

Trabajo Fin de Grado

Titulación: Ciencias Ambientales



Universidad
Zaragoza

“Estudio del riesgo de temperaturas extremas en la
provincia de Zaragoza, España, en los periodos
1988-2017 y 2071-2100”

“Extreme Temperature Risk in the Province of
Zaragoza, Spain: A Study of the 1988-2017 and
2071-2100 Periods”

Autora

Ana Rosa Pérez

Directoras

Julia Marín Sáez

Dhais Peña Angulo

Escuela Politécnica Superior de Huesca, 2024

El Trabajo de Fin de Grado que presento para su exposición y defensa es original y todas las fuentes utilizadas para su realización han sido debidamente citadas en el mismo.

FIRMA

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ana Rosa' followed by a stylized flourish.

RESUMEN

En este contexto que vivimos de cambio global, es importante estudiar los posibles riesgos climáticos. En este estudio, se han analizado dos índices climáticos extremos (FD, días con heladas y TR, noches tropicales) en la provincia de Zaragoza, comparando 2 periodos de tiempo (1988-2017 / 2071-2100) para contrastar la situación actual con un escenario futuro y poder ver cómo afectan los cambios de los valores térmicos extremos. La metodología empleada en el presente estudio se basa en una revisión bibliográfica, obtención de datos de Indecis Project y EURO-CORDEX, cálculos estadísticos y de riesgo y una representación cartográfica mediante el programa ArcMap. La estimación del riesgo se ha realizado mediante dos métodos, a partir de las variables: exposición, vulnerabilidad y peligrosidad. Los resultados muestran en líneas generales un mayor riesgo por días con heladas en el Prepirineo y en la Cordillera Ibérica y, un mayor riesgo por noches tropicales en la Depresión del Ebro. Sin embargo, el estudio en detalle muestra que los resultados varían de un municipio a otro, y esto refleja la necesidad de realizar estudios de riesgo climático a pequeña escala espacial que sirvan como herramienta en los planes adaptación y mitigación frente al cambio climático.

Palabras clave: Riesgos climáticos, Días con heladas, Noches tropicales, Provincia de Zaragoza.

ABSTRACT

In the context of global change we are experiencing, it is important to study possible climate risks. In this study, two extreme climate indices (FD, days with frost and TR, tropical nights) have been analyzed for the province of Zaragoza, comparing two time periods (1988-2017 / 2071-2100) to contrast the current situation with a future scenario and to see how changes in extreme thermal values affect. The methodology used in this study is based on a bibliographic review, obtaining data from Indecis Project and EURO-CORDEX, statistical and risk calculations and a cartographic representation using the ArcMap program. The risk estimation has been carried out using two different methods, based on the following variables: exposure, vulnerability and dangerousness. The results show in general terms a greater risk due to days with frost in the Pre-Pyrenees and in the Iberian Mountains, on the one hand, and to tropical nights in the Ebro Depression, on the other hand. However, the detailed study shows that the results vary from one municipality to another, and this reflects the need to carry out climate risk studies at a small spatial scale that serve as a tool in adaptation and mitigation plans against climate change.

Key words: Climate risks, Days with frost, Tropical Nights, Province of Zaragoza.

Índice

1. Introducción	4
1.1. Justificación	4
1.2. Antecedentes	9
1.3. Objetivos generales y específicos	10
2. Área de estudio	10
2.1. Ubicación	10
2.2. Topografía e Hidrología	12
2.3. Climatología	14
3. Metodología	17
3.1. Obtención de datos	18
3.2. Cálculos estadísticos	19
3.3. Cálculo del riesgo térmico	20
4. Resultados y discusión	21
4.1. Exposición y vulnerabilidad del área de estudio	21
4.2. Peligrosidad térmica	24
4.3. Riesgo térmico	29
4.3.1 Cálculo del riesgo térmico aplicando el método 1	29
4.3.2 Cálculo del riesgo térmico aplicando el método 2	31
5. Conclusiones	38
6. Bibliografía	40
7. Anexos	43

1. Introducción

1.1. Justificación

El riesgo natural es la posibilidad de que un territorio y su sociedad puedan verse afectados por un fenómeno natural de carácter extraordinario (Ayala et al, 2007). Los principales riesgos climáticos y meteorológicos se diferencian entre aquellos eventos causados por procesos de media a larga duración, o aquellos causados a corto plazo como las inundaciones, olas de frío y heladas, olas de calor, etc. Los riesgos climáticos y meteorológicos pueden desencadenar grandes desastres naturales, pueden suponer un elevado número de víctimas, pérdidas del medio natural, y pueden acarrear desequilibrios económicos (Abajo et al, 2023).

El grado de riesgo (R) se obtiene a partir del producto de la peligrosidad natural (P) por la exposición (E). La mayoría de los autores multiplican también por la vulnerabilidad (V). **Ecuación general del riesgo:** $R = P * E * V$ (Abajo et al, 2023).

La peligrosidad es un proceso o suceso del medio natural que puede suponer una amenaza para el hombre o su actividad. Generalmente se estima en forma de probabilidad de ocurrencia. La exposición es el número total de personas o bienes expuestos a un peligro. Por lo que existe una exposición social, económica y ecológica. La vulnerabilidad hace referencia a las características de un grupo humano que habita en un territorio que se ve expuesto a un peligro natural y lo hacen más o menos susceptible a los daños. Algunas de estas características pueden ser: los usos del suelo, la tipología de actividades e infraestructuras, la población mayor de 65 años, la población infantil, la población con enfermedades crónicas, el nivel tecnológico, el nivel cultural, los sistemas de lucha frente al peligro, etc. Técnicamente la vulnerabilidad se suele estimar como el tanto por uno (0 es la ausencia de daño y 1 la pérdida total) respecto del total expuesto, de víctimas mortales o de pérdidas de bienes por un determinado evento (Ayala et al, 2007).

Respecto a la peligrosidad, los procesos naturales de alta intensidad y baja frecuencia se consideran procesos o eventos extremos, los cuales pueden suponer un alto riesgo para el hombre. En este estudio, se han analizado fenómenos extremos térmicos.

La peligrosidad puede variar con el tiempo, debido a que el clima puede cambiar. Las variaciones de temperatura del planeta han tenido un recorrido marcado por un periodo inicial de estabilidad en la temperatura, hasta finalizar el siglo XIX. Un periodo de calentamiento que va desde el comienzo del siglo XX hasta aproximadamente 1945, que pudo ser causado en parte por efectos naturales, posiblemente por la variación de la actividad solar. Una etapa de unos 30 años de ligero enfriamiento que termina hacia 1970, que se ha explicado por un

aumento de los aerosoles de origen industrial que aumentaron el albedo de la atmósfera. Y, un cuarto periodo (denominado calentamiento global), desde 1970 hasta nuestros días, de incremento más rápido de la temperatura. En la década 2011-2020 la temperatura global media ha sido 1,09 °C mayor que en 1850-1900, aumentando más sobre tierra que sobre mar (Caballero et al, 2007). Pero, además del valor de la temperatura, hay otros indicadores del calentamiento global tales como:

- Los fenómenos extremos, como olas de calor, lluvias torrenciales y sequías, los cuales son cada vez más frecuentes e intensos.
- Numerosos cambios en los océanos, principalmente en aguas superficiales. Calentamiento, acidificación y cambios en la salinidad.
- Disminución de las masas de hielo polares.

En este contexto de cambio global, hay que definir qué es y qué componentes tiene. Dentro del cambio global, se encuentra el cambio climático, junto con alteraciones en la biodiversidad (especies en peligro de extinción), cambios en el uso del suelo (deforestación), cambios geopolíticos (distribución desigual de la riqueza), cambios de los ciclos biogeoquímicos (C,N,P), aumento de la población (capacidad de carga), procesos de desertificación (degradación del medio ambiente) y contaminación atmosférica, hídrica y del suelo (Duarte, 2006).

El clima de un determinado lugar se puede definir como una descripción estadística del estado atmosférico durante un largo periodo de tiempo. Según la Organización Meteorológica Mundial, el periodo normal para estudiar el clima de un determinado lugar es de 30 años (OMM, 2007). En este caso, se ha estudiado el periodo presente/pasado 1988-2017 y el periodo futuro 2071-2100.

El clima está influenciado por: la latitud, que es la posición de un lugar respecto al ecuador de la Tierra; la relación geométrica entre la Tierra y el Sol, lo cual afecta a la severidad de los inviernos y de los veranos; la inclinación del eje de la Tierra, lo que hace que existan las estaciones y que el número de horas de día vaya cambiando a lo largo del año; la continentalidad de un lugar, puesto que los lugares situados muy lejos de mares y océanos están sometidos a mayores variaciones de temperatura durante el año que los que están cerca de alguna costa; las circulaciones atmosférica y oceánica, puesto que ayudan a homogeneizar las diferencias que existen respecto a la energía recibida del Sol entre las distintas partes de la Tierra; la topografía y la orografía y; los aspectos locales, que incluyen factores como la presencia de lagos, de bosques, de humedales, de cultivos o de áreas urbanas (Uriarte, 2010).

Además, hay que tener en cuenta otros factores como:

- El SO_2 y los aerosoles de origen volcánico ya que pueden desencadenar un calentamiento o un enfriamiento de la superficie, dependiendo de las características de cada erupción. El SO_2 se combina en la atmósfera con el agua, el polvo y la radiación solar para producir lo que en inglés se denomina vog (volcanic smog). Es importante tener en cuenta que los grandes cambios climáticos no están causados por erupciones volcánicas, sino que, por el contrario, se cree que el vulcanismo persistente que se da en la Tierra ayuda a mantener su clima estacionario (Uriarte, 2010).

- La deforestación que se está produciendo en los bosques tropicales, con la finalidad de obtener tierras de cultivo, lo que está produciendo numerosos impactos sobre el clima. La mayor parte de la lluvia en las zonas de los bosques húmedos se genera localmente mediante el proceso de la transpiración de la masa vegetal, por lo que la tala masiva conduce a que el agua procedente de la lluvia no quede en el terreno y fluya hacia otras zonas con el consiguiente problema de erosión. Además, la deforestación elimina uno de los principales sumideros de CO_2 del planeta (Uriarte, 2010).

- La variación del albedo a causa de los cambios en el área ocupada por el hielo y la nieve. La superficie terrestre es mayoritariamente oscura, por lo que cuando se cubre de hielo o nieve un porcentaje mayor de la insolación recibida es reflejada de vuelta hacia el espacio. Como resultado la temperatura disminuye lo que, a su vez, provoca un aumento de la capa de hielo. A este efecto se le llama realimentación positiva (Uriarte, 2010).

- El calor almacenado por metro cuadrado en los océanos es unas 80 veces mayor que el almacenado en el suelo continental. A esto hay que añadir que aproximadamente el 71% de la superficie del planeta está cubierta por el océano, con lo que se llega a la conclusión de que el calor almacenado anualmente en los océanos es unas 250 veces mayor que el almacenado en los continentes (Uriarte, 2010).

El cambio climático viene dado por causas naturales incrementadas por la actividad antrópica. Se sabe que algunos mecanismos geológicos, oceanográficos, solares y astronómicos contribuyen a la variabilidad climática, en escalas de tiempo que van desde millones de años hasta unos pocos meses. A lo largo de millones de años la deriva de las placas tectónicas ha movido los continentes a grandes distancias, lo que tiene una gran influencia climática según cuál sea su posición respecto a los polos. Cuando los continentes se sitúan sobre o alrededor de la zona polar, éstos se enfrían en mayor medida que cuando están más alejados, dando lugar a un proceso de realimentación positiva mediante el cual pequeñas cantidades de hielo o nieve producen mayor albedo que, a su vez, propicia un enfriamiento global (Caballero et al, 2007).

Sin embargo, el efecto invernadero y la isla de calor urbana, conducen al calentamiento y se considera que son casi permanentes, al menos a escalas de tiempo humanas. El efecto invernadero es un proceso natural, que puede ser intensificado por la actividad humana, en el que algunos de los gases que están presentes en la atmósfera, absorben radiación de onda larga evitando que parte de la energía escape hacia el espacio y enviándola hacia la superficie. Los principales gases que contribuyen a este efecto son el vapor de agua, el dióxido de carbono y el metano. Otros que contribuyen a él en menor medida son el óxido nitroso (N_2O), los fluorocarbonos y el monóxido de carbono (Caballero et al, 2007). La isla de calor urbana se refiere a aquellas grandes ciudades que pueden llegar a tener una temperatura de entre 1 y 8 °C superior a la de su entorno rural. Una de las causas es que el entorno urbano presenta una evapotranspiración menor que las áreas rurales, a causa de la escasez de vegetación y del hormigón, asfalto, etc., que actúan almacenando gran cantidad de calor por el día y emitiendo por la noche (Caballero et al, 2007).

El cambio climático es uno de los mayores retos que enfrenta la humanidad, y es por eso por lo que la estimación del riesgo de la media de noches tropicales y de días con heladas del periodo 1988-2017 en comparación con el escenario futuro 2071-2100 y, de la evolución del riesgo dentro de dichos períodos, nos puede ayudar a realizar una mejor gestión y planificación del territorio.

Para el futuro, no sabemos a ciencia cierta cómo será la peligrosidad. El IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) a lo largo de sus informes ha ido desarrollando una serie de escenarios para analizar cómo podría evolucionar el clima en función de diferentes condiciones socioeconómicas y de emisiones de gases de efecto invernadero. Estos escenarios se basan en modelos climáticos que simulan futuros posibles teniendo en cuenta diferentes condiciones. En el Sexto Informe del IPCC (AR6) se han empleado un nuevo tipo de escenarios denominados “Shared Socioeconomic Pathways” (SSP, español “Trayectorias Socioeconómicas Compartidas”). Los escenarios del AR6 han sido elaborados por el WG III, Grupo de Trabajo III dentro del IPCC (IPCC, 2021).

Las diferentes trayectorias que podemos ver en la Figura 1, dependen principalmente de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) producidas. Para SSP3-7.0 y SSP5-8.5 corresponden a emisiones GEI altas y emisiones de CO_2 que se duplican respecto a los niveles actuales para 2100 y 2050. Para el escenario SSP2-4.5 corresponden emisiones de GEI intermedias y emisiones de CO_2 que se mantienen en torno a los niveles actuales hasta mediados de siglo cuando empiezan a descender. Por último, escenarios con emisiones de GEI bajas y emisiones de CO_2 que descienden a cero en torno 2050 serían SSP1-1.9 y SSP1-2.6 y, como actualmente siguen aumentando las emisiones de gases de efecto invernadero, para este estudio se descartan estos escenarios (IPCC, 2021).

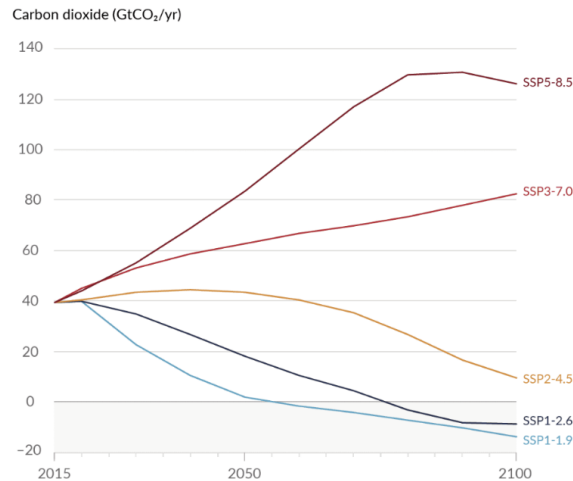


Figura 1. Trayectorias Socioeconómicas Compartidas.

Fuente: Sexto Informe del IPCC (AR6)

Los fenómenos extremos térmicos se basan en índices que se calculan a partir de datos diarios de temperatura por encima o por debajo de umbrales establecidos de acuerdo con parámetros físicos específicos que varían según las condiciones climáticas de cada área de estudio (Calavera, 2023).

En este trabajo se ha estudiado el riesgo de dos índices climáticos extremos en la provincia de Zaragoza, comparando 2 periodos de tiempo con datos de mínimo 30 años (1988-2017 / 2071-2100) para comparar el periodo más reciente con un escenario futuro a final de siglo y poder ver cómo cambia el riesgo térmico debido al cambio climático.

Los índices climáticos extremos de temperatura que estudiados son:

- FD (Frost Days, español: días con heladas): número de días con temperaturas mínimas inferiores a 0°C. Cabe destacar, su utilidad para la agricultura. (European Environment Agency, 2021).
- TR (Tropical Nights, español: noches tropicales): número de días con temperatura mínima superior a 20°C. También es relevante para la agricultura, biodiversidad y salud humana (European Environment Agency, 2021).

En este estudio, se ha seleccionado el escenario 4.5 del IPCC (SSP2-4.5), puesto que, si se descartan los escenarios SSP1-1.9 y SSP1-2.6, el SSP2-4.5 es el más optimista. Para 2100, en dicho escenario, según el Sexto Informe del IPCC se espera que la temperatura global del planeta haya aumentado entre 2,1-3,5 °C respecto a 1850-1900 como se puede ver en la Tabla 1.

	Corto plazo, 2021–2040		Medio plazo, 2041–2060		Largo plazo, 2081–2100	
Scenario	Mejor estimación (°C)	Rango muy probable (°C)	Mejor estimación (°C)	Rango muy probable (°C)	Mejor estimación (°C)	Rango muy probable (°C)
SSP1-1.9	1,5	1,2 to 1,7	1,6	1,2 to 2,0	1,4	1,0 to 1,8
SSP1-2.6	1,5	1,2 to 1,8	1,7	1,3 to 2,2	1,8	1,3 to 2,4
SSP2-4.5	1,5	1,2 to 1,8	2,0	1,6 to 2,5	2,7	2,1 to 3,5
SSP3-7.0	1,5	1,2 to 1,8	2,1	1,7 to 2,6	3,6	2,8 to 4,6
SSP5-8.5	1,6	1,3 to 1,9	2,4	1,9 to 3,0	4,4	3,3 to 5,7

Tabla 1. Estimación del aumento de temperatura global del planeta a lo largo del siglo XXI respecto a 1850-1900. Fuente: Sexto Informe del IPCC (AR6)

La relación entre el cambio climático y sus riesgos asociados se refleja en el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 13: Acción por el Clima, en el marco de la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas. Tal y como dice ‘Sus efectos pueden ser devastadores y pueden provocar fenómenos meteorológicos extremos y cambiantes, así como la subida del nivel del mar. De no controlarse, el cambio climático echará por tierra muchos de los avances logrados en materia de desarrollo en los últimos años. También provocará migraciones masivas que derivarán en inestabilidad y guerras’ (ONU, 2023). El presente estudio está relacionado con este objetivo a través de la meta 13.1 (Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países), debido a la necesidad de prevenir y gestionar el riesgo por las noches tropicales y los días con heladas y, mediante la meta 13.2 (Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales), la cual hace referencia a que los estudios de dichos eventos meteorológicos extremos nos sirven para una posterior planificación del territorio, que podrá ser incluida en estrategias, planes y políticas nacionales.

1.2 Antecedentes

A escala internacional, además de las investigaciones del IPCC, existen otras que también analizan tendencias de las variables climáticas a partir de índices climáticos extremos como la de (Meseguer et al, 2017) que hacen un análisis de las temperaturas medias y extremas en base a diferentes índices durante el periodo 1966-2015 en el norte de Chile. A escala nacional, encontramos estudios que también analizan la evolución de los índices de temperatura como el de (Rilo, 2019) en Galicia para el periodo 1960-2017. A nivel autonómico, hay estudios que analizan la evolución espacio-temporal de los índices de temperatura como el de (Calavera, 2023) en la provincia de Huesca para el periodo 1988-

2100. Respecto a la provincia de Zaragoza, hay estudios sobre la evolución del clima en el municipio de Zaragoza como el de (Cuadrat et al, 2014).

Por otro lado, también existen diferentes estudios sobre el riesgo climático de la población en España que tratan cuáles son los más importantes según las características socioeconómicas del país, como el de (Cantos, 2009). Y, estudios sobre los riesgos naturales en el municipio de Zaragoza como el de (Sanjuan, 2014) o el de (Rodríguez, 2018) sobre el cierzo. Sin embargo, solo se ha encontrado el de (Montalvo et al, 2021), como estudio riguroso que clasifica el riesgo según el aumento de la frecuencia de olas de calor entre los periodos 1961-1989 y 1991-2019 y las personas mayores de 65 años, en cada uno de los municipios de España.

1.3 Objetivos generales y específicos

El objetivo principal del presente trabajo es evaluar el riesgo debido a días con heladas y noches tropicales en la provincia de Zaragoza en los periodos 1988-2017 y 2071-2100.

Los objetivos específicos son:

1. Obtener los índices de días con heladas y noches tropicales para los periodos 1988-2017 y 2071-2100.
2. Estudiar la distribución espacial y evolución temporal de los dos índices en la provincia de Zaragoza.
3. Obtener los datos de población total en la provincia de Zaragoza y en cada uno de sus municipios de estudio.
4. Obtener los datos de población mayor de 65 años en cada uno de los municipios de la provincia de Zaragoza.
5. Calcular y evaluar el riesgo asociado a cada índice en cada municipio y periodo.
6. Representación cartográfica de los resultados para poder valorarlos en relación a la gestión y planificación del territorio.

2. Área de estudio

2.1 Ubicación

La provincia de Zaragoza está localizada en el valle del Ebro. Tiene una extensión superficial de 17.274,3 km², siendo la cuarta provincia española y la mayor de Aragón. Zaragoza está compuesta por 17 comarcas (Ver Figura 2), 293 municipios y tres entidades locales menores. La Comunidad Autónoma de Aragón tiene 1.341.289 habitantes

actualmente, de los cuales, 979.365 pertenecen a la provincia de Zaragoza, siendo el 52% aproximadamente mujeres con una media de 47 años y, el resto hombres con una media de 44 años como se puede ver en la Figura 3 según el Instituto Aragonés de Estadística.



Figura 2. Comarcas de la provincia de Zaragoza. El norte se localiza en la Comarca Cinco Villas y, la escala del mapa es 1:100000. Fuente: Ecured

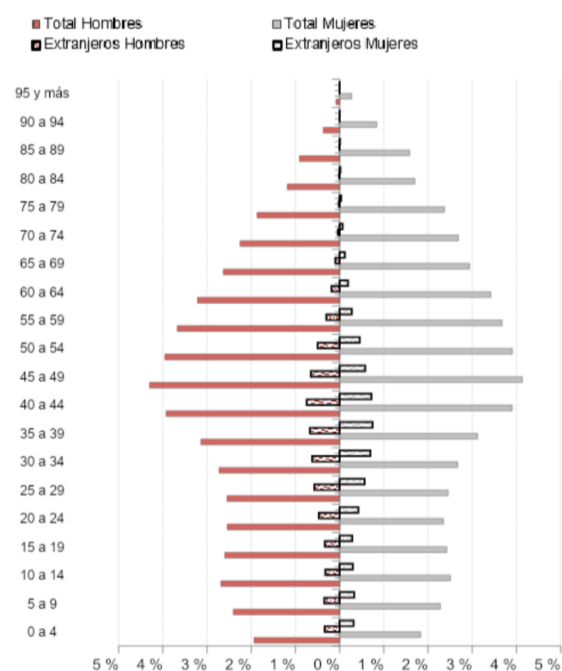


Figura 3. Pirámide de población de la provincia de Zaragoza en el año 2022. Fuente: Instituto Aragonés de Estadística

2.2 Topografía e Hidrología

La topografía del área de estudio se caracteriza por tres regiones biogeográficas: el sistema montañoso del Pirineo, la Depresión del Ebro y la Cordillera Ibérica. La Depresión central del Ebro se define por la aridez y el cierzo, mientras que, las zonas de la Ibérica y del Pirineo tienen un clima más húmedo y frío. La cota más alta la encontramos en el pico del Moncayo con 2314 m de altitud, mientras que el resto de la provincia sostiene valores entre 300-700 m sobre el nivel del mar (ICE Aragón, 2024). El Ebro es el río más caudaloso de la Península Ibérica, con picos en los meses de enero a marzo tal y como muestra la Figura 4, puesto que recoge las aguas de las vertientes norte ibérica y sur pirenaica.

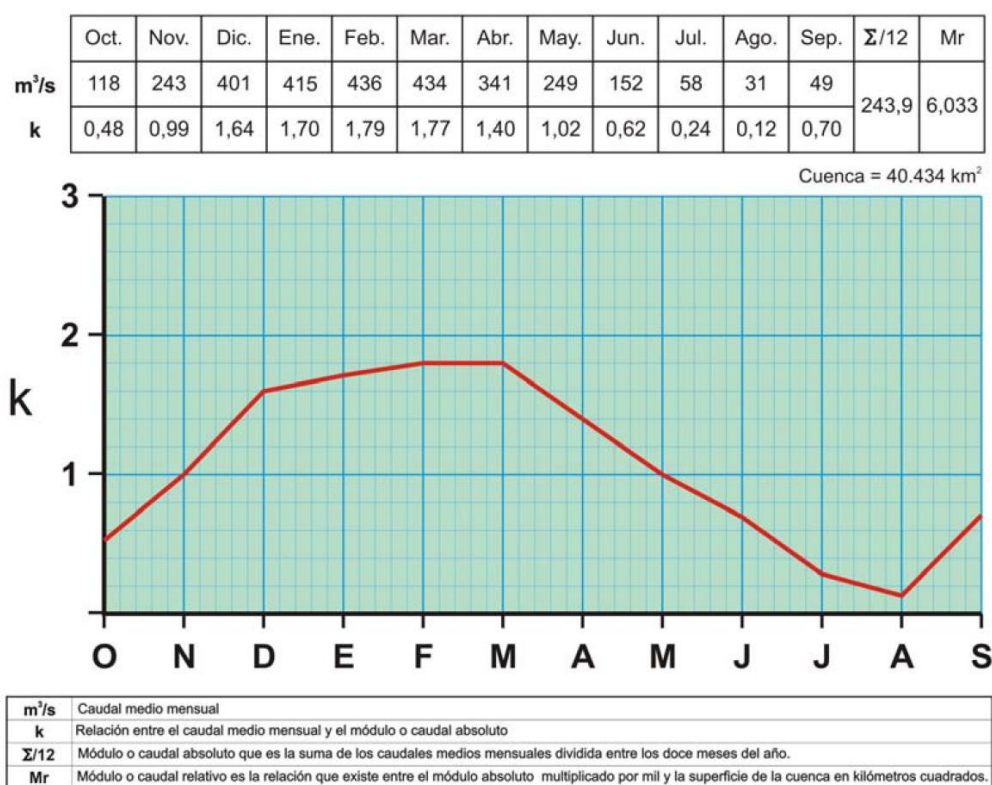


Figura 4. Río Ebro, Zaragoza. Fuente: Instituto Geográfico Nacional

La sequedad de los paisajes del sector central del Valle del Ebro constituye un rasgo característico condicionando tanto por el uso y ocupación del suelo por parte del hombre como la tipología de la vegetación y la geomorfología (Pellicer et al, 2008). La provincia de Zaragoza es en su mayor parte áreas de cultivos y pastos, el uso urbano/industrial se concentra en la capital de la provincia, en el municipio de Zaragoza, mientras que las áreas forestales y seminaturales se encuentran principalmente fuera de la Depresión del Ebro, como se muestra en la Figura 5 según los datos tomados del programa Corine Land Cover. La distribución espacial de la población de Aragón es muy desigual, existe una polarización entre el medio rural y el medio urbano. Aragón contaba con una densidad de población en torno

a 27,8 hab/km² en el año 2022, la provincia de Zaragoza en torno a 55,9 hab/km², mientras que Huesca y Teruel, 14,4 y 9,1 hab/km² respectivamente. Ambas características son consecuencia del éxodo rural que afectó tanto a la región, como al conjunto del país el siglo pasado. El entorno del Valle del Ebro es el eje socioeconómico más importante de la región, donde se concentra la mayor población. Otros ejes secundarios, donde hay importantes infraestructuras de transporte y asentamientos urbanos son el eje correspondiente a las autovías A-2 (Calatayud-Zaragoza-Fraga) y A-23 (Jaca-Huesca-Zaragoza-Teruel) o el eje conformado entre el Somontano de Barbastro y el Valle Cinca (Barbastro-Monzón-Binéfar-Fraga) (ICE Aragón, 2024).

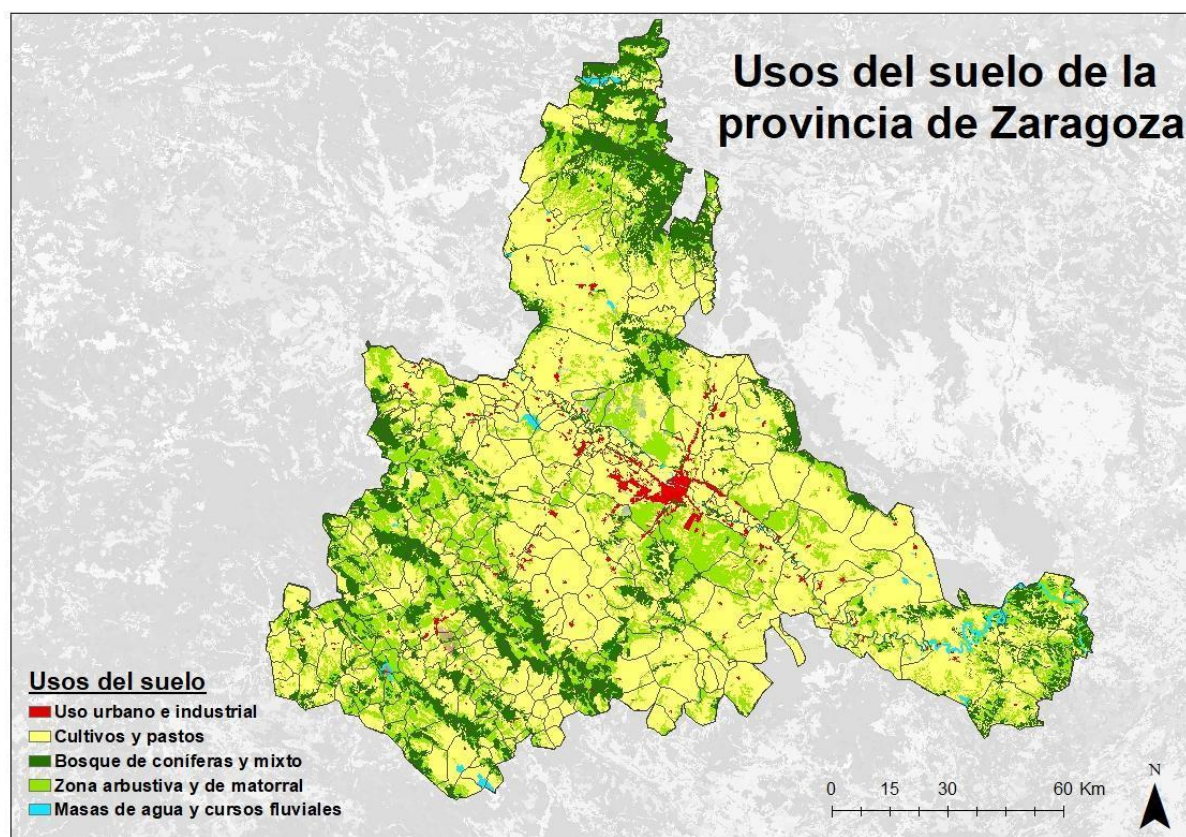


Figura 5. Clasificación de los usos del suelo en Zaragoza.

Fuente: Elaboración propia

2.3. Climatología

El clima de la provincia de Zaragoza es mediterráneo continental, caracterizado por escasas precipitaciones (320 mm anuales) y temperaturas en promedio moderadas (15,3 °C). El aumento de temperaturas en verano sitúa a la provincia de Zaragoza con medias que en julio y agosto llegan a superar los 25 °C y máximas absolutas que superan fácilmente los 35 °C. En invierno la situación térmica se invierte, condicionando las altas presiones y la presencia de frío intenso, con valores medios en enero alrededor de 5 °C. Son frecuentes las

heladas e inversiones térmicas que provocan la aparición de nieblas de irradiación. Las precipitaciones tienen sus picos en los meses de primavera y otoño (ICE Aragón, 2024). Además, en la capital de la provincia se suele dar máximos de temperaturas y escasas precipitaciones, en comparación con municipios más al norte y al oeste, donde destacan las precipitaciones. Una representación gráfica de estos valores medios de pluviosidad y temperatura de la provincia de Zaragoza son los climogramas que tenemos a continuación, realizados con los datos de valores normales disponibles, es decir, con promedios de 30 años. En la Figura 6, se representa el climograma del municipio de Zaragoza para el periodo 1981-2010. En la Figura 7, se representa el climograma del municipio de Calatayud, situado al oeste de la provincia, para el periodo 1961-1990. Por último, en la Figura 8, se representa el climograma del municipio de Ejea de los Caballeros, situado al norte de la provincia, para el periodo 1961-1990.

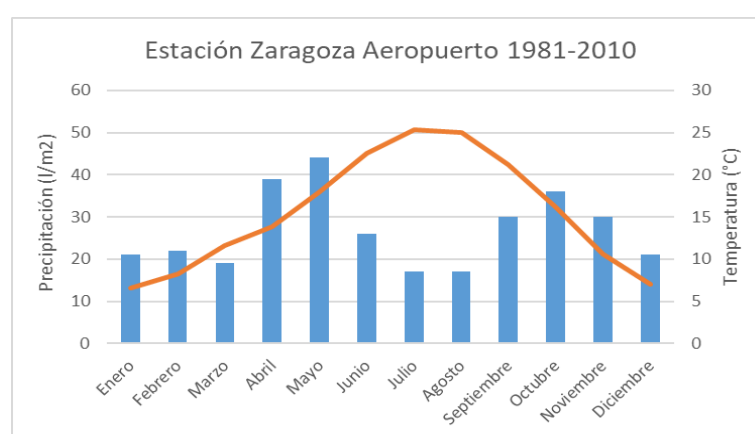


Figura 6. Climograma 1981-2010. Zaragoza, Aeropuerto.

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología

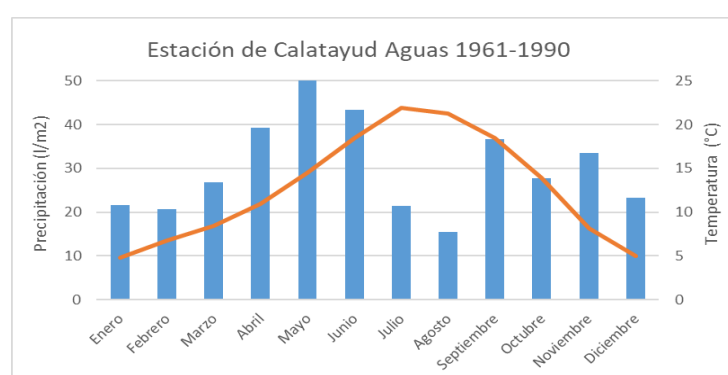


Figura 7. Climograma 1961-1990. Calatayud Aguas, Zaragoza.

Fuente: Instituto Aragonés de Estadística.

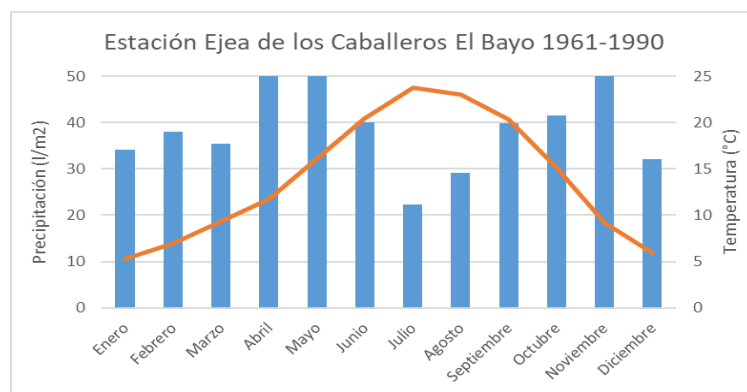


Figura 8. Climograma 1961-1990. Ejea de los Caballeros El Bayo, Zaragoza.

Fuente: Instituto Aragonés de Estadística

Además, según la Clasificación climática de Köppen-Geiger, prácticamente casi toda España queda incluida dentro del clima templado (identificado con la letra C) como podemos ver en la Figura 9, aunque también se diferencian zonas con clima seco (B) y con climas fríos (D). La mayor parte de la provincia de Zaragoza se encuentra dentro del grupo B, clima estepario frío (BSk), donde la tercera letra hace referencia a que la temperatura media anual no supera los 18 grados centígrados. Mientras que, al norte, oeste y suroeste de la provincia hay municipios dentro del grupo C, en concreto, pertenecientes al clima Cfa y Cfb, climas templados húmedos diferenciados por la tercera letra, temperatura media del mes más cálido superior a 22 grados (letra a) y temperatura media del mes más cálido inferior a 22 grados (letra b) (IGN, 2024).

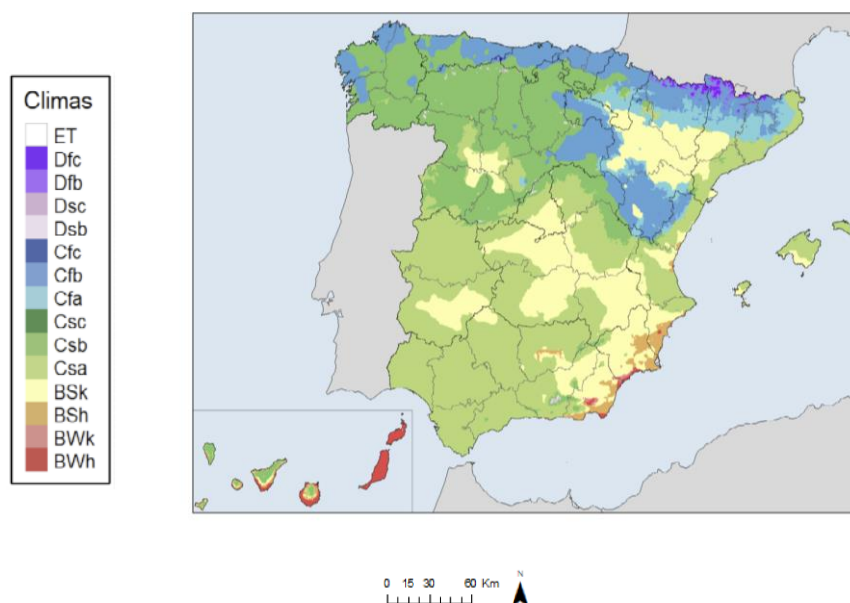


Figura 9. Clasificación climática de Köppen-Geiger (1991-2020).

Fuente: Instituto Geográfico Nacional

Actualmente, se ha implantado el plan de actuaciones preventivas por los efectos de las altas temperaturas sobre la salud en toda España por parte del Ministerio de Sanidad, con la novedad de la creación de 182 regiones isoclimáticas, uniformes en cuanto a patrones diarios de temperatura y avaladas por la Agencia Estatal de Meteorología. La finalidad es principalmente hacer que las alertas sean más eficaces, siendo que hasta ahora se tomaba la temperatura máxima de la capital de la provincia y está en muchas ocasiones no era representativa de toda la provincia.

El plan de actuaciones preventivas por temperaturas extremas en Aragón ha comenzado este 6 de mayo de 2024 con 9 zonas isoclimáticas como se muestra en la Figura 10. El Ministerio de Sanidad establece unos niveles de riesgo según las temperaturas previstas: verde, cuando son las esperadas; amarillo, entre 0 y 3,5 grados más; naranja, entre 3,5 y 7; y rojo, más de 7 grados (Gobierno de Aragón, 2024).

En la provincia de Zaragoza, encontramos tres zonas isoclimáticas: Ibérica zaragozana, Cinco Villas de Zaragoza y Ribera del Ebro de Zaragoza, cuyos umbrales de temperatura máxima son: 36,2 °C, 35,5 °C y 37 °C respectivamente, como se puede ver en la Figura 10 (Gobierno de Aragón, 2024). Como es lógico pensar, la zona de la Ribera del Ebro de Zaragoza, al incluir el término municipal de Zaragoza, tiene un umbral más alto que las otras dos zonas isoclimáticas, puesto que como podemos ver en la Figura 6, se dan las temperaturas más altas en la provincia. La topografía del Pirineo y del Prepirineo y la configuración de la Cordillera Ibérica hacen que en estas zonas las temperaturas sean más bajas, tal y como podemos ver en las Figuras 7 y 8, por lo que, los umbrales de temperatura máxima también son inferiores.

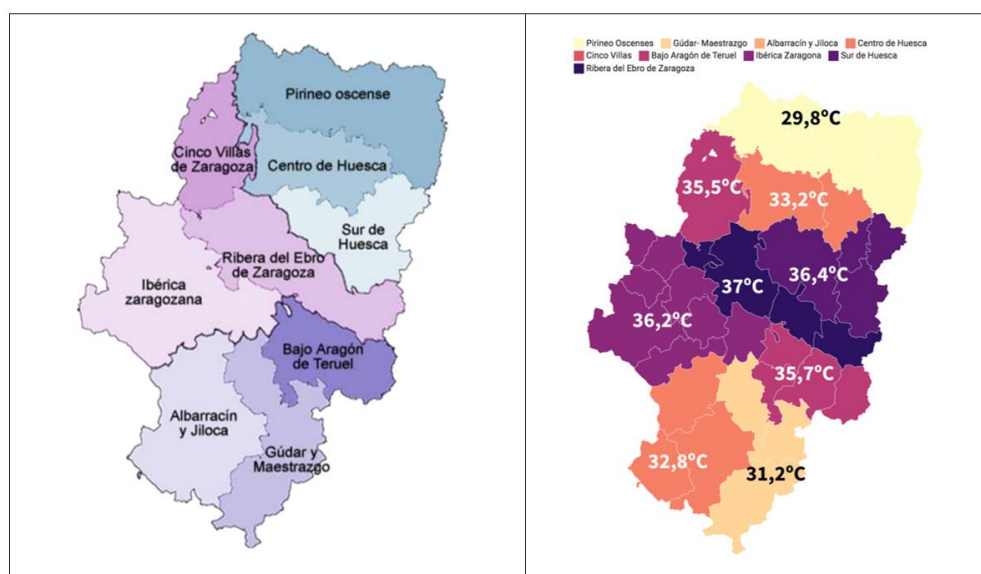


Figura 10. Zonas isoclimáticas de la Comunidad Autónoma de Aragón.

Fuente: Gobierno de Aragón y Heraldo de Aragón.

3. Metodología

Para cumplir con el objetivo general de este trabajo se ha llevado a cabo una estrategia basada en cuatro vías: búsqueda y revisión bibliográfica (COP 28, 2023), obtención de datos, cálculos estadísticos y de riesgo y, una representación cartográfica mediante el programa ArcMap (ArcGIS Desktop, 2024).

3.1 Obtención de datos

Los índices climáticos extremos para el periodo reciente (1988-2017) se adquirieron de la base de datos INDECIS, la cual forma parte del proyecto ERA4CS, iniciado por JPI Climate, que perfecciona los datos climáticos obtenidos de las estaciones de los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Europeos y crea índices climáticos. La base de datos INDECIS cuenta con una resolución espacial de 27,775 km². La base de datos INDECIS cuenta con 125 índices climáticos claves para temas como la gestión de la agricultura, la prevención de riesgos naturales o la energía (Base de datos Indecis Project, 2024).

Los índices climáticos extremos para el escenario futuro (2071-2100) se adquirieron de la base de datos EURO-CORDEX. Tiene una resolución espacial de 12,221 km². Es parte de la iniciativa internacional CORDEX, un programa patrocinado por el Programa Mundial de Investigación Climática (WRCP) para organizar un marco coordinado internacionalmente que produzca proyecciones regionales mejoradas del cambio climático para todas las regiones terrestres del mundo (Base de datos EURO-CORDEX, 2024).

Además, se han obtenido los datos de población total de cada municipio para el año 2017, final del periodo observado, en el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2024). Para finales de siglo se han usado los mismos, ya que en las proyecciones del INE no aparecen divididos por municipio. Los datos de población mayor de 65 años por municipio se han obtenido del Atlas de Aragón en porcentaje (ICE Aragón, 2024).

Finalmente, se seleccionaron 33 celdas correspondientes a la provincia de Zaragoza de la base de datos EURO-CORDEX solapados a la base de datos INDECIS. A cada municipio se le ha adjudicado los valores de los índices climáticos de las bases de datos INDECIS y EUROCORDEX mediante la operación “unir atributos por proximidad” de ArcMap según la celda más cercana correspondiente (Figura 11). De esta manera, se obtuvo para cada municipio el punto del centro de la celda correspondiente (Anexo 1).

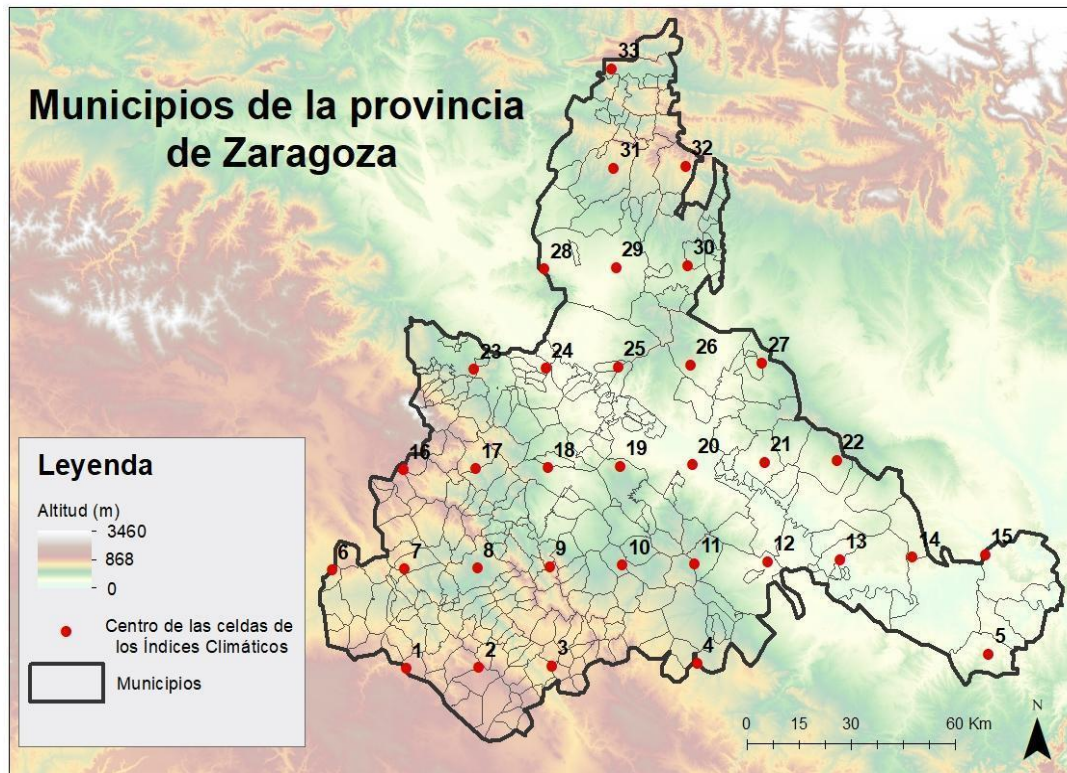


Figura 11. Mapa de los municipios de la provincia de Zaragoza. Fuente: Elaboración propia.

3.2 Cálculos estadísticos

En cuanto al procesamiento de datos, los estadísticos descriptivos y los estadísticos de tendencia se han llevado a cabo mediante el programa Microsoft Excel.

Respecto a los estadísticos descriptivos, se ha utilizado: la media aritmética (\bar{x}), también llamada promedio o media, es un concepto matemático usado en estadística. Se obtiene con la suma de un conjunto de valores dividida entre el número total de sumandos. Es un estadístico muy relevante al comparar varias series de datos. La media puede verse afectada por valores extremos en el conjunto de datos, por lo que, necesitamos calcular otros estadísticos (Calavera, 2023); la desviación típica (σ), también llamada desviación estándar, es una medida que se utiliza para cuantificar la variación o la dispersión de un conjunto de datos numéricos respecto a la media. Una desviación típica grande indica una mayor dispersión, mientras que una desviación típica pequeña indica que los valores tienden a agruparse cerca de la media. Las celdas con una menor desviación típica nos indican que el índice extremo estudiado es más estable a lo largo del tiempo (Calavera, 2023); el coeficiente de variación (CV), se obtiene de la división entre la desviación típica y la media de un mismo conjunto de datos. En cuanto a su interpretación, cuanto mayor sea el valor del CV, mayor será la variabilidad relativa en comparación con la media. Por último, el diagrama de caja;

también conocido como BoxPlot, es una representación gráfica de la distribución de un conjunto de datos. Los diagramas de cajas son útiles cuando se trabaja con conjuntos de datos grandes, proporciona una visión rápida de la posición central y la dispersión en un conjunto de datos.

Dentro de los estadísticos de tendencia, se ha utilizado un diagrama de dispersión o gráfico de dispersión, el cual utiliza las coordenadas cartesianas para mostrar los valores de dos variables para un conjunto de datos. Si existe un parámetro que no se ve afectado por otros factores, se le denomina variable independiente y habitualmente se representa a lo largo del eje horizontal (eje de las abscisas). La variable dependiente se representa a lo largo del eje vertical (eje de las ordenadas). Pueden existir varios tipos de correlaciones entre las variables con un intervalo de confianza determinado. En Ciencias Sociales se suele emplear el intervalo de confianza del 95%, es decir, dentro del rango dado se encuentra el valor real de un parámetro con 95% de certeza. Si queremos comprobar que los datos tengan una distribución normal, también conocida como distribución de Gauss, existen diferentes pruebas de normalidad. En este caso, el test de Shapiro-Wilks plantea la hipótesis nula de que una muestra proviene de una distribución normal y tenemos una hipótesis alternativa que sostiene que la distribución no es normal. Si el p-valor es menor a alfa (nivel de significancia 0,05) entonces la hipótesis nula es rechazada (se concluye que los datos no vienen de una distribución normal, es significativo).

En los diagramas de dispersión se puede dibujar una línea de ajuste (llamada también "línea de tendencia") cuya ecuación se define como: y (variable dependiente) = m (pendiente) x (variable independiente) + b (ordenada en el origen). La pendiente indica la cantidad en que se incrementa o disminuye el valor de la variable, cuando la aumenta una unidad.

El coeficiente de determinación, conocido más comúnmente como R-cuadrado (o R^2), evalúa la fuerza de la relación lineal entre dos variables (siempre que x aumenta en 1, y siempre aumenta en la misma constante), y es muy utilizado por los investigadores cuando realizan análisis de tendencias. Un R^2 igual a 1 significa un ajuste lineal perfecto. La correlación puede ser positiva (aumento), negativa (descenso), o nula (las variables no están correlacionadas) (Calavera, 2023).

3.3 Cálculo del riesgo térmico

Por último, se calculó el riesgo, el cual se define como la posibilidad de que un territorio y su sociedad puedan verse afectados por un fenómeno natural de carácter extraordinario (Ayala et al, 2007) tal y como se menciona en el apartado de la introducción y, que su ecuación viene dada por el producto de la peligrosidad natural (P) por la exposición (E) por la vulnerabilidad (V) (Abajo et al, 2023). El riesgo se obtuvo a partir de dos métodos aplicados

en cada uno de los dos índices considerados, para cada uno de los dos periodos temporales y para cada municipio. Diferenciando así el método 1 del método 2, puesto que los resultados del método 1 no reflejaban de igual manera las tres variables.

En el método 1, el cálculo del riesgo consistió en el producto de la población total de cada municipio / población total de la provincia en tanto por uno en el año 2017 (exposición), por la población mayor de 65 años en el año 2017 del municipio en tanto por uno (vulnerabilidad), por la media del índice climático para el periodo de estudio de ese municipio / 365 días en tanto por uno (peligrosidad media).

En el método 2, el cálculo del riesgo se ha hecho a partir de una reclasificación de las variables exposición (número de habitantes de cada municipio), vulnerabilidad (% de personas mayores de 65 años) y peligrosidad (media aritmética del índice), calculando el percentil 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 y 1 de cada variable y asignando valores del 1 al 5 respectivamente. Finalmente se ha multiplicado las variables reclasificadas y, de nuevo, para clasificar el riesgo cuantitativamente se ha calculado los mismos percentiles asignando el valor cualitativo correspondiente: Riesgo muy bajo (percentil 0-20%), Riesgo bajo (percentil 21-40%), Riesgo medio (41-60%), Riesgo alto (61-80%) y Riesgo muy alto (81-100%). Para indicar la tendencia en cada municipio, es decir, la pendiente del diagrama de dispersión de cada una de las celdas, se establecieron 2 clases para cada uno de los dos índices. Siendo la tendencia de descenso aquellos valores que estuvieran entre el valor mínimo para todo el índice y su mitad y, siendo la tendencia de incremento aquellos valores que estuvieran entre el valor máximo para todo el índice y su mitad.

4. Resultados y discusión

4.1. Exposición y vulnerabilidad del área de estudio

La población total en España en el 2017 según el Instituto Nacional de Estadística fue de 46.497.393 habitantes, en concreto, en la provincia de Zaragoza la cifra fue de 966.313 habitantes. Según el último censo, la población residente en España a 1 de enero de 2023 ascendió a 48.085.361 habitantes, el 87,3% de nacionalidad española y el 10,5% de nacionalidad extranjera, con un aumento de habitantes procedentes de Ucrania, Colombia y Perú (IAEST, 2024). Factores como las guerras políticas, la inseguridad alimentaria, la violación de los derechos humanos o los desastres naturales, son algunos de los principales motivos por los que se producen cada día más migraciones. La tendencia de crecimiento de la población en España se caracteriza por un crecimiento lento y desigual, con una baja tasa de natalidad y un significativo envejecimiento de la población. La inmigración ha sido un factor clave en el crecimiento de la población. Esta tendencia en la población de España se ve

reflejada de igual manera en la provincia de Zaragoza. En 2017, las cabeceras comarcales Calatayud (20.173 hab), Utebo (18.593 hab) y Ejea de los Caballeros (16.596 hab) concentran la mayor cantidad de habitantes junto con el término municipal de Zaragoza, que se sitúa en lo más alto con 664.938 habitantes, como se puede ver en la parte superior de la Figura 12. Le siguen municipios como Zuera, Tarazona, Caspe o Cuarte de Huerva. Sin embargo, municipios tales como Los Pintanos (37 hab) y Bagüés (11 hab) en las Cinco Villas o Balconchán (16 hab), municipio perteneciente a la Comarca del Campo de Daroca, son un claro ejemplo representativo de los pueblos de la España Vaciada. La transferencia de población y recursos de los espacios rurales a las grandes ciudades desde mediados del siglo XX dejó desamparados a muchos pueblos de España (Del Romero, 2018).

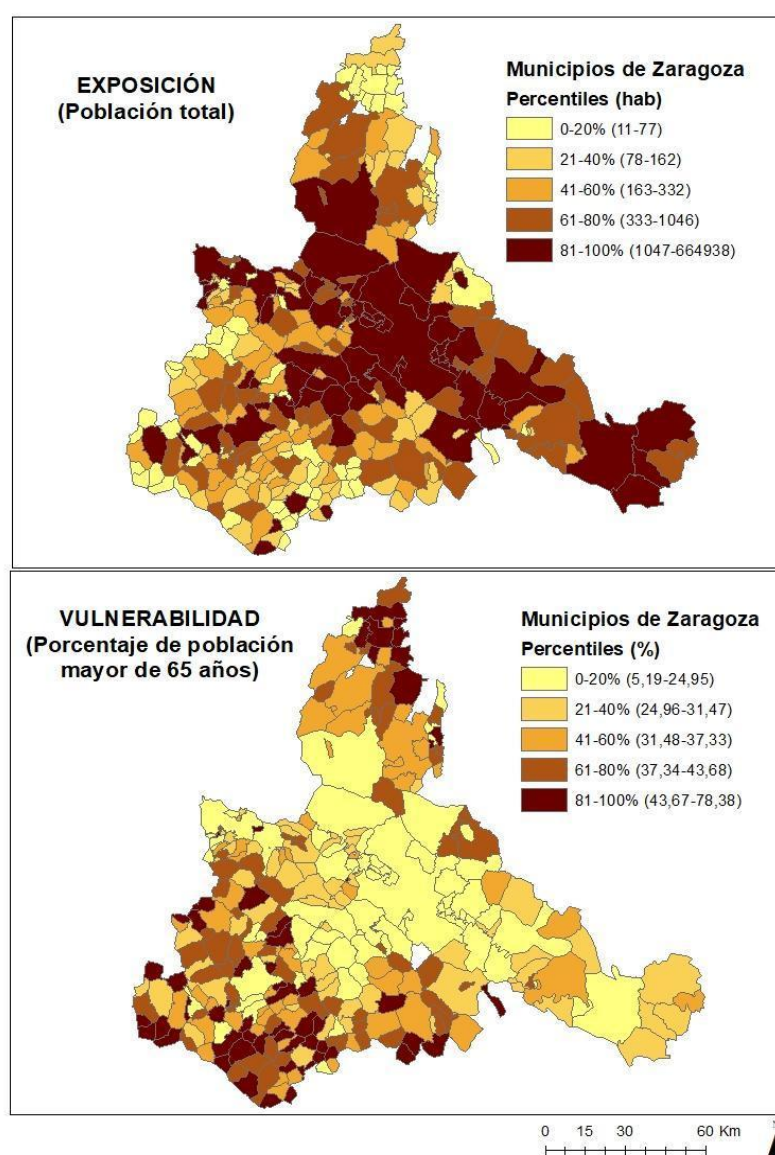


Figura 12. Mapa de exposición y vulnerabilidad en la provincia de Zaragoza.

Fuente: Elaboración propia

Las personas que mantuvieron las tradiciones y que pudieron seguir viviendo del campo son las que hoy en su mayoría representan la población de tercera edad. El mayor porcentaje de personas mayores de 65 años en el año 2017 se sitúa en el municipio de Los Pintanos con un 78%, en Bagüés del 55% y en Balconchán del 50% tal y como se puede ver en la Figura 12. Mientras que, aquellas ciudades que crecieron con la revolución industrial no están tan envejecidas: Zaragoza en el año 2017 tenía un 20% de personas mayores de 65 años. No obstante, el incremento de la esperanza de vida y la reducción de la tasa de natalidad en España supone un envejecimiento de la población más rápido. La esperanza de vida al nacer en 2020 se situó en 82,2 años, 85 en mujeres y 79,5 en hombres. Desde 2006, el número de años de vida saludable ha aumentado 2,6 años (3,5 en hombres y 1,7 en mujeres) (Regidor et al, 2022). Mientras que, la tasa bruta de natalidad en el año 2006 fue de 10,8 y en el año 2020 de 7,2 (Regidor et al, 2022).

4.2 Peligrosidad térmica

Respecto a la variable peligrosidad por días con heladas (FD), diferenciaremos el periodo escenario (años 2071-2100) del periodo observado (años 1988-2017) en la disminución de la media de días con heladas en todos los municipios (Anexo 2). Para el periodo observado, al sur de la provincia de Zaragoza y al oeste de la comarca de Aranda se registran el mayor número de días con heladas, mientras que, en el Campo de Borja, en la Ribera alta del Ebro, Valdejalón, la Comarca Central, Ribera baja del Ebro, Bajo Cinca y Bajo Aragón-Caspe se encuentra la media más baja. Los municipios situados en la Depresión del Ebro tienen menos días con heladas que los situados en el Prepirineo o en la Cordillera Ibérica como se puede ver en la parte central de la Figura 13. Los municipios que corresponden a la celda 13 de la Figura 11 del área de estudio pertenecen a la Ribera Baja del Ebro y son los que tienen menos días con heladas en el periodo observado y los que corresponden a la celda 1 de la Figura 11 del área de estudio corresponden a la Comunidad de Calatayud y son los que tienen más días con heladas. Por otro lado, para el escenario futuro, como es lógico en un escenario de cambio climático en el que la temperatura global aumenta, el número de días con heladas en general ha disminuido, como se puede ver en el Anexo 2. No obstante, se observa una distribución espacial similar en ambos periodos de tiempo. Aquellos que pertenecen a la celda 12 de la Figura 11 del área de estudio corresponden al Campo de Belchite y son los que tienen menos días con heladas para el periodo escenario. Para ambos periodos, los días con menos heladas se dan en la parte sureste de la provincia de Zaragoza. No obstante, para el periodo observado tal y como hemos dicho antes, los municipios que corresponden a la celda 1 son aquellos que tienen más días con heladas mientras que, para el periodo escenario son aquellos municipios que pertenecen a la celda 16 en la Comarca de Aranda.

Por otra parte, en cuanto a los diagramas de cajas del índice días con heladas, en el periodo observado (Anexo 2) se observa menos dispersión que para el periodo escenario, los valores de días con heladas observados no se alejan tanto de la mediana dentro de su respectivo conjunto de datos.

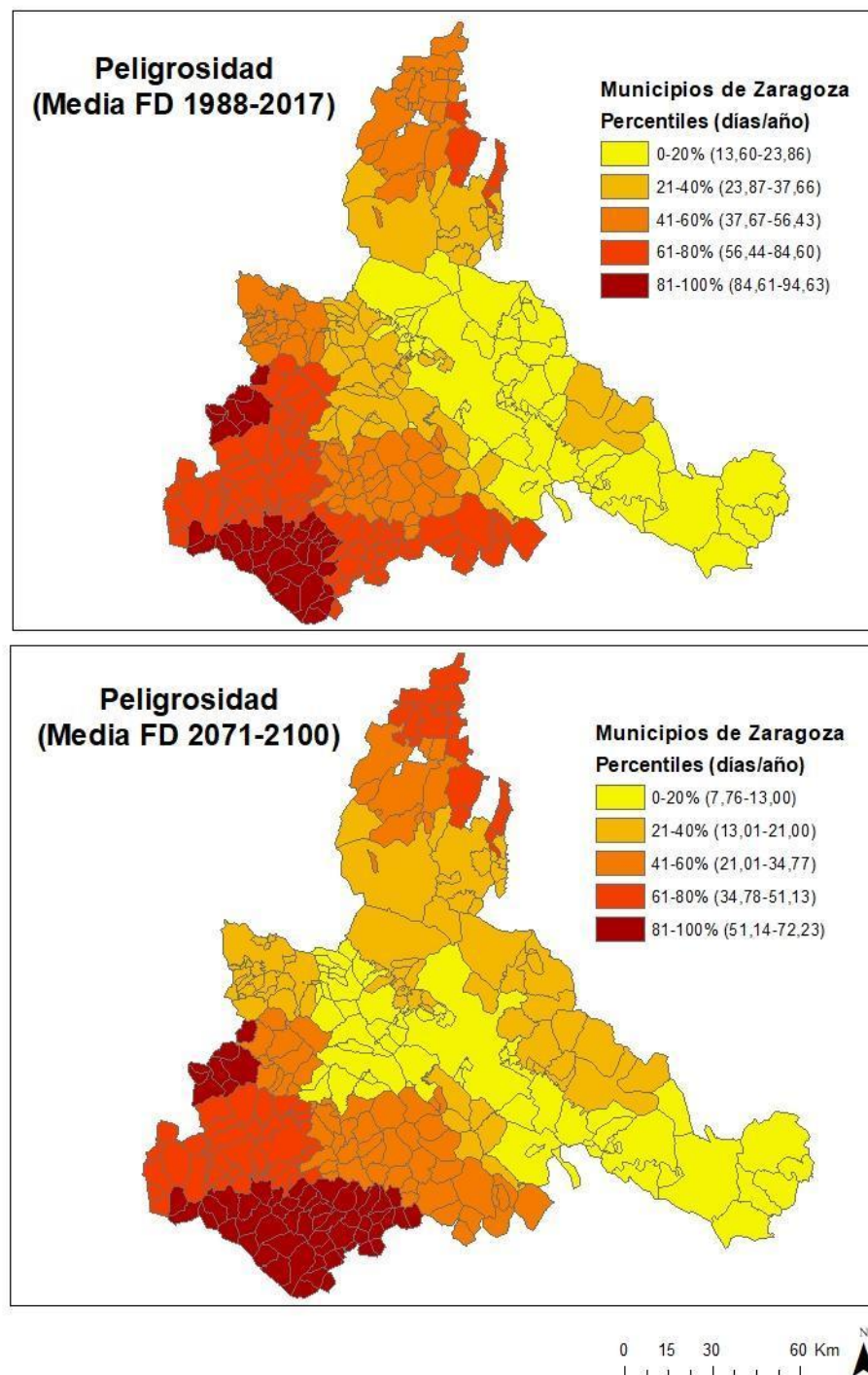


Figura 13. Mapa de peligrosidad FD en la provincia de Zaragoza.

Fuente: Elaboración propia

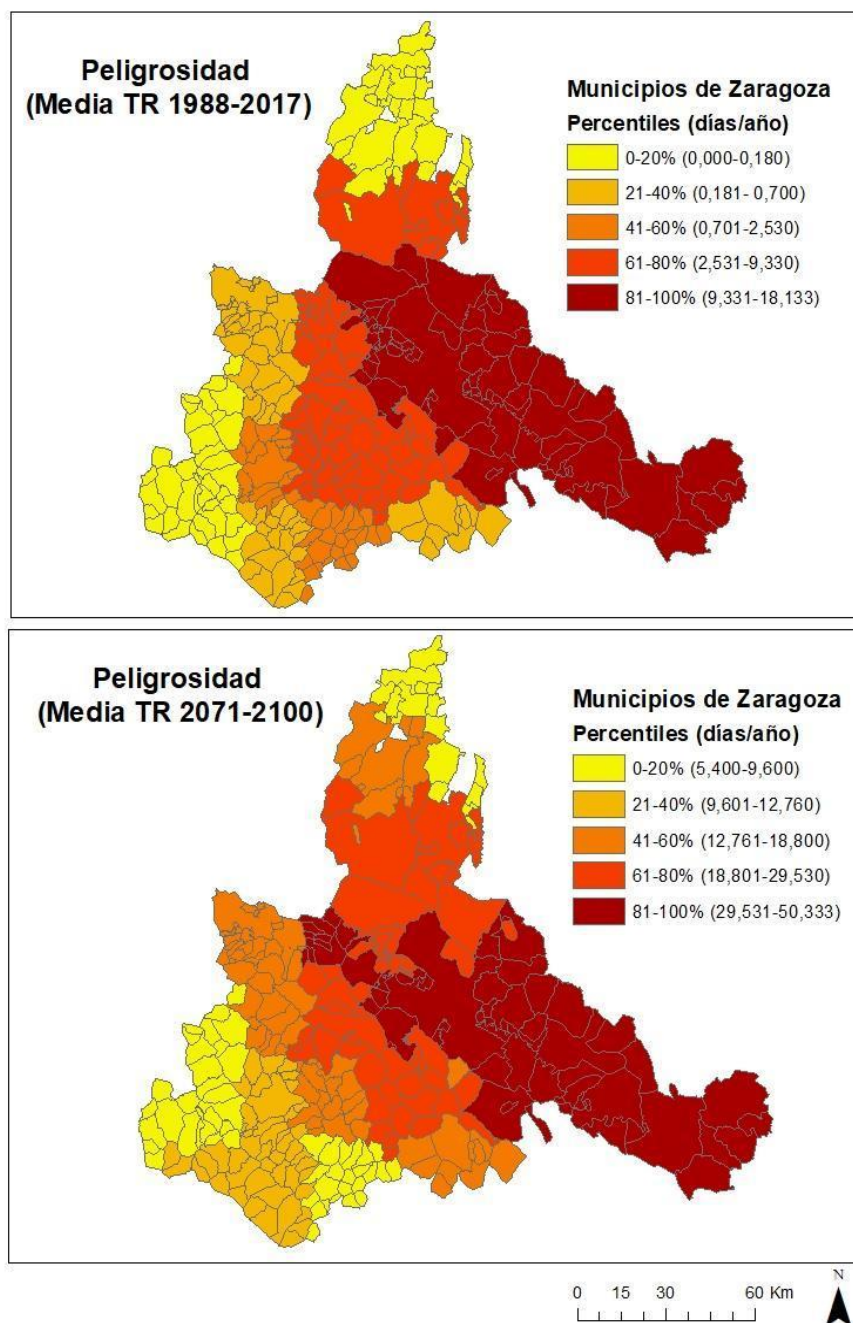


Figura 14. Mapa de peligrosidad TR en la provincia de Zaragoza.

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la variable peligrosidad por noches tropicales (TR), en el periodo escenario (2071-2100) se muestra un incremento de la media de noches tropicales en todos los municipios (Anexo 3) respecto al periodo observado (1988-2017). En la Figura 14, la Jacetania, Hoya de Huesca y oeste de la Comunidad de Calatayud y de Aranda, tienen una media muy baja para el periodo observado, mientras que, las comarcas con mayor número de noches tropicales serán la Comarca Central, los Monegros, Bajo Cinca, Bajo Aragón-Caspe y Ribera baja del Ebro. Los municipios situados en la Depresión del Ebro tienen más

noches tropicales que los situados en el Prepirineo o en la Cordillera Ibérica (Figura 14). Para el periodo escenario, con el incremento de temperaturas debido principalmente a las emisiones de gases de efecto invernadero, se espera un aumento de las noches tropicales en la mayoría de la provincia de Zaragoza. Cabe destacar, que los municipios que corresponden a la celda 16 del área de estudio en la Comarca de Aranda (Aranda de Moncayo, Berdejo, Bijuesca, Clarés de Ribota, Malanquilla, Torrelapaja, Pomer, Purujosa) en el periodo observado tenían una media de 0 noches tropicales, mientras que en el periodo escenario van a tener una media de 7 noches tropicales, lo que supone un incremento significativo. Y, los municipios que se encuentran en la celda 20, en la Comarca Central de Zaragoza, para el periodo observado son los que tuvieron un mayor número de noches tropicales, con una media de 18. En cambio, para el periodo escenario, los que se encuentran en la celda 13, Ribera baja del Ebro, son los que tendrán más noches tropicales con una media de 50, mientras que la Comarca Central de Zaragoza tendrá una media de 35. Por último, para el periodo escenario, los municipios que corresponden a la celda 33, la Jacetania, son los que tendrán un menor número de noches tropicales.

Por otra parte, en cuanto a los diagramas de cajas del índice Noches tropicales para ambos periodos de estudio (Anexo 3), los valores de noches tropicales son muy dispersos respecto a la mediana.

Esta reducción de los días con heladas para el periodo escenario que se ha visto en la Figura 13 podría ser consecuencia del desplazamiento de la circulación templada hacia latitudes más altas y del descenso en las advecciones polares (Cuadrat et al, 2014). Dicha reducción de días con heladas se puede comprobar en el municipio de Zaragoza, donde se ha ido observando el descenso desde el periodo 1931-1960 con 26 días comparado con el periodo 1991-2010 con 13 días (Cuadrat et al, 2014). También se puede notar la reducción en el periodo de estudio observado de este trabajo 1988-2017 en el municipio de Zaragoza con una media de 20 días y en el periodo escenario 2071-2100 con una media de 11 días. Además, en el estudio de (Calavera, 2023), para la provincia de Huesca, también se espera una reducción de los días con heladas en el periodo 2071-2100 respecto al periodo 1988-2017 en casi toda la provincia excepto en la zona este del Pirineo donde el número de días con heladas es mayor en el periodo futuro.

La tendencia en el periodo observado de días con heladas para la provincia de Zaragoza no es clara (Anexo 4), hay celdas cuyo gráfico de dispersión presenta una recta de ajuste con pendiente positiva, negativa y prácticamente igual a 0, aunque es más acusado el descenso que el aumento. No obstante, la tendencia dentro del periodo escenario es positiva como se puede ver en los gráficos de tendencia de cada celda en el Anexo 5, esto se puede explicar por el descenso de emisiones de CO₂ esperado a finales de siglo según el escenario

4.5 del IPCC (SSP2-4.5) representado en la Figura 1 en el apartado de justificación. A modo de ejemplo, la Figura 15 representa la tendencia positiva para el índice FD periodo escenario de los municipios que corresponden a la celda 17, en la Comarca de Aranda.

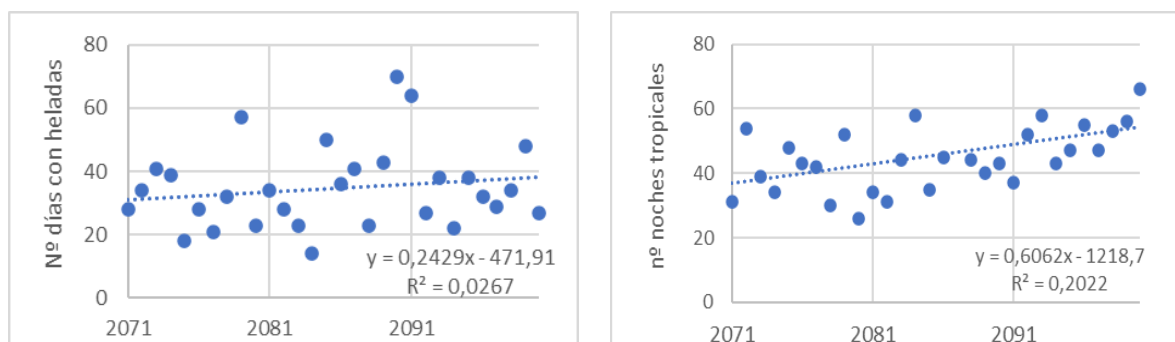


Figura 15. Diagrama de dispersión de la celda 17 (izquierda) del índice FD y la celda 14 (derecha) del índice TR para el periodo 2071-2100. Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, el aumento de noches tropicales para el periodo escenario que se ha visto en la Figura 14, podría ser debido al dominio anticiclónico responsable de las masas de aire saharianas y el aumento de las olas de calor que se están dando en la Península Ibérica desde el año 2000 (Cuadrat et al, 2014). En el municipio de Zaragoza, el aumento de noches tropicales ha sido muy significativo comparando el periodo 1901-1930 con 89 noches con las 386 noches tropicales del periodo 1991-2010 (Cuadrat et al, 2014). En este estudio, también se puede observar el aumento en la media de noches tropicales desde el periodo 1988-2017 y el periodo 2071-2100, con una media de 18 y 35 respectivamente. Además, en el estudio de (Calavera, 2023), también se espera un aumento de noches tropicales en la Provincia de Huesca en el periodo 2071-2100 respecto al periodo 1988-2017, cuyos incrementos más acusados se dan en la zona sur de la provincia.

La tendencia para el periodo observado de noches tropicales se basa en dos situaciones (Anexo 6): hay celdas cuyas noches tropicales se aproximan al valor 0 y celdas con noches tropicales prácticamente todos los años, en las que parece además que va en aumento conforme pasan los años. Para el escenario futuro, hay tendencia positiva en todas las celdas, como se puede ver en el Anexo 7. A modo de ejemplo, la Figura 15 representa la tendencia positiva para el índice TR periodo escenario de los municipios que corresponden a la celda 14, en el Bajo Aragón-Caspe.

Por último, si comparamos la peligrosidad por días con heladas de la peligrosidad por noches tropicales en el periodo 2071-2100, en general, aquellos municipios que vayan a tener más noches tropicales tendrán menos días con heladas y viceversa. Si lo relacionamos con las zonas isoclimáticas establecidas en la provincia de Zaragoza según el reciente plan de actuaciones preventivas por los efectos de las altas temperaturas sobre la salud, los

municipios establecidos en la zona de la Ibérica Zaragozaana y de las Cinco Villas, son aquellos que potencialmente tendrán más días con heladas, mientras que, los municipios dentro de la zona isoclimática de la Ribera del Ebro de Zaragoza, son aquellos que tendrán más noches tropicales y además, un umbral de temperatura de alerta más alto. Además, para el periodo escenario futuro, a lo largo de los 30 años, tanto los días con heladas como las noches tropicales, aumentan. Una posible explicación del aumento de los días con heladas podría ser lo que se menciona previamente, el esperado descenso de las emisiones de CO₂ a finales de siglo según el escenario 4.5 del IPCC (SSP2-4.5). No obstante, esta explicación requeriría un análisis más detallado, que queda fuera de los objetivos de este trabajo.

4.3 Riesgo térmico

4.3.1 Cálculo del riesgo térmico aplicando el método 1

Como podemos observar en la Figura 16, se ha calculado el riesgo de los dos índices para cada uno de los periodos estudiados mediante el primer método descrito en el apartado de 3.2 de metodología. El municipio de Zaragoza es el único con un riesgo muy alto para todos los casos. Si comparamos el índice FD 1988-2017 con el periodo 2071-2100, el riesgo alto se da en el municipio de Las Cuerlas, al sur de la provincia, para ambos periodos. El riesgo medio para el periodo observado se da en Tarazona, Calatayud y Ejea de los Caballeros, mientras que, para el periodo escenario se da únicamente en Calatayud. Y, el riesgo bajo y muy bajo, se da en el resto de la provincia para ambos periodos. Si comparamos el índice TR 1988-2017 con el periodo 2071-2100, en el primer periodo solo encontramos un riesgo alto en el municipio de Caspe, mientras que, para el segundo periodo de tiempo, encontramos riesgo alto en Caspe, Calatayud, Ejea de los Caballeros, Tauste y Las Cuerlas. Por último, el riesgo medio se concentra en la depresión del Ebro y, el riesgo bajo y muy bajo en la zona norte y suroeste de la provincia de Zaragoza para ambos periodos.

Estos resultados no representan las tres variables de la ecuación del riesgo de la misma manera, dan mayor importancia a la variable exposición en la fórmula para calcular el riesgo. Si comparamos la Figura 12 del apartado 4.1, que nos muestra la exposición en la provincia de Zaragoza con la Figura 16, encontramos que donde el riesgo es mayor, es debido a que son municipios que se encuentran dentro del Percentil 81-100% en la variable exposición. Finalmente, si comparamos la Figura 16, con cualquiera de los otros mapas anteriores no encontramos ningún patrón aparente, es por eso, que se decidió utilizar el método 2 para calcular el riesgo en cada uno de los municipios.

Mapa de Riesgos Naturales en la Provincia de Zaragoza

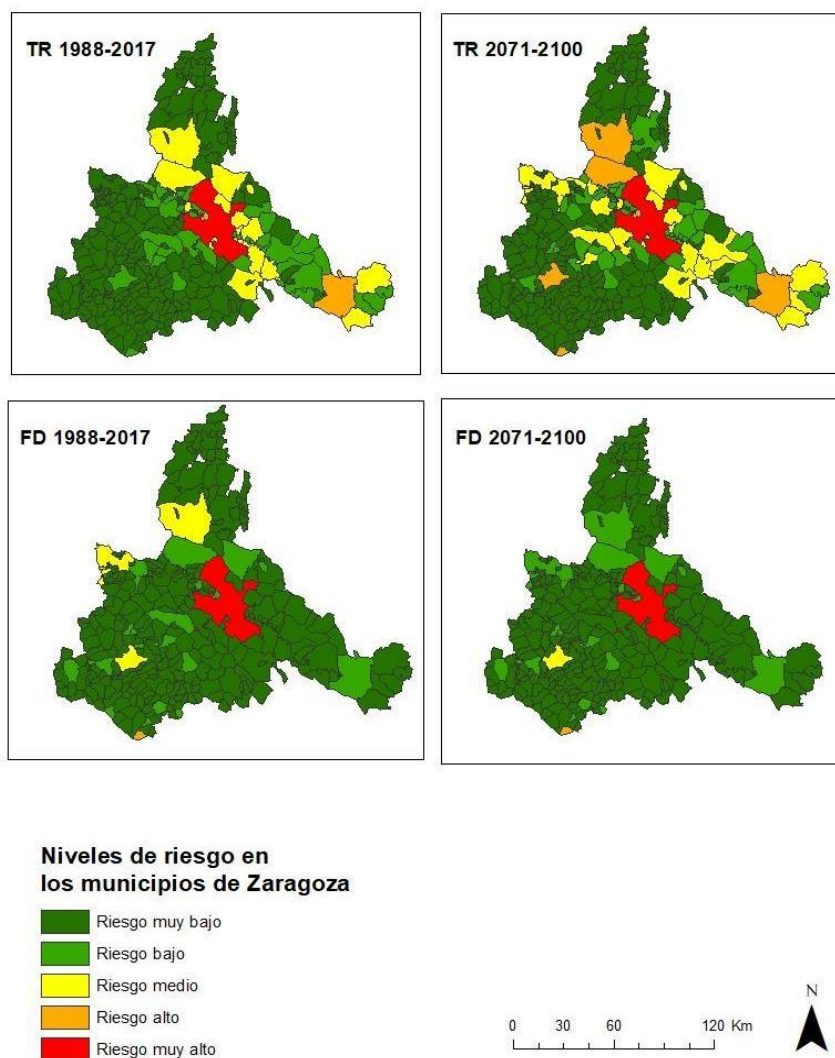


Figura 16. Mapa de Riesgos FD y TR Método 1. Fuente: Elaboración propia

4.3.2 Cálculo del riesgo térmico aplicando el método 2

En cuanto al índice FD periodo observado, en la Figura 17 podemos ver que el riesgo muy bajo y bajo predomina en el Valle del Ebro: municipios como Zaragoza, Zuera, Tauste o Caspe presentan un riesgo muy bajo debido al escaso número de días con heladas y a que su población no está muy envejecida. El municipio Cinco Olivas de la Ribera Baja del Ebro, es aquel que tiene un riesgo más bajo, puesto que a pesar de que el 25% sea población mayor de 65 años, tiene 112 habitantes y una media de 18 días con heladas en dicho periodo. Además, municipios como Fayón en la Comarca del Bajo Aragón-Caspe y Mequinenza en el Bajo Cinca, tienen un riesgo bajo, pero con una tendencia positiva. El riesgo medio, alto y muy alto se da en el Prepirineo y en los municipios cercanos al Sistema Ibérico. Dentro del riesgo medio, municipios como Purujosa o Torrehermosa en el sur de la provincia tienen una

tendencia positiva, mientras que, municipios como Sierra de Luna o Longás al norte de la provincia tienen una tendencia negativa. A esta tendencia decreciente, se le suman otros municipios de las Cinco Villas, que tienen además un riesgo alto por su población envejecida, tales como: Biel, Luesia, El Frago y Luna. Por último, los municipios con riesgo muy alto se encuentran en el sur de la provincia de Zaragoza, prevalece su población envejecida y las altas medias de días con heladas, además muchos de ellos, con tendencia positiva, como Fuentes de Jiloca en la Comunidad de Calatayud o Used en el Campo de Daroca, con medias de 87 en ambos casos. Las Cuerlas en el Campo de Daroca es el municipio con el riesgo más alto por su alta y envejecida población, de 12.862 habitantes el 52% personas mayores de 65 años y, por su alta media de 87. Le sigue el municipio de Cimballa en la Comunidad de Calatayud con 481 habitantes, de los cuales 44% envejecidos y 95 de media de días con heladas.

En cuanto al índice FD periodo escenario, en la Figura 17 podemos ver que el riesgo muy bajo y bajo se mantiene en el Valle del Ebro, con tendencias positivas en Fayón y Mequinenza y siendo el municipio de las Cinco Olivas el que tiene el riesgo más bajo. Por otro lado, el riesgo medio, alto y muy alto también se mantendrá en la zona norte y suroeste de la provincia y, en la mayoría de los casos con una tendencia positiva. Municipios como Farlete en los Monegros o Valmadrid en el Campo de Belchite, pasan de tener un riesgo bajo en el periodo observado a un riesgo medio en el periodo escenario, puesto que, a pesar de mantenerse o incluso aumentar en el número de días con heladas, para el periodo escenario alcanzan el umbral de riesgo medio. Municipios como Luna en las Cinco Villas o la Almolda en los Monegros pasan de tener un riesgo alto en el periodo observado a un riesgo medio en el periodo escenario futuro, debido a la reducción de los días con heladas. Municipios como Biel en las Cinco Villas, Sigüés en la Jacetania o Ariza en la Comunidad de Calatayud pasan de tener un riesgo alto en el periodo observado a un riesgo muy alto en el periodo escenario, puesto que, a pesar de la reducción de los días con heladas, para dicho periodo alcanzan los valores más altos. Y, otros municipios como Azuara y Lécera en el Campo de Belchite o Herrera de los Navarros en el Campo de Daroca pasan de tener un riesgo muy alto en el periodo observado a un riesgo alto en el periodo escenario, debido al descenso de los días con heladas. Por último, destacar que Las Cuerlas y Cimballa seguirán siendo los dos municipios situados en la frontera con Castilla la Mancha con el riesgo más alto de días con heladas para el periodo escenario.

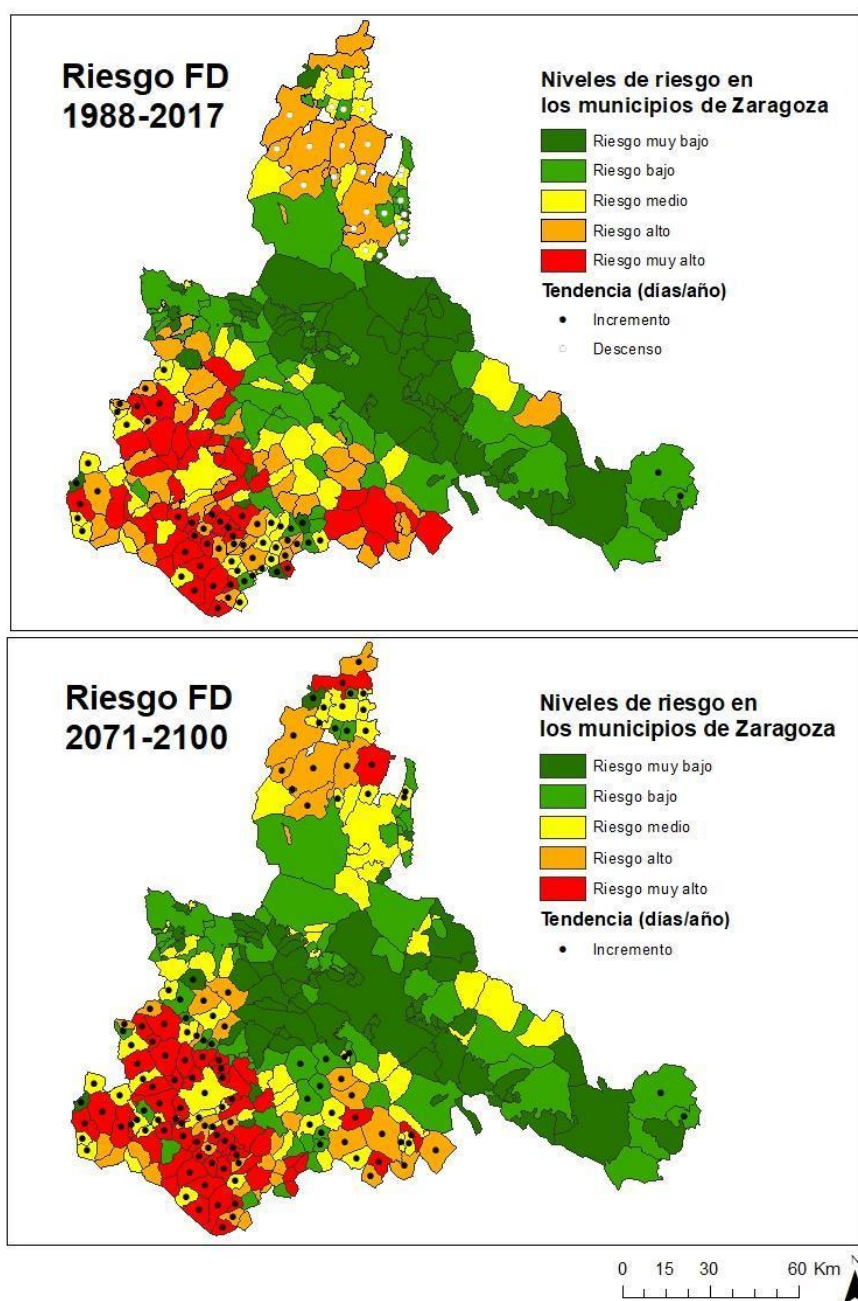


Figura 17. Mapa de Riesgo FD en la provincia de Zaragoza. Cada nivel de riesgo lleva asignado un color diferente y la tendencia está señalada con un círculo negro o blanco en función de si aumenta o disminuye tal y como se explica en el apartado 3.2

Metodología. Fuente: Elaboración propia

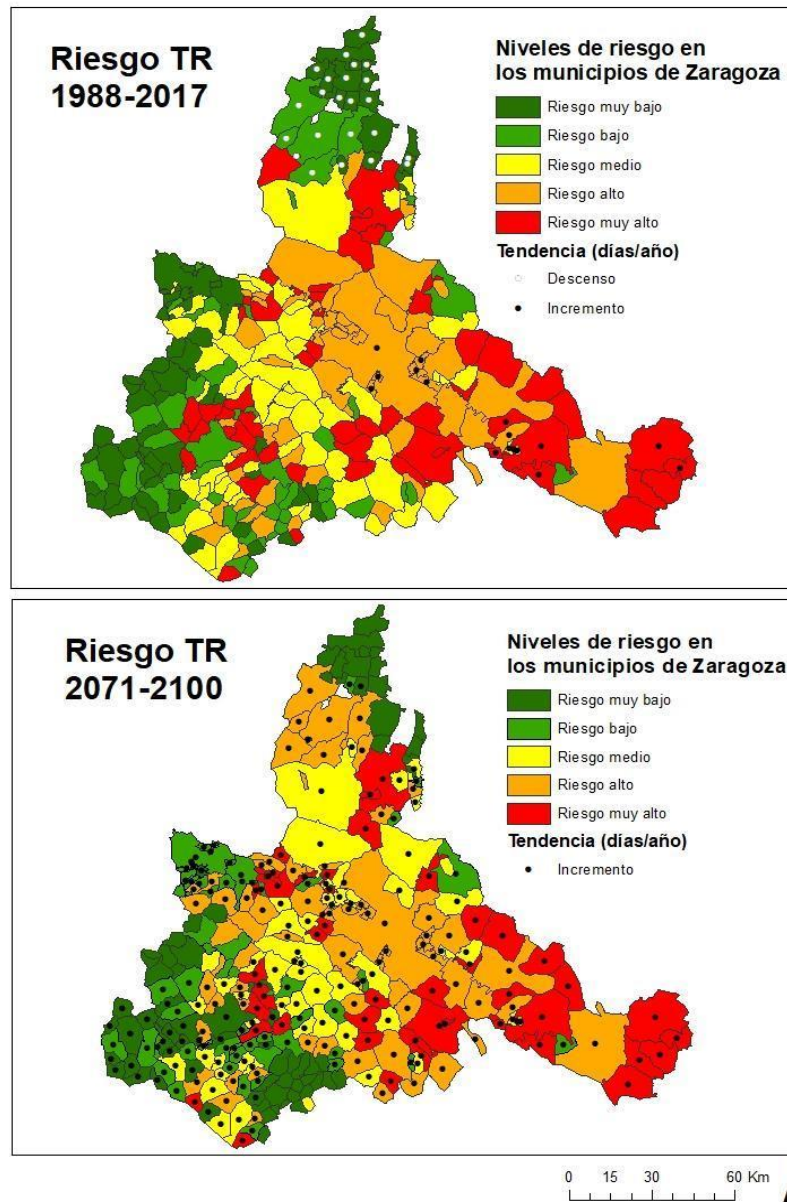


Figura 18. Mapa de Riesgo TR en la provincia de Zaragoza. Cada nivel de riesgo lleva asignado un color diferente y la tendencia está señalada con un círculo negro o blanco en función de si aumenta o disminuye tal y como se explica en el apartado 3.2

Metodología. Fuente: Elaboración propia

Respecto al índice TR periodo observado, en la Figura 18 podemos ver que los municipios situados en la Comarca de la Jacetania, en la Hoya de Huesca, en Tarazona y el Moncayo y, los municipios más situados en la frontera oeste de la provincia presentan un riesgo muy bajo. En concreto, el municipio Undués de Lerda, en la Comarca de las Cinco Villas, es el municipio con el riesgo más bajo, puesto que, tiene 59 habitantes, de los cuales, el 22% es población envejecida y, una peligrosidad baja de 0,100 noches tropicales en dicho periodo de tiempo. Los municipios próximos a aquellos que tienen un riesgo muy bajo,

presentan la siguiente categoría, riesgo bajo. Conforme nos adentramos en la zona centro de la provincia, nos acercamos a los municipios con un riesgo medio, como lo puede ser Ejea de los Caballeros, con una población alta 16.596 habitantes en el año 2017, de los cuales, el 19% es población envejecida y con una media de 4 noches tropicales al año. El riesgo alto se da en el Valle del Ebro: en municipios como Zaragoza, además de tener un riesgo alto por su elevada población y su media de 18 noches tropicales, se ha visto un incremento en la tendencia de 0,376. Por último, los municipios con riesgo muy alto se encuentran repartidos por toda la provincia, puesto que al menos dos de las tres variables son altas. Algunos ejemplos son: Las Cuerlas en el Campo de Daroca, Terrer y El Frasno en la Comunidad de Calatayud, Magallón en el Campo de Borja, Leciñena en los Monegros, Sástago en la Ribera baja del Ebro y Mequinenza en el Bajo Cinca. Las Cuerlas es un municipio con muchos habitantes (12.862), una población envejecida (52%) y con una media leve (0,367), al tener, una exposición y una vulnerabilidad alta, aunque la peligrosidad sea baja, existe un riesgo muy alto para estas personas. El municipio de Magallón tiene mucha población y aunque sea poco envejecida, tiene una media de 6. Los municipios de Sástago y Mequinenza además de tener un riesgo muy alto debido al número de habitantes y a la media de noches tropicales, tienen una tendencia positiva de 0,303 y 0,335 respectivamente. Hay que destacar que, El Frasno, es el municipio en la cabecera de la categoría riesgo muy alto, puesto que sus variables están equilibradas, tiene 386 habitantes, de los cuales, el 39% es población envejecida, y una media de 3.

Respecto al índice TR periodo escenario, en la Figura 18 podemos ver que los municipios situados en la Comarca de la Jacetania, en la Hoya de Huesca, en el Campo de Daroca y en la frontera oeste, tienen un riesgo muy bajo. No obstante, la gran mayoría de municipios de la frontera oeste tienen una tendencia positiva, tales como: Ariza, Calatayud y Ateca. Undués de Lerda sigue siendo el municipio con el riesgo más bajo dentro de esta primera categoría. El riesgo bajo se concentra en la comarca de Tarazona y el Moncayo y en algunos municipios como Leciñena o Chiprana más al este de la provincia. Todos ellos, con un incremento en la tendencia de número de noches tropicales en el periodo escenario. El riesgo medio, alto y muy alto se concentra en la depresión del Ebro, cuyas categorías están muy repartidas por el territorio, aunque tienen en común, la tendencia positiva en el número de noches tropicales para este periodo. Dentro del riesgo medio, cabe destacar municipios como Ejea de los Caballeros, Tauste o Zuera, con elevada exposición y una media alta, pero, una población poco envejecida, 19% de personas mayores de 65 años, 22% y 15% respectivamente. Respecto al riesgo alto, Zaragoza sigue manteniendo su posición en referencia al primer periodo de tiempo, junto con municipios como Caspe, con una población de 9,491 habitantes en el año 2017, de los cuales el 20% envejecidos y una media de 45,63

noches tropicales. Por último, el riesgo muy alto se sigue concentrando en el Bajo Cinca como en el periodo observado y en municipios como, Luna o Belchite, donde el número de población es representativo a pesar de que no está tan envejecida la población. Aguilón en el Campo de Cariñena, Arándiga en la Comunidad de Calatayud, la Almolda y Farlete en los Monegros, Fayón en el Bajo Aragón-Caspe, Novillas en el Campo de Borja y Sástago en la Ribera Baja del Ebro, son los municipios con más riesgo dentro de esta categoría, los dos primeros por el peso de la población envejecida y, los cinco últimos por presentar una media alta para dicho periodo.

Si comparamos el índice FD con el índice TR, los municipios que se encuentran en el Valle del Ebro son más propensos a sufrir noches tropicales, mientras que, los que se encuentran en el Prepirineo y cerca del Sistema Ibérico, son más propensos a tener días con heladas. Aunque, hay municipios como Moyuela en el Campo de Belchite, Cimballa en la Comunidad de Calatayud o Las Cuerlas en el Campo de Daroca, que tienen un riesgo muy alto en el periodo escenario tanto de noches tropicales como de días con heladas. Y, municipios como Pozuel de Ariza en Calatayud y Undués de Lerda en las Cinco Villas con riesgo muy bajo en el periodo escenario en ambos índices.

Tras haber calculado el riesgo en cada uno de los municipios de la provincia de Zaragoza por días con heladas tanto en el periodo observado como en el periodo escenario y por noches tropicales en el periodo observado y en el periodo escenario, se ha obtenido que para el índice TR la cantidad de municipios con riesgo muy bajo es mayor que la cantidad de municipios con riesgo muy alto en los dos periodos de tiempo. En el índice TR observado, el riesgo medio es el segundo más abundante después del riesgo muy bajo y, en el escenario, habrá 69 municipios con riesgo alto mientras que 72 con riesgo muy bajo, prácticamente, el mismo número para los dos extremos. Por otro lado, en el índice FD observado, el número de municipios con riesgo alto es mayor por la diferencia de dos que el número de municipios con riesgo muy bajo y para, el escenario, el número de municipios con riesgo medio es mayor que el número de municipios con riesgo muy bajo, dicha información la podemos ver en la Tabla 2. Estos resultados difieren de los obtenidos con el método 1, puesto que, con este segundo método, se tienen en cuenta las tres variables de igual manera, dado que se ha hecho una reclasificación para darles el mismo peso en la ecuación del riesgo.

TR OBS	Municipios	TR ESC	Municipios	FD OBS	Municipios	FD ESC	Municipios
Riesgo alto	55	Riesgo alto	69	Riesgo alto	65	Riesgo alto	38
Riesgo bajo	52	Riesgo bajo	54	Riesgo bajo	59	Riesgo bajo	63
Riesgo medio	64	Riesgo medio	54	Riesgo medio	58	Riesgo medio	70
Riesgo muy alto	53	Riesgo muy alto	44	Riesgo muy alto	48	Riesgo muy alto	56
Riesgo muy bajo	69	Riesgo muy bajo	72	Riesgo muy bajo	63	Riesgo muy bajo	66

Tabla 2. Niveles de riesgo del índice FD y TR en los periodos 1988-2017 / 2071-2100.

Fuente: Elaboración propia

Por último, se analiza la metodología utilizada en otros estudios para calcular el riesgo y poder compararla con el presente estudio. En el trabajo de (Rodríguez, 2018), el riesgo ha sido calculado en base al peligro de datos de racha máxima de viento correspondientes a la estación meteorológica del Aeropuerto de Zaragoza, en el intervalo de años 2013-2017, multiplicado por la vulnerabilidad (zonas públicas y núcleos urbanos). No ha utilizado la variable exposición. Y, en el trabajo de (Montalvo et al, 2021), se ha clasificado el riesgo según el aumento de la frecuencia de olas de calor entre los periodos 1961-1989 y 1991-2019, el número de personas total y la vulnerabilidad según la población de personas mayores de 65 años en cada municipio de España, categorizando el riesgo en seis clases (muy bajo, bajo, moderado, alto, alto-extremo y extremo) y obteniendo que Zaragoza tiene un riesgo extremo, Calatayud y Ejea de los Caballeros un riesgo alto-extremo, Caspe un riesgo alto, Fuentes de Ebro y Épila un riesgo moderado y el resto de municipios de la provincia de Zaragoza un riesgo bajo. Dichos resultados pueden explicarse por la relevancia del peso de la exposición en la ecuación del riesgo.

4.4 Trabajos futuros

En este estudio se ha analizado la vulnerabilidad del riesgo sobre aquellas personas mayores de 65 años por los efectos sobre la salud (mortalidad y morbilidad), pero, los estudios futuros que quieran analizar únicamente la mortalidad relacionada con el calor deberían considerar solamente el análisis de personas de 70 años o mayores según se ha visto en el estudio de (Xu et al, 2013). El calor extremo puede agravar enfermedades neurodegenerativas como el Parkinson, Demencia y Alzheimer, enfermedades crónicas como la Diabetes o la Obesidad, enfermedades cardiovasculares y respiratorias y contraer calambres, deshidratación, insolación, golpe de calor o insomnio en la población (Linares et al, 2017). Por otro lado, los daños por nevada o helada producen un aumento en las infecciones respiratorias agudas (IRAS), el congelamiento de la piel y la hipotermia (Ramírez et al, 2021). Otra opción, podría ser tomar como variable de vulnerabilidad el género de las personas, las mujeres embarazadas, los niños menores de cinco años, las personas sin techo, las personas que consumen alcohol o drogas o las personas turistas (Cannata, 2018).

Para futuras investigaciones, se puede modificar la variable peligrosidad, sustituyéndola por otros índices de peligrosidad (días secos, días húmedos) o por fenómenos como el efecto de la isla de calor urbana o la contaminación atmosférica ya que, las madrugadas de invierno en la Depresión del Ebro con la influencia del anticiclón de las Azores, tienen un gradiente térmico ambiental positivo, es decir, una inversión térmica, que genera una situación de gran estabilidad, lo cual hace que se acumulen los contaminantes que puedan existir en la atmósfera cerca de la superficie terrestre (Encinas, 2011). En cuanto a la exposición, se

podría analizar el riesgo al medio ambiente y a los usos del suelo en vez de hablar sobre la población total de cada municipio. Algunos de los efectos asociados al medio ambiente por el aumento de temperaturas son los incendios de sexta generación, estos hacen referencia a aquellos que exceden del control de su extinción debido a la alta intensidad, velocidad e imprevisibilidad y cuya frecuencia podría aumentar por el abandono rural y el incremento de temperaturas. El incremento de la escasez hídrica que a su vez está relacionado con el incremento de las temperaturas globales. Cambios en el comportamiento animal, en la calidad del suelo, en los productos que se pueden cosechar y en los rendimientos de hasta un 80% son otros de los efectos causados por el incremento de temperaturas y las heladas (ONU, 2023). Además, se puede calcular el riesgo de noches tropicales y días con heladas sobre cualquier otra área de estudio sujeto de interés.

5. Conclusiones

El análisis espacial y temporal de los índices TR y FD en cada uno de los municipios de la provincia de Zaragoza tanto para el periodo observado 1988-2017 como para el periodo escenario 2071-2100 y, a su vez, la representación cartográfica de los resultados obtenidos tras haber calculado el riesgo ayuda a visualizar dónde hay mayor y menor riesgo en la provincia de Zaragoza para cualquiera de los dos periodos, cumpliendo así los objetivos del presente estudio 5 y 6 que engloban al resto. Además, ayuda a entender qué efectos pueden desencadenar sobre la sociedad, economía y medio ambiente y a mejorar en términos de prevención de riesgos y en futuras investigaciones.

El estudio de la variable exposición en el análisis del riesgo, se realizó a partir del número de habitantes por municipios, lo que permitió determinar cuáles son los municipios con un alto número de habitantes, frente a municipios con escasa población. Es evidente que, las personas se concentran en aquellos municipios que ofrecen la mayor cantidad de servicios y de puestos de trabajo, destacando así municipios como la capital de la provincia o capitales comarcales. Dejando a un lado, municipios que a pesar de encontrarse en muchos casos en el área de influencia de los que tienen mayor población, se han visto afectados por una notable reducción de personas que habitan en ellos desde el éxodo rural del siglo pasado en España.

El estudio de la variable vulnerabilidad expresado por personas mayores de 65 años en cada municipio, indica que aquellos municipios que crecieron con la Revolución Industrial como el municipio de Zaragoza, Calatayud y Ejea de los Caballeros están menos envejecidos que los que se vieron afectados por el éxodo rural. Además, factores como el incremento de la esperanza de vida en España y la baja tasa de natalidad, contribuyen a que dichos municipios cada vez están más envejecidos.

El estudio de la variable peligrosidad de los índices días con heladas y noches tropicales en los periodos observado y escenario en cada municipio de la provincia, ha permitido reafirmar en este contexto de cambio climático que, en el periodo escenario habrá menos días con heladas y más noches tropicales debido principalmente al aumento de las temperaturas. No obstante, cabe destacar que, para ambos índices en dicho periodo existe una tendencia positiva. La distribución espacial es similar en ambos periodos de tiempo tanto para el índice TR como para el FD. Debido a factores topográficos y climatológicos, en la Depresión del Ebro, hay menos días con heladas y más noches tropicales, mientras que, en el Prepirineo y en la Cordillera ibérica se da la situación inversa.

Finalmente, tras haber calculado el riesgo en cada uno de los municipios con el Método 1 y, descubrir que, la variable exposición tenía un mayor peso en la ecuación del riesgo que el resto, se ha aplicado el Método 2 proporcionando el mismo valor a cada una de las variables realizando una reclasificación. La categoría que predomina para el índice FD periodo observado es riesgo alto, mientras que para el periodo escenario se trata de riesgo medio. Para ambos periodos de este índice el municipio de Cinco Olivas en la Ribera Baja del Ebro es aquel con el riesgo más bajo y Las Cuerlas en el Campo de Daroca aquel con el riesgo más alto. La categoría que predomina para el índice TR tanto en el periodo 1988-2017 como en 2071-2100 es el riesgo muy bajo, siendo el municipio de Undués de Lerda en las Cinco Villas el que tiene el riesgo más bajo en esta categoría para ambos periodos. El riesgo muy alto para este índice se encuentra repartido por toda la provincia.

La comparación entre el riesgo por FD y por TR, en rasgos generales, muestra que aquellos municipios que tienen mayor riesgo por uno de los dos eventos extremos suelen tener menor riesgo por el otro, como era de esperar. No obstante, hay municipios con el riesgo muy alto para ambos índices en el periodo escenario por su elevada exposición y vulnerabilidad, tales como Moyuela en el Campo de Belchite, Cimballa en la Comunidad de Calatayud o Las Cuerlas en el Campo de Daroca y también, municipios con el riesgo muy bajo por su escasa exposición y vulnerabilidad, tales como Pozuel de Ariza en Calatayud y Undués de Lerda en las Cinco Villas.

Por último, algunas de las líneas de acción para prevenir el aumento de la temperatura y con ello, los riesgos por noches tropicales o por días con heladas a escala municipal son: movilidad sostenible, productos de kilómetro cero, sistemas de suministro energético más sostenibles y gestión de residuos para reducir las emisiones de CO₂. Sistemas de advertencia al calor y frío extremo, habilitando espacios para mitigar el calor en verano incluidos los corredores verdes en las ciudades. Educación ambiental, como se está haciendo en el municipio de Zaragoza a través de paseos guiados urbanos para aprender sobre la adaptación al cambio climático, iniciativa dentro del Plan de Adaptación al Cambio Climático

en Zaragoza (PACCZ) 2021-2030, que a su vez está dentro del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) 2021-2030. Y, trabajar en la necesidad de mejorar sobre los planes de respuesta para olas de calor y frío, tal y como se está haciendo a través del Plan de actuaciones preventivas por temperaturas extremas en Aragón 2024.

6. Bibliografía

Abajo, B, Navarro, D, García, G, Zorita, S, Feliu, E, Klett, P, Sánchez, M, Heras, F. (2023). *Guía para la evaluación de riesgos asociados al cambio climático*. Madrid: MITECO.

Agencia Estatal de Meteorología. (2024). Valores climatológicos normales 1981-2010. Zaragoza, Aeropuerto.

ArcGIS for Desktop. (2024). ArcMap Versión 10.7.1.

Ayala, F.J, Olcina, J, Laín, L, González, A. (2007). *Riesgos naturales y desarrollo sostenible: impacto, predicción y mitigación*. Instituto Geológico y Minero de España.

Base de datos EURO-CORDEX. (2024).

Base de datos Indecis Project. (2024).

Caballero, M, Lozano, S, Ortega, B. (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. Instituto de Geofísica. *Revista digital Universitaria*.

Calavera, A. (2023). *Estudio de la evolución espacio-temporal de los índices de temperatura y precipitación extrema en la provincia de Huesca, España, en el periodo 1988-2100*. Huesca.

Cannata Pechs, J. I. (2018). *Evaluación de la vulnerabilidad de la población al calor extremo en el área metropolitana de Barcelona*.

Cantos, J. O. (2009). Cambio climático y riesgos climáticos en España. *Investigaciones Geográficas*, 197-220.

Cuadrat, J, Saz M.G, Serrano R, Tejedor, E. (2014). *EL CLIMA DEL TÉRMINO MUNICIPAL DE ZARAGOZA EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO GLOBAL*. Zaragoza.

Cumbre mundial de acción por el clima, (COP 28). 2023.

Del Romero, L. (2018). *Despoblación y abandono de la España rural. El imposible vencido*. Tirant.

Duarte, Carlos M. (2006). Cambio Global. Impacto de la Actividad Humana sobre el Sistema Tierra. *Colección divulgación*, 3-167.

Encinas Malagón, M. D. (2011). *Medio ambiente y contaminación*.

European Environment Agency. (2021). Frost Days, Tropical Nights.

Gobierno de Aragón. (2024). *PLAN DE ACTUACIONES PREVENTIVAS POR TEMPERATURAS EXTREMAS EN ARAGÓN 2024*. Departamento de Sanidad.

ICE Aragón. (2024). Atlas de Aragón.

Instituto Aragonés de Estadística (IAEST). (2023). Censo de población a 1 de enero de 2023. Aragón. Primeros resultados.

Instituto Geográfico Nacional. (2024). Clasificación climática de Köppen-Geiger (1991-2020).

Instituto Nacional de Estadística. (2024). Población residente por fecha, sexo y edad (desde 1971).

IPCC. (2021). *Cambio Climático 2021. Bases Físicas, Resumen para responsables de políticas*. Unidad de Apoyo Técnico del Grupo de Trabajo I del IPCC.

Linares, C, Carmona, R, Ortiz, C, Mirón, I. J, Díaz, J. (2017). Temperaturas extremas y salud en España en un contexto de cambio climático: Algunas líneas de investigación. *Revista de Salud Ambiental*, 17(1), 57-69.

Meseguer O, Corvacho, O, Tapia, A, López, JF, Sarricolea, P. (2017). ANÁLISIS DE LAS TEMPERATURAS MEDIAS Y SUS EXTREMOS A PARTIR DE DIFERENTES ÍNDICES DURANTE EL PERÍODO 1966-2015 EN EL NORTE GRANDE CHILENO. *Diálogo Andino*, 31-40.

Montalvo, J, González, A, Blanco, A. (2021). *Riesgo de la población por aumento de las olas de calor en España*. Fundación Matrix.

Organización Mundial de Meteorología. (2007). Función de las normales climatológicas en un clima cambiante.

Organización de las Naciones Unidas (2023). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Pellicer, F, Albisu, J, Piedad, L, Rabanaque, I, García, C. (2008). *ANEJO 11. Estudio sobre el medio natural, productivo agrario, paisajístico y cultural del término municipal de Zaragoza*. Plan General de Ordenación Urbana de Zaragoza.

Ramírez, L, Fuentes, O.A, García, F. (2021). *Heladas*. Secretaría de seguridad y protección ciudadana.

Regidor, E, Zoni, A.C. (2022). *Esperanzas de vida en España, 2020*. Madrid. Ministerio de Sanidad.

Rilo, M. (2019). *Tendencias en los índices de temperatura y precipitación extrema para Galicia en el periodo 1960-2017*. Vigo.

Rodríguez, D. S. (2018). *Riesgos climáticos en Zaragoza: El viento Cierzo*. Zaragoza.

Sanjuan, Y. (2014). Comparación de la peligrosidad por riesgos naturales en núcleos de población consolidados y nuevas zonas de expansión urbanística de la provincia de Zaragoza. *Geoecología, cambio ambiental y paisaje*, 337-346.

Uriarte, A. (2010). *Historia del clima de la Tierra*.

Xu, Y, Dadvand, P, Barrera-Gómez, J, Sartini, C, Marí-Dell'Olmo, M, Borrell, C, Basagaña, X. (2013). Differences on the effect of heat waves on mortality by sociodemographic and urban landscape characteristics. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 67(6), 519-525.

7. Anexos

Punto	Municipios	Total	Punto	Municipios	Total
1	Nuévalos, Cabolafuente, Calmarza, Campillo de Aragón, Cimballa, Ibdes, Monterde, Sisamón, Jaraba	9	18	Arándiga, Calatorao, Épila, Fuendejalón, Lucena de Jalón, Lumpiaque, Nigüella, Plasencia de Jalón, Pozuelo de Aragón, Ricla, Rueda de Jalón, Salillas de Jalón	12
2	Abanto, Acered, Alarba, Morata de Jiloca, Aldehuela de Liestos, Atea, Castejón de Alarba, Cubel, Cuerlas (Las), Fuentes de Jiloca, Gallocanta, Montón, Munébrega, Murero, Olvés, Orcajo, Santed, Torralba de los Frailes, Villafeliche, Used	20	19	Bárboles, Bardallur, Muela (La), Urrea de Jalón, Grisén, Pinseque, Pleitas, Sobradriel, Utebo	9
3	Langa del Castillo, Daroca, Anento, Badules, Balconchán, Berrueco, Cerveruela, Fombuena, Lechón, Luesma, Mainar, Manchones, Miedes de Aragón, Nombrevilla, Retascón, Romanos, Torralbilla, Val de San Martín, Valdehorna, Villadoz, Villanueva de Jiloca, Villarreal de Huerva, Villarroja del Campo	23	20	Burgo de Ebro (El), Cuarte de Huerva, Cadrete, Pastriz, Puebla de Alfindén (La), Zaragoza	6
4	Azuara, Herrera de los Navarros, Lagata, Lécera, Letux, Moneva, Moyuela, Plenas, Samper del Salz, Villar de los Navarros	10	21	Alfajarín, Farlete, Nuez de Ebro, Osera de Ebro, Perdiguera, Villafranca de Ebro, Villamayor de Gállego	7
5	Fabara, Maella, Nonaspe	3	22	Almolda (La), Monegrillo, Pina de Ebro	3
6	Alconchel de Ariza, Ariza, Bordalba, Monreal de Ariza, Pozuel de Ariza, Torrehermosa	6	23	Ainzón, Alcalá de Moncayo, Ambel, Añón de Moncayo, Borja, Bulbiente, Buste (El), Fayos (Los), Grisél, Litago, Lituénigo, Vera de Moncayo, Vierlas, San Martín de la Virgen de Moncayo, Tarazona, Torrellas, Trasmoz, Maleján, Malón, Novallas, Santa Cruz de Moncayo, Albata	22
7	Alhama de Aragón, Ateca, Bubierca, Carenas, Castejón de las Armas, Cetina, Contamina, Embid de Ariza, Godojos, Moros, Torrijo de la Cañada, Villalengua, Villarroja de la Sierra	13	24	Agón, Alberite de San Juan, Bisimbre, Boquiñeni, Bureta, Fréscano, Magallón, Mallén, Novillas, Pedrola, Gallur	11

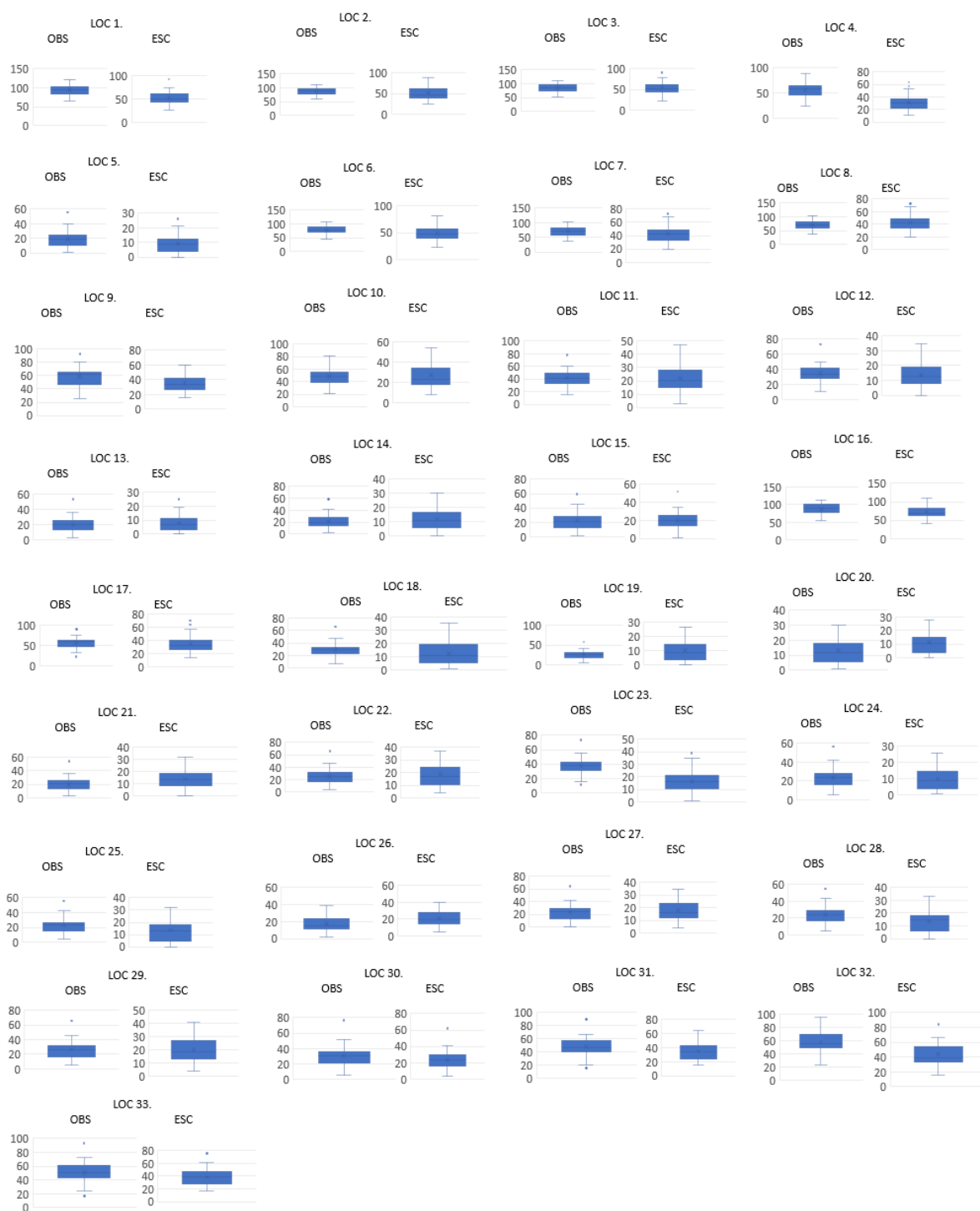
8	Aniñón, Calatayud, Cervera de la Cañada, Maluenda, Mara, Morés, Paracuellos de Jiloca, Paracuellos de la Ribera, Sabiñán, Sediles, Sestrica, Terrer, Torralba de Ribota, Valtorres, Velilla de Jiloca, Villalba de Perejil, Vilueña (La)	17	25	Alcalá de Ebro, Alagón, Cabañas de Ebro, Figueruelas, Joyosa (La), Luceni, Pradilla de Ebro, Remolinos, Tauste, Torres de Berrellén	10
9	Aguarón, Almonacid de la Sierra, Almunia de Doña Godina (La), Alpartir, Belmonte de Graciá, Chodes, Codos, Cosuenda, Encinacorba, Frasnó (El), Morata de Jalón, Orera, Ruesca, Santa Cruz de Grío, Tobed	15	26	Castejón de Valdejasa, Villanueva de Gállego, Zuera	3
10	Aguilón, Aladrén, Alfamén, Botorrita, Cariñena, Longares, Mezalocha, Mozota, Muel, Paniza, Tosos, Villanueva de Huerva, Vistabella	13	27	Leciñena, San Mateo de Gállego	2
11	Almonacid de la Cuba, Fuendetodos, Jaulín, María de Huerva, Puebla de Albornos, Valmadrid	6	28	Sádaba	1
12	Almochuel, Belchite, Codo, Fuentes de Ebro, Mediana de Aragón, Quinto	6	29	Ejea de los Caballeros, Orés	2
13	Alborge, Alforque, Cinco Olivas, Escatrón, Gelsa, Sástago, Velilla de Ebro, Zaida (La)	8	30	Ardisa, Erla, Luna, Marracos, Pedrosas (Las), Piedratajada, Puendeluna, Sierra de Luna, Valpalmas	9
14	Bujaraloz, Caspe, Chiprana	3	31	Asín, Biota, Castiliscar, Isuerre, Layana, Lobera de Onsella, Luesia, Sos del Rey Católico, Uncastillo	9
15	Fayón, Mequinenza	2	32	Biel, Frago (El), Longás, Santa Eulalia de Gállego, Murillo de Gállego	5
16	Aranda de Moncayo, Berdejo, Bijuesca, Clarés de Ribota, Malanquilla, Torrelapaja, Pomer, Purujosa	8	33	Navardún, Artieda, Bagüés, Mianos, Pintanos (Los), Salvatierra de Esca, Undués de Lerda, Urriés, Sigüés	9
17	Brea de Aragón, Calcena, Gotor, Illueca, Jarque, Mesones de Isuela, Oseja, Tabuenca, Talamantes, Tierga, Trasobares	11			

Anexo 1. Municipios adjudicados a cada celda. Fuente: Elaboración propia

FD 1988-2017 / 2071-2100

LOC	\bar{x}		σ		CV		PENDIENTE		P-VALOR		R^2	
	OBS	ESC	OBS	ESC	OBS	ESC	OBS	ESC	OBS	ESC	OBS	ESC
1	94,633	53,400	13,556	14,292	0,143	0,268	0,106	0,099	0,718	0,748	0,005	0,004
2	86,700	51,133	13,874	13,950	0,160	0,273	0,137	0,129	0,648	0,668	0,008	0,007
3	84,600	53,600	14,738	14,136	0,174	0,264	0,149	0,120	0,639	0,695	0,008	0,006
4	56,433	31,033	15,244	12,480	0,270	0,402	-0,207	0,229	0,529	0,393	0,014	0,026
5	19,267	9,167	11,317	6,5451	0,587	0,714	0,081	0,081	0,740	0,566	0,004	0,012
6	77,067	48,600	15,068	3,756	0,196	0,283	0,186	0,127	0,568	0,669	0,012	0,007
7	71,133	43,100	15,549	12,502	0,219	0,290	0,006	0,133	0,986	0,623	0,000	0,009
8	58,667	35,233	14,594	12,311	0,249	0,349	-0,072	0,154	0,819	0,562	0,002	0,012
9	48,300	26,967	13,383	11,705	0,277	0,434	-0,095	0,111	0,741	0,660	0,004	0,007
10	41,867	21,733	13,211	11,259	0,316	0,518	-0,246	0,147	0,386	0,546	0,027	0,013
11	35,100	13,600	12,416	8,532	0,354	0,627	-0,207	0,070	0,438	0,703	0,022	0,005
12	20,300	7,767	10,619	6,399	0,523	0,824	-0,114	0,110	0,618	0,424	0,009	0,023
13	18,567	8,167	11,044	6,497	0,595	0,796	0,001	0,095	0,997	0,500	0,000	0,016
14	20,800	11,767	11,769	7,855	0,566	0,668	0,080	0,086	0,753	0,614	0,004	0,009
15	22,400	13,000	12,467	7,978	0,557	0,614	0,225	0,133	0,402	0,440	0,025	0,021
16	86,733	72,233	14,718	15,710	0,170	0,217	0,194	0,242	0,540	0,475	0,014	0,018
17	56,667	34,733	14,337	13,094	0,253	0,377	-0,192	0,243	0,534	0,388	0,014	0,027
18	29,633	12,667	11,801	8,911	0,398	0,703	-0,197	0,054	0,437	0,778	0,022	0,003
19	25,600	10,067	11,109	7,263	0,434	0,722	-0,248	0,077	0,298	0,624	0,039	0,009
20	20,233	11,267	10,194	7,534	0,504	0,669	-0,212	0,057	0,331	0,727	0,034	0,004
21	19,900	13,933	10,733	8,362	0,539	0,600	-0,168	0,068	0,467	0,707	0,019	0,005
22	24,800	18,267	12,872	9,805	0,519	0,537	-0,133	0,009	0,631	0,626	0,008	0,103
23	37,667	16,100	12,449	10,022	0,331	0,622	-0,280	0,069	0,293	0,750	0,039	0,004
24	23,867	9,933	11,060	6,848	0,463	0,689	-0,221	0,085	0,352	0,568	0,031	0,012
25	22,867	13,267	11,212	8,670	0,490	0,654	-0,243	0,036	0,311	0,848	0,037	0,001
26	23,767	17,700	12,099	9,746	0,509	0,551	-0,303	0,075	0,242	0,724	0,049	0,005
27	23,267	17,700	12,908	8,964	0,555	0,506	-0,224	0,098	0,420	0,614	0,023	0,009
28	24,333	13,667	11,269	8,576	0,463	0,627	-0,213	0,050	0,379	0,786	0,028	0,003
29	26,933	20,167	12,868	9,938	0,478	0,493	-0,297	0,087	0,281	0,684	0,041	0,006
30	30,767	21,000	14,412	9,692	0,468	0,462	-0,377	0,057	0,221	0,788	0,053	0,003
31	47,867	34,767	14,626	12,659	0,306	0,364	-0,365	0,131	0,243	0,633	0,048	0,008
32	57,767	43,700	16,897	14,160	0,292	0,324	-0,650	0,179	0,067	0,559	0,115	0,012
33	50,867	38,167	15,165	14,091	0,298	0,369	-0,311	0,140	0,340	0,646	0,033	0,008

FD 1988-2017 / 2071-2100

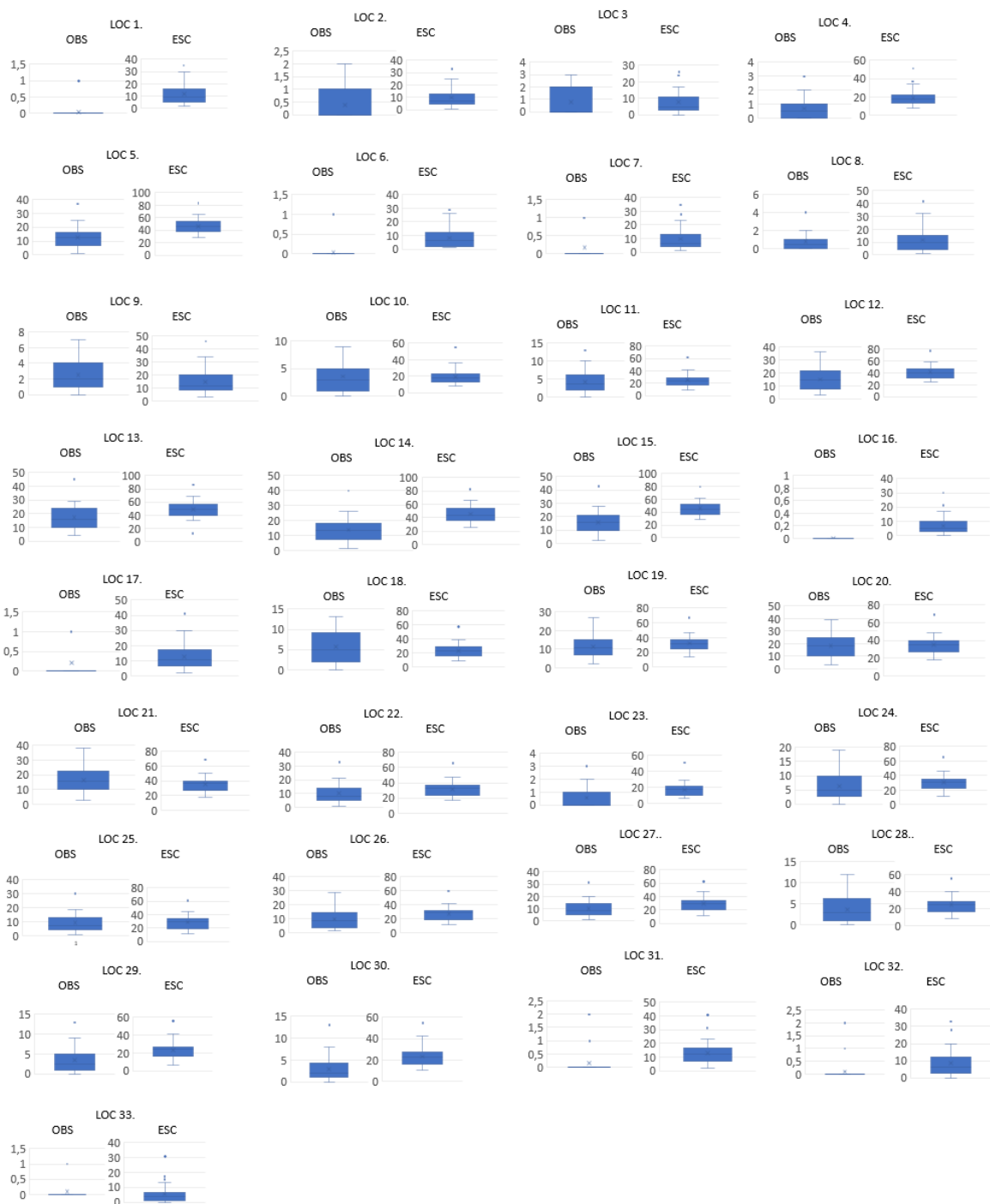


Anexo 2. Tabla de estadísticos descriptivos sobre el índice FD. Diagramas de caja sobre el índice FD con diferentes escalas en los ejes. Fuente: Elaboración propia

TR 1988-2017 / 2071-2100

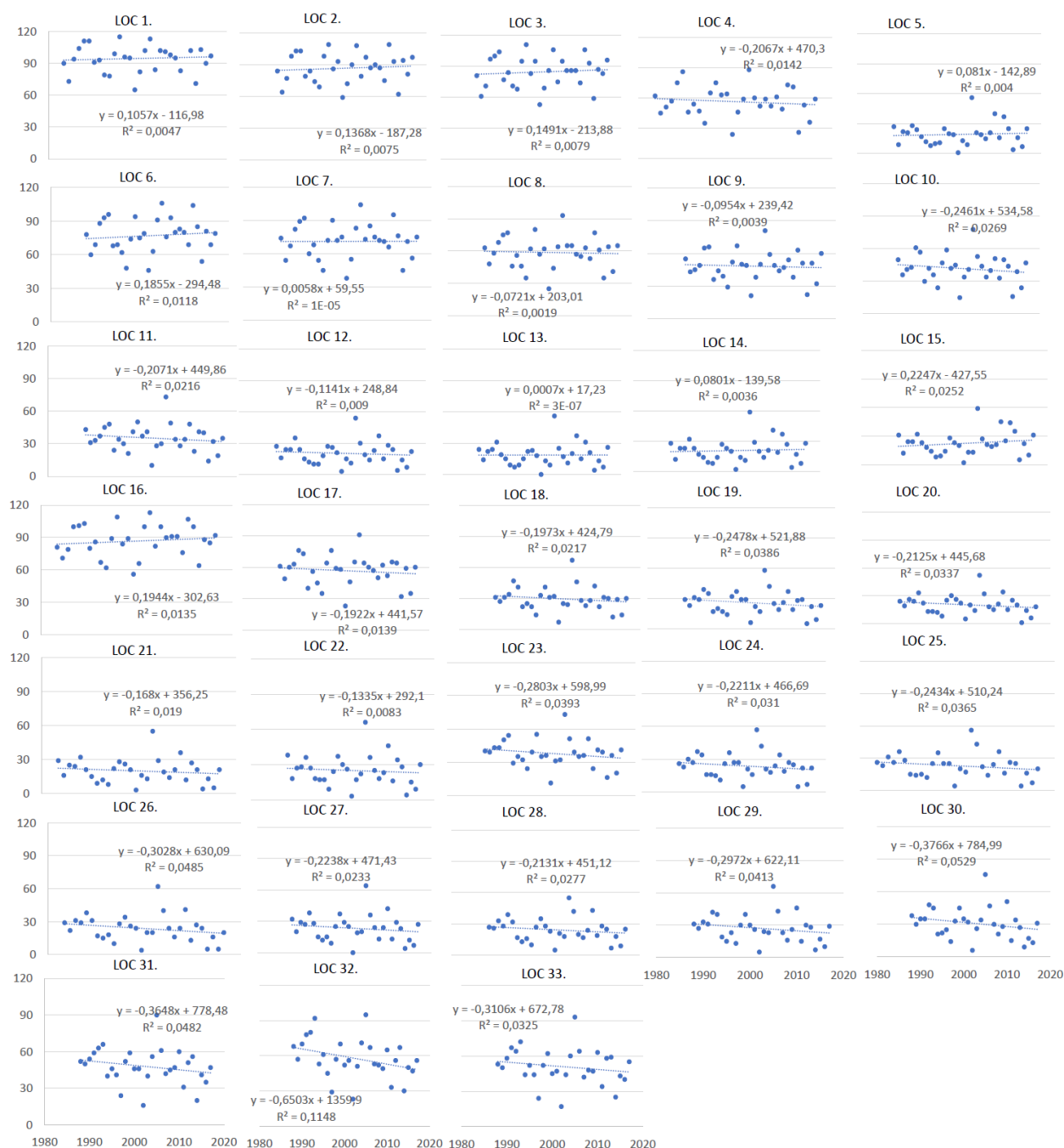
LOC	\bar{x}		σ		CV		PENDIENTE		P-VALOR		R^2	
	OBS	ESC	OBS	ESC	OBS	ESC	OBS	ESC	OBS	ESC	OBS	ESC
1	0,033	11,533	0,183	8,165	5,477	0,708	0,003	0,341	0,462	0,045	0,019	0,135
2	0,367	9,867	0,615	7,427	1,677	0,753	0,012	0,327	0,354	0,034	0,031	0,151
3	0,800	7,700	0,997	6,814	1,246	0,885	0,027	0,278	0,209	0,051	0,056	0,129
4	0,700	18,800	0,837	9,301	1,195	0,495	0,007	0,335	0,684	0,088	0,006	0,100
5	12,600	46,200	7,811	11,484	0,620	0,249	0,211	0,559	0,205	0,018	0,057	0,184
6	0,033	8,300	0,183	7,202	5,477	0,868	0,003	0,316	0,462	0,035	0,019	0,149
7	0,167	9,600	0,379	8,236	2,274	0,858	-0,001	0,358	0,935	0,037	0,001	0,147
8	0,767	11,600	0,971	9,280	1,267	0,800	0,019	0,375	0,353	0,054	0,031	0,127
9	2,533	14,733	2,080	9,410	0,821	0,639	0,066	0,405	0,135	0,039	0,078	0,143
10	3,600	19,433	2,541	9,302	0,706	0,479	0,096	0,334	0,072	0,089	0,111	0,100
11	4,200	25,067	3,067	10,051	0,730	0,401	0,119	0,383	0,065	0,070	0,116	0,112
12	15,133	41,400	8,357	11,050	0,552	0,267	0,259	0,536	0,144	0,019	0,075	0,182
13	17,133	50,333	9,160	11,955	0,535	0,238	0,303	0,533	0,118	0,032	0,085	0,154
14	13,733	45,633	8,832	11,868	0,643	0,260	0,254	0,606	0,177	0,013	0,064	0,202
15	15,667	45,533	8,946	11,132	0,571	0,244	0,335	0,537	0,075	0,019	0,109	0,181
16	0,000	6,733	0,000	6,648	0	0,987	0,000	0,237	-	0,092	1,000	0,098
17	0,200	12,767	0,407	8,361	2,034	0,655	-0,009	0,264	0,283	0,138	0,041	0,077
18	5,633	23,167	3,978	9,945	0,706	0,429	0,169	0,402	0,041	0,053	0,140	0,127
19	11,100	32,367	6,578	10,176	0,593	0,314	0,273	0,451	0,047	0,033	0,133	0,152
20	18,133	35,067	8,970	10,020	0,495	0,286	0,376	0,439	0,044	0,035	0,136	0,149
21	16,533	35,800	8,448	10,128	0,511	0,283	0,257	0,435	0,152	0,039	0,072	0,143
22	10,033	31,900	7,397	10,077	0,737	0,316	0,168	0,489	0,288	0,019	0,040	0,182
23	0,567	17,333	0,817	8,988	1,442	0,519	0,002	0,314	0,909	0,099	0,003	0,094
24	6,367	31,000	4,709	10,376	0,740	0,335	0,197	0,398	0,044	0,068	0,136	0,114
25	9,333	29,033	6,530	10,033	0,700	0,346	0,184	0,437	0,186	0,036	0,061	0,147
26	9,600	27,267	6,605	9,706	0,688	0,356	0,194	0,394	0,167	0,053	0,067	0,128
27	10,067	29,533	6,923	10,251	0,688	0,347	0,154	0,489	0,298	0,021	0,039	0,176
28	3,633	24,433	3,079	9,354	0,847	0,383	0,079	0,374	0,232	0,056	0,050	0,124
29	3,500	22,967	3,138	9,796	0,896	0,427	0,082	0,374	0,220	0,070	0,053	0,113
30	2,867	23,233	2,886	9,726	1,007	0,419	0,092	0,380	0,134	0,063	0,078	0,118
31	0,167	13,167	0,461	8,188	2,767	0,622	-0,365	0,338	0,243	0,048	0,025	0,132
32	0,100	8,633	0,403	7,770	4,026	0,900	-0,650	0,237	0,067	0,151	0,115	0,072
33	0,100	5,400	0,305	6,553	3,051	1,213	-0,311	0,136	0,340	0,335	0,033	0,033

TR 1988-2017 / 2071-2100



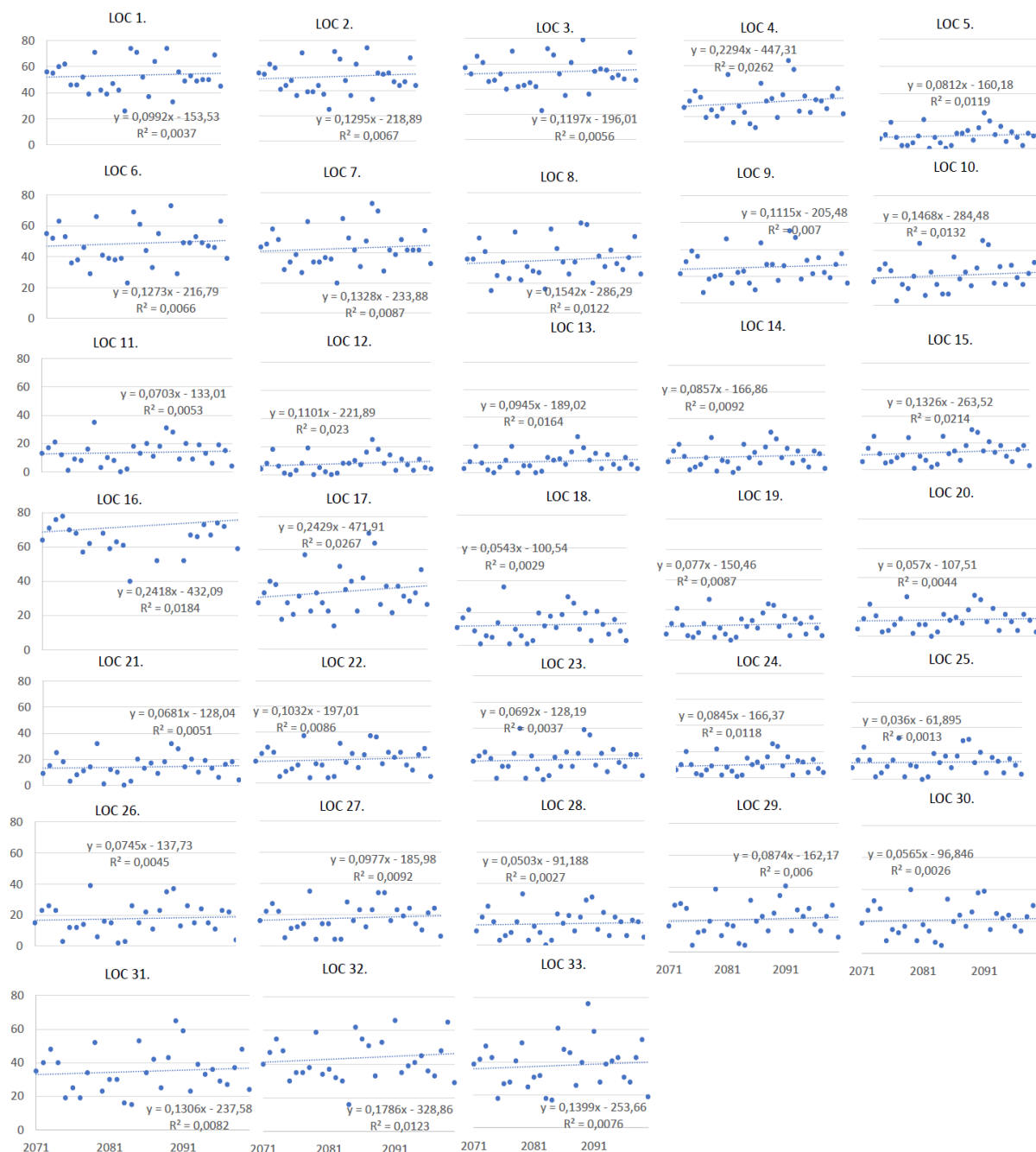
Anexo 3. Tabla de estadísticos descriptivos sobre el índice TR. Diagramas de caja sobre el índice TR con diferentes escalas en los ejes. Fuente: Elaboración propia

FD 1988-2017



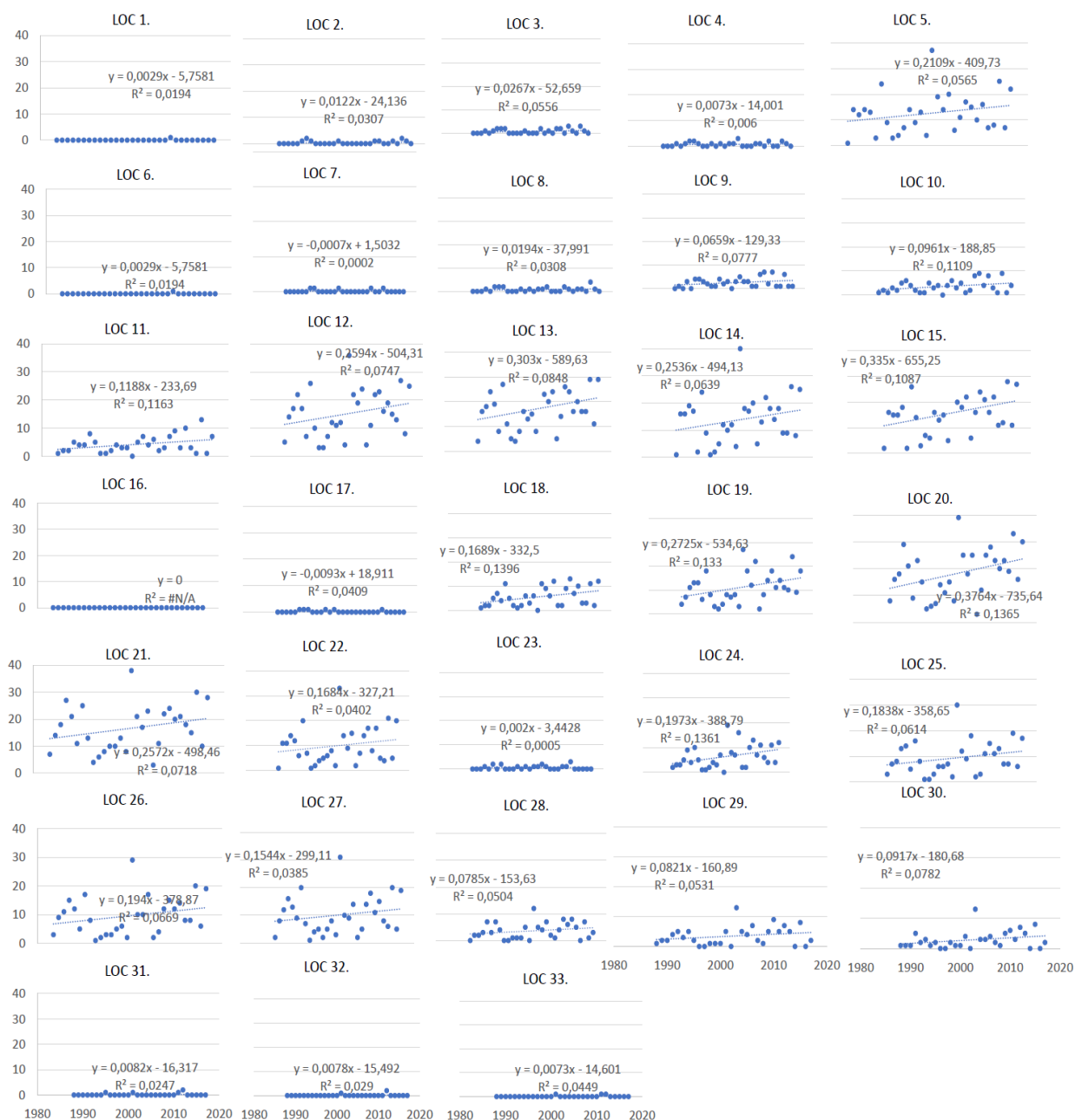
Anexo 4. Estadísticos de tendencia del índice FD 1988-2017. Fuente: Elaboración propia

FD 2071-2100



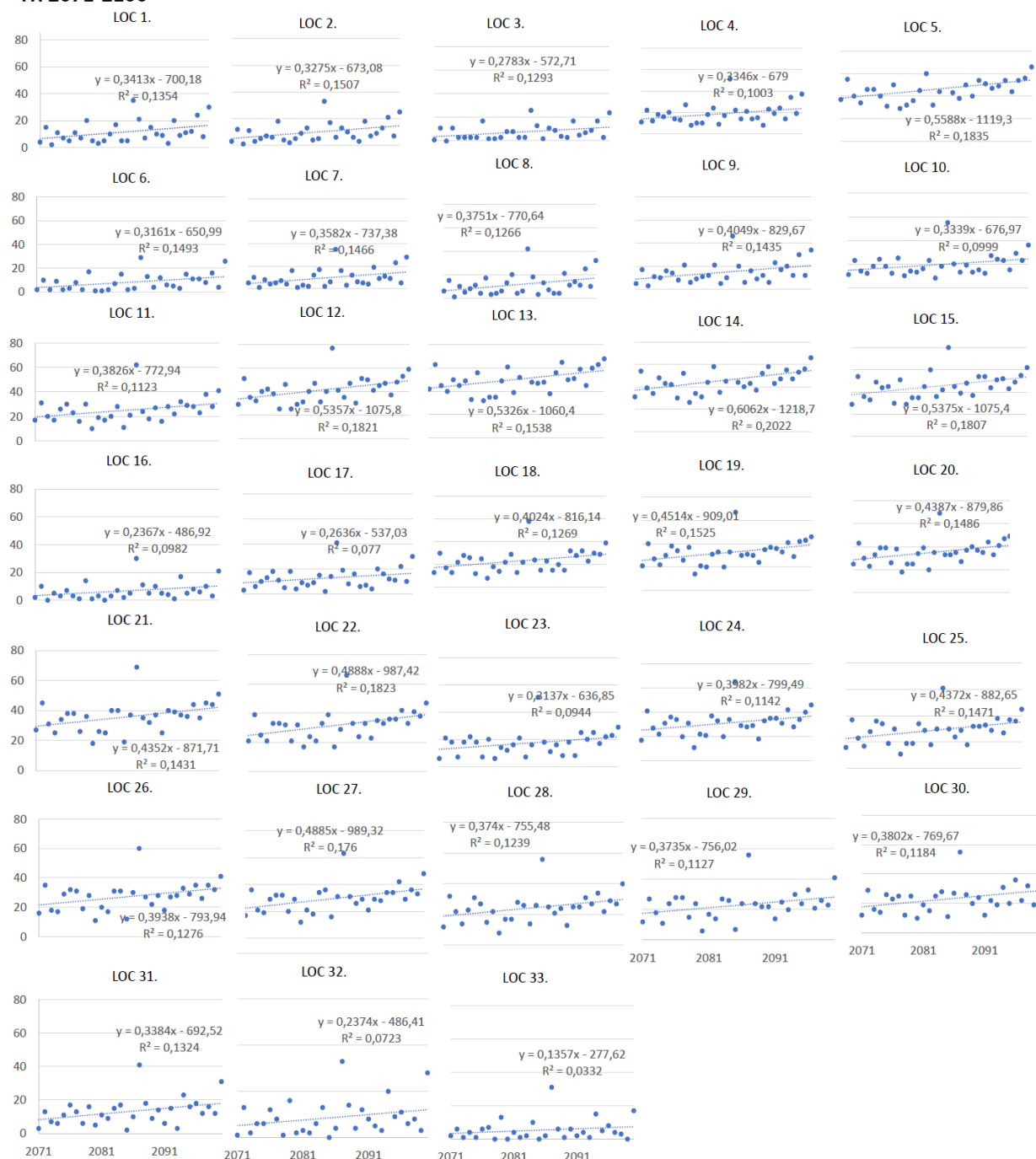
Anexo 5. Estadísticos de tendencia del índice FD 2071-2100. Fuente: Elaboración propia

TR 1988-2017



Anexo 6. Estadísticos de tendencia del índice TR 1988-2017. Fuente: Elaboración propia

TR 2071-2100



Anexo 7. Estadísticos de tendencia del índice TR 2071-2100. Fuente: Elaboración propia