
Referencias espaciales: WGS\_1984\_  
UTM\_zone\_30N  
Datos: D\_WGS\_1984  
Unidades angulares: Grados

Universitat de València Grado en Geografía y Medio Ambiente	
Mapa nº:	8



**MAPA DE ETR DE LA CUENCA DEL RIO TÚRIA A SU DESEMBOCADURA EN VALENCIA (2019)**

Mediante Sen-ET de SNAP

**LEYENDA**

**ETR 2019 (mm/día)**

0
0,1 - 0,5
0,6 - 1
1,1 - 1,5
1,6 - 2
2,1 - 2,5
2,6 - 3
3,1 - 3,5
3,6 - 4
4,1 - 4,5
4,6 - 5

**Autora:**  
Paula Pastor Álvarez

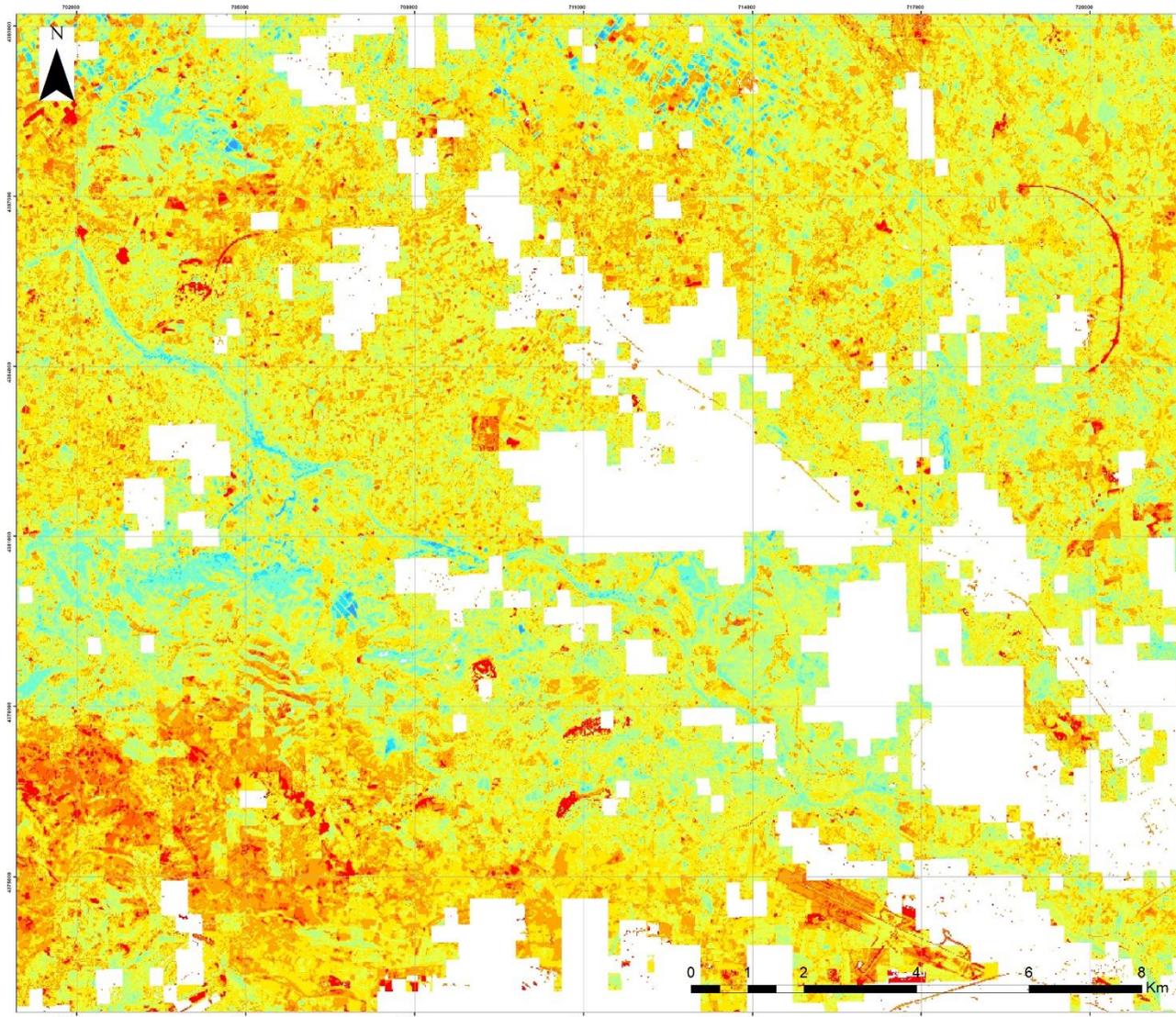
**Fuentes:**  
Imágenes satélite procedentes de la Agencia Espacial Europea (ESA)

**Sistema de Coordenadas:**  
Referencias espaciales: WGS\_1984\_  
UTM\_zone\_30N  
Datos: D\_WGS\_1984  
Unidades angulares: Grados

Universitat de València  
Grado en Geografía  
y Medio Ambiente



Mapa nº: 9



**MAPA DE ETR DE LA CUENCA DEL RIO TÚRRIA A SU DESEMBOLCADA EN VALÈNCIA (2020)**  
Mediante Sen-ET de SNAP

**LEYENDA**

**ETR 2020 (mm/día)**

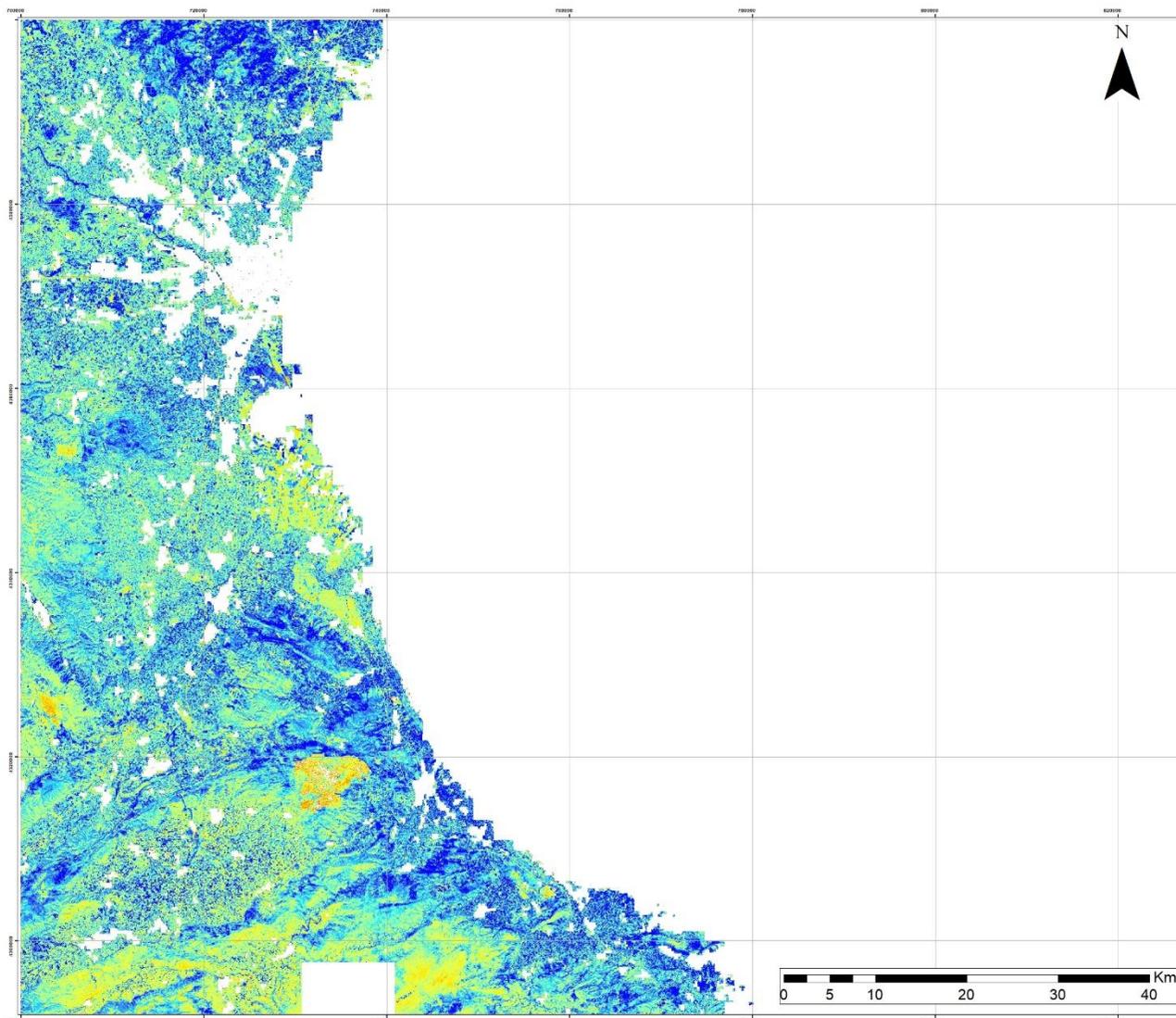
0
0.1-0.5
0.5-1
1.1-1.5
1.6-2
2.1-2.5
2.6-3
3.1-3.5
3.6-4
4.1-4.5
4.6-5

**Autora:**  
Paula Pastor Álvarez

**Fuentes:**  
Imágenes satélite procedentes de la Agencia Espacial Europea (ESA)

**Sistema de Coordenadas:**  
Referencias espaciales: WGS\_1984\_  
UTM\_zone\_30N  
Datos: D\_WGS\_1984  
Unidades angulares: Grados

Universitat de València Grado en Geografía y Medio Ambiente	
Mapa nº: 10	

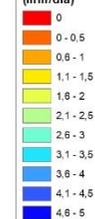


### MAPA DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL EN LA PROVINCIA DE VALÈNCIA

Mediante el método de FAO Penman-Monteith con SNAP para el 3 de octubre de 2018

#### LEYENDA

EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL 2018 (mm/día)



#### Autora:

Paula Pastor Álvarez

#### Fuentes:

Imágenes satélite procedentes de la Agencia Espacial Europea (ESA)

#### Sistema de Coordenadas:

Referencias espaciales: WGS\_1984\_  
UTM\_zone\_30N  
Datos: D\_WGS\_1984  
Unidades angulares: Grados

Universitat de València  
Grado en Geografía  
y Medio Ambiente



Mapa nº: 11



<b>MAPA DE LA ETR ENTRE LAS COMARCAS DE LA VALL D'ALBAIDA Y LA SAFOR (2018)</b>	<b>Autora:</b> Paula Pastor Álvarez	<b>Sistema de coordenadas:</b> Sistema de Coordenadas Geográficas: ETRS89 Datos: European_Terrestrial_Reference_System_1989 Primer Meridiano: Greenwich Unidad angular: Grados
	<b>Fuentes:</b> Imágenes provinientes de la Agencia Espacial Europea (ESA) Mapa Base de España Topográfico	Universitat de València Grado en Geografía y Medio Ambiente Mapa nº: 12 

