



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Centro de Estudios de Postgrado

Trabajo Fin de Máster

CARACTERIZACIÓN DE LOS HÁBITATS EN ESTACIONES DE MONITOREO INTENSIVO (EMIs) DEL OBSERVATORIO DE CAMBIO GLOBAL DE LAS SIERRAS SUBBÉTICAS

Alumno/a: Germán Cabrera Carrillo

Tutor/a: Julio Alcántara Gámez

Antonio Manzaneda Ávila

Dpto: Biología Animal, Biología Vegetal y Ecología

Jaén, a 14 febrero 2023



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Centro de Estudios de Postgrado

**Máster Universitario en Análisis, Conservación y Restauración de
Componentes Físicos y Bióticos de los Hábitats**

Trabajo Fin de Máster

CARACTERIZACIÓN DE LOS HÁBITATS EN ESTACIONES DE MONITOREO INTENSIVO (EMIs) DEL OBSERVATORIO DE CAMBIO GLOBAL DE LAS SIERRAS SUBBÉTICAS

Fdo.: _____

(alumno/a)

Fdo.: _____

(tutor/a)

Jaén, a 14 febrero 2023

Resumen.

El gran aumento de gases de efecto invernadero en los últimos años, hace necesario la creación de nuevas investigaciones que sean capaces de cuantificar estas emisiones, y de intentar dar soluciones para mitigar los impactos. Tras el avance tecnológico en instrumentación y técnicas de medida de las últimas décadas, han empezado a crearse en España, estudios y planes de seguimiento, ubicados en los hábitats más relevantes de nuestro país, como en el Parque Nacional de Sierra Nevada o en Doñana. Por tanto, en este trabajo, se realizará una caracterización de los hábitats elegidos en la provincia de Jaén para la instalación de unas Estaciones de Monitoreo Intensivo (EMIs), que conformaran el Observatorio de Cambio Global de las Sierras Subbéticas. Estas estaciones serán dotadas de torres con diferentes sensores multiparamétricos capaces de medir conjuntos de gases de efecto invernadero y flujos de energía. Para ello, vamos a utilizar cartografía de alta resolución procedente de los principales repositorios de información ambiental regionales, nacionales e internacionales. Esta cartografía será tratada con Sistemas de Información Geográfica, cuyos cálculos darán como resultado diversos mapas, que servirán como base para los posteriores estudios que se realizarán en las estaciones, junto a los valores de gases de efecto invernadero y de flujos de energía que captarán los sensores instalados en las torres. Posteriormente, se realizará un modelo de distribución de los hábitats que conforman cada EMI, para el conjunto de las Sierras Subbéticas, dónde se podrá analizar el porcentaje de terreno que está caracterizado por las estaciones.

Summary.

The great increase in greenhouse gases in recent years makes it necessary to create new research that is capable of quantifying these emissions, and trying to provide solutions to mitigate the impacts. Following technological advances in instrumentation and measurement techniques in recent decades, studies and monitoring plans have begun to be created in Spain, located in the most relevant habitats in our country, such as the Sierra Nevada National Park or Doñana. Therefore, in this work, a characterization of the habitats chosen in the province of Jaén will be carried out for the installation of some Intensive Monitoring Stations (EMIs), which will make up the Global Change Observatory of the Sierras Subbéticas. These stations will be equipped with towers with different multi-parameter sensors capable of measuring sets of greenhouse gases and energy flows. To do this, we are going to use high-resolution cartography from the main regional, national and international environmental information repositories. This cartography will be treated with Geographic Information Systems, whose calculations will result in various maps, which will serve as the basis for subsequent studies to be carried out in the stations, together with the values of greenhouse gases and energy flows that will be captured by the sensors installed on the towers. Subsequently, a distribution model of the habitats that make up each EMI will be made, for the whole of the Sierras Subbéticas, where it will be possible to analyze the percentage of land that is characterized by the stations.

Palabras clave.

Eddy-covariance, SIG, gases de efecto invernadero, flujos de energía.

Índice

1.	Introducción.	3
1.1.	Antecedentes.	5
2.	Objetivos.....	8
3.	Materiales y métodos.	8
3.1.	Descripción de los lugares experimentales.	8
3.1.1.	Sierra Sur de Jaén.	10
3.1.2.	Sierra de Segura.	12
3.2.	Materiales.....	15
3.3.	Metodología.	18
4.	Resultados.	23
4.1.	Perímetro ecológico.....	23
4.2.	Ortofotografía.	24
4.3.	Variables topográficas.....	25
4.3.1.	Pendiente.....	25
4.3.2.	Orientación.....	26
4.3.3.	Rugosidad.	27
4.3.4.	Posición topográfica.....	28
4.4.	Variables climáticas.....	29
4.4.1.	Temperatura media anual.	29
4.4.2.	Precipitación media anual.	30
4.4.3.	Evapotranspiración media anual.....	31
4.5.	Variables de suelo.	32
4.5.1.	Textura.....	32
4.5.2.	Unidades edáficas.	33
4.6.	Variables ecológicas.	34
4.6.1.	Series de vegetación.	34
4.7.	Rosas de los vientos.	35
4.7.1.	Rosa de frecuencia del viento.	35
4.7.2.	Rosa de velocidad del viento.	36

4.8.	Modelo de distribución.....	37
5.	Discusión.....	38
6.	Conclusión.	42
7.	Bibliografía.....	43

1. Introducción.

Durante los últimos años, ha aumentado de forma alarmante la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, tales como el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) o el óxido nitroso (N_2O). Esta situación ha provocado un cambio en las situaciones climáticas globales. El aumento en el uso de combustibles fósiles en la industria, la ganadería o el transporte, es la principal causa del gran incremento de estos gases de efecto invernadero en nuestra atmósfera, mientras que el cambio en los usos del suelo mediante deforestación, para la creación de cultivos o pastos, es uno de los principales actores en este cambio global.

Este cambio en las condiciones climáticas globales, hace necesario la creación de planes de seguimiento de los efectos de este cambio global. En estos planes se recogerá información sobre el funcionamiento de los sistemas ecológicos y socioeconómicos, para crear protocolos que minimicen los impactos del cambio global (Aspizua et al., 2012). Para llevar a cabo estos planes de seguimiento, se caracterizan diferentes Estaciones de Monitoreo Intensivo (EMIs), que son parcelas homogéneas, desde el punto de vista ecológico, donde se instalan torres con una serie de sensores multiparamétricos, para la recogida de datos atmosféricos, edáficos y biológicos (Aspizua et al., 2012).

En estas torres, se utiliza la técnica de covarianza de remolinos o covarianza de Foucault (EC), que proporciona grandes conjuntos de datos de gases de efecto invernadero y de flujos de energía, tales como agua, carbono y cantidad de movimiento entre la superficie de la tierra y la atmósfera (Chu et al., 2021). La EC es una de las técnicas más importantes para muestrear flujos superficiales que permiten estudiar las interacciones tierra-atmósfera, como fuentes de CO_2 , aridez y sensibilidad del ecosistema a la temperatura (Xu et al., 2019).

Para que los registros obtenidos mediante EC permitan el cálculo de flujos anuales de CO_2 por unidad de superficie, los sensores deben ser instalados en lugares con unas características muy concretas (Rebmann et al., 2018). Estos condicionantes son:

- Alrededor de 250m de los sensores, la vegetación debe de ser lo más homogénea posible, y representativa de un ecosistema bien definido.
- La topografía debe ser lo más plana posible, con una pendiente inferior al 5%, en una distancia de al menos 1km alrededor de los sensores, siempre evitando los fondos de valle. En nuestro caso, hemos tenido que rebajar estas condiciones, considerando como válido una pendiente inferior al 10% en una distancia de al menos 250m alrededor de los sensores, ya que las torres van a ser instaladas en zonas de montaña.

- Los sensores de flujo de CO₂ deben colocarse a una altura de al menos 1.5 veces superior la altura media de la vegetación circundante. Se recomienda una altura máxima de las torres de 30m en nuestro caso particular, ya que se utilizarán torres tipo TELEVÉS de 36mm de lado, por lo que la altura media de las especies arbóreas circundantes no debe superar los 20m.
- Normalmente, estas torres están instaladas en lugares donde no hay corriente, y se emplean paneles solares como fuente de energía, ya que se necesita una corriente de energía estable y continua. Es necesario tener en cuenta, que los lugares seleccionados deben ubicarse cerca de una zona despejada, que esté orientada al sur, y que sea una zona lo suficientemente amplia, como para que la sombra del arbolado no afecte al rendimiento de los paneles solares.



Figura 1. Ejemplo de Estación Multiparamétrica. 1-Analizador de CH₄ de Canal Abierto (Li-7700 de LI-COR); 2-Anemómetro; 3-Analizador de CO₂/H₂O de Canal Abierto (Li-7500DS de LI-COR); 4-Radiómetro; 5-Sensor de temperatura y humedad del aire; 6-Unidad de lavado para los diferentes sensores; 7-Unidad de Interfaz del Analizador (Li-7550). Imagen propiedad de LI-COR (LI-COR Biosciences, 2023).

1.1. Antecedentes.

A finales del siglo XX, comenzaron los primeros proyectos de seguimiento de gases de efecto invernadero mediante la covarianza de Foucault, como el proyecto “The Boreal Ecosystem Atmosphere Study (BOREAS)”, creado en el año 1993, cuyos objetivos era mejorar la comprensión que se tenía acerca de los intercambios de energía radiante, de calor, de agua, de CO₂ y de gases traza entre bosques boreales y la atmósfera inferior (Sellers et al., 1995). Fue un estudio internacional a gran escala, integrado por más de 300 científicos de todas partes del mundo, donde las medidas se hicieron principalmente en misiones aerotransportadas mediante teledetección y con la técnica de covarianza de Foucault (Sellers et al., 1995).

Tras este proyecto, se vio la necesidad de crear una red internacional de intercambio de gases de efecto invernadero biosfera-atmósfera, donde poder integrar todos los proyectos científicos de medición de flujos. Así pues, en el año 1997, se creó el proyecto “FLUXNET” con el apoyo de la “Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA)” (FLUXNET, 2023). El proyecto “FLUXNET”, es una red global de medición de flujos meteorológicos (Figura 2), que miden los intercambios de CO₂, vapor de agua y energía entre la biosfera y la atmósfera de manera continua (Baldocchi et al., 2001).

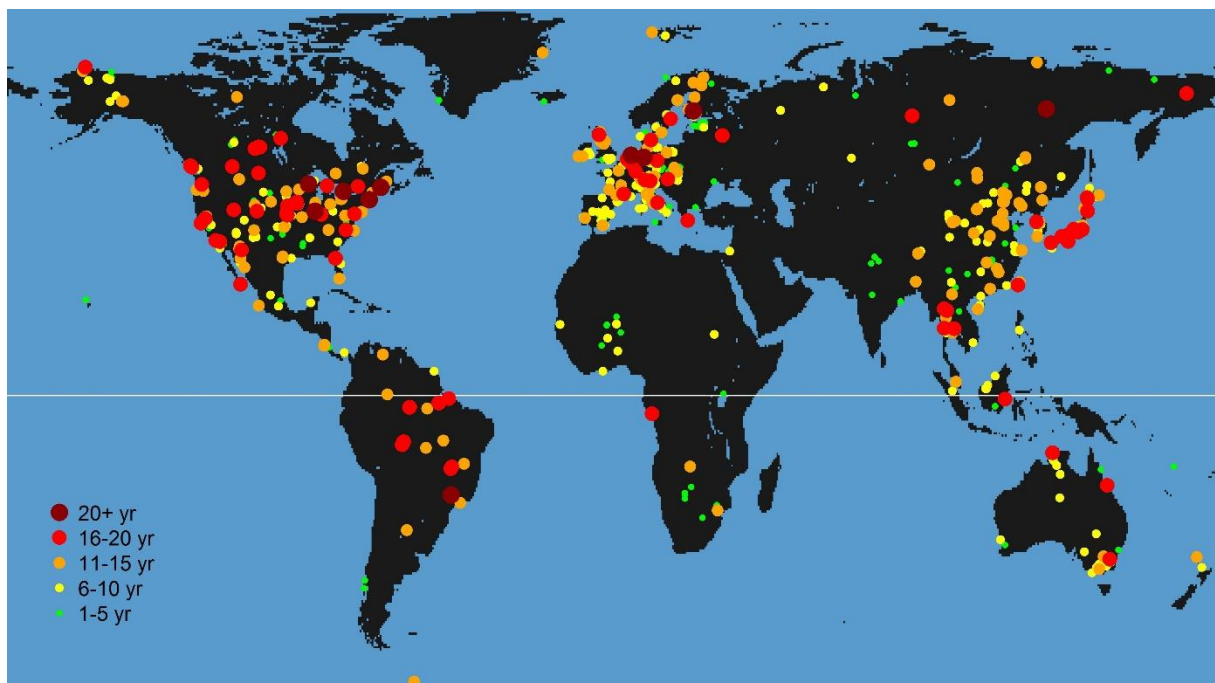


Figura 2. Ubicación de todas las estaciones integradas en el proyecto FLUXNET2015. Se representan desde las que llevan más de 20 años, en color rojo, hasta las que llevan entre 1-5 años, en color verde (FLUXNET, 2023).

Las funciones principales de “FLUXNET” son la de proporcionar una infraestructura para archivar y distribuir mediciones de flujo de carbono, agua y energía, dar apoyo a las actividades de calibración y comparación de flujos entre las diferentes estaciones repartidas por el mundo, y apoyar la discusión y la comunicación de ideas y datos, mediante el apoyo a proyectos científicos desarrollados por distintas empresas y universidades de todos los países (Baldocchi et al., 2001).

Posteriormente, se han seguido creando proyectos internacionales de cambio global, como el proyecto “Global Observation Initiative in Alpine Environments; GLORIA”, creado en el año 2001. Es una red mundial, de lugares experimentales de investigación a largo plazo, creada para evaluar los impactos del cambio climático en comunidades alpinas (Butz et al., 2008). Estas comunidades, están comprendidas desde la línea de árboles hasta la cima de las montañas, dónde se incluyen áreas de alta montaña desérticas o árticas (Grabherr et al., 2000). Esta red, se extiende por montañas de todo el mundo, reuniendo más de 121 zonas de estudio, de las cuales, 18 son cordilleras europeas entre las que se incluye Sierra Nevada, Granada (Proyecto GLORIA, 2023).

A partir de este proyecto, se creó el “Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada”. Está integrado por Estaciones de Monitoreo Intensivo (EMIs) en diferentes puntos de muestreo, que toman datos a escala detallada, y se incluyen en lugares diferentes con condiciones ecológicas propias, y que cuentan con una estación climática paramétrica (OBSNEV, 2023).

Esta será la base que seguiremos a lo largo de este trabajo, para la creación del Observatorio de Cambio Global de las Sierras Subbéticas, integrado por 6 Estaciones de Monitoreo Intensivo, ubicadas en distintos puntos del territorio para realizar mediciones en lugares con condiciones ecológicas diferentes.

Actualmente, es la red ICOS la infraestructura de referencia dónde se integran la mayoría de investigaciones de gases de efecto invernadero a nivel europeo (Figura 3). El Sistema Integrado de Observación del Carbono (ICOS) proporciona datos estandarizados y abiertos de más de 140 estaciones de medición en 14 países europeos (ICOS, 2023). Las estaciones observan concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, así como flujos de carbono entre la atmósfera, la superficie terrestre y los océanos (ICOS, 2023). La comunidad ICOS, consta de más de 500 científicos y más de 80 universidades o institutos de investigación. Su misión principal es la de producir observaciones estandarizadas de alta

precisión a largo plazo, para facilitar las investigaciones sobre ciclos de carbono y proporcionar la información necesaria sobre gases de efecto invernadero (ICOS, 2023). Los datos proporcionados por ICOS, generan conocimiento científico, y sirven para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas y los Desafíos Sociales de la Unión Europea (ICOS, 2023).

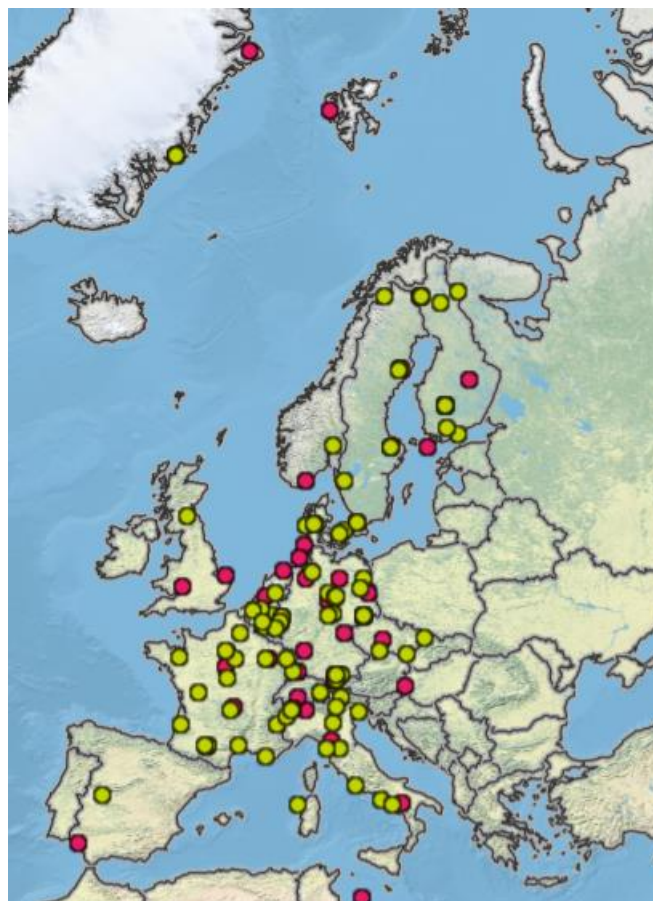


Figura 3. Ubicación de las estaciones atmosféricas (rojo) y de las estaciones ecosistémicas (amarillo) adscritas a la red ICOS (ICOS, 2023).

2. Objetivos.

El objetivo principal de este trabajo fin de máster es hacer un informe técnico para la caracterización ecológica de las 6 Estaciones de Monitoreo Intensivo (EMIs), distribuidas entre las sierras Sur de Jaén y Segura, que formarán el Observatorio de Cambio Global de las Sierras Subbéticas, que se encarga de la monitorización de la biodiversidad y procesos de cambio global. Para ello se empleará información cartográfica de la mayor resolución y actualidad disponible en los repositorios públicos de ámbito regional, nacional e internacional.

Para conseguir este objetivo principal, proponemos los siguientes objetivos específicos:

- (1) delimitar el perímetro ecológico de los EMIs en base a la delimitación de micro-cuencas hidrográficas y mapas de vegetación actual;
- (2) describir las características ambientales de los EMIs en términos de: descriptores topográficos, edáficos y climáticos;
- (3) describir el estado actual de los EMIs en base a ortofotografías de alta resolución;
- (4) preparar mapas de distribución potencial, para conocer el porcentaje de terreno de las sierras de Jaén y Segura que está representado por cada uno de los EMIs, en función de sus características ambientales.

3. Materiales y métodos.

3.1. Descripción de los lugares experimentales.

El Observatorio de Cambio Global de las Sierras Subbéticas estará formado por 6 Estaciones de Monitorización Intensiva, de las cuales 3 estarán ubicadas en la Sierra Sur de Jaén, y 3 en la Sierra de Segura.

Las Sierras Subbéticas de la provincia de Jaén, forman parte del Sector Biogeográfico Subbético (Figura 4), claramente diferenciado del resto de la Provincia Biogeográfica Bética por su climatología y flora endémica (Sánchez-Gómez et al., 1994).

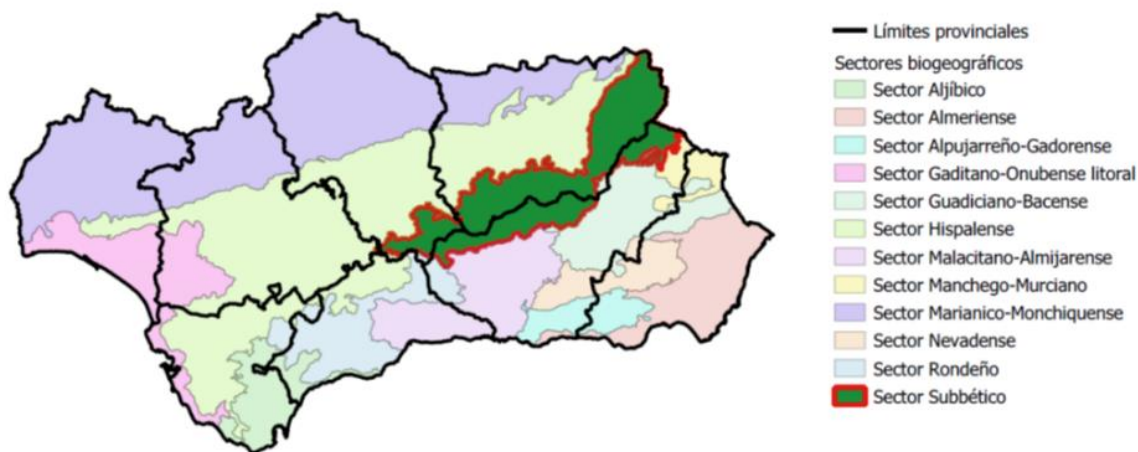


Figura 4. Sectores biogeográficos de Andalucía. Fuente: Mapa de Sectores biogeográficos de Andalucía, (SIPNA publicación 2018), escala 1:10.000. Consejería de Sostenibilidad, Medio Ambiente y Economía Azul. Junta de Andalucía.

Según el Mapa forestal de España, representado en la Figura 5, los ecosistemas forestales de referencia en el complejo de las Sierras Subbéticas, corresponden a bosques de coníferas, principalmente de *Pinus halepensis* y *Pinus nigra*, ya sean de origen natural o procedentes de reforestaciones, y formaciones más o menos densas de *Quercus rotundifolia* y *Quercus faginea*, ya sea formando masas puras o mixtas con coníferas.

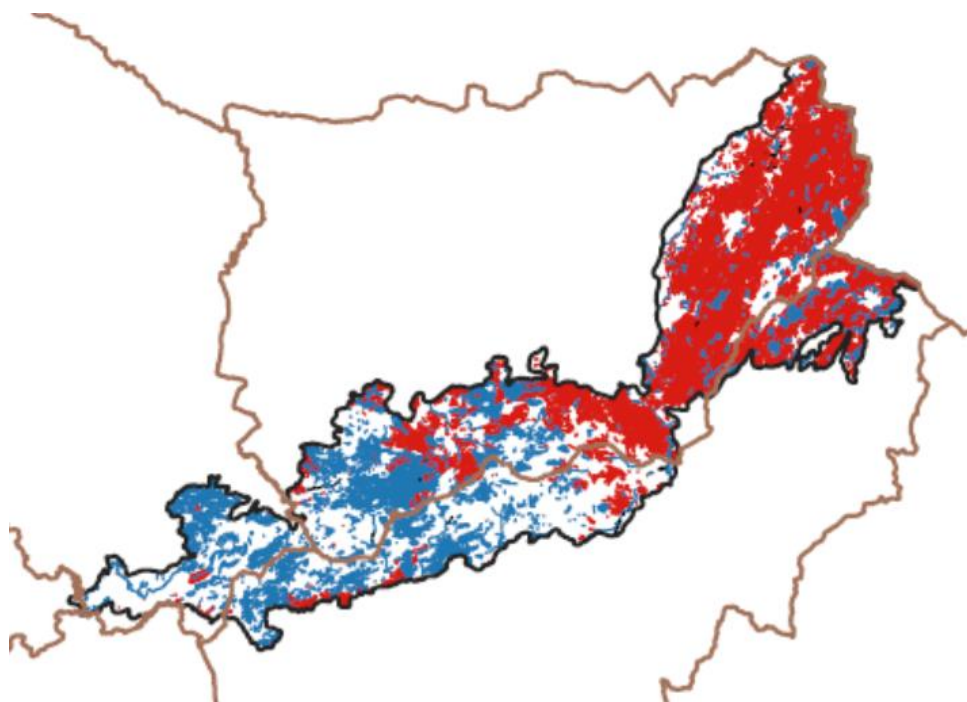


Figura 5. Distribución de formaciones arboladas en el sector subbético. En color rojo se indican las formaciones dominadas por *Pinus halepensis* o *Pinus nigra*. En color azul las formaciones dominadas por *Quercus rotundifolia* o *Quercus faginea*. Fuente: Mapa Forestal de España (MFE50). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO).

A partir de las distintas masas de vegetación repartidas por el complejo de las Sierras Subbéticas, se ha escogido la ubicación de los EMIs para tener una mayor representatividad en ambientes con unas condiciones ecológicas distintas. A pesar de esto, también se han tenido en cuenta otros factores de suma importancia, como pueden ser:

- Los lugares seleccionados para la instalación de las torretas no deben afectar a ninguna especie animal o vegetal incluida en el Catálogo Andaluz de Especies Amenazadas (Decreto 23/2012).
- Los trabajos de instalación y posterior mantenimiento de sensores, implican la necesidad de acceder con frecuencia a los lugares seleccionados. Por ello, es necesario que los EMIs se establezcan en lugares accesibles con vehículos todoterreno.
- A pesar de buscar ambientes con condiciones ecológicas distintas, para poder obtener una mayor representatividad del complejo de las Sierras Subbéticas, es recomendable que los EMIs se agrupen geográficamente de manera que se puedan considerar réplicas de un mismo ecosistema, ya que, si se detecta un cambio en algún proceso ecológico en el pinar, se pueda saber si se debe a un proceso propio del pinar o es un cambio general que ocurre en otros ecosistemas próximos. Por tanto, para satisfacer estas necesidades, tanto los EMIs ubicados en la Sierra Sur, como los ubicados en la Sierra de Segura, se situarán dos de ellos en pinares, y otro en un ecosistema alternativo.

3.1.1. Sierra Sur de Jaén.

La Sierra Sur de Jaén es un amplio territorio que incluye un gran conjunto de sierras, ubicado al sur de la provincia de Jaén, enclavado al sur de Sierra Morena y al norte de Sierra Nevada. Teniendo en cuenta su biogeografía, este conjunto de sierras está incluido en la región mediterránea, provincia Bética, sector Subbético y distrito Subbético-Maginense (Rivas et al., 1999).

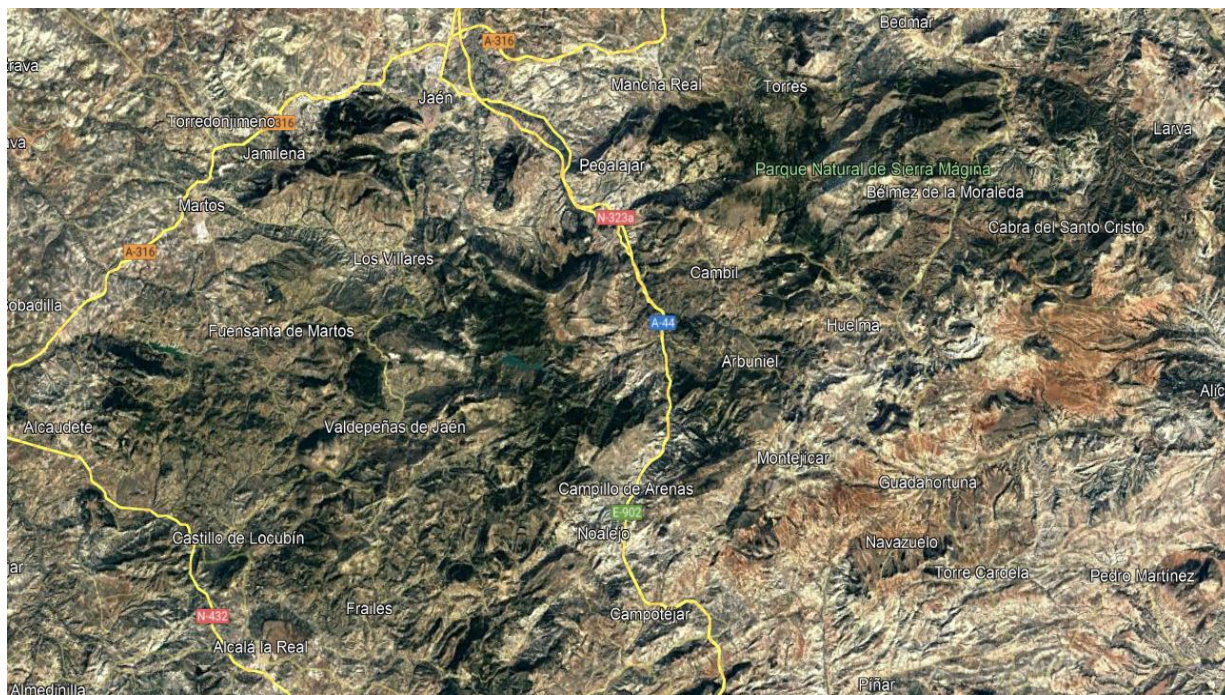


Figura 6. Foto aérea de la Sierra Sur de Jaén. Se encuentra al sur de la ciudad de Jaén, y al norte de Alcalá la Real, limitando con Alcaudete por el oeste y con Cambil por el este. Fuente: Google Earth.

Respecto a su vegetación, está dominada por dos tipos de formaciones boscosas principalmente, por un lado los bosques de encinar (*Quercus rotundifolia*), que constituyen la comunidad climax (Torres et al., 2003), y por otro lado, como consecuencia de la presión antrópica, estas formaciones boscosas están representadas por áreas de cultivo, de pastizal, de olivar o bien forestal, así gran parte del territorio presenta un paisaje de pinar como consecuencia de las reforestaciones forestales realizadas en el siglo XX, a excepción de algunas formaciones naturales de *Pinus halepensis*, localizados sobre crestones calcáreos y dolomíticos (Torres et al., 1999). La vegetación también está representada por pastizales, ya que el territorio está ocupado en gran parte por zonas dedicadas a la ganadería, dominadas por los majadales de *Poa bulbosa*, muy interesantes para la ganadería ovina (Cano et al., 2003).

Las 3 Estaciones de Monitorización Intensiva han sido ubicadas en lugares diferentes de la Sierra Sur de Jaén, con unas condiciones ecológicas diferentes, asegurando así, una mayor representatividad del total de la Sierra. Sus características pueden apreciarse en la Tabla 1, y su ubicación en la Figura 7.

Tabla 1. Características principales de las tres Estaciones de Monitoreo Intensivo ubicadas en la Sierra Sur de Jaén.

Nombre Estación	Coordenadas UTM	Altitud (s.n.m)
Cruz de Chimba	X: 435750 Y: 4167475	1137 m
Matamulos	X: 437619 Y: 4166363	1193 m
Pitillos	X: 440460 Y: 4163522	1163 m

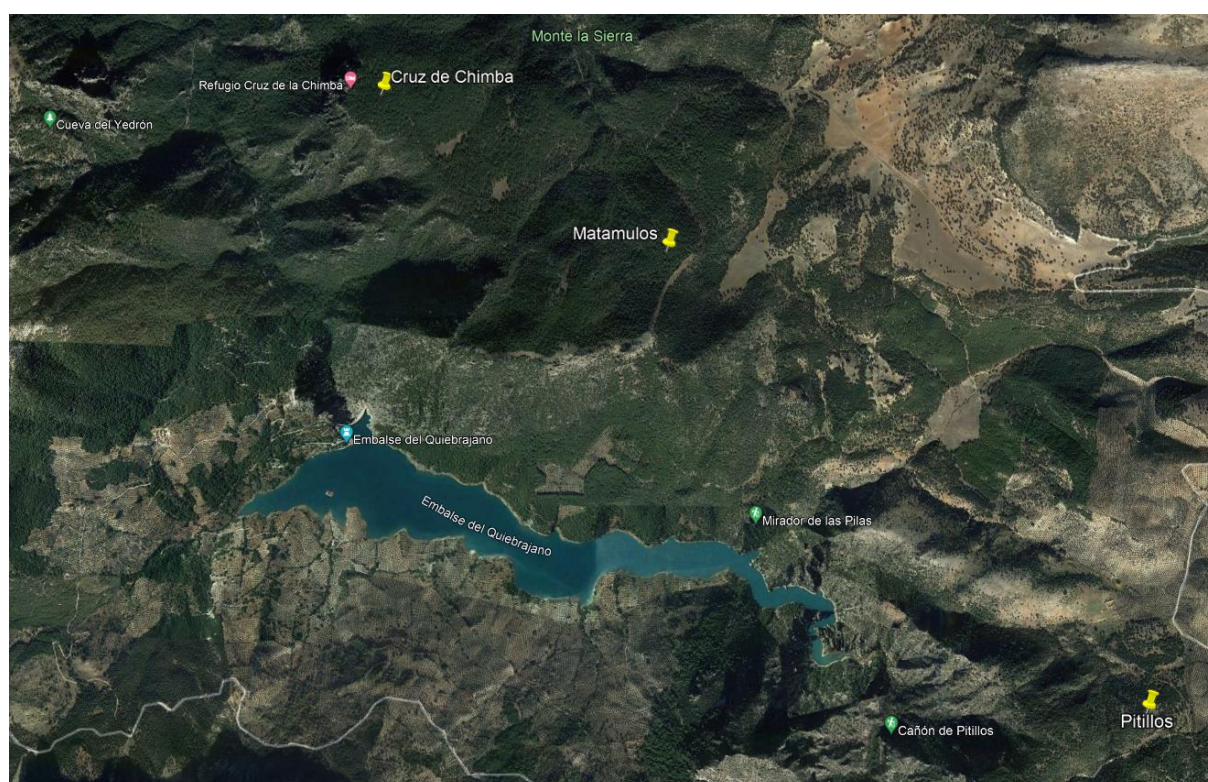


Figura 7. Ubicación de las 3 Estaciones de Monitorización Intensiva ubicadas en la Sierra Sur de Jaén. Cruz de Chimba, Matamulos y Pitillos. Fuente: Google Earth

3.1.2. Sierra de Segura.

Respecto a la Sierra de Segura, es un territorio ubicado al noreste de la provincia de Jaén (Figura 8), al norte de las Sierras de Cazorla y las Villas (Jaén) y al sur del Parque Natural de Los Calares del Mundo y de la Sima (Albacete). Biogeográficamente, se encuentra en la región mediterránea, provincia bética, sector subbético, y dos subsectores, el Cazorlense que corresponde al extremo sur de la Sierra de Segura, y el Alcareense que corresponde a la parte norte de la Sierra de Segura (Gómez et al., 1990).



Figura 8. Foto aérea de la Sierra de Segura. Se encuentra al sur del Parque Natural de Los Calares del Mundo y de la Sima, y al norte de la localidad de Hornos, a partir de la cual empieza la Sierra de Cazorla. Fuente: Google Earth.

La Sierra de Segura está formada por una litología sedimentaria, principalmente de calizas. Actualmente está ocupada en su mayoría por pinares de *Pinus nigra*, *Pinus pinaster* y *Pinus halepensis*, fundamentalmente de repoblación, aunque en algunas zonas se conservan encinas, quejigos o melojos, ya sea como sotobosque del pinar o como bosque puro (Almansa et al., 1999).

La mayoría de estos territorios, deberían estar cubiertos por encinares o quejigares, dónde el *Pinus nigra* quedaría limitado a las zonas más altas o a las zonas con características Xéricas (Valle et al., 1990). Respecto al *Pinus pinaster* o al *Pinus halepensis*, se duda de la presencia natural de estas especies. Se cree que su presencia se debe a las repoblaciones realizadas durante los dos últimos siglos, ya que, aunque la distribución del *Pinus pinaster* en este territorio es muy antigua, esta especie solo se desarrolla de forma natural en Andalucía Oriental sobre sustratos de dolomías cristalinas (Valle et al., 1990).

En este caso, las Estaciones de Monitoreo Intensivo, también han sido ubicadas en tres localizaciones diferentes, asegurando unas condiciones ecológicas diferentes, para tener

una mayor representatividad de los diferentes ambientes que conforman la Sierra de Segura. Las características de cada estación pueden apreciarse en la Tabla 2, y su ubicación en la Figura 9.

Tabla 2. Características principales de las tres Estaciones de Monitoreo Intensivo ubicadas en la Sierra de Segura.

Nombre Estación	Coordenadas UTM	Altitud (s.n.m)
Yelmo Incendio	X: 531172 Y: 4234251	1421 m
Yelmo Pinar	X: 530482 Y: 4232659	1451 m
La Rayuela	X: 539394 Y: 4246711	1464 m

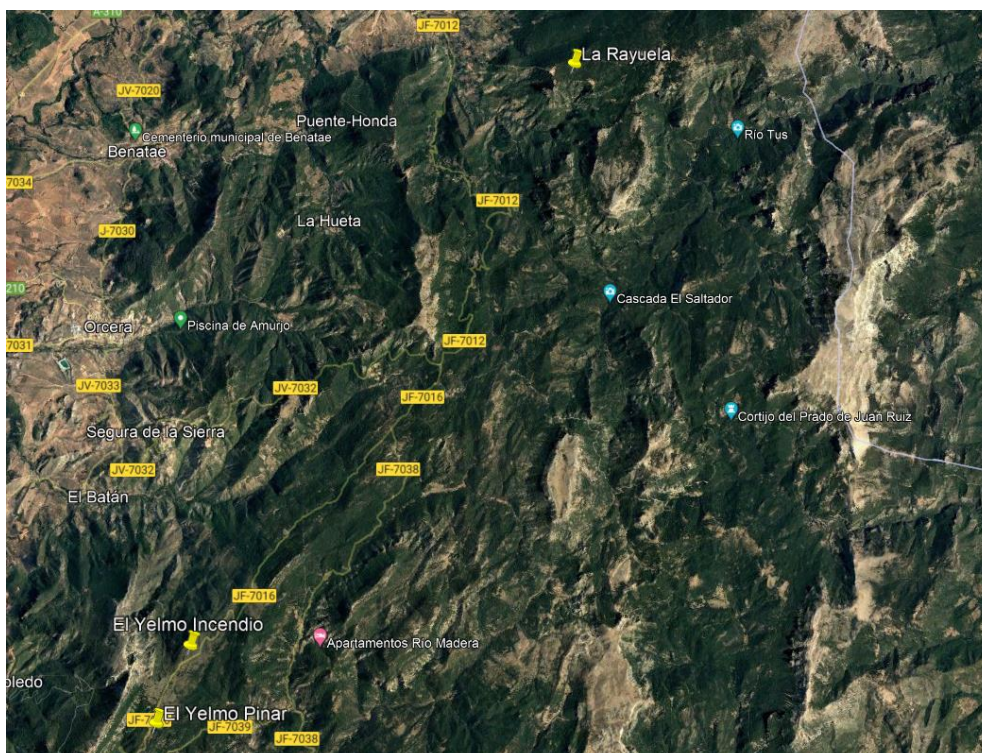


Figura 9. Ubicación de las tres estaciones de Monitorización Intensiva ubicadas en la Sierra de Segura. La Rayuela, El Yelmo Incendio y El Yelmo Pinar. Fuente: Google Earth.

3.2. Materiales.

Para la realización de este trabajo, se ha utilizado cartografía de la mayor resolución posible, descarga de los principales repositorios de cartografía ambiental a nivel estatal e internacional. Todos los cálculos relacionados con la cartografía descargada se han realizado mediante el Sistema de Información Geográfica de software libre “QGIS”.

Tanto la cartografía descargada como los cálculos resultantes, han sido manejados en la proyección ETRS89 y en la referencia espacial UTM zona 30N.

La cartografía que se ha tratado mediante “QGIS” ha sido:

- Modelo Digital del Terreno (MDT05).
Tiene una resolución espacial de 5 m. Sistema de proyección ETRS89. Descargado del Instituto Geográfico Nacional (<https://www.ign.es/web/ign/portal>).
- Mapa en formato vectorial de Vegetación Natural elaborado para el Atlas de Andalucía, 2002.
Es una fusión del Mapa Forestal de España y el Mapa de Usos y Coberturas Vegetales del Suelo de Andalucía de 1999, dónde se resaltan los recursos forestales de Andalucía (Consejería de Sostenibilidad, Medio Ambiente y Economía Azul, 2023). Descargado de la Red de Información Ambiental de Andalucía, REDIAM (<https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/acceso-rediam>).
- Mapa de Evapotranspiración potencial media decenal en Andalucía: periodo 1988-2017.
Mapa en formato ráster de la evapotranspiración potencial media decenal calculada mediante el método de Thornthwaite. El método de Thornthwaite para determinar la evapotranspiración, se basa en la temperatura media, con una corrección en función de la duración astronómica del día y el número de días del mes (Thornthwaite, 1948). Este estudio corresponde al intervalo comprendido entre los años 1988 y 2017 (Consejería de Sostenibilidad, Medio Ambiente y Economía Azul, 2023). Tiene una resolución espacial de 75 m. Sistema de proyección ETRS89. Descargado de la Red de Información Ambiental de Andalucía, REDIAM (<https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/acceso-rediam>).
- Mapa de Precipitación media decenal en Andalucía: periodo 1988-2017.
Capas de información espacial en formato ráster de precipitación media decenal para el periodo comprendido entre los años 1988 y 2017 (Consejería de Sostenibilidad,

Medio Ambiente y Economía Azul, 2023). Tiene una resolución espacial de 75 m. Sistema de proyección ETRS89. Descargado de la Red de Información Ambiental de Andalucía, REDIAM (<https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/acceso-rediam>).

- Mapa de Temperatura media decenal en Andalucía: periodo 1988-2017.
Capas de información espacial en formato ráster de temperatura media decenal para el periodo comprendido entre los años 1988 y 2017 (Consejería de Sostenibilidad, Medio Ambiente y Economía Azul, 2023). Tiene una resolución espacial de 75 m. Sistema de proyección ETRS89. Descargado de la Red de Información Ambiental de Andalucía, REDIAM (<https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/acceso-rediam>).
- Mapa en formato ráster de la textura del suelo a nivel europeo, calculada mediante la clasificación USDA.
Esta clasificación USDA es un triángulo de texturas creado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, y basado en el tamaño medio de las partículas que forman el suelo (Shirazi et al., 1984). Este mapa proviene de la base de datos “LUCAS”, cuyas siglas se refieren a “The Land Use and Cover Area frame Statical survey”, que significa “Encuesta estadística marco sobre el uso de la tierra y el área de cobertura”, y tenía como objetivo recopilar datos armonizados sobre el estado del uso/cobertura del suelo a nivel de la Unión Europea (Ballabio et al., 2016). El mapa de textura del suelo, se calculó mediante una combinación de tres mapas de textura de arcilla, limo y arena, basados en las clases del USDA (Ballabio et al., 2016). Tiene una resolución espacial de 500 m. El mapa ha sido descargado de la “European Soil Data Center (ESDAC)” (<https://esdac.jrc.ec.europa.eu/>).

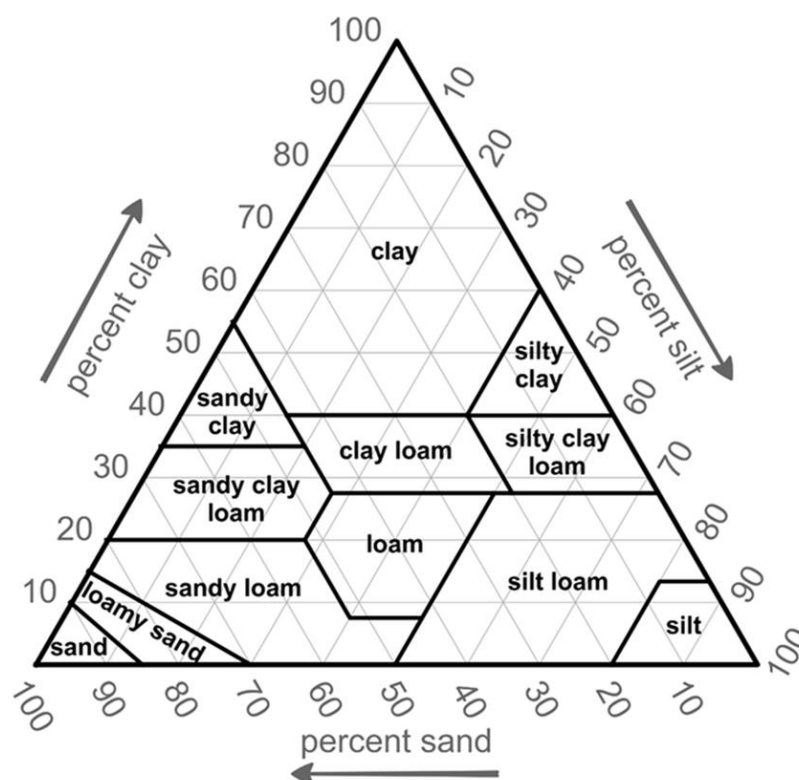


Figura 10. Triangulo de texturas USDA creado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2017).

- Mapa en formato vectorial de unidades edáficas de Andalucía.
Mapa elaborado por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía en el año 2004, a partir del publicado en el año 1989 por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, reajustando el trazado de sus unidades, y usando como referencia la ortoimagen de satélite Landsat-TM. Estas unidades cartográficas están representadas por asociaciones agrupadas según los criterios de clasificación de la F.A.O. (1974) y del Mapa de Suelo de la Unión Europea (1985) (Consejería de Sostenibilidad, Medio Ambiente y Economía Azul, 2023). Descargado de la Red de Información Ambiental de Andalucía, REDIAM (<https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/acceso-rediam>).
- Mapa en formato vectorial de series de vegetación potencial de Andalucía (F. Valle).
Distribución de las series de vegetación de Andalucía, obtenido a partir de datos bioclimáticos, biogeográficos, edáficos y de distribución de comunidades vegetales (Consejería de Sostenibilidad, Medio Ambiente y Economía Azul, 2023). Descargado de la Red de Información Ambiental de Andalucía, REDIAM (<https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/acceso-rediam>).

- Imágenes aéreas de máxima actualidad del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea. Tienen una resolución espacial de 0,25 m. Sistema de proyección ETRS89. Descargadas del Instituto Geográfico Nacional (<https://www.ign.es/web/ign/portal>).

Se han descargado las rosas de los vientos, para cada una de las ubicaciones de las Estaciones de Monitoreo Intensivo, en las que se detalla tanto la frecuencia como la velocidad del viento a 10 metros de altura. Es muy importante conocer la dirección y la velocidad del viento, ya que estos datos se tienen que tener muy en cuenta a la hora de instalar los sensores necesarios para la medición de gases de efecto invernadero. El método de covarianza de remolinos, con el que medimos el flujo de gases de efecto invernadero, se basa en mediciones directas del transporte de gases por vientos tridimensionales en tiempo real, que da como resultado cálculos de flujos turbulentos dentro de la capa límite atmosférica (Burba, 2021). Las rosas de los vientos se han descargado del “Global Wind Atlas” (<https://globalwindatlas.info/es/>). El “Global Wind Atlas” surgió de un proyecto desarrollado por el DTU Wind Energy y llevado a cabo por Grupo de Trabajo Ministerial de Energía Limpia sobre Tecnología Solar y Eólica, apoyado por la Agencia Danesa de Energía (Badger et al., 2015). Emplearon conjuntos de datos meteorológicos globales a gran escala y datos de recursos eólicos de alta resolución, para desarrollar los mapas que cubran áreas extensas (Badger et al., 2015).

3.3. Metodología.

A partir de esta cartografía, se han realizado los cálculos necesarios mediante diversas herramientas del Sistema de Información Geográfica “QGIS”. A continuación, se enumeran las herramientas utilizadas y las capas resultantes:

- El Modelo Digital del Terreno (MDT05), ha sido utilizado para un análisis hidrológico, generando el mapa vectorial de microcuencas hidrográficas, calculado mediante la herramienta “r. watershed” del módulo GRASS. Las siglas GRASS se refieren al sistema de apoyo al análisis de recursos geográficos, y es un paquete de software de SIG, disponible bajo la Licencia Pública General de GNU (Lacaze et al., 2018). La herramienta r.watershed se utiliza para análisis hidrológicos, y en este caso concreto, se utiliza el algoritmo “watershed basins”, para delimitar las subcuencas que corresponden a la red de canales propia de la zona de estudio, usando como puntos de desagüe las uniones de esta red (QGIS, 2023).

- Con el mapa en formato vectorial de Vegetación Natural elaborado para el Atlas de Andalucía, y con la capa vectorial de microcuencas hidrográficas, se ha delimitado el perímetro ecológico de los EMIs. Se realizó mediante la herramienta de geoprocso “cortar”, válida para las capas en formato vectorial. Se combinó la microcuenca que incluye al EMI, con el tipo de vegetación natural donde se encuentra la estación.
- Con el Modelo Digital del Terreno (MDT05), también se han calculado diversas variables topográficas como pendiente, orientación, rugosidad y posición topográfica. Para el cálculo de la pendiente, se ha utilizado la herramienta “Pendiente”, algoritmo que crea un mapa de pendientes a partir de un ráster de elevación compatible con GDAL. La pendiente es el ángulo de inclinación con respecto a la horizontal (QGIS, 2023). Para el cálculo de la orientación, se ha utilizado la herramienta “Mapa de sombras (Hillshade)”, algoritmo que crea una capa ráster con un efecto de relieve sombreado, muy útil para visualizar el terreno (QGIS, 2023). Para el cálculo de la rugosidad, se ha utilizado la herramienta “Rugosidad”, algoritmo que genera una capa ráster con una sola banda, y con valores calculados a partir de un ráster de elevación. Se calcula con la mayor diferencia entre celdas de un píxel central y su celda circundante (QGIS, 2023). Para el cálculo de la posición topográfica, se ha utilizado la herramienta “Índice de posición topográfica (TPI)”, algoritmo que crea un ráster de banda única mediante un ráster de elevación. Es la diferencia entre un píxel central y la media de las celdas circundantes (QGIS, 2023). Posteriormente, estas variables topográficas, fueron recortadas según el perímetro ecológico de cada EMI para su caracterización, y según el conjunto de las Sierras Subbéticas para el cálculo del mapa de distribución potencial de cada EMI.
- Con el mapa de evapotranspiración potencial media decenal en Andalucía para el periodo 1988-2017, se calculó el mapa de evapotranspiración potencial media anual en el periodo comprendido entre 1988 y 2017. Para ello, se utilizó la herramienta “calculadora ráster”, en la que se fue sumando todos los periodos de 10 días, para conseguir la evapotranspiración media anual para ese periodo de años. Esta capa también se recortó según el perímetro ecológico de cada EMI y el conjunto de las Sierras Subbéticas.
- Con el mapa de precipitación media decenal en Andalucía y el mapa de temperatura media decenal en Andalucía, ambos para el periodo entre 1988 y 2017, se calculó tanto el mapa de precipitación media anual y temperatura media anual, para ese

periodo de años, siguiendo exactamente la misma metodología explicada en el apartado anterior.

- El mapa en formato ráster de la textura del suelo a nivel europeo, el mapa en formato vectorial de unidades edáficas de Andalucía y el mapa en formato vectorial de series de vegetación potencial de Andalucía, fueron recortados según el perímetro ecológico de cada EMI para su caracterización, y para todo el complejo de las sierras subbéticas, para el posterior cálculo del mapa de distribución potencial de cada EMI dentro de las subbéticas.
- Por último, se calcularon los mapas de distribución potencial de cada uno de los EMIs en todo el complejo de las sierras subbéticas, dónde se utilizó una combinación de todas las capas calculadas anteriormente. Las capas en formato vectorial, se superpusieron mediante la herramienta “intersección”, dónde se seleccionaron las unidades de cada variable que correspondían con cada uno de los EMIs. Para las capas en formato ráster, se utilizó un condicional, en la herramienta “calculadora ráster”, para calcular un mapa que incorpore todas las zonas de las sierras subbéticas, y cuyos valores se encuentren entre el valor mínimo y máximo de cada capa en el perímetro ecológico de cada EMI. Finalmente, esa capa ráster se combinó con la capa vectorial, para obtener un mapa dónde se resaltan las zonas cuyas características ecológicas coinciden con las de cada estación, lo que sería el mapa de distribución potencial de cada EMI en las sierras subbéticas.

Posteriormente, cuando se hayan instalados todos los sensores en cada una de las estaciones, y empiecen a tomarse medidas, se calculará la representatividad de la climatología de las huellas de flujos al área objetivo, tal como hace Chu et al., 2021 (Figura 11).

La huella de flujo, depende principalmente de la dirección del viento, de la altura de medición relativa, de las características de la superficie del suelo, de la vegetación subyacente y del estado turbulento de la atmósfera (Schmid, 2002). Cuando se agrega a lo largo del tiempo, la climatología de la huella de flujo es esencial para identificar la extensión espacial y la dinámica temporal de las áreas que contribuyen a los flujos observados en las estaciones (Amiro, 1998).

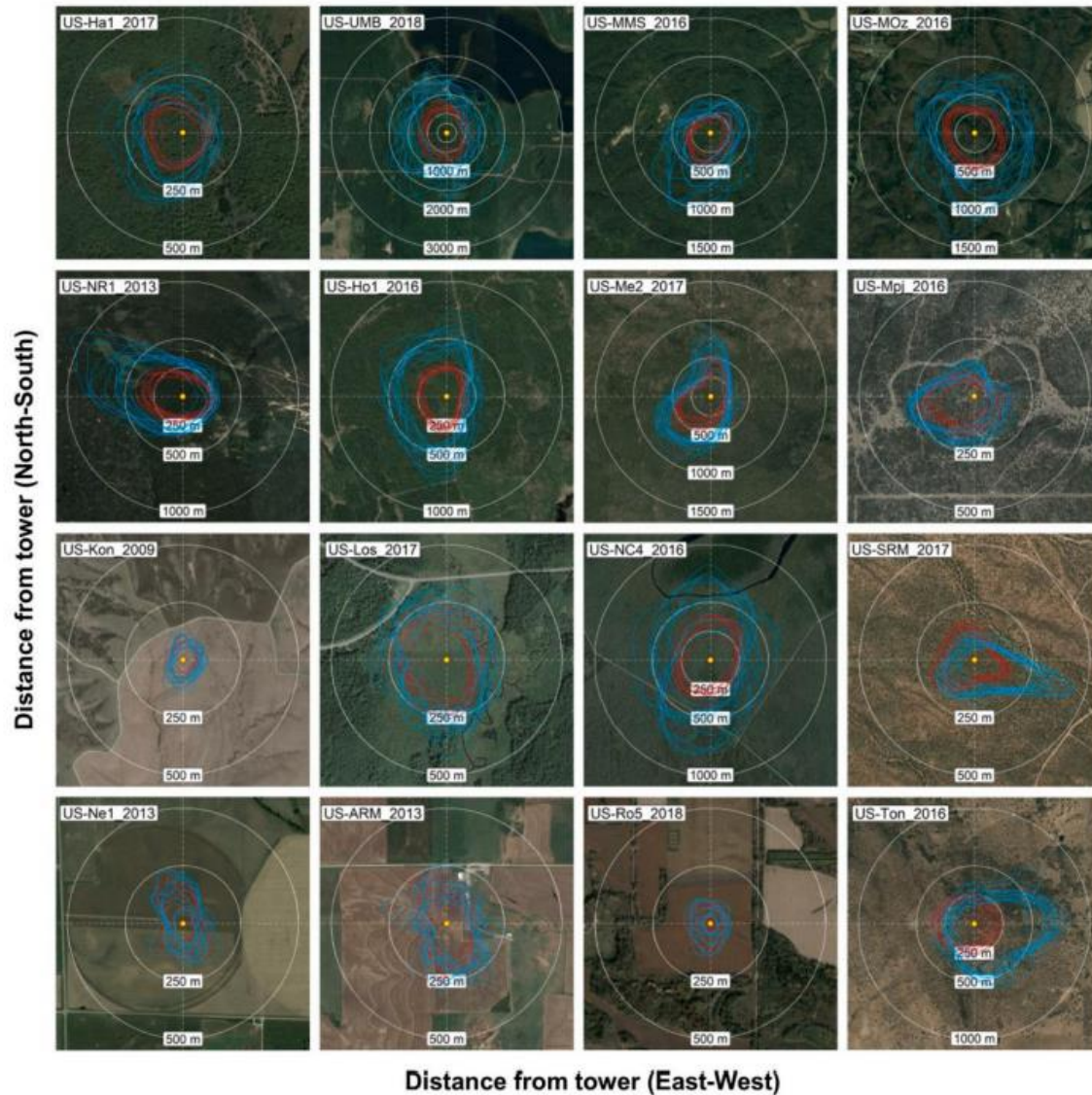


Figura 11. Mapas de climatologías de huellas mensuales de flujos de gases para las estaciones de la red AMERIFLUX, realizado por Chu et al., 2021. En cada panel se muestra una imagen satelital en color verdadero, centrada en una torre de flujo (punto amarillo), en las que se superpuso las climatologías de las huellas mensuales de un año seleccionado. Los círculos blancos indican la distancia desde la torre.

Como se puede observar en la figura 11, Chu et al., 2021 han calculado las climatologías de las huellas mensuales de flujos para cada una de las estaciones de estudio, en la cual, el contorno azul muestra las climatologías mensuales de la huella nocturna, y el contorno rojo de la huella diurna.

Una vez calculadas la climatología de las huellas mensuales de flujo, Chu et al., 2021 calculan la representatividad de esta huella en el área objetivo de cada una de las estaciones (Figura 12).

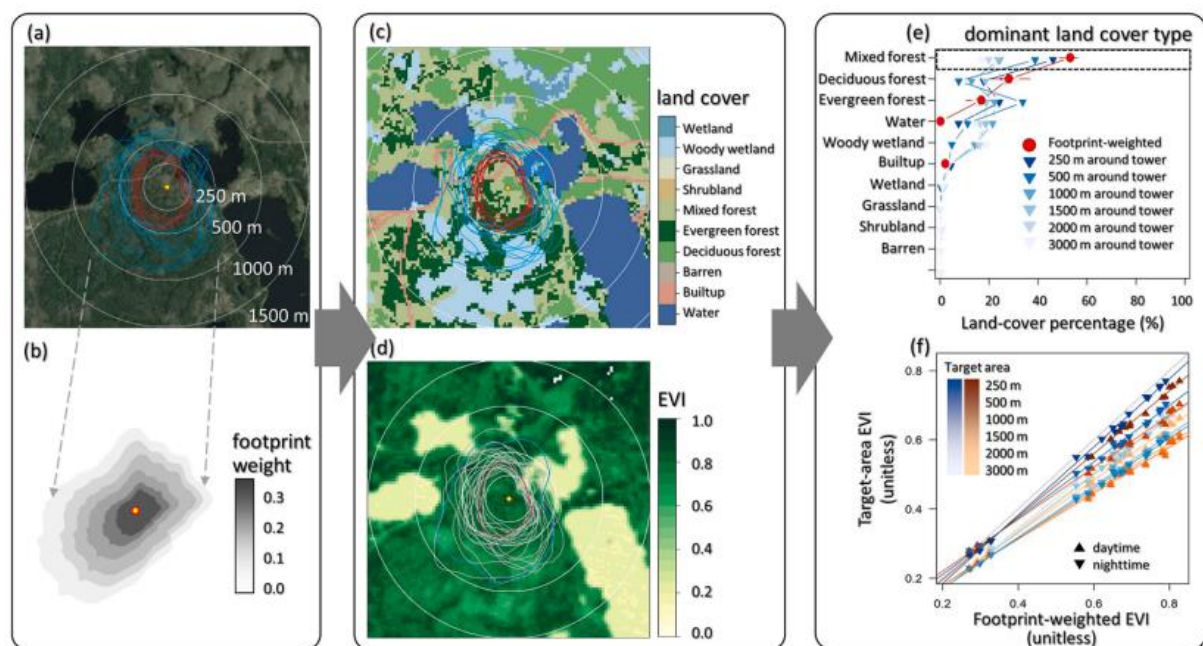


Figura 12. Diagrama conceptual que ilustra el flujo de trabajo para los análisis de representatividad de la huella al área objetivo (Chu et al., 2021).

Observamos como en la parte izquierda se incluye el cálculo de la climatología de la huella mensual, en el panel central se superpone esta climatología de la huella mensual con las características de la superficie terrestre, y en el panel de la derecha se comparan las características de la superficie terrestre entre las huellas y las áreas objetivo (Chu et al., 2021).

La imagen (a), muestra una imagen satelital Landsat en color verdadero, la imagen (b) ilustra una climatología de huella mensual, la imagen (c) representa un mapa de clasificación de cobertura terrestre, la (d) muestra un mapa de índice de vegetación mejorado (EVI), mientras que las figura (e) y (f), muestran los resultados de los porcentajes de cobertura terrestre y EVI calculados a partir de las huellas y las áreas objetivo, utilizadas para evaluar la representatividad de la huella respecto al área objetivo (Chu et al., 2021).

4. Resultados.

4.1. Perímetro ecológico.

En la figura 13 se muestra el mapa de micro-cuencas hidrográficas y el mapa de Vegetación Natural de Andalucía, cuya combinación ha dado lugar a la creación de los perímetros ecológicos de cada EMI.

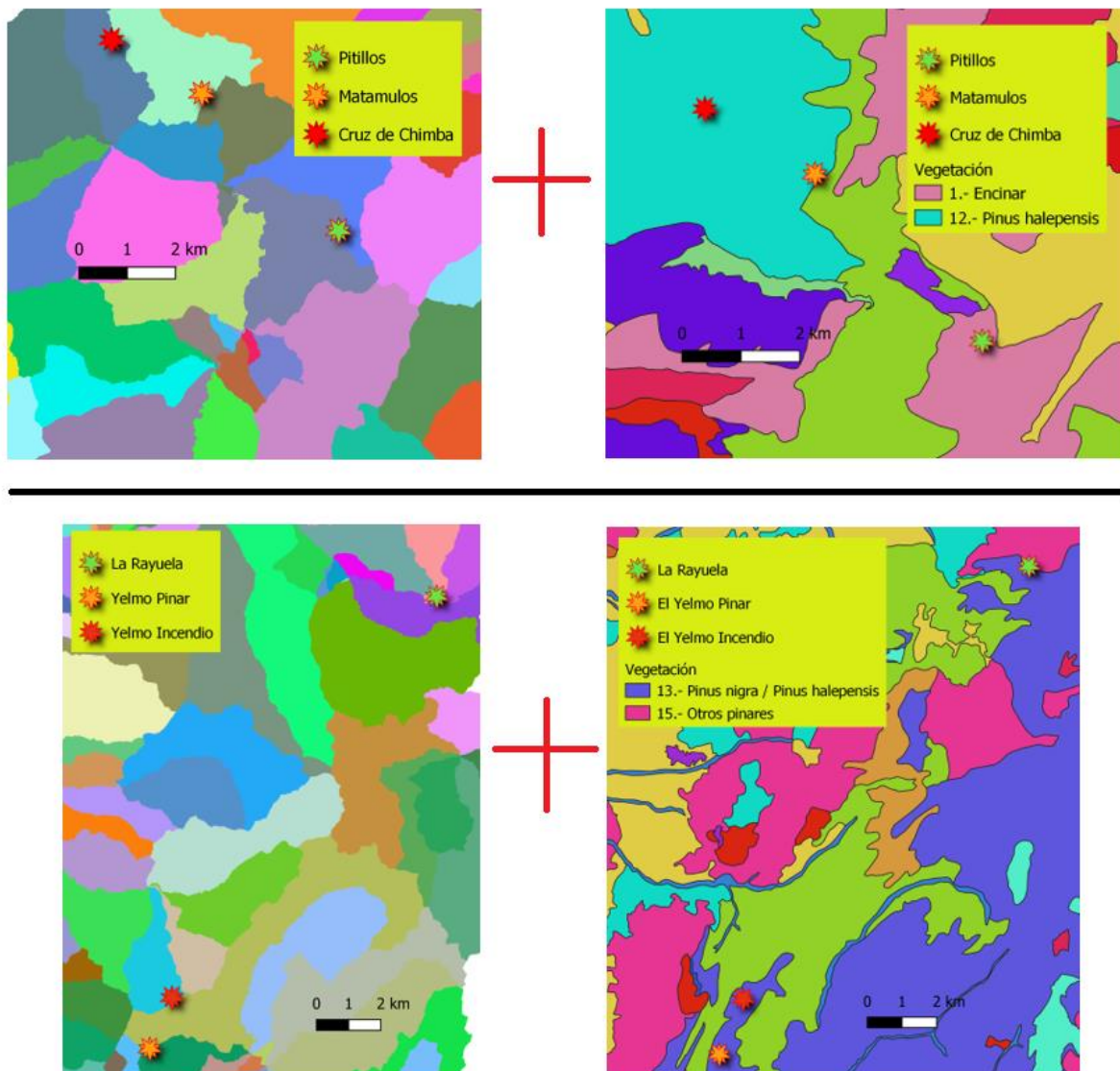


Figura 13. Mapa de micro-cuencas hidrográficas (izquierda) y mapa de Vegetación Natural de Andalucía (derecha). En la parte superior se encuentran los EMIs "Pitillos", "Matamulos" y "Cruz de Chimba". En la parte inferior se encuentran los EMIs "La Rayuela", "Yelmo Pinar" y "Yelmo Incendio".

4.2. Ortofotografía.

En la figura 14 se muestra el perímetro ecológico de cada EMI superpuesto sobre una ortofotografía de alta resolución, dónde se puede apreciar la ubicación y el terreno circundante de cada Estación de Monitoreo Intensivo.

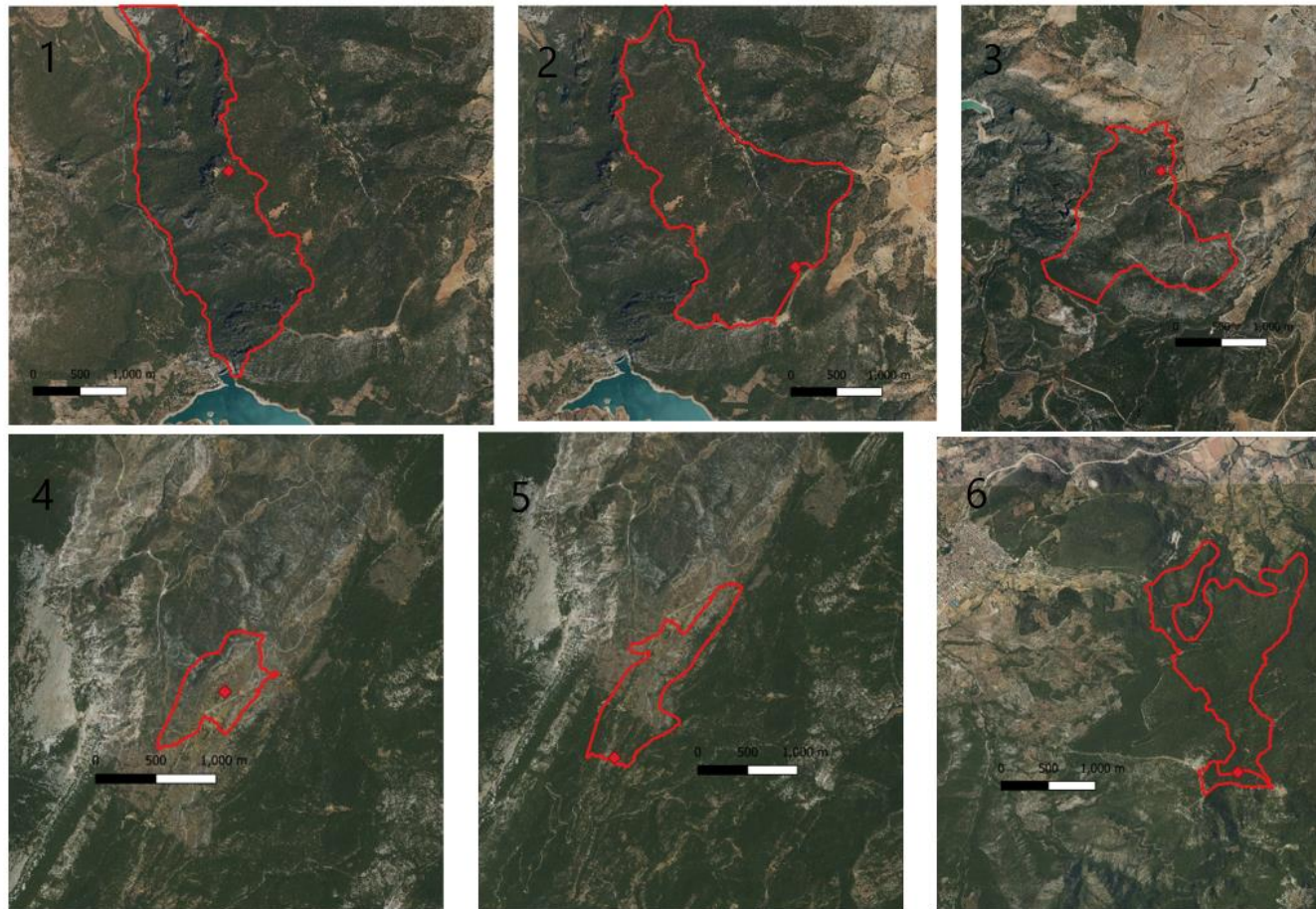


Figura 14. Ortofotografías de alta resolución con los perímetros ecológicos de cada EMI. 1-Cruz de Chimba; 2-Matamulos; 3-Pitillos; 4-Yelmo Incendio; 5-Yelmo Pinar; 6-La Rayuela.

4.3. Variables topográficas.

4.3.1. Pendiente.

En la figura 15 se muestra la pendiente calculada para el perímetro ecológico de cada EMI.

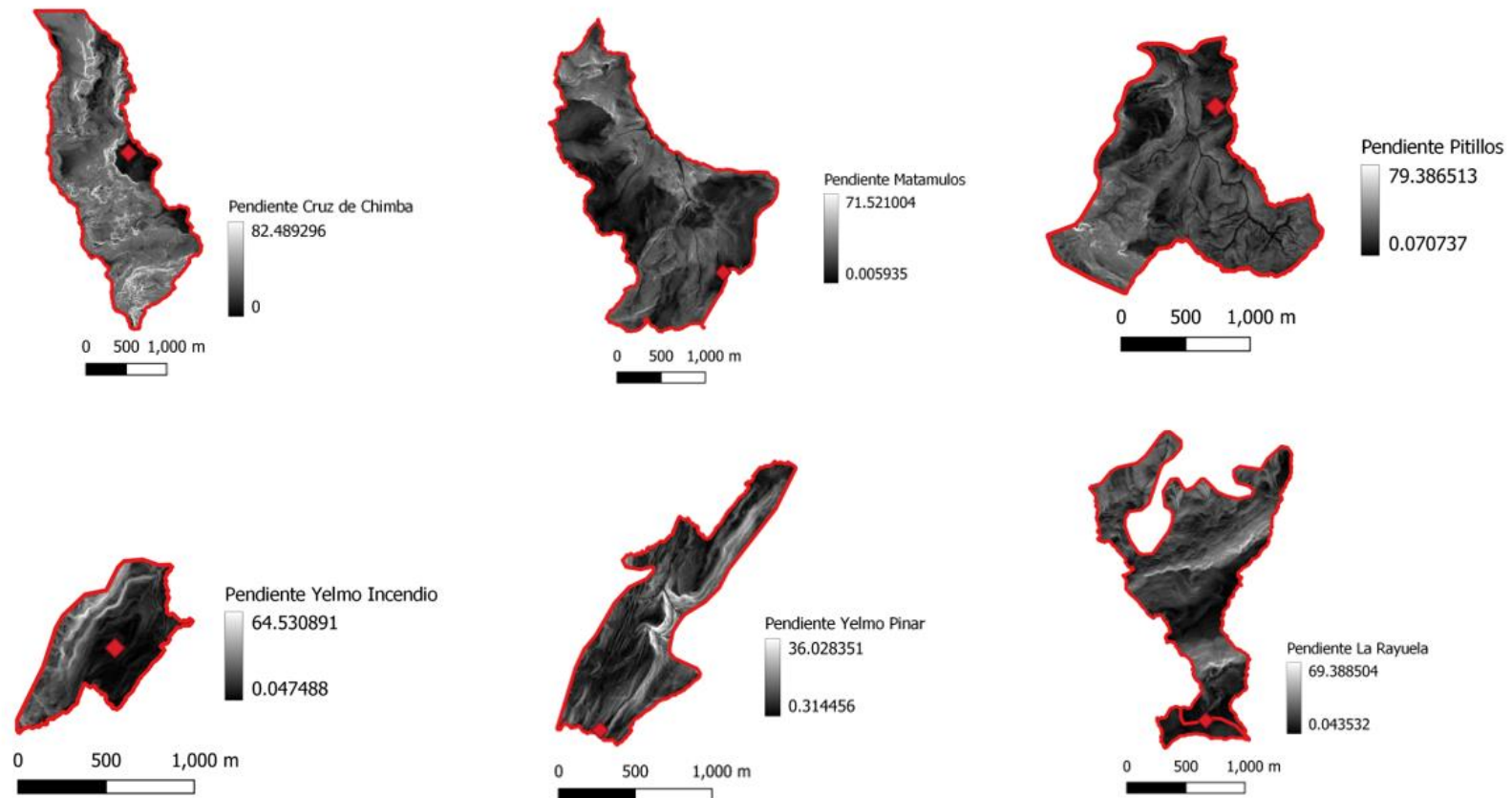


Figura 15. Mapa de pendientes correspondiente al perímetro ecológico de cada EMI. La pendiente está expresada como el ángulo de inclinación respecto a la horizontal.

4.3.2. Orientación.

En la figura 16 se muestra la orientación calculada para el perímetro ecológico de cada EMI.

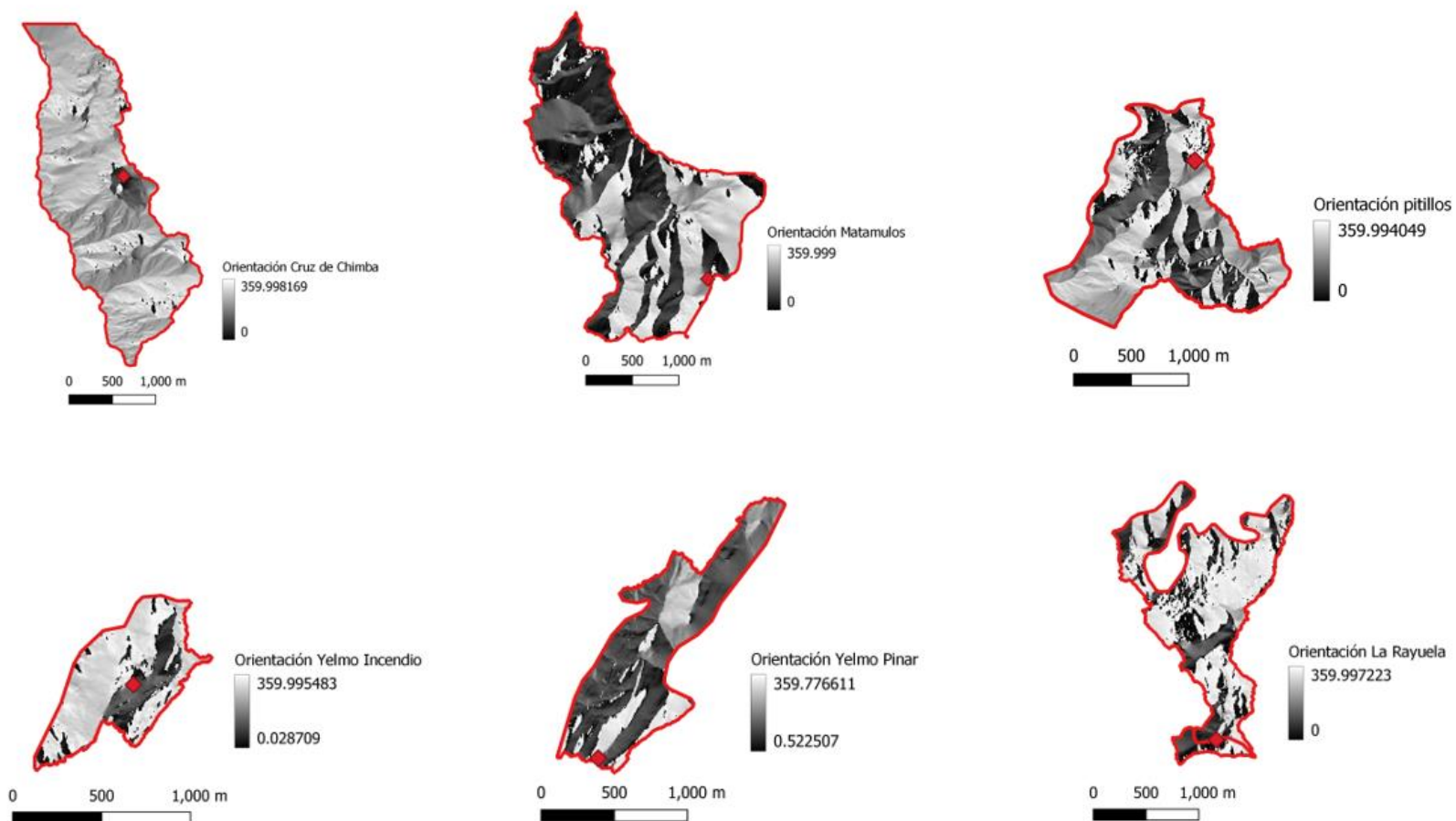


Figura 16. Mapa de orientación correspondiente al perímetro ecológico de cada EMI.

4.3.3. Rugosidad.

En la figura 17 se muestra la rugosidad calculada para el perímetro ecológico de cada EMI.

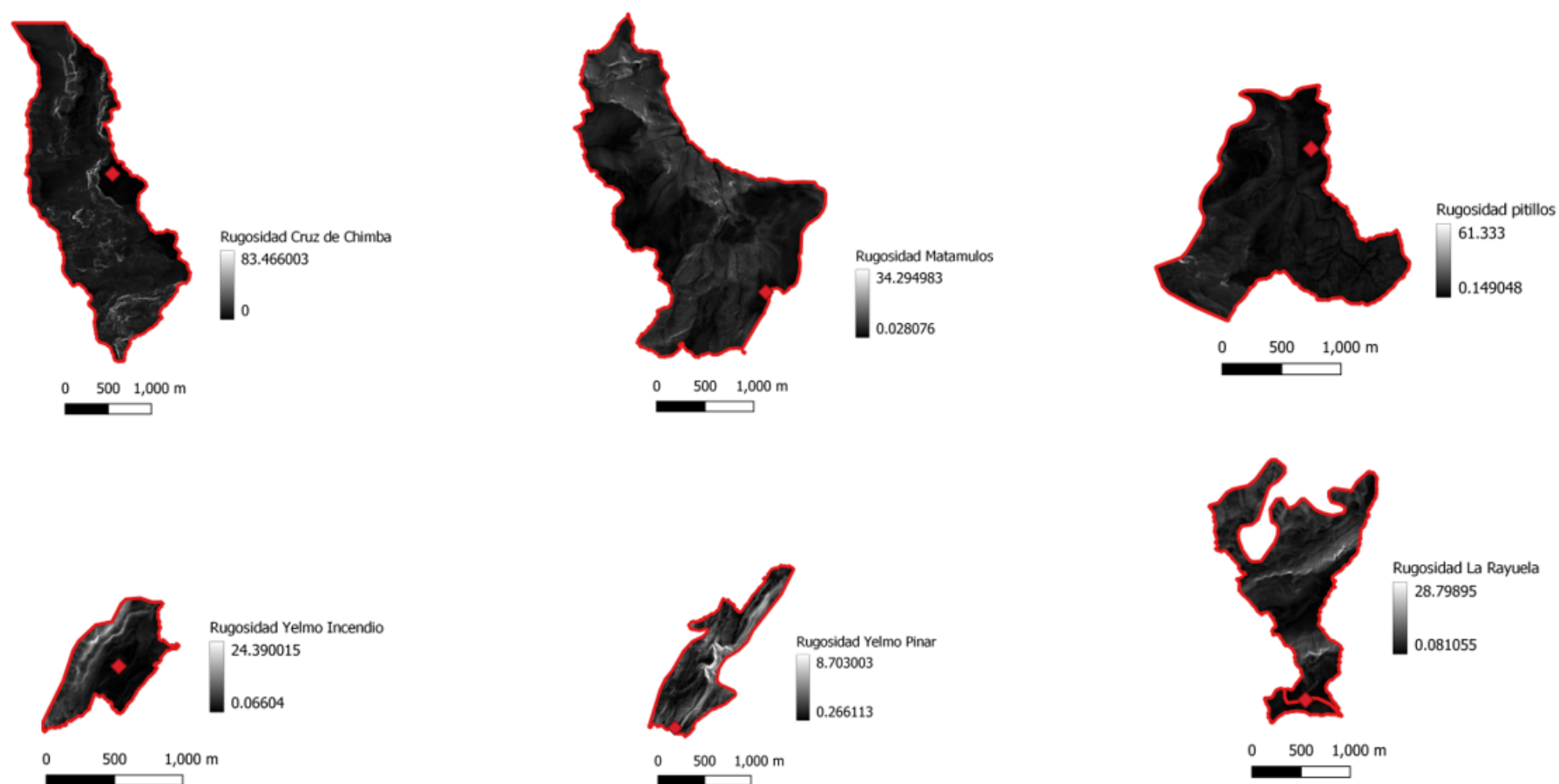


Figura 17. Mapa de rugosidad correspondiente al perímetro ecológico de cada EMI. La rugosidad se expresa como la mayor diferencia entre celdas de un píxel central y su celda circundante.

4.3.4. Posición topográfica.

En la figura 18 se muestra la posición topográfica calculada para el perímetro ecológico de cada EMI.

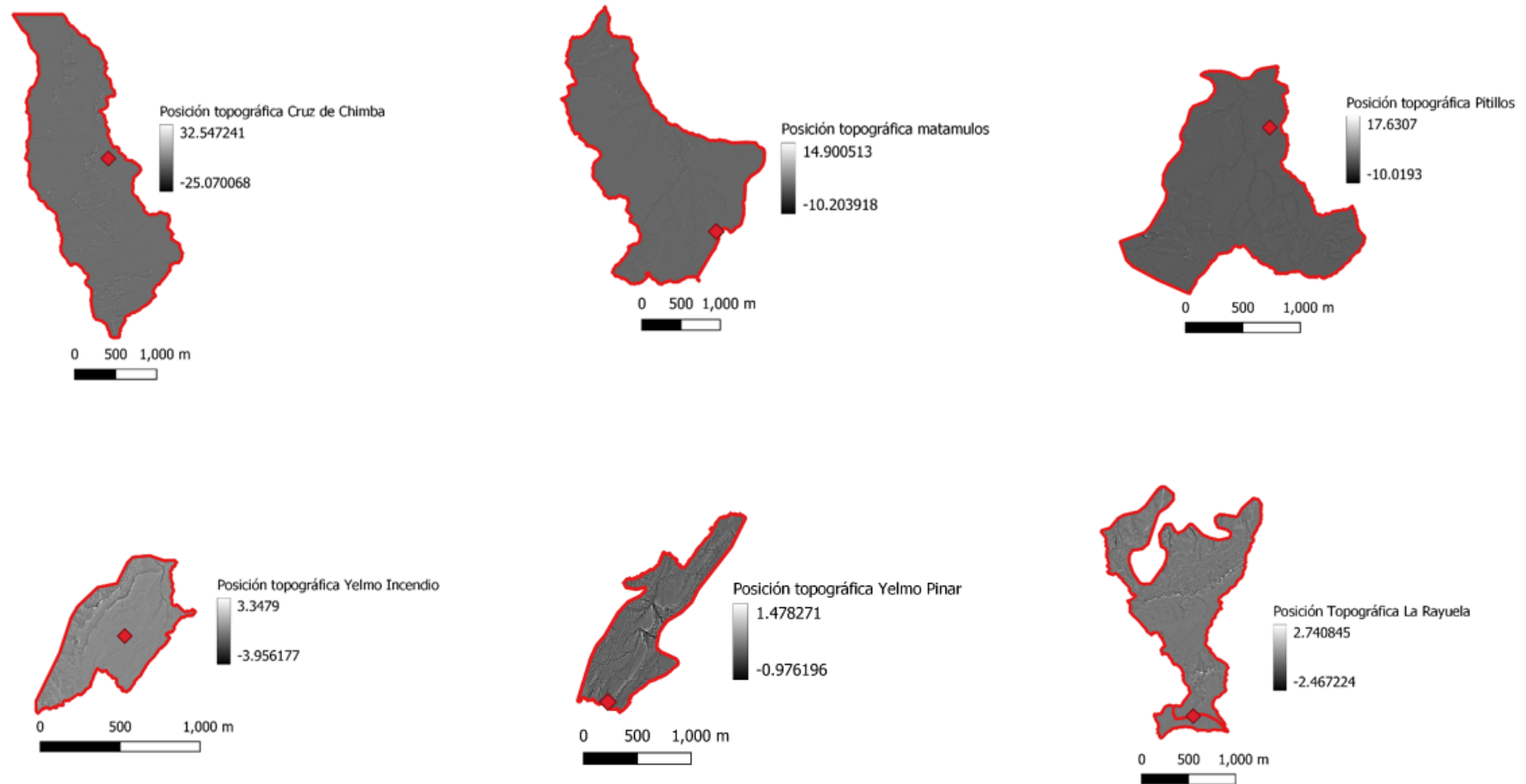


Figura 18. Mapa de posición topográfica correspondiente al perímetro ecológico de cada EMI. La posición topográfica se expresa como la diferencia entre un píxel central y la media de las celdas circundantes.

4.4. Variables climáticas.

4.4.1. Temperatura media anual.

En la figura 19 se muestra la temperatura media anual calculada para el perímetro ecológico de cada EMI.

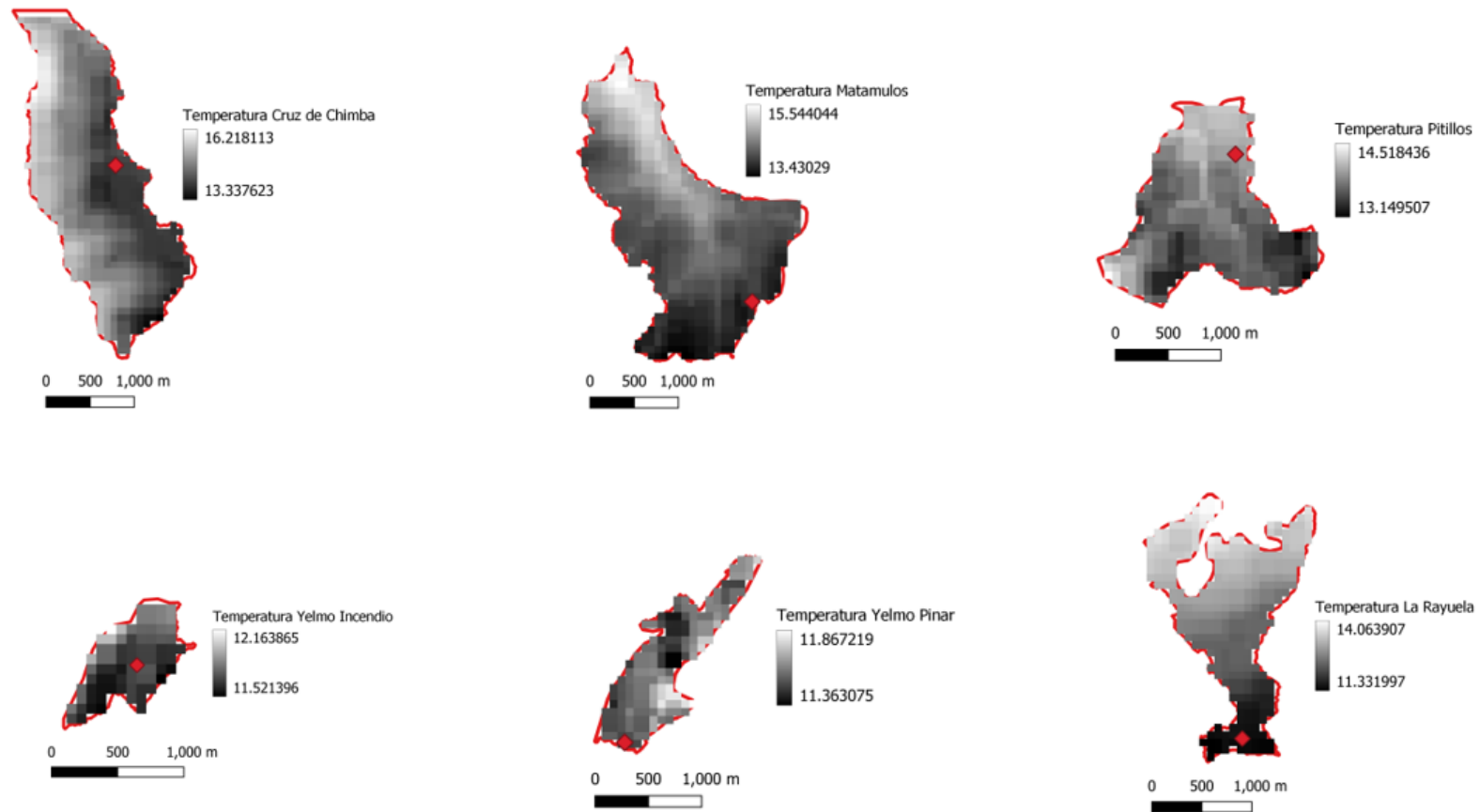


Figura 19. Mapa de temperatura media anual correspondiente al perímetro ecológico de cada EMI. La temperatura está expresada en grados centígrados.

4.4.2. Precipitación media anual.

En la figura 20 se muestra la precipitación media anual calculada para el perímetro ecológico de cada EMI.

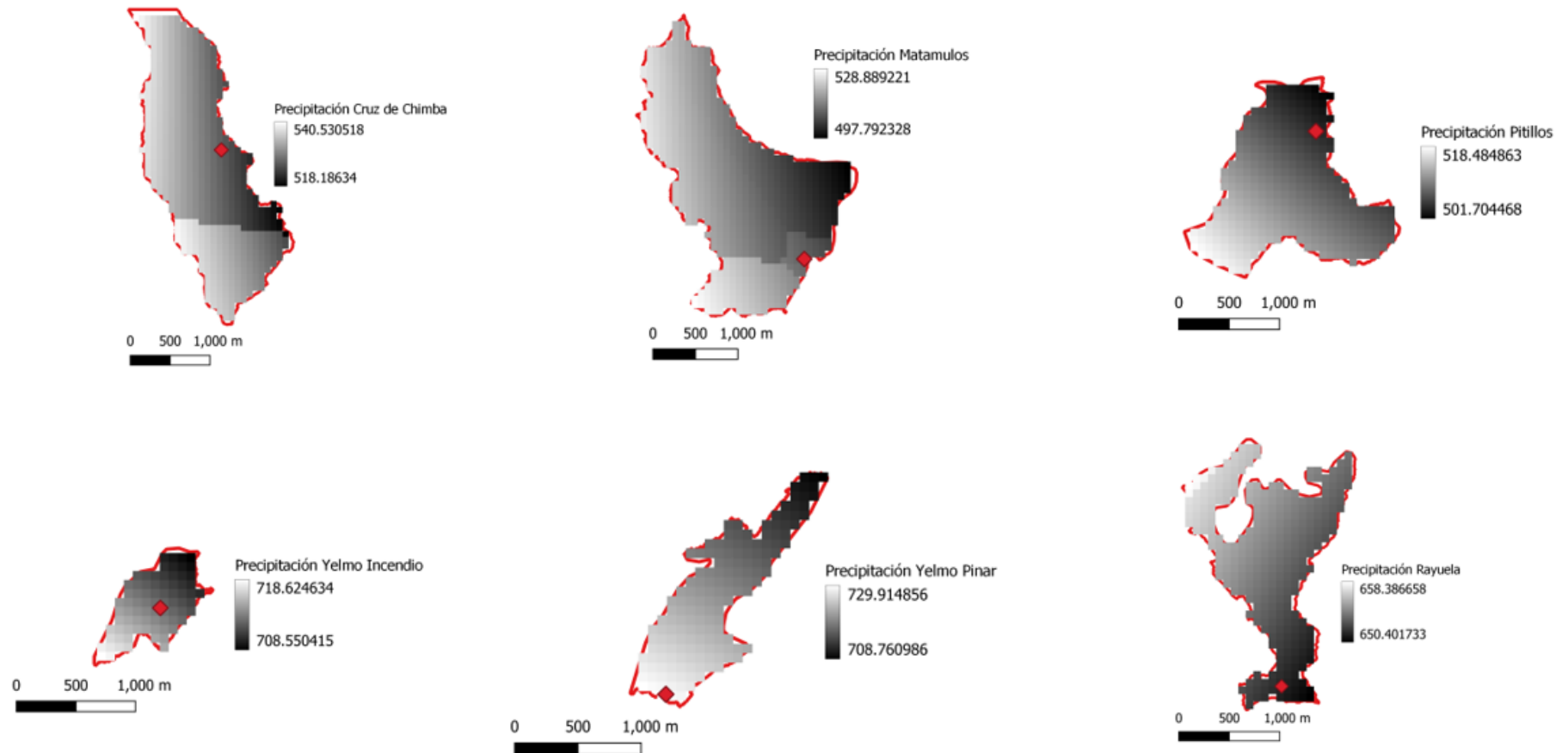


Figura 20. Mapa de precipitación media anual correspondiente al perímetro ecológico de cada EMI. La precipitación está expresada en milímetros de agua.

4.4.3. Evapotranspiración media anual.

En la figura 21 se muestra la evapotranspiración media anual calculada para el perímetro ecológico de cada EMI.

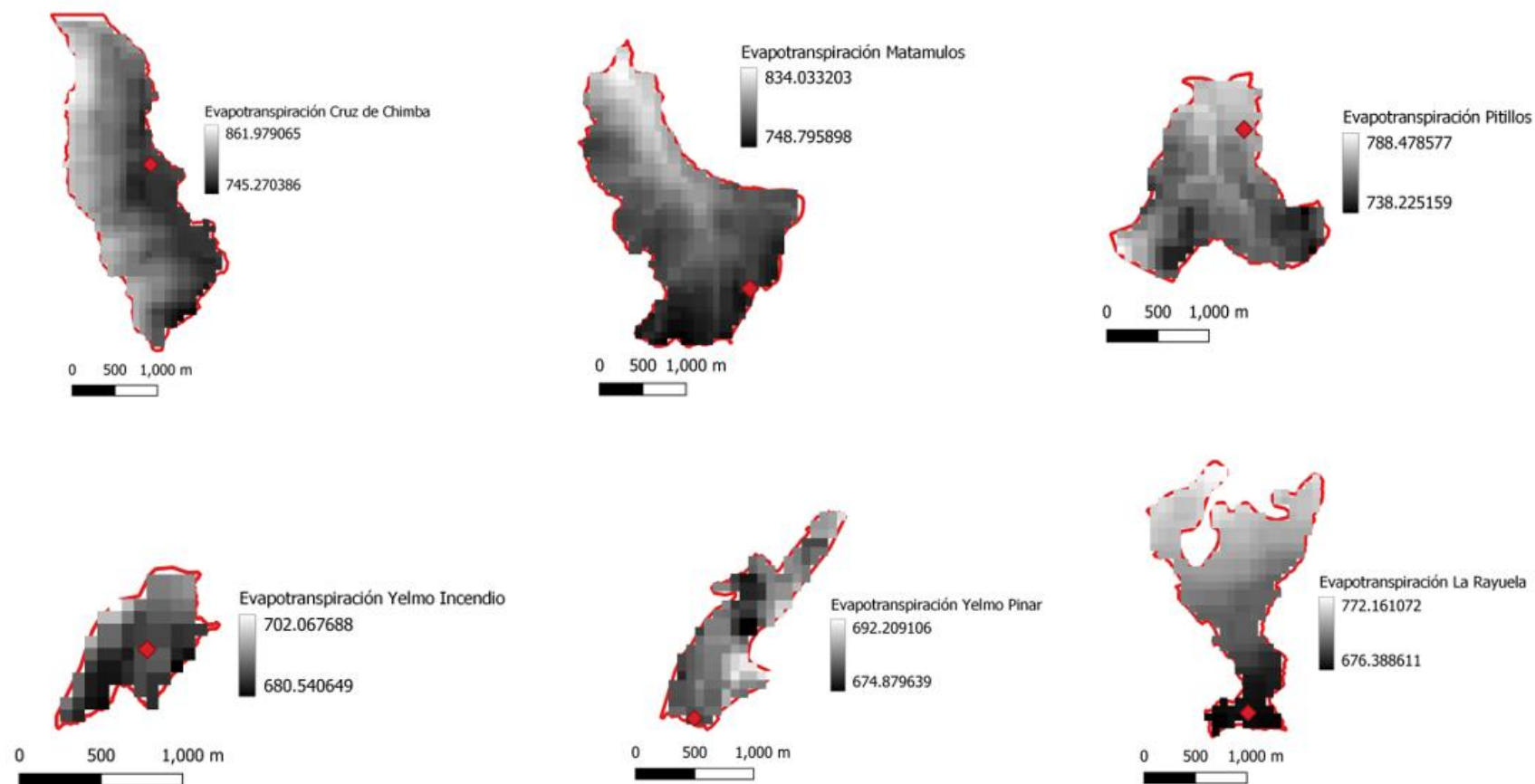


Figura 21. Mapa de evapotranspiración media anual correspondiente al perímetro ecológico de cada EMI. La evapotranspiración potencial se expresa en milímetros de agua por año.

4.5. Variables de suelo.

4.5.1. Textura.

En la figura 22 se muestra la textura calculada para el perímetro ecológico de cada EMI.

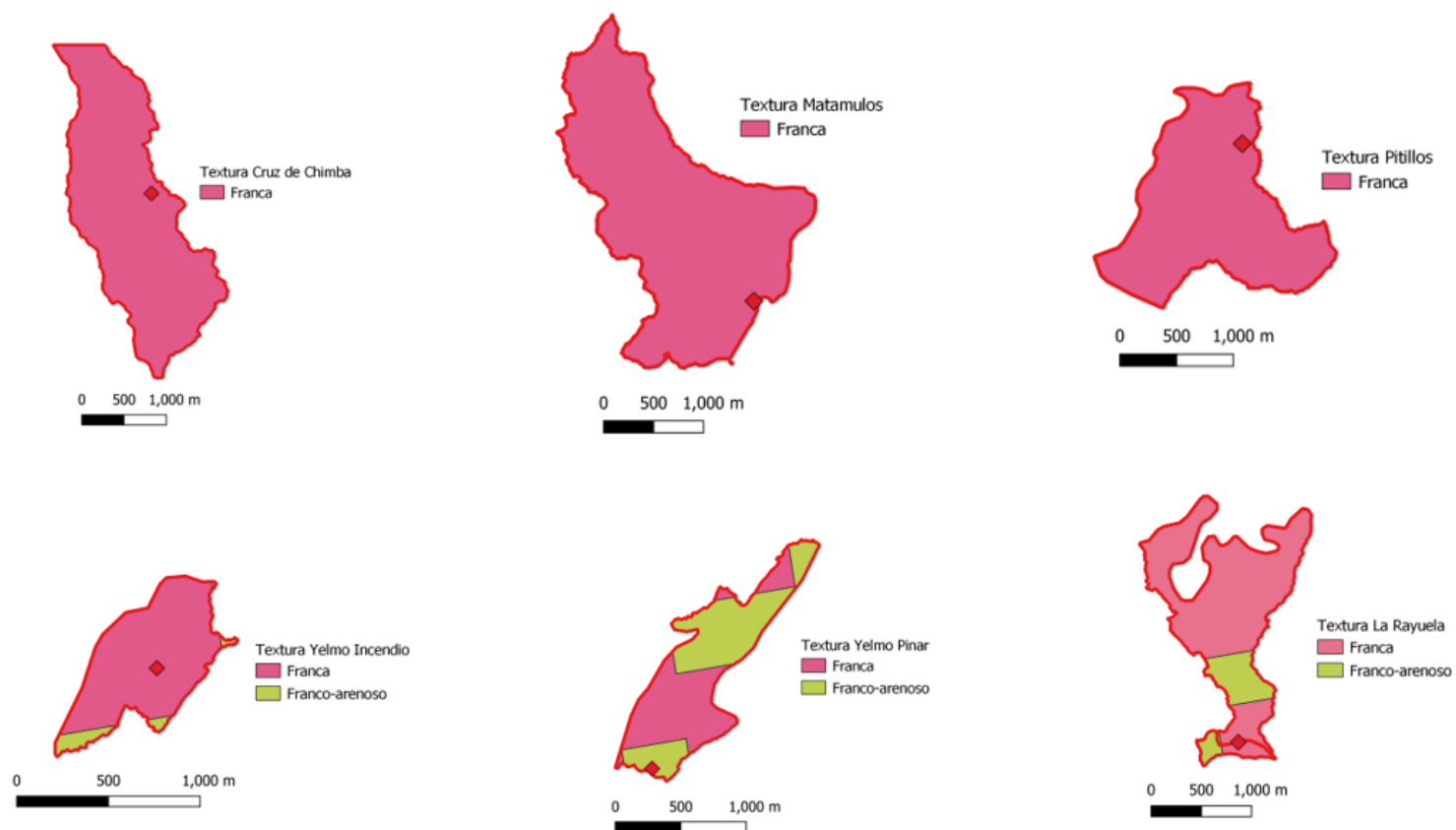


Figura 22. Mapa de texturas correspondiente al perímetro ecológico de cada EMI.

4.5.2. Unidades edáficas.

En la figura 23 se muestra las unidades edáficas calculadas para el perímetro ecológico de cada EMI.

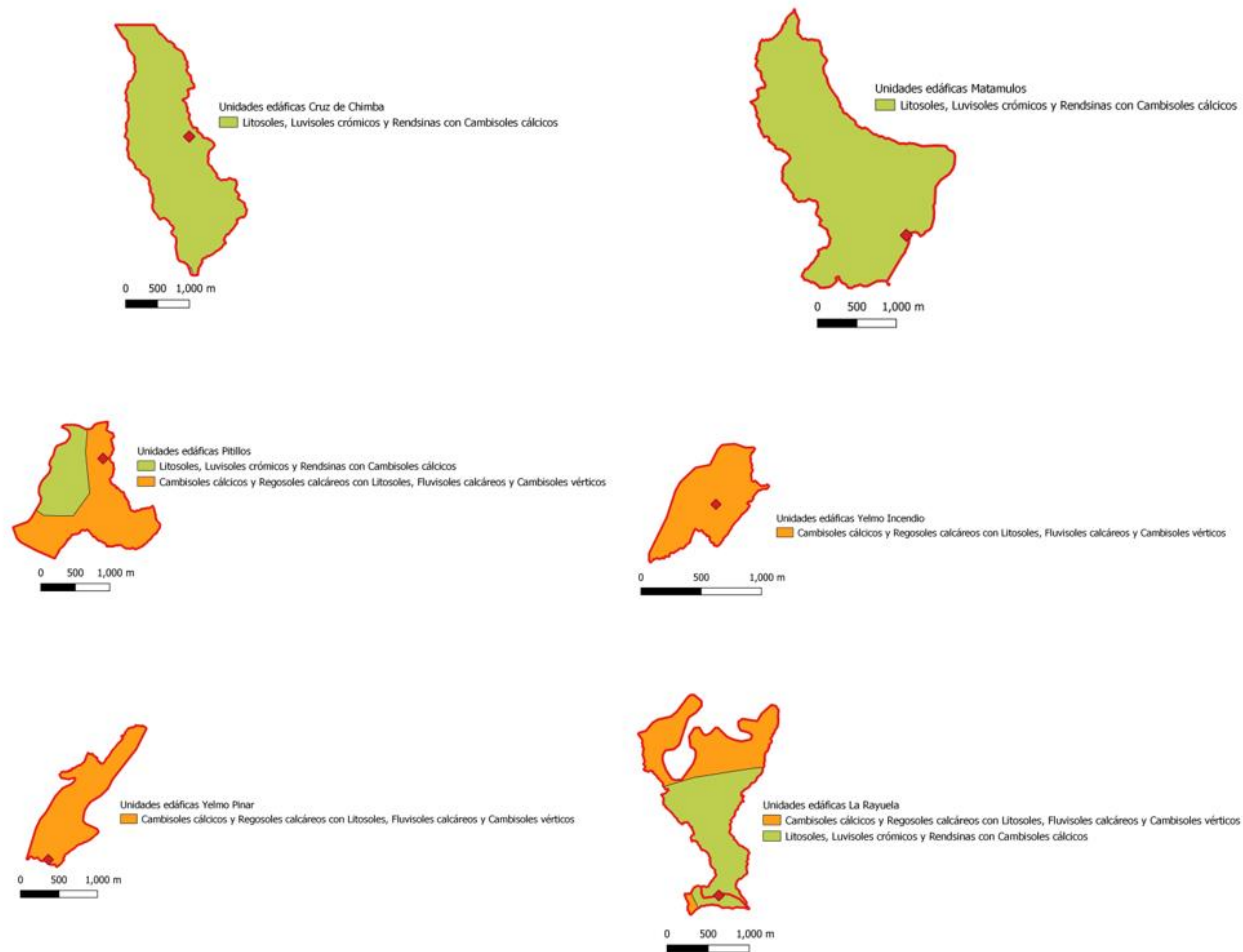


Figura 23. Mapa de unidades edáficas correspondiente al perímetro ecológico de cada EMI.

4.6. Variables ecológicas.

4.6.1. Series de vegetación.

En la figura 24 se muestra las series de vegetación calculadas para el perímetro ecológico de cada EMI.

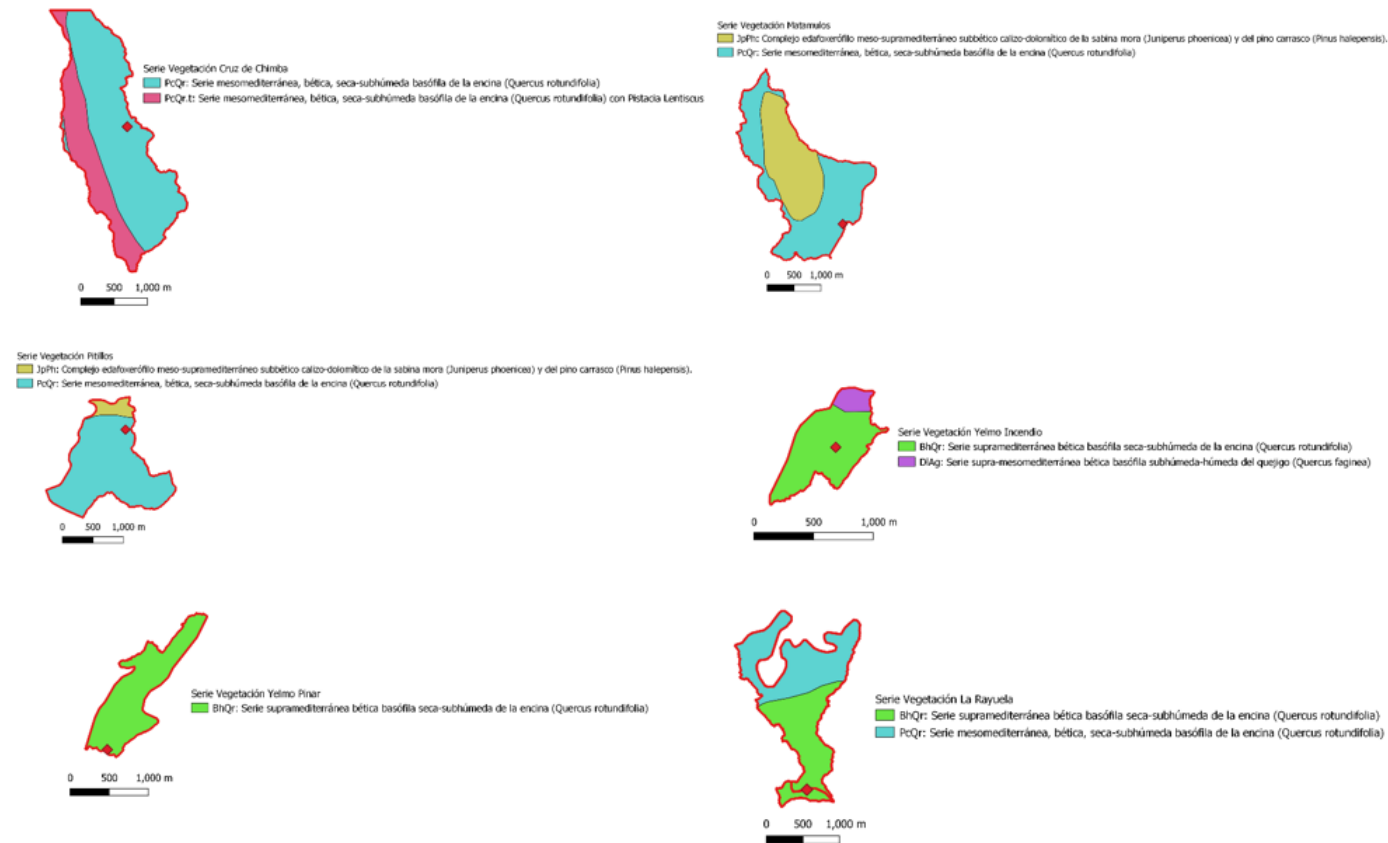


Figura 24. Mapa de Series de Vegetación correspondiente al perímetro ecológico de cada EMI.

4.7. Rosas de los vientos.

4.7.1. Rosa de frecuencia del viento.

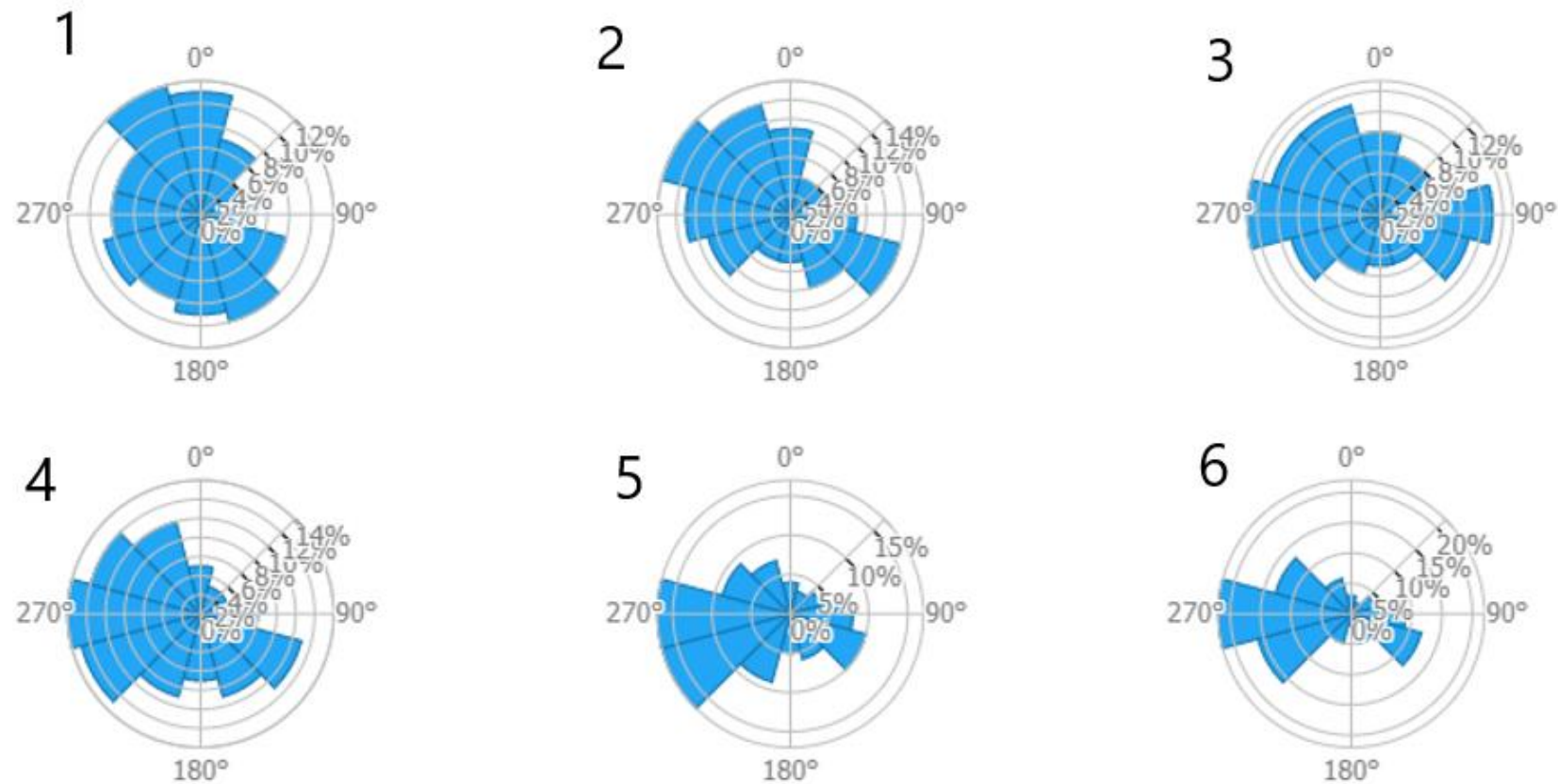


Figura 25. Rosas de frecuencia del viento correspondientes a la ubicación exacta de cada EMI. 1-Cruz de Chimba; 2-Matamulos; 3-Pitillos; 4-Yelmo Incendio; 5-Yelmo Pinar; 6-La Rayuela.

4.7.2. Rosa de velocidad del viento.

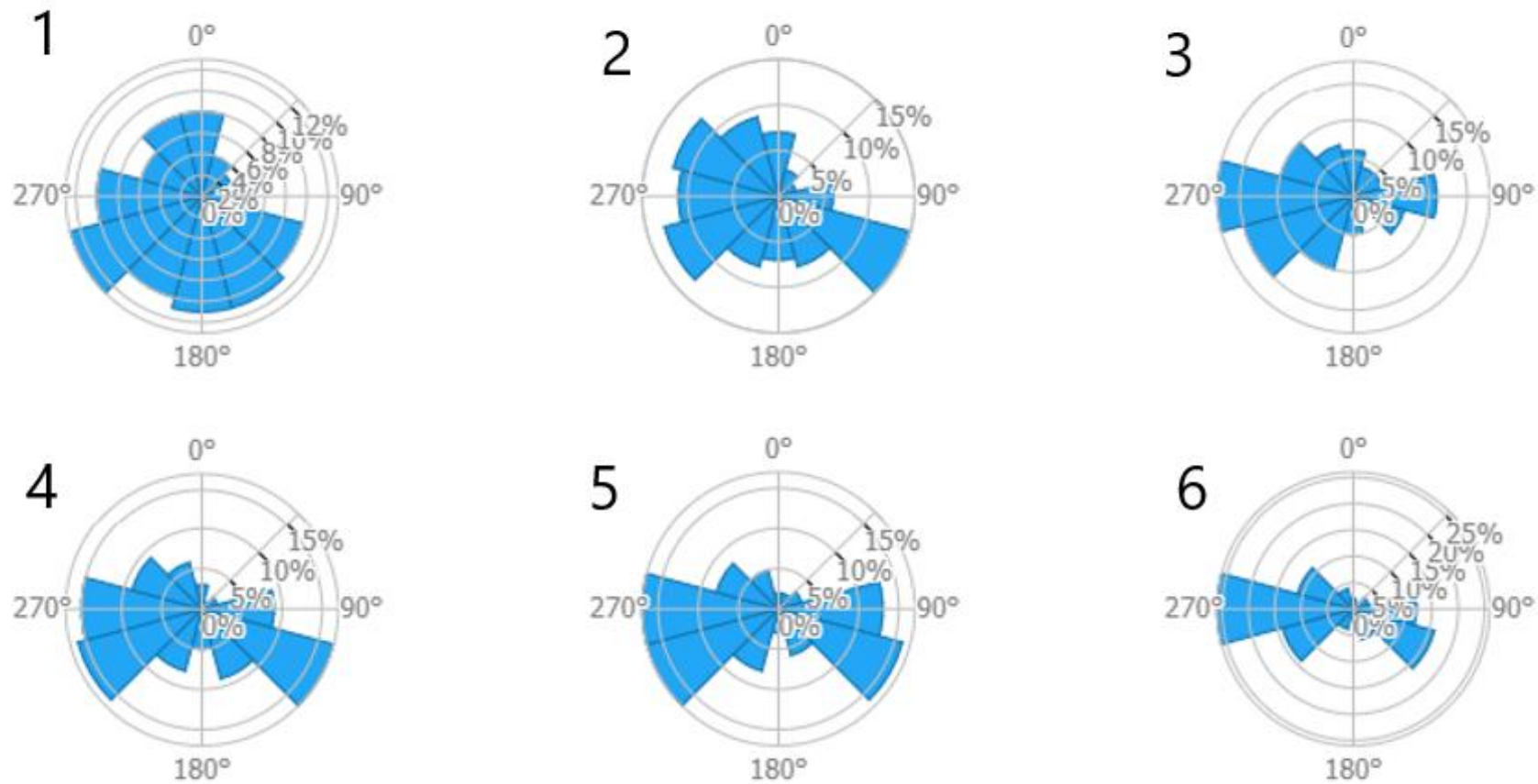


Figura 26. Rosas de velocidad del viento correspondientes a la ubicación exacta de cada EMI. 1-Cruz de Chimba; 2-Matamulos; 3-Pitillos; 4-Yelmo Incendio; 5-Yelmo Pinar; 6-La Rayuela.

4.8. Modelo de distribución.

En la figura 27 se muestra el modelo de distribución calculado en todo el conjunto de las Sierras Subbéticas según las condiciones ecológicas de cada EMI en particular.

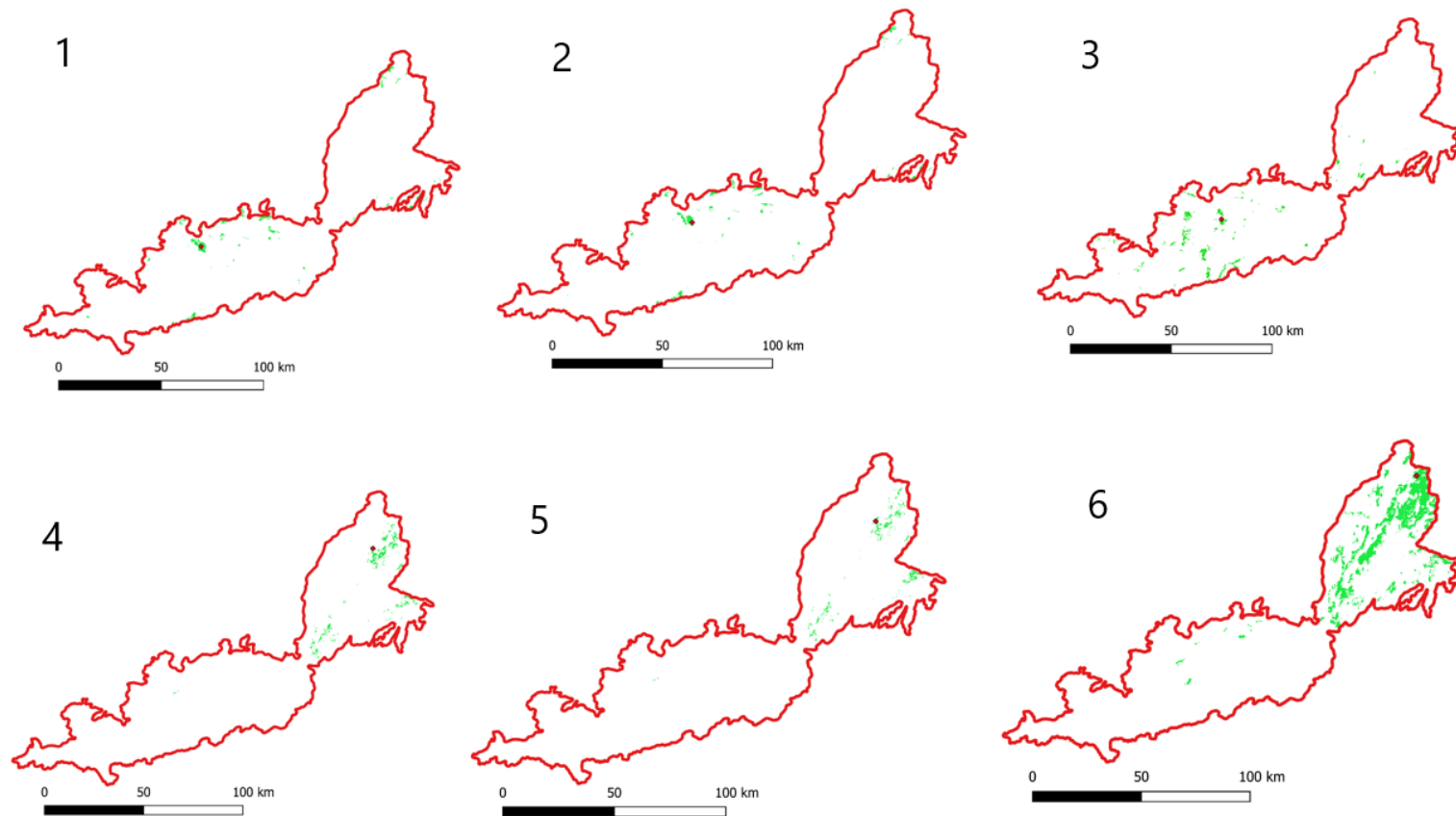


Figura 27. Modelos de distribución de las condiciones ecológicas de cada EMI para todo el conjunto de las Sierras Subbéticas. 1-Cruz de Chimba; 2-Matamulos; 3-Pitillos; 4-Yelmo Incendio; 5-Yelmo pinar; 6-La Rayuela. Las zonas en verde representan los lugares de las Sierras Subbéticas cuyas condiciones ecológicas son similares a cada estación.

5. Discusión.

En lo referente a la Figura 13, observamos como todas las estaciones están ubicadas en el extremo de una micro-cuenca, que se desarrolla a lo largo de una misma unidad de vegetación natural, ya que se buscaba que los EMIs estuvieran en crestas o zonas elevadas, para que los futuros datos de gases y flujos de energía correspondan a los del perímetro ecológico, que está representando la misma masa de vegetación natural a lo largo de la micro-cuenca hidrográfica.

Gracias a las ortofotografías (Figura 14), podemos observar claramente como es la vegetación que conforma el perímetro ecológico de cada estación. En la Sierra Sur de Jaén los perímetros de Cruz de Chimba y de Matamulos son pinares bastante densos, mientras que el perímetro de Pitillos es un Encinar más bien disperso. Sin embargo, en la Sierra de Segura, los perímetros del Yelmo Incendio y Yelmo Pinar son pinares bastante dispersos, mientras que en La Rayuela hay un pinar con bastante densidad.

Respecto a las variables topográficas, es interesante comentar que cada una de las estaciones tiene unas características topográficas diferentes, lo que subraya la heterogeneidad que existe entre los diferentes EMIs, y la gran representatividad que tendrán los datos de gases de efecto invernadero y de flujos de energía en todo el complejo de las Sierras Subbéticas.

Se observan algunas diferencias entre las condiciones climáticas de cada una de las Estaciones de Monitoreo Intensivo, incluso entre las que se encuentran en el mismo paraje natural. Por ejemplo, observamos como entre el perímetro ecológico de la estación de “Cruz de Chimba” y “Pitillos” hay 2 grados centígrados entre la temperatura máxima (Figura 19), aunque solo hay una diferencia de 30 m de altura entre las dos (Cruz de Chimba: 1137m s.n.m; Pitillos: 1163m s.n.m). Entre los perímetros ecológicos de las estaciones ubicadas en la Sierra de Segura, hay aún mayor diferencia de temperatura, ya que entre “La Rayuela”, y los perímetros del “Yelmo Incendio” y el “Yelmo Pinar hay casi 3 grados centígrados de diferencia entre las temperaturas máximas (Figura 19), a pesar de que no hay gran diferencia de altitud entre los tres lugares (Rayuela: 1464m s.n.m; Yelmo Incendio: 1421m s.n.m; Yelmo Pinar: 1451m s.n.m).

En el caso de la precipitación, también observamos diferencias entre los perímetros ecológicos de las estaciones de un mismo paraje natural. Por ejemplo, en el caso de las estaciones ubicadas en la Sierra Sur de Jaén, hay una diferencia de unos 20 mm de agua tanto en la precipitación máxima como en la precipitación mínima (Figura 20), entre el perímetro ecológico de “Matamulos” y el de “Pitillos”. En los perímetros ecológicos de las

estaciones de la Sierra de Segura, observamos mayores diferencias, ya que entre “La Rayuela” y los perímetros del “Yelmo Incendio” y el “Yelmo Pinar” hay una diferencia de unos 70 mm de agua en la precipitación máxima (Figura 20).

Por tanto, la evapotranspiración también es diferente entre los perímetros ecológicos de las estaciones (Figura 21), ya que es una combinación de la temperatura y la precipitación media anual.

Debido a esto, podemos afirmar que tanto el complejo de la Sierra Sur como el de la Sierra de Segura presenta una gran heterogeneidad de ambientes, ya que estas diferencias en la temperatura y en la precipitación pueden deberse a infinidad de factores propios de cada sitio, como la orografía circundante, la orientación del lugar, la pendiente, la rugosidad del terreno, la cercanía a masas de agua, etc.

Observando la figura 22, referente a la textura del suelo, apreciamos como las estaciones de la Sierra Sur están sobre un suelo franco, mientras que, en la Sierra de Segura, aparecen algunas unidades de suelo cuya textura se define por franco-arenosa. Según la clasificación USDA, para una textura franca, el suelo tiene que estar formado entre un 30-50 % de limo, entre un 25-55 % arena y entre un 45-80 % de arcilla (USDA, 2017). Para una textura franco-arenosa, el suelo debe estar formado entre un 0-50 % de limo, entre un 45-85 % de arena y entre un 15-55% de arcilla (USDA, 2017).

Respecto a las unidades edáficas representadas en la figura 23, observamos como los suelos de los perímetros ecológicos de las estaciones están representados por litosoles y luvisoles crómicos; o por cambisoles cálcicos y regosoles calcáreos con litosoles. Los litosoles son suelos limitados en profundidad por una roca dura continua dentro de los 25 cm desde la superficie (FAO, 1998). Los luvisoles, son suelos con un horizonte B árgico, con un grado de saturación en bases de más del 50% (FAO, 1998). Los cambisoles cálcicos son suelos que tienen un horizonte A ócrico y son calizos al menos entre 20 y 50 cm de profundidad (FAO, 1998). Los regosoles calcáreos son suelos minerales sobre materiales no consolidados, bien drenados y con un perfil poco diferenciado, desarrollados sobre suelos calcáreos. (FAO, 1998).

En relación a las series de vegetación del perímetro ecológico de cada estación, representado en la figura 24, observamos como en Cruz de Chimba, Matamulos y Pitillos, correspondientes a la Sierra Sur de Jaén, está la serie mesomediterránea bética sub-húmeda basófila de la encina (*Quercus rotundifolia*) común en todas ellas. En cruz de Chimba aparece la misma serie de vegetación, pero salpicada por *Pistacia lentiscus*, mientras que en Matamulos y Pitillos, aparece un parche correspondiente al complejo edafoixerófilo meso-supramediterráneo subbético calizo-dolomítico de la sabina mora

(*Juniperus phoenicea*) y del pino carrasco (*Pinus halepensis*). Respecto a la Sierra de Segura, la serie supramediterránea bética basófila seca-subhúmeda de la encina (*Quercus rotundifolia*) es común en las tres estaciones, mientras que en Yelmo Incendio aparece un pequeño parche de la serie supra-mesomediterránea bética basófila subhúmeda-húmeda del quejigo (*Quercus faginea*), y en La Rayuela también aparece un parche de la serie mesomediterránea bética seca-subhúmeda basófila de la encina (*Quercus rotundifolia*). Aunque en todos los lugares, la especie climax es la encina (*Quercus rotundifolia*), hay matices diferentes en cada una de las series, principalmente en el piso bioclimático y en el ombroclima. El piso bioclimático se calcula según el índice de termicidad (It), que depende de la temperatura media anual, de la media de las temperaturas máximas del mes más frío y de la media de las temperaturas mínimas del mes más frío (Rivas, 1988). Sin embargo, el ombroclima depende principalmente de las precipitaciones medias anuales de esa zona (Rivas, 1988).

	It	T	M	m	P	Termoclima	Ombroclima
Málaga (MA)	435	18,5	16,5	8,5	469	Termo. Inf.	Seco medio
Cádiz (CA)	429	18,0	15,4	9,5	590	Termo. Inf.	Seco superior
Hornachuelos (CO)	406	19,3	17,2	4,1	745	Termo. Sup.	Subhúmedo inferior
Algeciras (CA)	394	17,0	14,2	8,2	873	Termo. Sup.	Subhúmedo medio
Ubrique (CA)	365	16,5	16,4	4,3	1209	Termo. Sup.	Húmedo inferior
Córdoba (CO)	361	17,9	13,7	4,5	674	Termo. Sup.	Subhúmedo inferior
Linares (J)	344	17,7	13,1	3,6	541	Meso. Inf.	Seco superior
Grazalema (CA)	332	16,6	11,4	5,2	2223	Meso. Inf.	Hiperhúmedo
Cabezas Rubias (HU)	324	15,6	13,7	4,0	932	Meso. Inf.	Subhúmedo superior
Granada (GR)	312	15,5	12,0	2,1	462	Meso. Inf.	Seco medio
Las Navas de la Concepción (SE)	297	14,6	12,9	2,2	813	Meso. Med.	Subhúmedo medio
Pozoblanco (CO)	285	15,6	10,9	2,0	477	Meso. Med.	Seco medio
Aracena (HU)	282	14,8	10,4	3,1	1104	Meso. Med.	Húmedo inferior
Benalcázar (CO)	282	16,4	10,7	1,1	453	Meso. Med.	Seco medio

Figura 28. Ejemplo de termoclimas o pisos bioclimáticos y de ombroclimas, para diferentes lugares de Andalucía. Imagen tomada del trabajo de Rivas et al., 1988. El It se refiere al índice de termicidad, la T es la temperatura media anual, la M es la temperatura media de las máximas del mes más frío, la m es temperatura media de las mínimas del mes más frío, y la P es la precipitación media anual (Rivas, 1988).

Tanto las Rosas de frecuencia del viento (Figura 25) como las Rosas de velocidad del viento (Figura 26), dan información muy relevante para la correcta caracterización de los hábitats de las estaciones. Como se puede observar, las estaciones de la Sierra Sur, Cruz de Chimba, Matamulos y Pitillos, tienen una dirección predominante parecida, normalmente en dirección noroeste o sureste (Figura 25), y las estaciones de la Sierra de Segura, Yelmo Pinar, Yelmo Incendio y La Rayuela, tienen también una dirección del viento predominante parecida entre sí, dirección oeste o sureste (Figura 25).

Respecto a la velocidad del viento (Figura 26), no se observa ningún tipo de patrón entre las estaciones del mismo paraje natural, pero comparando la dirección predominante del viento (Figura 26), con esta dirección dónde la velocidad del viento es mayor, se observa como en la mayoría de los casos coincide la dirección predominante del viento con la dirección donde el viento sopla con mayor velocidad.

Observando los modelos de distribución de hábitats (Figura 27), hay bastantes diferencias respecto a el porcentaje de territorio de las Sierras Subbéticas que está representado por cada EMI. Los modelos de distribución de Cruz de Chimba y de Matamulos, son muy parecidos, estando sus hábitats representados solo en los territorios cercanos a la ubicación de las estaciones, y el porcentaje de lugares con condiciones ecológicas parecidas en el complejo de las Subbéticas es bastante bajo. El modelo de distribución de Pitillos, si es más amplio, incluso hay zonas de la Sierra de Cazorla y Segura, que tienen unas condiciones ecológicas parecidas a esta estación, por tanto, el porcentaje de territorios representados por el EMI de Pitillos, es mucho más amplio que las otras dos estaciones de la Sierra Sur de Jaén.

Respecto a los modelos de distribución de las estaciones ubicadas en la Sierra de Segura, observamos como los modelos de los EMIs Yelmo Incendio y Yelmo Pinar son muy parecidos, y al igual que en el caso de las estaciones de Cruz de Chimba y Matamulos en la Sierra Sur, solo los lugares cercanos a la ubicación de estas estaciones, tienen unas características ecológicas parecidas. Sin embargo, el modelo de distribución de La Rayuela, es el que mayor porcentaje de territorios tiene representados por las condiciones ecológicas de esta estación, ya que la mayoría de los lugares de la Sierra de Cazorla y de Segura tienen unas condiciones parecidas a este EMI, incluso algunos parches de territorio de la Sierra Sur de Jaén.

6. Conclusión.

Podemos observar cómo las estaciones tienen una condiciones climáticas, topográficas y biológicas diferentes entre sí, presentando una gran heterogeneidad, que es de gran valor para las futuras medidas de gases de efecto invernadero y de flujos de energía, ya que podremos obtener datos de ambientes muy diferentes.

Respecto al perímetro ecológico de cada EMI, se observa como las estaciones están siempre en un extremo de la cuenca, la cual tiene una vegetación muy homogénea, para que las futuras medidas que tomen los sensores, sean representativas de esa micro-cuenca hidrográfica, y de la vegetación que compone a cada uno de los perímetros. Por eso, se han buscado lugares cuya vegetación sea diferente, dentro de las posibilidades logísticas, para tener representación de la mayoría de ambientes posibles. Debido a eso, hay estaciones en masas densas de *Pinus halepensis*, en Encinares y en lugares donde existe una mezcla de *Pinus halepensis* y *Pinus nigra*.

Es importante tener en cuenta, la dirección y la velocidad del viento. Estos datos se deben tener muy en cuenta a la hora de instalar los sensores, ya que lo más recomendable sería que la dirección predominante del viento vaya de un extremo a otro de la cuenca, para poder asegurarnos que los datos son representativos de la vegetación natural que compone cada una de las micro-cuencas que integran a las estaciones.

Como se puede observar en el modelo de distribución de los hábitats de cada estación para el complejo de las Sierras Subbéticas, cada EMI comparte condiciones ecológicas con más territorios, por lo que los datos que se medirán en cada estación, no solo representarán la zona concreta dónde se ubican las parcelas, sino que habrá muchas zonas cercanas que también serán representadas por los flujos y los gases medidos en cada una de las estaciones. Tanto la estación de “Pitillos” ubicada en la Sierra Sur de Jaén, como la estación “La Rayuela” ubicada en la Sierra de Segura, son las que representan un mayor porcentaje de territorio de las Sierras Subbéticas.

7. Bibliografía.

- Almansa, J. C. L. (1999). Aprovechamientos forestales y evolución de la vegetación en el macizo del Segura. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, (8), 67-74.
- Amiro, B.D. (1998). Footprint climatologies for evapotranspiration in a boreal catchment. *Agric For Meteorol* 90 (3), 195–201. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(97\)00096-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(97)00096-8).
- Aspizua, R., Barea-Azcón, J.M., Bonet, F.J., Pérez-Luque, A.J. y Zamora, R.J. (coords.). (2012). Observatorio de Cambio Global Sierra Nevada: metodologías de seguimiento. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. 112 pp.
- Badger, J., Hahmann, A., Larsén, X. G., Badger, M., Kelly, M., Olsen, B. T., & Mortensen, N. G. (2015). The Global Wind Atlas: An EUDP project carried out by DTU Wind Energy.
- Baldocchi, D., Falge, E., Gu, L., Olson, R., Hollinger, D., Running, S., Anthoni, P., Bernhofer, C., Davis, K., Evans, R., Fuentes, J., Goldstein, A., Katul, G., Law, B., Lee, X., Malhi, Y., Meyers, T., Munger, W., Oechel, W., ... Wofsy, S. (2001). FLUXNET: A New Tool to Study the Temporal and Spatial Variability of Ecosystem-Scale Carbon Dioxide, Water Vapor, and Energy Flux Densities. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82(11), 2415–2434. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(2001\)082<2415:FANTTS>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(2001)082<2415:FANTTS>2.3.CO;2)
- Ballabio, C., Panagos, P., & Monatanarella, L. (2016). Mapping topsoil physical properties at European scale using the LUCAS database. *Geoderma*, 261, 110–123. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.07.006>
- Burba, G. (2021). Eddy Covariance Method for Scientific, Regulatory and Commercial Applications. A Field Book on Measuring Ecosystem Gas Exchange and Areal Emission Rates.
- Butz, R.J., Dennis, A., Millar, C.I., & Westfall, R.D. (2008). Global Observation Research Initiative in Alpine Environments (GLORIA): Results From Four Target Regions in California.

- Cano, E., García Fuentes, A., & Cano-Ortiz, A. (2003). Diversidad de Pastizales de Poa Bulbosa en el Sur De La Península Ibérica. *Pastos*, XXXIII(2), 253–265.
- Consejería de Sostenibilidad, Medio Ambiente y Economía Azul (2023). Junta de Andalucía. <https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/home>
- Chu, H., Luo, X., Ouyang, Z., Chan, W. S., Dengel, S., Biraud, S. C., Torn, M. S., Metzger, S., Kumar, J., Arain, M. A., Arkebauer, T. J., Baldocchi, D., Bernacchi, C., Billesbach, D., Black, T. A., Blanken, P. D., Bohrer, G., Bracho, R., Brown, S., ... Zona, D. (2021). Representativeness of Eddy-Covariance flux footprints for areas surrounding AmeriFlux sites. *Agricultural and Forest Meteorology*, 301–302(February). <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108350>
- Decreto 23/2012, del 14 de febrero, por el que se regula la conservación y el uso sostenible de la flora y fauna silvestres y sus hábitats. Boletín número 60 del 27 de marzo de 2012. <https://www.juntadeandalucia.es/boja/2012/60/6>
- FAO. (1998). World reference base for soil resources. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/w8594e/w8594e00.htm#Contents>
- FLUXNET. (2023). <https://fluxnet.org/>
- Gómez Mercado, F., & Valle, F. (1990). Notas fitosociológicas sobre las comunidades arbóreas de las Sierras de Cazorla y Segura. *Acta botánica malacitana*, ISSN 0210-9506, Nº 15, 1990, pags. 239-246. 15. 10.24310/abm.v15i.9306.
- Grabherr, G., Gottfried, M., & Pauli, H. (2000). GLORIA: A Global Observation Research Initiative in Alpine Environments.
- ICOS. (2023). Integrated Carbon Observation System. <https://www.icos-cp.eu/>
- Lacaze, B., Dudek, J., & Picard, J. (2018). GRASS GIS Software with QGIS. In *QGIS and Generic Tools* (eds N. Baghdadi, C. Mallet and M. Zribi). <https://doi.org/10.1002/9781119457091.ch3>

LI-COR Biosciences. (2023). <https://www.licor.com/>

OBSNEV. (2023). Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada. <https://obsnev.es/>

Proyecto GLORIA. (2023). Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada, Proyecto GLORIA. <https://obsnev.es/proyecto-gloria/>

QGIS. (2023). User Guide/Manual (QGIS 3.22).
https://docs.qgis.org/3.22/es/docs/user_manual/index.html

Rebmann, C., Aubinet, M., Schmid, H., Arriga, N., Aurela, M., Burba, G., Clement, R., De Ligne, A., Fratini, G., Gielen, B., Grace, J., Graf, A., Gross, P., Haapanala, S., Herbst, M., Hörtnagl, L., Ibrom, A., Joly, L., Kljun, N., ... Franz, D. (2018). ICOS eddy covariance flux-station site setup: a review. *International Agrophysics*, 32(4), 471-494. <https://doi.org/10.1515/intag-2017-0044>

Rivas Martínez, S. (1988). Bioclimatología, biogeografía y series de vegetación de Andalucía Occidental. *Lagascalia*, 15(1), 91–120.

Rivas-Martínez, S., & Loidi, J. (1999). Bioclimatology of the Iberian Peninsula. *Itinera Geobotanica* 13: 41- 47.

Sánchez-Gómez, P., Mota Poveda, J. F., Gómez-Mercado, F., & Saez Soto, F. (1994). Utilización de criterios bioclimáticos y florísticos en la subdivisión biogeográfica del sector Subbético (provincia Bética). *Acta Botanica Malacitana* 19:185-198.

Schmid, H.P. (2002). Footprint modeling for vegetation atmosphere exchange studies: a review and perspective. *Agric For Meteorol* 113 (1-4), 159–183.

Sellers, P., Hall, F., Margolis, H., Kelly, B., Baldocchi, D., den Hartog, G., Cihlar, J., Ryan, M. G., Goodison, B., Crill, P., Ranson, K. J., Lettenmaier, D., & Wickland, D. E. (1995). The Boreal Ecosystem–Atmosphere Study (BOREAS): An Overview and Early Results from the 1994 Field Year. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 76(9), 1549–1577. <http://www.jstor.org/stable/26232443>

- Shirazi, M.A., & Boersma, L. (1984). A Unifying Quantitative Analysis of Soil Texture. *Soil Science Society of America Journal*, 48: 142-147.
<https://doi.org/10.2136/sssaj1984.03615995004800010026x>
- Thornthwaite, C.W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.*, 38 (1948), pp. 55-94.
- Torres, J.A., García Fuentes, A., Salazar, C., Cano, E., & Valle, F. (1999). Caracterización de los pinares de *Pinus halepensis* Mill. en el sur de la Península Ibérica. *Ecoología Mediterránea* 25(2): 135-146
- Torres, J.A., Montilla, R., García-Fuentes, A., Salazar, C., & Cano, E. (2003). El paisaje vegetal de las sierras de Pandera y Alta Coloma (Jaén, Andalucía): Estudio de las series de vegetación. *Acta Granatense*. 2. 55-72.
- USDA. (2017). Soil survey manual. Soil Survey Division Staff; Soil Conservation Service Volume Handbook 18, U.S. Department of Agriculture.
- Valle, F., Gómez-Mercado, F., Mota-Poveda, J.F., & Díaz de la Guardia, C. (1990). Parque Natural de Cazorla, Segura y las Villas. Guía botánico-ecológica. Madrid, Editorial Rueda. 354 pp.
- Xu, K., Pingintha-Durden, N., Luo, H., Durden, D., Sturtevant, C., Desai, A. R., Florian, C., & Metzger, S. (2019). The eddy-covariance storage term in air: Consistent community resources improve flux measurement reliability. *Agricultural and Forest Meteorology*, 279(September). <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107734>

Máster en Análisis, Conservación y Restauración de los Componentes Físicos y Bióticos de los Hábitats.

- **Técnicas geomáticas aplicadas al medio natural (GIS, teledetección y cartografía ambiental).**

Trabajamos con Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la gestión de recursos naturales. Se incluyen técnicas geomáticas de captura de datos, integración de datos y georreferenciación; tratamiento digital y análisis de imágenes; desarrollo de modelos digitales del terreno y de superficies. Por último, se trabajó en la aplicación de los SIGs para las cartografías geoambientales.

- **Recursos hídricos y ecosistemas acuáticos.**

Gestión hidrogeológica de acuíferos kársticos, detríticos y humedales, como base de un manejo sostenible de los recursos acuáticos continentales. Se trabajó con indicadores físico-químicos de la calidad de las aguas subterráneas; se conocieron los principios generales de sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos, así como la problemática ambiental y alteraciones de los mismos. Finalmente, se trabajó con la gestión de los ecosistemas acuáticos: sus usos, su restauración y su recuperación.

- **Métodos avanzados de análisis de datos ambientales.**

Trabajamos con herramientas estadísticas útiles para diseñar muestreos y experimentos, así como para formular hipótesis y predicciones. En análisis de datos, hicimos hincapié en el análisis de varianza y covarianza, en modelos lineales generalizados, en análisis de frecuencias, en técnicas exploratorias multivariantes y en análisis basados en métodos de aleatorización, así como en técnicas avanzadas en data mining a partir de bases de datos ambientales. Usamos técnicas geoestadísticas para el análisis espacial de los datos ambientales, y trabajamos con la presentación de resultados.

- **Caracterización de los componentes físicos del hábitat.**

Aprendizaje de técnicas de análisis geoquímico de muestra total, técnicas espectroscópicas, métodos de caracterización de la materia orgánica, así como las técnicas microanalíticas basadas en la microscopía electrónica. También nos centramos en los métodos de estudio geofísico de la superficie terrestre.

- **Conservación y restauración de sistemas terrestres.**

Revisamos los principales tipos de impacto antropozógeno y se abordó la explotación sostenible de recursos geológicos no renovables como minerales y rocas, la conservación y restauración de laderas y vertientes, y la lucha contra la erosión y la desertificación.

También se revisó la restauración de ecosistemas terrestres, incluyendo aquellos espacios afectados por contaminación, así como la dinámica y las series de vegetación de interés para la conservación y la restauración. Por último, se analizaron las repercusiones del cambio climático sobre los hábitats terrestres.

- **Caracterización de elementos bióticos del hábitat.**

En esta asignatura abordamos el diseño y técnicas avanzadas de muestreo biológico, tanto en el medio acuático como en el terrestre, englobando recursos vegetales y animales. En lo referente al manejo y manipulación de animales, se prestó especial atención a los métodos no invasivos. Por último, se revisaron los principales métodos directos e indirectos de estima de abundancia de poblaciones animales.

- **Modelización de la distribución potencial de especies y hábitats.**

Es importante conocer la distribución actual o potencial de especies, ya que es una herramienta básica para su manejo, especialmente en el ámbito de la conservación. Por tanto, la asignatura se estructuró en bloques dedicados a generación, obtención y preparación de información georreferenciada sobre distribución de especies; herramientas analíticas para la generación de modelos de distribución o adecuación del hábitat, métodos de validación de modelos y presentación de resultados en formato cartográfico.

- **Explotación sostenible de suelos y agroecosistemas.**

La sobreexplotación de los recursos naturales renovables es uno de los principales factores de pérdida de productividad y biodiversidad de los hábitats, especialmente en sistemas agrícolas. Por tanto, con el objetivo de plantear estrategias de explotación sostenible de recursos, en esta asignatura hicimos hincapié en los métodos de evaluación de la calidad de los suelos; en los procesos de degradación de los suelos debido a la agricultura, así como en las técnicas de restauración y rehabilitación de suelos agrícolas.

También recibimos conceptos de bioclimatología aplicada a cultivos, biología de los agroecosistemas, sistemas agrosilvopastoriles, malherbología y restauración de cubiertas vegetales.

- **Invasiones biológicas.**

Uno de los principales factores de pérdida de la biodiversidad actualmente son las especies invasoras. Debido a esto, en la asignatura tratamos la naturaleza del problema, la economía asociada a las invasiones biológicas, la ecología de plantas, invertebrados y vertebrados invasores.

Abordamos también el estudio de las invasiones biológicas (vegetales y animales) como proceso negativo en los ecosistemas naturales. Conocimos las causas y consecuencias de la introducción de EEI en los ecosistemas mediterráneos, analizamos las medidas de control y conocimos los programas de erradicación.

Por último, revisamos los métodos legales y no letales, así como las estrategias de control de las especies invasoras y de las plagas en general.

- **Enfermedades de la fauna silvestre.**

Revisamos definiciones y conceptos básicos en epidemiología; revisamos las principales enfermedades no infectocontagiosas, aquellas producidas por microparásitos y por macroparásitos, así como zoonosis más importantes. También abordamos distintos métodos de diagnóstico y manejo de enfermedades.

Todo esto se debe a que el estudio de las enfermedades de la fauna silvestre es importante no sólo por el impacto que éstas ejercen sobre las poblaciones animales, sino también porque algunas enfermedades pueden ser transmitidas a los animales domésticos y al hombre (zoonosis).

- **Técnicas de conservación de flora amenazada.**

Desarrollamos los fundamentos sobre la conservación de la flora, y su reciente historia en España. Nos apoyamos en el conocimiento del origen, evolución y composición de la flora ibérica, destacando a las plantas endémicas, raras y amenazadas. Se profundizó en los métodos y herramientas disponibles, así como su aplicación a la conservación de la flora. Se abordaron también los métodos de estudio de poblaciones, aplicaciones de la biología reproductiva, estudios demográficos, análisis de viabilidad poblacional y genética de poblaciones de plantas. Se profundizó en la protección de la flora, incluyendo aspectos relacionados con la evaluación de las especies y las categorías de la IUCN, así como de las principales técnicas de conservación ex situ o in situ específicas para las plantas amenazadas. Finalmente, trabajamos con el diseño de planes de recuperación de flora, tanto desde el punto de vista del marco legal, como desde el diseño de un plan de recuperación y/o conservación.

- **Técnicas de conservación de fauna amenazada.**

Dado que la conservación de especies animales es un objetivo genérico del manejo de la fauna silvestre, en esta asignatura abordamos aspectos como las causas del declive de las poblaciones y especies, las cadenas de extinción, o la estrategia mundial de la conservación.

También se revisaron las distintas opciones para la conservación de especies animales ex situ e in situ, la biología sintética o la biología de la conservación “tradicional”.

Finalmente, se analizaron ejemplos de planes y técnicas de conservación de invertebrados y vertebrados.



NACIONALIDAD

Española

PERMISO DE CONDUCIR

B (Coche propio)

FECHA / LUGAR DE
NACIMIENTO

15/02/1997 (Granada)

Germán Cabrera Carrillo

GRADUADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Perfil

Graduado en Ciencias Ambientales por la Universidad de Granada. Máster universitario en Análisis, Conservación y Restauración de los componentes físicos y bióticos de los hábitats por la Universidad de Jaén. Especialidad en Conservación y Restauración de los elementos bióticos de los hábitats mediterráneos.

Interesado en ayudar a conservar y restaurar nuestros parajes naturales, así como luchar por conseguir una sostenibilidad de nuestros recursos naturales para el correcto desarrollo de nuestra economía y de nuestro planeta.

Edad: 25 años

Experiencia profesional.

Técnico en Balances de Gases de Efecto Invernadero y Flujos de Energía en ecosistemas del SE de España. Estación Experimental de Zonas Áridas (EEZA), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

OCTUBRE 2022 — ACTUALIDAD

Educación

Graduado en Ciencias Ambientales, Universidad de Granada, Granada

SEPTIEMBRE 2016 — JULIO 2021

Máster universitario en Análisis, Conservación y Restauración de los componentes físicos y bióticos de los hábitats, Universidad de Jaén, Jaén

SEPTIEMBRE 2021 — OCTUBRE 2022

Cursos

La montaña, una visión multidisciplinar e intemporal de Sierra Nevada, Fundación General UGR-Empresa (75 horas)

Marzo 2018

Buceo Open Water Diver, ACUC

Julio 2019

Guía de Naturaleza y tiempo libre, Darwin Eventur (105 horas)

OCTUBRE 2020 — NOVIEMBRE 2020

La flora como recurso etnobotánico, Darwin Eventur (20 horas)

Marzo 2021

Economía circular y gestión de los residuos, RECAPACICLA (50 horas)

Enero 2022

Oportunidades de la Ciencia Ciudadana para conservar los mamíferos Ibéricos, MammalNet ESPAÑA (15 horas)

Febrero 2022

Curso Identificación de Rapaces, Centro de Capacitación y Experimentación Forestal de Vadillo-Castril, Junta de Andalucía (20 horas)

Mayo 2022

Curso Ornitología Práctica: iniciación al anillamiento científico y otros métodos de campo, Centro de Capacitación y Experimentación Forestal de Vadillo-Castril, Junta de Andalucía (20 horas).

Mayo 2022

Idiomas

Inglés – B2 Aptis

Julio 2021