



**Universidad  
de La Laguna**

## **Trabajo de Fin de Grado:**

Análisis de la influencia de las condiciones sinópticas sobre la precipitación en Canarias.

Aproximación basada en análisis de componentes principales.

AARÓN ÁLVAREZ HERNÁNDEZ  
Tutores: Albano J. González Fernández  
Francisco J. Expósito González

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>7</b>
<b>2. Metodología</b>	<b>9</b>
2.1. Análisis de Componentes Principales . . . . .	10
2.2. Determinación de los tipos de tiempo . . . . .	11
<b>3. Resultados y discusión</b>	<b>14</b>
3.1. Análisis de Componentes Principales . . . . .	15
3.1.1. Base de datos WRF . . . . .	15
3.1.2. Base de datos SPREAD . . . . .	20
3.2. Determinación de los tipos de tiempo . . . . .	25
3.3. Análisis de los resultados obtenidos . . . . .	27
3.3.1. Base de datos WRF . . . . .	27
3.3.2. Base de datos SPREAD . . . . .	30
3.4. Análisis de los percentiles . . . . .	32
3.4.1. Percentil 75 . . . . .	32
3.4.2. Percentil 95 . . . . .	34
3.4.3. Percentil 99 . . . . .	37
<b>4. Conclusiones</b>	<b>39</b>
4.1. Base de datos WRF . . . . .	39
4.2. Base de datos SPREAD . . . . .	40
4.3. Comparativa entre ambas bases de datos . . . . .	40

## Índice de figuras

1.	Representación de los niveles de presión sigma [10]. . . . .	8
2.	Región en la que se aplicará el PCA. . . . .	10
3.	Puntos de la malla con los que se trabajará. . . . .	11
4.	Componentes principales obtenidas con la base de datos WRF. . . . .	15
5.	Curva de varianza de las PCs resultantes para el WRF. . . . .	16
6.	Regiones resultantes del PCA con la base de datos WRF. . . . .	17
7.	Registros de precipitación para la W-PC1. . . . .	18
8.	Registros de precipitación para la W-PC2. . . . .	18
9.	Registros de precipitación para la W-PC3. . . . .	19
10.	Registros de precipitación para la W-PC4. . . . .	19
11.	Componentes principales obtenidas con la base de datos SPREAD. . . . .	20
12.	Curva de varianza de las PCs resultantes para el SPREAD. . . . .	21
13.	Regiones resultantes del PCA con la base de datos SPREAD. . . . .	22
14.	Registros de precipitación para la S-PC1. . . . .	23
15.	Registros de precipitación para la S-PC2. . . . .	23
16.	Registros de precipitación para la S-PC3. . . . .	24
17.	Registros de precipitación para la S-PC4. . . . .	24
18.	Ejemplos de cada WT en días concretos del período 1995-2004. . . . .	25
19.	Mapas de diferencias de presión. . . . .	26

## SUMMARY OF THE PROJECT

*The rainfalls in the Canary Islands are very important for the social and economic life of their population. However, the precipitation has different influences depending on the islands or the zones: there are desert areas and very wet ones.*

*The Alisios winds have an important influence in the humidity of the islands, especially the occidental ones, that generally have more relief than the rest. That is caused by the Azores anticyclone, which has more impact in summer months. Nevertheless, this is not the principal cause of the heavy rains in the archipelago: that is principally due to atmospheric disturbances that destroy the stability that generate these winds.*

*In this project, the main objective is to characterize the impact of some weather types (WTs) in the precipitation of the islands making use of two different databases, WRF and SPREAD, in the period 1<sup>st</sup> January 1995 – 31<sup>st</sup> December 2004, which involves ten years of data. To achieve this goal the Principal Components Analysis will be used to determine 4 regions or components, also known as principal components (PC), using the precipitation values registered in those databases. The Jones's equations and rules will be also applied, which define a classification method to identify different WTs depending on the pressure disturbances in a specific day. To determine this last is necessary the sea level pressure values available in NCEP/NCAR Reanalysis-1 database.*

*To apply the PCA, a region must be defined to make possible the calculation of the PC. The chosen area is 27.025° N - 29.975° N, 13.025° W - 18.975° W (see figure 2). Each component has an associated explained variance, which is related to the corresponding amount of information. It is important to know that the calculated components will be rotated.*

*For the determination of the WTs, another region must be defined. Now, because of the spatial resolution of NCEP/NCAR database, the zone is defined between the coordinates 20° N – 40° N, 10° W – 25° W (see figure 3). With the information that will be extracted from the results of applying the Jones's method tables of values will be computed. The calculation of percentiles will be also applied to determine what WTs are more important for intense precipitation in the Canary Islands.*

*After finishing all this procedure, the results will be discussed. First of all, the WTs classification has detected 1266 days of anticyclonic type (WT2), 1234 of directional types (WT1), 993 of hybrid types (WT0), 74 days of cyclonic type (WT3) and 86 days undefined (U) (see figures 18 and 19). With that, the regions obtained applying the PCA will be analysed. To do this, the percentile 95 will be studied, because it discriminates the light rains against the heavy ones:*

- WRF database: (see figure 6 and table 13)
  - **W-PC1:** *this component is formed by Fuerteventura and Lanzarote. There, the WTs that usually cause heavy rains are the west winds (23.67 % of the accumulated precipitation in the 10 analysed years), the cyclonic type (16.56 % of the accumulated precipitation) and the northwest winds (16.41 % of the accumulated precipitation). Other WTs that are less important are the east (14.47 % of the accumulated precipitation) and the northeast winds (10.14 % of the accumulated precipitation).*

- **W-PC2**: this one is formed by the north-western islands of the archipelago, except the northeast of Tenerife and La Palma. The most important WTs in this zone are the cyclonic type (30.32 % of the accumulated heavy precipitation) and the west winds (25.03 % of the accumulated precipitation). Also the east (12.86 % of the accumulated precipitation) and northeast (10.38 % of the accumulated precipitation) winds have influence.
  - **W-PC3**: this component considers the island of Gran Canaria and a part of the coast of Santa Cruz de Tenerife. In this region the cyclonic type is again very important (27.55 % of the accumulated precipitation), and also the northeast (18.72 % of the accumulated precipitation), east (18.28 % of the accumulated precipitation) and west winds (17.45 % of the accumulated precipitation).
  - **W-PC4**: the last component is formed by the northeast of La Palma and Tenerife, a region characterized by laurisilva that stands out because of its moisture. The northeast winds are now the most important WT in the region (22.00 % of the accumulated precipitation). The cyclonic type (21.18 % of the accumulated precipitation) and the west (16.40 % of the accumulated precipitation) and east winds (14.29 % of the accumulated precipitation) are also important for the rains in the zone.
- SPREAD database: (see figure 13 and table 14)
    - **S-PC1**: this region includes almost all Fuerteventura, the south of Gran Canaria and some parts in the east of Tenerife. The WTs that cause the heaviest rains in this zone are the west winds (34.15 % of the accumulated precipitation) and the cyclonic type (33.01 % of the accumulated precipitation). Both WTs amount nearly two thirds of the intense rains in the region. With less prominence are the east winds (11.55 % of the accumulated precipitation).
    - **S-PC2**: this component is formed by the north-western islands, except the north and northeast of Tenerife, and the west of Gran Canaria. There, the most important WTs are the cyclonic type (35.86 % of the accumulated precipitation) and the west winds (28.27 % of the accumulated precipitation). The southwest winds have also importance (9.82 % of the accumulated precipitation), but much less than the aforementioned WTs.
    - **S-PC3**: this component considers Lanzarote and the north of Fuerteventura. Now, the west winds are so important (43.45 % of the accumulated precipitation), practically the double of the contribution of the cyclonic type (22.63 % of the accumulated precipitation). The east winds have less importance (9.98 % of the accumulated precipitation).
    - **S-PC4**: this region includes the north of the capital islands. The most important WTs are the cyclonic type (23.62 % of the accumulated precipitation) and the north-west (18.41 % of the accumulated precipitation) and west winds (15.81 % of the accumulated precipitation). The northeast (14.60 % of the accumulated precipitation) and north winds (10.36 % of the accumulated precipitation) are important too, but to a lesser extent.

*The regions W-PC2 and S-PC1 are quite similar, and also the components W-PC4 and S-PC4 are slightly similar. Also, for both databases the cyclonic type is very important for the heavy rains in the archipelago, and the west and east winds too. In the other hand, the anticyclonic type hardly ever is the cause of intense precipitations in the Canary Islands, but the south and southeast winds have less importance than it. Finally, the northeast winds are important in the entire components calculated using WRF database, but if the SPREAD database is used, these winds have more importance in the north of the capital islands.*

# 1. Introducción

## SUMMARY

*Precipitation in the Canary Islands is very important for the life of their population and the environment. The relief of the islands, specially the occidental ones, has an important impact in precipitation events. Precipitation distribution will be studied by applying the Principal Components Analysis (PCA) to obtain different regions whose points are correlated, and studying their mean and accumulated precipitation and the percentiles associated with different synoptic conditions.*

---

En Canarias, las lluvias son un aspecto importante para la vida de sus habitantes. Por tanto, las épocas de sequía en esta región del Atlántico suponen consecuencias drásticas en el desarrollo tanto económico como social de las islas.

No obstante, a pesar de su importancia, las precipitaciones se distribuyen de forma no uniforme por todo el archipiélago, algo que se analizará en mayor profundidad más adelante. Esto se debe, principalmente, al relieve de las mismas y también a su localización geográfica: los días lluviosos son más numerosos en islas de mayor altitud y conforme nos alejamos de la costa africana. Esto queda reflejado en la siguiente tabla [3]:

<b>Isla</b>	<b>Precipitación anual acumulada</b>
Tenerife	425 mm
Fuerteventura	120 mm
La Palma	740 mm
Lanzarote	157 mm
El Hierro	353 mm
La Gomera	370 mm
Gran Canaria	300 mm

Tabla 1: Precipitación media acumulada anualmente en el archipiélago canario por isla.

Una de las principales fuentes de humedad en el archipiélago son los vientos alisios, que tienen su origen en el anticiclón de las Azores, situado a latitudes más altas. Estos vientos tienen dos componentes destacables. La primera son los vientos alisios inferiores, que se caracterizan por ser húmedos y frescos y que actúan entre el nivel del mar y unos 1500 m. La segunda son los vientos alisios superiores, que son totalmente contrarios a los anteriores: cálidos y secos. Actúan a partir de los 1500 m.

Esta diferencia entre los dos tipos de alisios genera una inversión térmica en la zona de separación, lo que provoca que encima de la misma las temperaturas sean generalmente más altas que debajo. Este efecto es más habitual en verano, pues es cuando el anticiclón de las Azores se encuentra más alejado de Canarias, dando lugar a que los alisios tengan que recorrer más distancia hasta el archipiélago y, por tanto, sean más húmedos [3].

El relieve afecta de forma importante al impacto de los alisios, por lo que también tendrá un efecto destacable en los registros de precipitaciones. Concretamente afecta a los niveles de presión, especialmente a los que se encuentran próximos a la superficie terrestre.

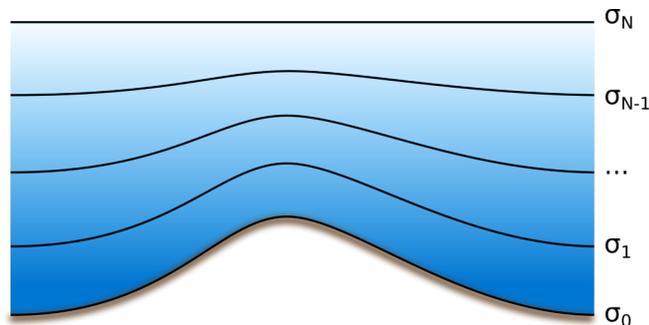


Figura 1: Representación de los niveles de presión sigma [10].

Como se puede apreciar en la figura 1, el relieve moldea los niveles isobáricos tal y como se mencionó en el párrafo anterior. Esto afecta a la velocidad del viento, pues es tangencial a las líneas de presión. Por tanto, al tener la cara de una montaña a barlovento, el viento se enfriará, ralentizará y descargará gran parte de su humedad durante el ascenso, por lo que la cara opuesta de la montaña, a sotavento, apenas recibirá precipitaciones. Esto da explicación a los registros de humedad en las islas, debido a que los alisios son vientos procedentes del norte, por lo que el sur de las islas, especialmente las de mayor relieve, será más árido que el norte de las mismas.

No obstante, las precipitaciones más intensas se producen cuando tienen lugar perturbaciones atmosféricas, destruyendo la estabilidad típica de los alisios. Dichas perturbaciones se corresponden principalmente con depresiones atlánticas y vaguadas en niveles altos (500 mbar) [5].

El análisis de estas condiciones climatológicas es competencia de la meteorología, concretamente de la rama sinóptica, que consiste en el estudio de las condiciones atmosféricas para distintos puntos de un mapa a una misma hora con el objetivo de elaborar modelos de predicción meteorológica. A partir de la misma se pueden definir los tipos de tiempo o weather types (WTs), que es uno de los principales métodos de clasificación de las condiciones atmosféricas.

El objetivo principal del trabajo se centrará en estudiar cómo afectan los WTs a ciertas regiones del archipiélago. Esto es algo que ya se planteó en *Sánchez-Benítez et al.* (2016) [9].

Sin embargo, en este trabajo se aplicará otro método de trabajo. Para ello se empleará el Análisis de Componentes Principales (PCA) para determinar las regiones correlacionadas entre sí y se calculará la precipitación media, la precipitación acumulada y los percentiles en cada región para cada WT. Posteriormente, se hará una evaluación cuantitativa y cualitativa de los resultados obtenidos.

## 2. Metodología

### SUMMARY

*This chapter deals with the work method used in the project. Two databases will be used, WRF and SPREAD, and the period 1<sup>st</sup> January 1995 - 31<sup>st</sup> December 2004 will be considered. To determine the weather types (WTs) the*

*NCEP/NCAR Reanalysis-1 will be used.*

*With all that, the Principal Components Analysis (PCA) will be used to obtain 4 regions or principal components (PC) in both databases. Each component has an explained variance, that gives the corresponding amount of information.*

*Then, the WTs will be calculated using the Jones's equations and classification rules. The chosen area contains the latitudes 20° N-40° N and the longitudes 10° W-25° W.*

*Finally, the 75<sup>th</sup>, 95<sup>th</sup> and 99<sup>th</sup> percentiles will be calculated and used to determine the most important WTs for intense precipitation in the islands.*

---

Con el fin de determinar las regiones por medio del PCA se tomarán los datos de precipitaciones de Canarias, para lo que se usarán dos bases de datos distintas: una simulación climática usando el Weather Research and Forecasting Model (WRF) y el Spanish Precipitation at Daily Scale (SPREAD), que se basa en observaciones. El primero es un modelo numérico de predicción meteorológica diseñado para cubrir tanto las necesidades de investigación atmosférica como las de pronóstico [7]. El segundo es una base de datos diaria de cuadrícula de alta resolución para España, en el que se calculan 13 índices diarios para caracterizar la distribución de precipitaciones. En él, a cada punto de la malla se le asigna un promedio pesado de los valores obtenidos para las 10 estaciones reales más cercanas (*Serrano-Notivoli et al.*, 2017) [8].

También se necesitarán datos de presión atmosférica a escala sinóptica para determinar los WTs, para lo que se hará uso del NCEP/NCAR Reanalysis-1, descrito en *Kalnay et al.* (1996) [4]. Este modelo emplea un sistema de análisis/pronóstico, usando datos que van desde 1948 hasta el presente y basándose en una malla global. Para elaborar esta base de datos se toman valores de variables meteorológicas 4 veces al día todos los días del año. Se cuenta con 17 niveles de presión y 28 niveles sigma [10].

Los datos de precipitaciones y de presión que serán analizados comprenden desde el 1 de enero de 1995 hasta el 31 de diciembre de 2004 (período de 10 años), ya que es el intervalo temporal cubierto por todas las bases de datos.

## 2.1. Análisis de Componentes Principales

El PCA es una herramienta matemática que nos permite obtener una serie de variables decorrelacionadas entre sí definidas a partir de un conjunto de variables correlacionadas entre sí. Es decir, nos permite obtener nuevas variables en las que no existe el solapamiento de información. Estas serán combinación lineal de las variables originales, y cada una explicará un porcentaje de varianza [2].

Para las Islas Canarias, definida como la región que se encuentra entre las coordenadas  $27.025^{\circ}$  N -  $29.975^{\circ}$ N,  $13.025^{\circ}$ W -  $18.975^{\circ}$  W (ver figura 2), el WRF cuenta con 385 nodos de la malla correspondientes a tierra distribuidos a lo largo del archipiélago, mientras que el SPREAD cuenta con 380 nodos. Cada uno de estos nodos se entiende como una serie temporal de registros diarios de precipitación. En el WRF se corresponden con el total acumulado a lo largo del día correspondiente, mientras que en el SPREAD se corresponden con la lluvia acumulada en el día anterior. Estos nodos serán tomados como las variables originales en el PCA.

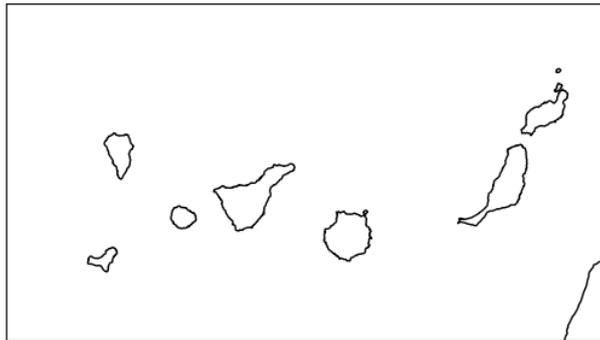


Figura 2: Región en la que se aplicará el PCA.

Para determinar las regiones también se hará una rotación de las mismas. Esto se hace para lograr que las nuevas componentes tengan una correlación próxima al 100% con una de las componentes anteriores, en este caso la primera de todas, mientras que con el resto presentaría una correlación prácticamente nula [1].

Con todo esto se determinarán 4 componentes principales (PC) para ambos modelos y se compararán aquellas componentes que guarden cierta similitud geográfica. Se usará el paquete *psych* de Python.

## 2.2. Determinación de los tipos de tiempo

Los tipos de tiempo se determinarán a partir de valores de presión superficial [6]. Para ello se hará uso de la base de datos del NCEP/NCAR Reanalysis 1 y se tendrá en cuenta la siguiente malla:

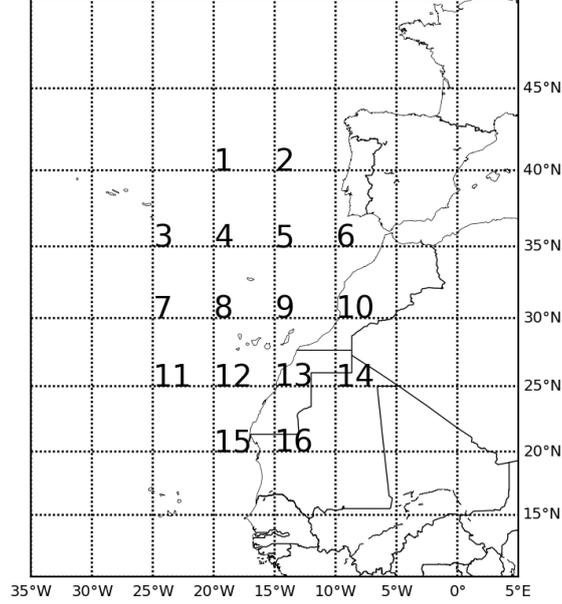


Figura 3: Puntos de la malla con los que se trabajará.

En esta figura se etiquetan los puntos a partir de los cuales se calcularán las magnitudes que nos permitirán determinar el tipo de tiempo correspondiente a las islas en cada día de la serie temporal. También se puede apreciar que la región seleccionada se encuentra entre las latitudes 20° N - 40° N y las longitudes 10° W - 25° W. En dicha zona se encuentra centrado el archipiélago canario, a una latitud media de 30° N, aunque también se incluye en la malla a las islas de Madeira y parte de la costa noroccidental de África.

Para poder clasificar cada día es necesario acudir a las siguientes expresiones matemáticas, propuestas por *Jones et al.* (2012) [6]:

$$W = \frac{1}{2}(P_{12} + P_{13}) - \frac{1}{2}(P_4 + P_5) \quad (1)$$

$$S = \frac{1}{\cos(\lambda)} \left[ \frac{1}{4}(P_5 + 2P_9 + P_{13}) - \frac{1}{4}(P_4 + 2P_8 + P_{12}) \right] \quad (2)$$

$$ZW = \frac{\text{sen}(\lambda)}{\text{sen}(\lambda - 5^\circ)} \left[ \frac{1}{2}(P_{15} + P_{16}) - \frac{1}{2}(P_8 + P_9) \right] - \frac{\text{sen}(\lambda)}{\text{sen}(\lambda + 5^\circ)} \left[ \frac{1}{2}(P_8 + P_9) - \frac{1}{2}(P_1 + P_2) \right] \quad (3)$$

$$ZS = \frac{1}{2\cos^2(\lambda)} \left[ \frac{1}{4}(P_6 + 2P_{10} + P_{14}) + \frac{1}{4}(P_3 + 2P_7 + P_{11}) - \frac{1}{4}(P_5 + 2P_9 + P_{13}) - \frac{1}{4}(P_4 + 2P_8 + P_{12}) \right] \quad (4)$$

Donde  $W$  es el flujo del oeste,  $S$  es el flujo del sur,  $ZW$  es la vorticidad de cizalladura del oeste y  $ZS$  es la vorticidad de cizalladura del sur. La latitud media de Canarias viene dada por  $\lambda$  y la presión en el punto  $x$  de la malla se designa por  $P_x$ . A partir de estas magnitudes se pueden definir las siguientes:

$$F = \sqrt{W^2 + S^2} \quad (5)$$

$$Z = ZW + ZS \quad (6)$$

Donde  $F$  y  $Z$  son, respectivamente, el flujo resultante y la vorticidad total. A partir de las mismas se pueden determinar los WTs estableciendo una serie de condiciones [6]:

- Si  $|Z| < F$  entonces el flujo es básicamente lineal, y se corresponde con un WT puramente direccional. Se clasificarán estos días como WT1.
- Si  $|Z| > 2F$  el flujo sería ciclónico, si  $Z > 0$ , o anticiclónico, si  $Z < 0$ . Se clasificarán estos días como WT2 para anticiclónico y WT3 para ciclónico.
- Si  $F < |Z| < 2F$  se tendrán tipos híbridos, es decir, parte ciclónico o anticiclónico y parte direccional. Se clasificarán como WT0.
- Si  $F < 3$  y  $|Z| < 3$  no se podrá determinar el WT del día correspondiente. Se clasificarán estos días como indefinidos o *undefined* (U).
- La dirección del viento vendrá dada por:

$$\theta = \arctan(W/S) \quad (7)$$

Para clasificar los días según las direcciones del viento canónicas se aplicarán sectores de  $45^\circ$  para cada dirección. Solo se sub-clasificarán con la dirección del viento aquellos días que correspondan a los híbridos (WT0) y puramente direccionales (WT1).

- Si el ángulo que forma el viento con la línea imaginaria que une los polos está entre  $337.5^\circ$  y  $22.5^\circ$  se considerará que el viento procede del norte (N).
- Si este ángulo está entre  $22.5^\circ$  y  $67.5^\circ$  se considerará viento del noreste (NE).
- Si este ángulo está entre  $67.5^\circ$  y  $112.5^\circ$  se considerará viento del este (E).
- Si este ángulo está entre  $112.5^\circ$  y  $157.5^\circ$  se considerará viento del sureste (SE).
- Si este ángulo está entre  $157.5^\circ$  y  $202.5^\circ$  se considerará viento del sur (S).
- Si este ángulo está entre  $202.5^\circ$  y  $247.5^\circ$  se considerará viento del suroeste (SW).
- Si este ángulo está entre  $247.5^\circ$  y  $292.5^\circ$  se considerará viento del oeste (W).
- Si este ángulo está entre  $292.5^\circ$  y  $337.5^\circ$  se considerará viento del noroeste (NW).

Una vez hecho esto, se calcularán la precipitación media y acumulada asociada a cada PC y WT. Cabe destacar que el WT de cada día es el mismo para cada PC.

También se hallarán los percentiles 75, 95 y 99 con los datos de precipitación de cada PC, de modo que será más fácil determinar que WTs son más influyentes en cada PC o cuales son aquellos que producen las lluvias más intensas en el archipiélago. Para ello se discriminarán los días en los que no haya llovido absolutamente nada.

### 3. Resultados y discusión

#### SUMMARY

*In this chapter the results will be presented and discussed. At first, the components obtained applying the PCA will be shown and the corresponding regions will be analyzed with two different procedures: representing the time series where the mean precipitation for each region, and precipitation maps where the average rainfall of all the days of the time series will be represented in each pixel. Secondly, the results obtained after applying the Jones's equations and rules will be shown. The most frequent WT is the anticyclonic type, and the less usual is the cyclonic type. Maps with isobaric lines for each WT will be also shown. Thirdly, tables with the results obtained will be displayed. With them, the most important WTs in accumulated precipitation and average daily rainfall will be examined. However, there is not always a direct correlation between both magnitudes. For example, the anticyclonic type has an important amount of precipitation in the considered period, but the average daily precipitation is much lower in comparison with other WTs. Finally, the 75<sup>th</sup>, 95<sup>th</sup> and 99<sup>th</sup> percentiles will be studied. The results will be shown in tables of accumulated rainfall in percentages for both databases. With those values the most important WTs for the Canary Islands precipitations will be analyzed. For WRF database the highlighted WTs are the cyclonic type and the west, northwest, northeast and east wind, depending on the zone. For SPREAD database, the most influential WTs are the cyclonic type and especially the west winds. The east winds are also important, and in the north of Tenerife and Gran Canaria the north and northeast winds are slightly important.*

---

En esta sección se expondrán los resultados obtenidos al aplicar el PCA a las bases de datos WRF y SPREAD en la región de las Islas Canarias, analizándose de forma conjunta con los resultados obtenidos al determinar los WTs calculados al aplicar las ecuaciones y reglas de Jones.

### 3.1. Análisis de Componentes Principales

En este apartado se mostrarán los resultados obtenidos al aplicar el PCA a ambas bases de datos en la región señalada en la sección 2.1.

#### 3.1.1. Base de datos WRF

El resultado de aplicar el PCA para la base de datos WRF en la región de Canarias es el siguiente:

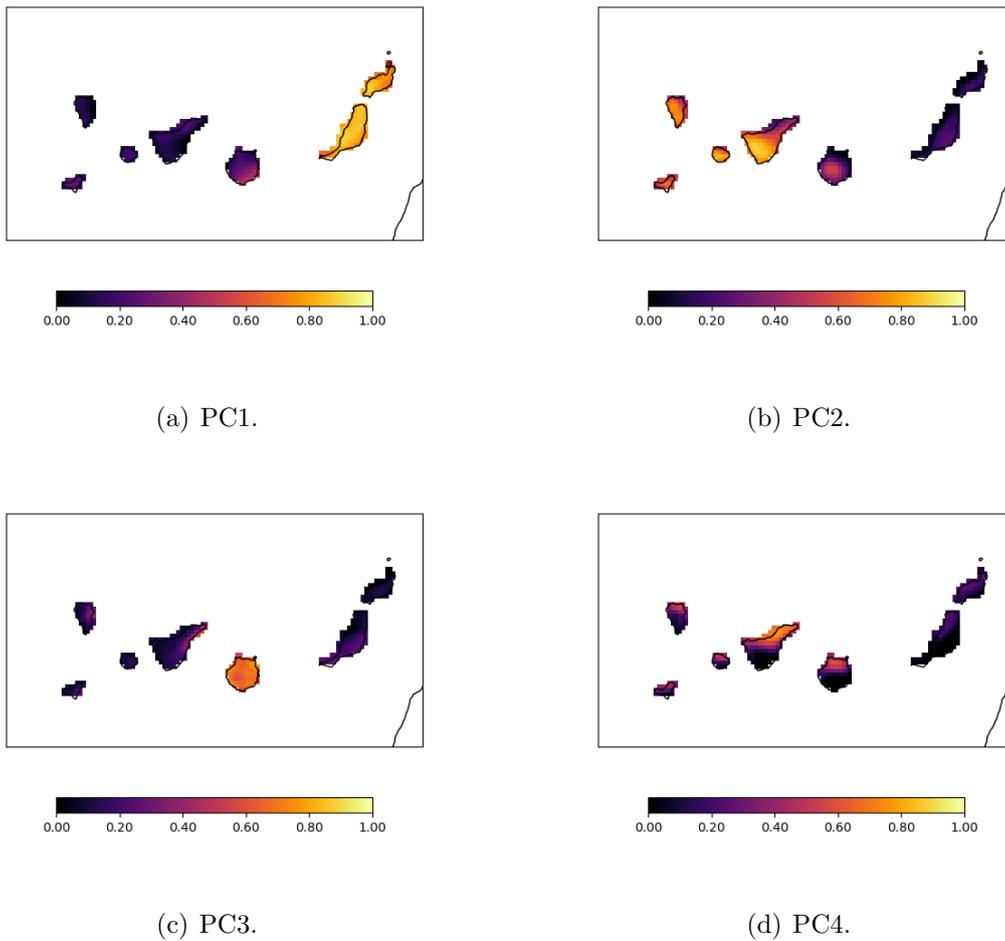


Figura 4: Componentes principales obtenidas con la base de datos WRF.

Estos resultados hay que contrastarlos con la curva de varianza resultante del PCA:

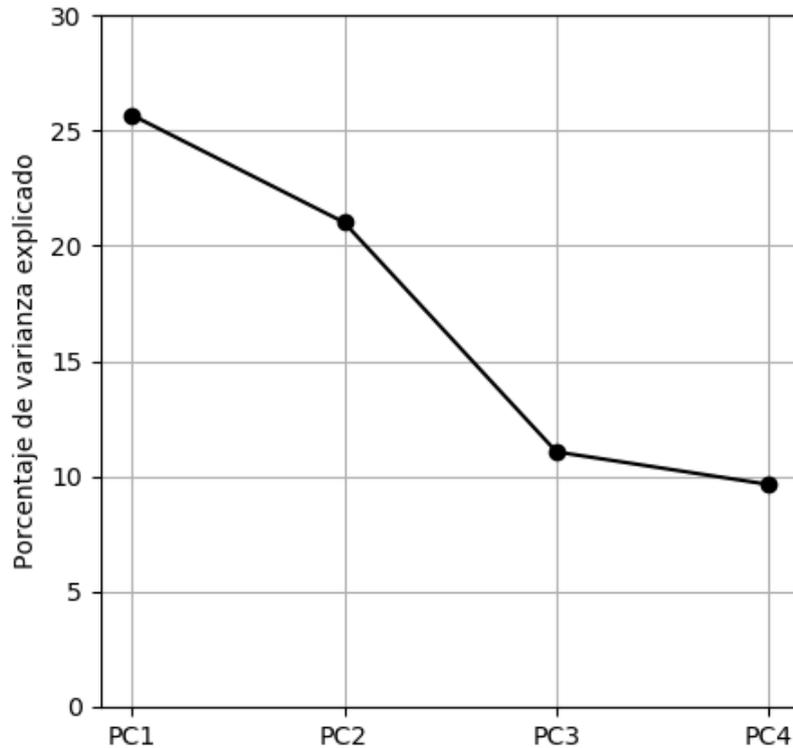


Figura 5: Curva de varianza de las PCs resultantes para el WRF.

Anteriormente, en la sección 2.1, se citó que se trabajaría con 4 PCs en ambos modelos. Esto se debe a que se ha tomado como criterio de discriminación de componentes la regla del 10 %, que consiste en despreciar aquellas PCs que presenten un porcentaje de varianza inferior al 10 %. En este caso, se puede apreciar como la PC4 presenta un porcentaje ligeramente inferior a la decena (9.64 %). No obstante, se tendrá en cuenta para poder tratar ambos modelos siguiendo el mismo procedimiento. La varianza total explicada por las PCs es del 67.38 %.

Si se analiza la figura 4 se puede ver como se puede clasificar cada píxel en una PC concreta, determinando para cual de las 4 componentes dicho píxel presenta un máximo de varianza. Siguiendo este procedimiento se obtienen las siguientes regiones:

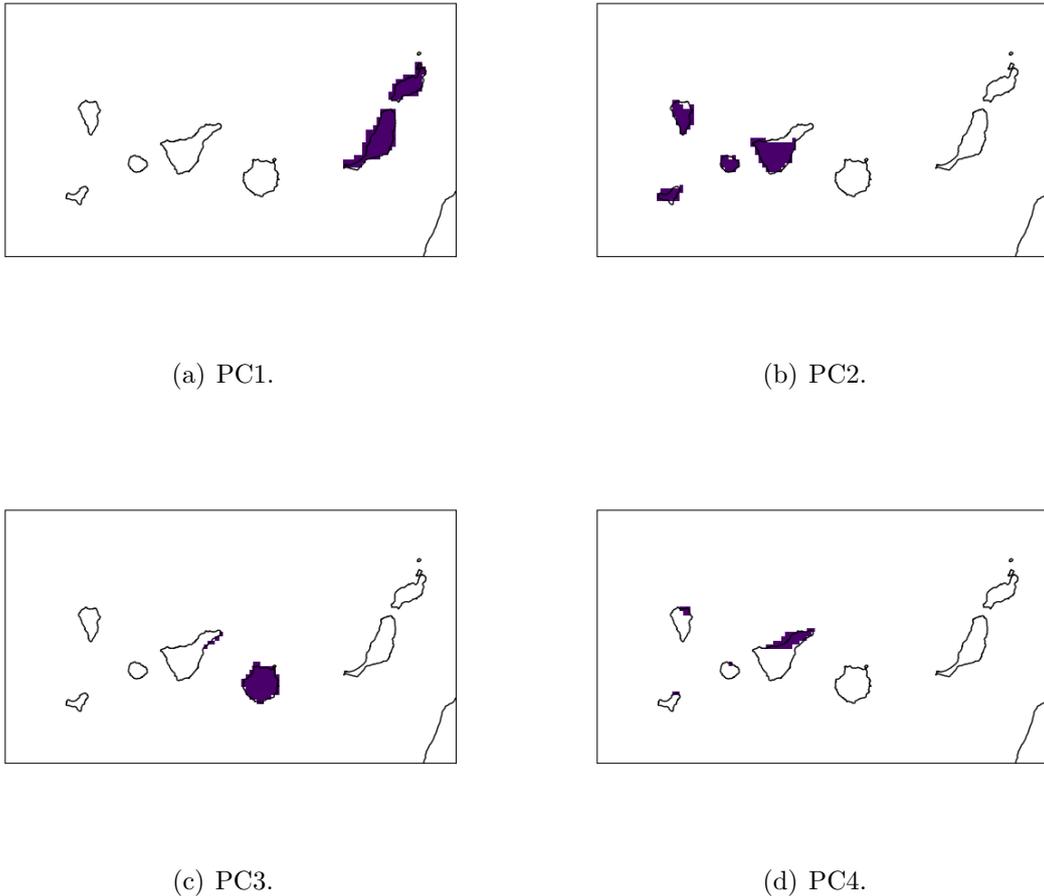


Figura 6: Regiones resultantes del PCA con la base de datos WRF.

A partir de los mapas de la figura 6 se pueden elaborar series temporales de precipitaciones y mapas de precipitación media para cada PC.

- **W-PC1**<sup>1</sup>: en esta región se encuentran las islas de Fuerteventura y Lanzarote, que se caracterizan por ser las más próximas a la costa africana y las más áridas. Para poder visualizar esto de forma más cuantitativa, se expondrán dos tipos de gráficos: un mapa de las islas en la que en cada píxel de la región considerada se representará la media de precipitación a lo largo de la serie temporal; y la serie temporal de precipitaciones que recogerá las medias diarias de precipitación de todos los píxeles que conformen la componente. De este modo, para W-PC1 se obtienen los siguientes resultados:

---

<sup>1</sup>Con el objetivo de distinguir entre las PCs resultantes de cada modelo estas se etiquetarán con la inicial de la base de datos correspondiente seguida de la componente.

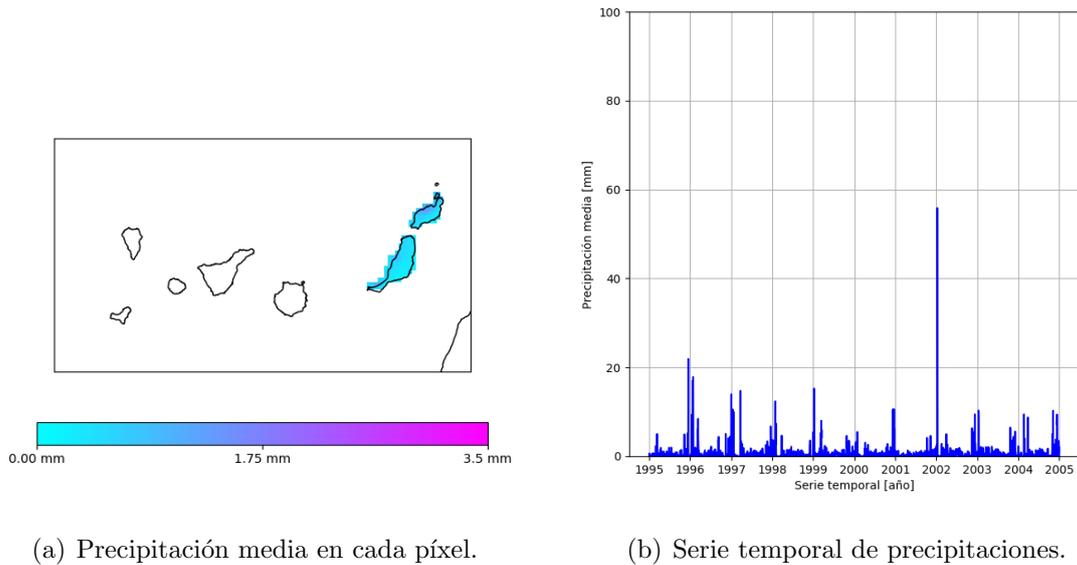


Figura 7: Registros de precipitación para la W-PC1.

- **W-PC2**: esta región engloba a casi la totalidad de las islas de la provincia de Santa Cruz de Tenerife. Su relieve hace que los nortes sean mucho más húmedos que los sures (ver figura 8a). Los datos de precipitación de esta componente son:

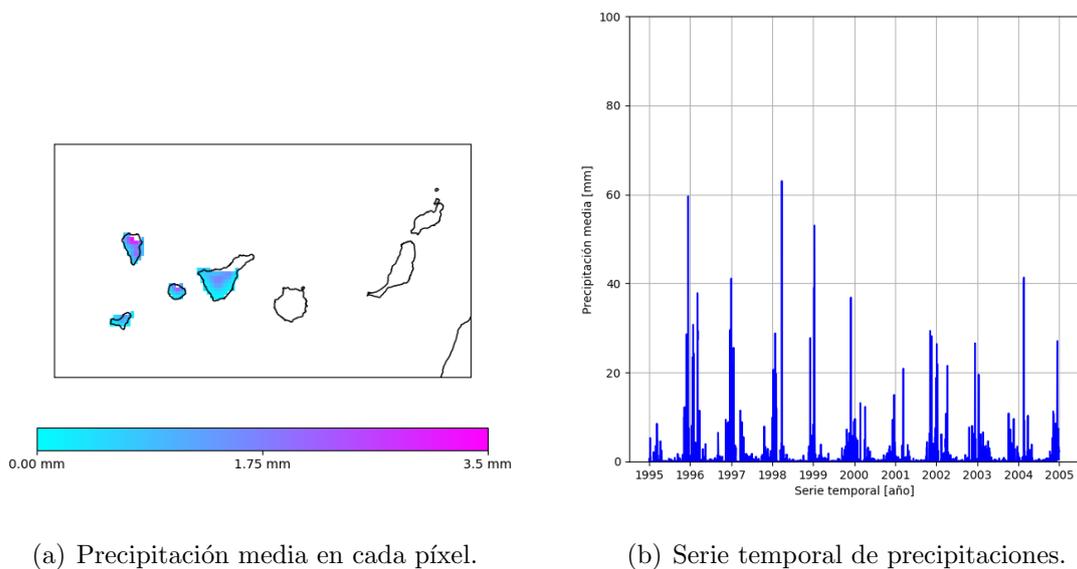


Figura 8: Registros de precipitación para la W-PC2.

- **W-PC3**: esta componente se puede identificar como la isla de Gran Canaria, además de parte de la costa de Santa Cruz de Tenerife. Esta isla presenta un relieve similar al de las islas de la PC2, por lo que se vuelve a tener una vertiente norte húmeda y un sur seco:

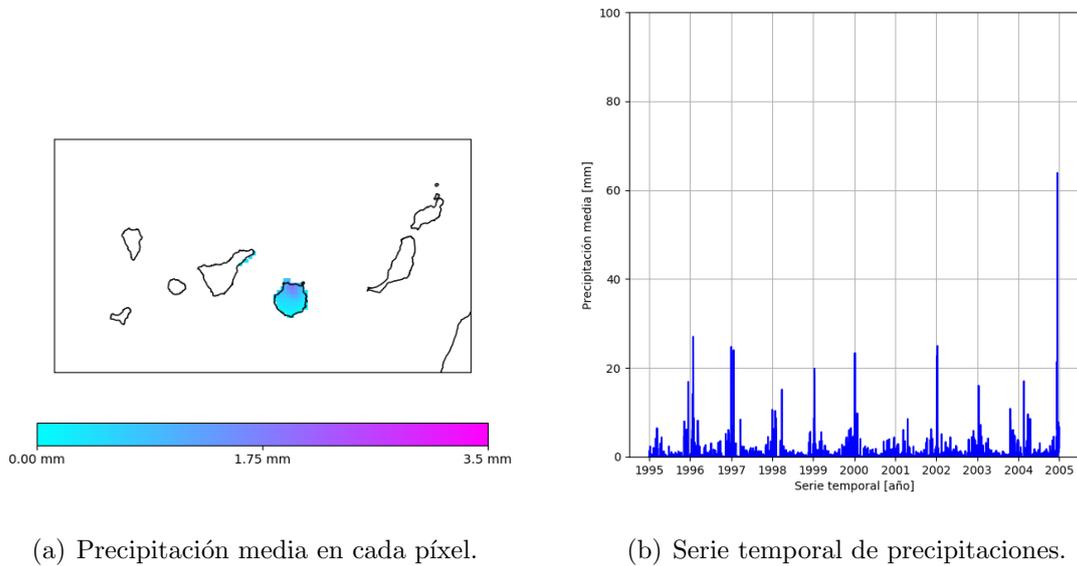


Figura 9: Registros de precipitación para la W-PC3.

- **W-PC4**: esta región comprende el noreste de las islas occidentales, que tienden a ser zonas muy húmedas, pues es por donde los vientos alisios entran en contacto con el archipiélago. La abundancia de lluvias en esta zona queda bien reflejada en las siguientes gráficas:

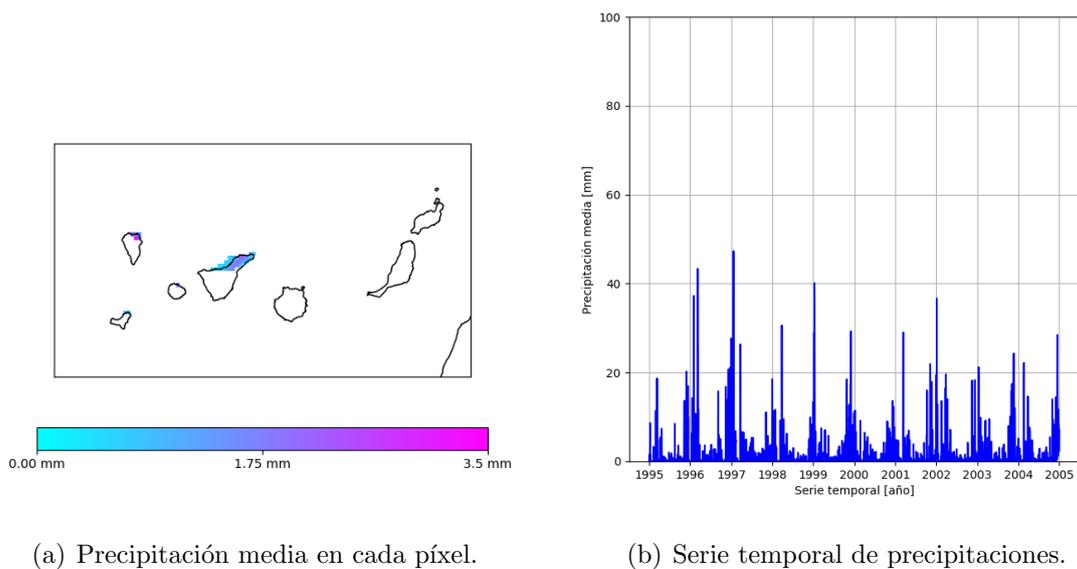
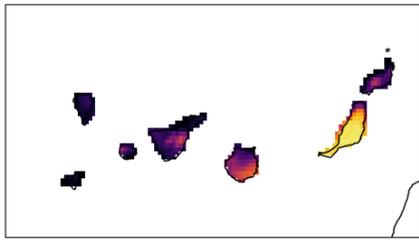


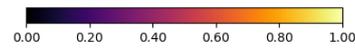
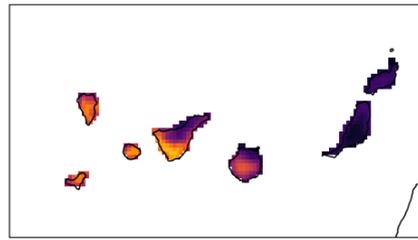
Figura 10: Registros de precipitación para la W-PC4.

### 3.1.2. Base de datos SPREAD

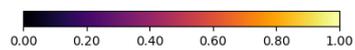
Los resultados obtenidos son:



(a) PC1.



(b) PC2.



(c) PC3.



(d) PC4.

Figura 11: Componentes principales obtenidas con la base de datos SPREAD.

Para ver si estas 4 PC nos dan información importante se analiza la curva de varianza correspondiente:

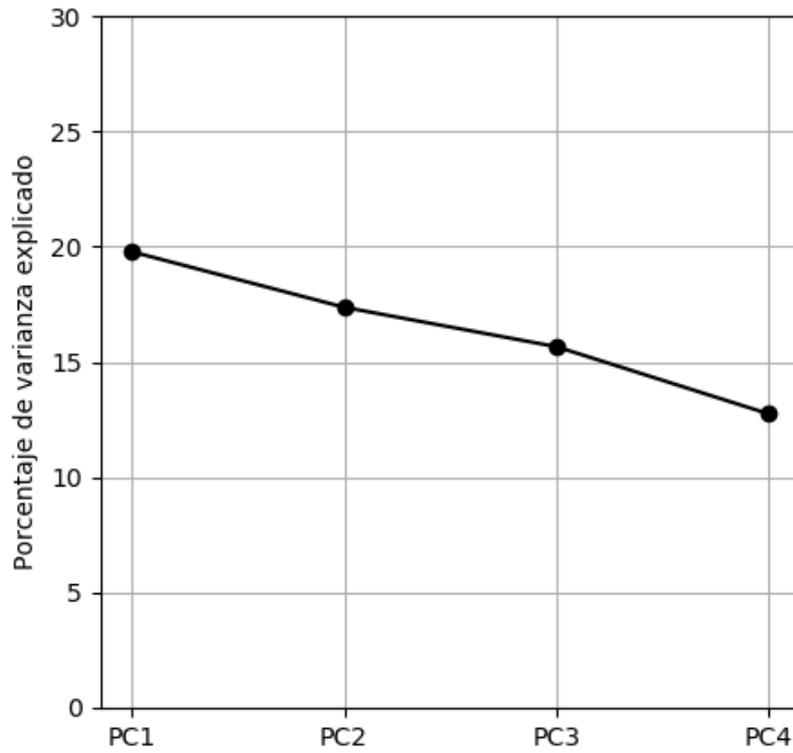
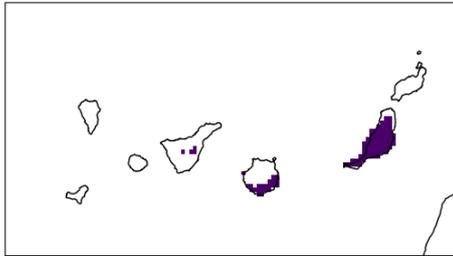


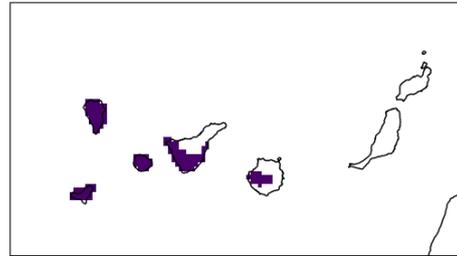
Figura 12: Curva de varianza de las PCs resultantes para el SPREAD.

Nuevamente se aplica la regla del 10 %, siendo en este caso la varianza total explicada de un 65.54 %. Además, se presenta un descenso de la varianza prácticamente lineal.

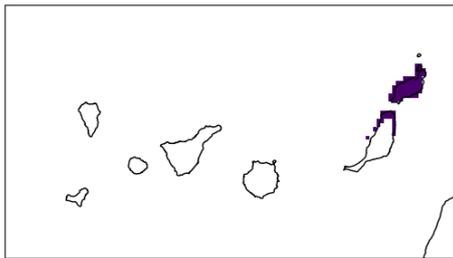
Si se aplica ahora el mismo procedimiento que el realizado para el WRF se pueden determinar las regiones que representa cada PC:



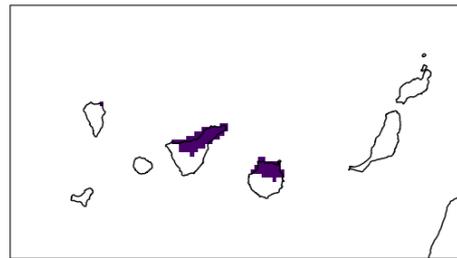
(a) PC1.



(b) PC2.



(c) PC3.



(d) PC4.

Figura 13: Regiones resultantes del PCA con la base de datos SPREAD.

Una vez definidas las regiones, estas se pueden caracterizar y analizar por separado.

- **S-PC1**: esta región comprende casi la totalidad de la isla de Fuerteventura, así como el sur de Gran Canaria y algunas pequeñas áreas del este y centro de Tenerife. Esta región se caracteriza por ser árida, que queda reflejado en los registros de precipitación:

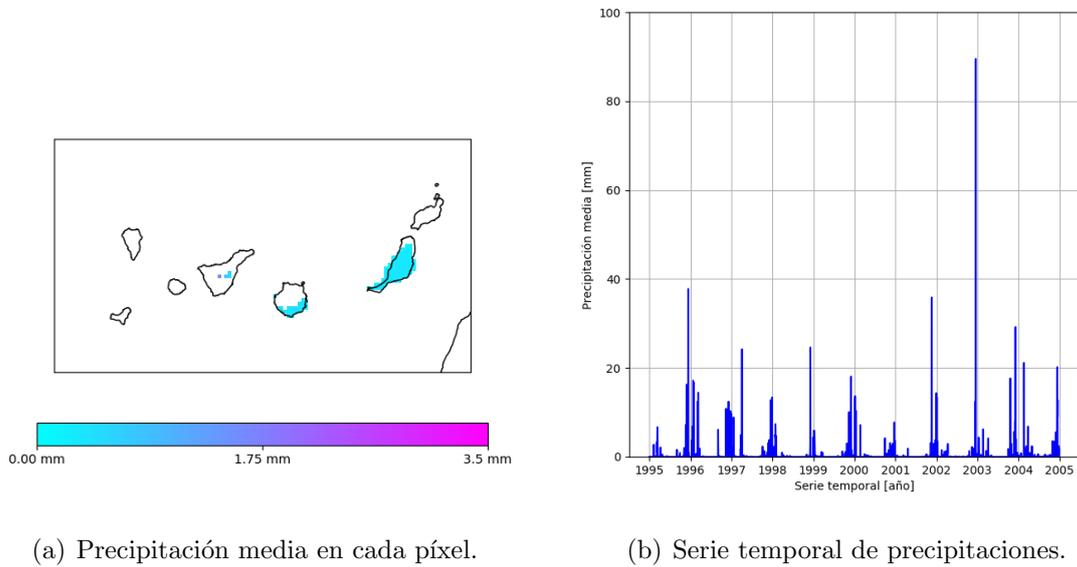


Figura 14: Registros de precipitación para la S-PC1.

- **S-PC2**: esta componente comprende a las islas más occidentales del archipiélago, incluyendo el sur y oeste de Tenerife y el oeste de Gran Canaria:

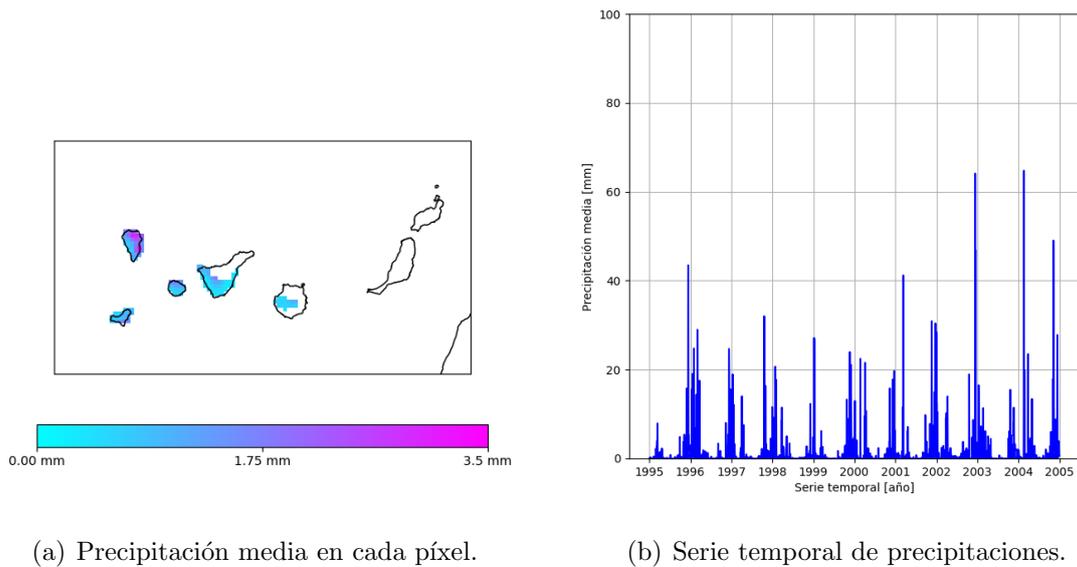


Figura 15: Registros de precipitación para la S-PC2.

- **S-PC3**: esta región engloba a la isla de Lanzarote y al norte de Fuerteventura, que destaca por ser árida, como sucedía con la componente S-PC1. Esto se puede apreciar en los registros de precipitación correspondientes:

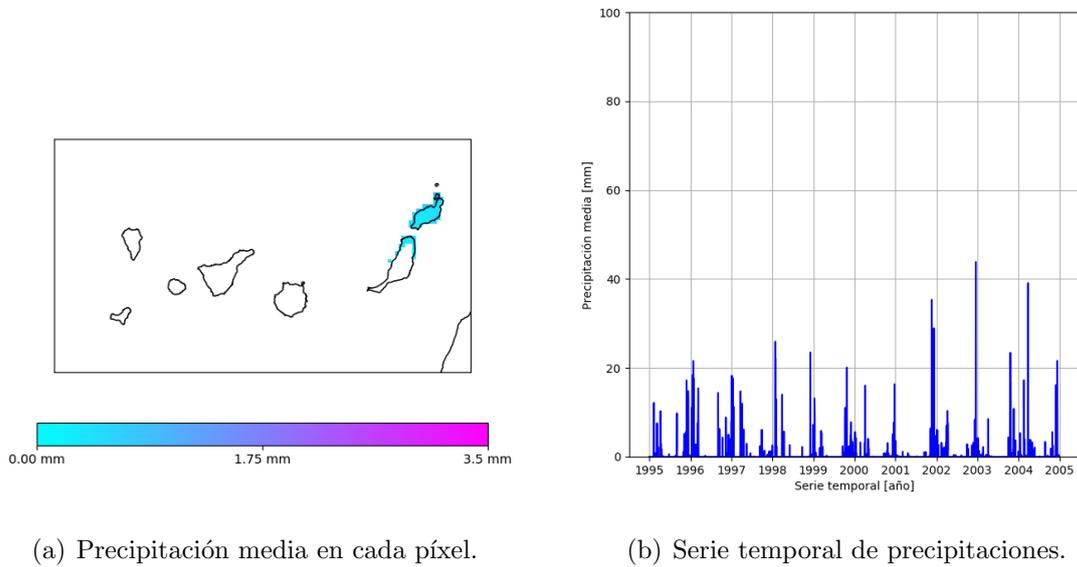


Figura 16: Registros de precipitación para la S-PC3.

- **S-PC4**: en esta región se tienen los nortes de las islas capitalinas. En ellos tienen una fuerte influencia los vientos alisios, por lo que suelen ser zonas húmedas:

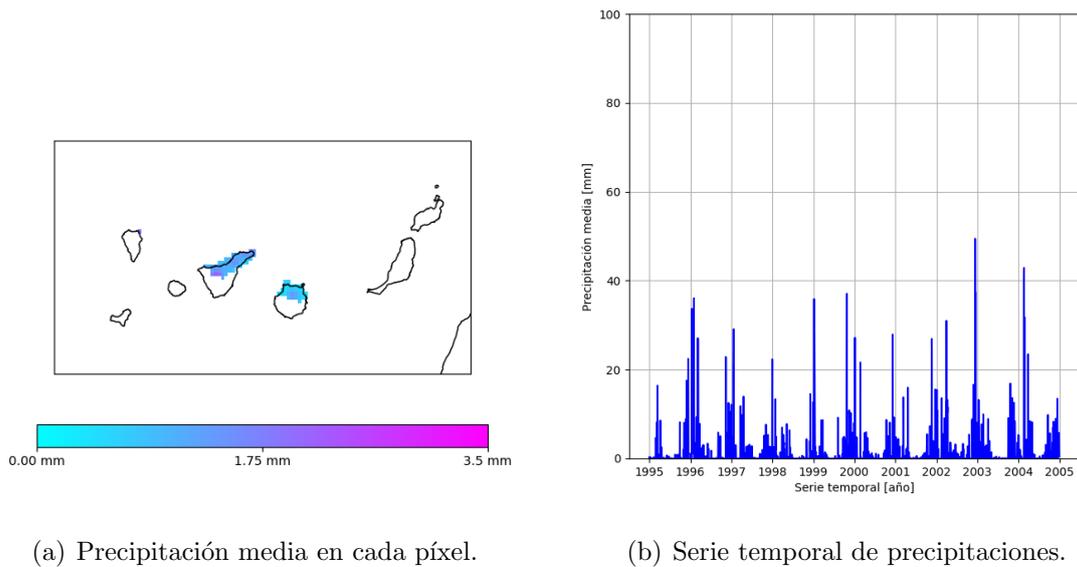


Figura 17: Registros de precipitación para la S-PC4.

### 3.2. Determinación de los tipos de tiempo

Los WTs se han determinado con las ecuaciones y directrices dadas en la sección 2.2. De este modo se han obtenido los siguientes resultados:

Tipo de tiempo	Días en los que tiene lugar cada WT
WT0 (híbridos)	993 días
WT1 (puramente direccional o flujo lineal)	1234 días
WT2 (anticiclónico)	1266 días
WT3 (cyclónico)	74 días
U (indefinido)	86 días
<i>Total</i>	3653 días

Tabla 2: Número de días correspondiente a cada WT en el período 1995-2004.

En esta tabla se puede ver que el tipo de tiempo más usual es el anticiclónico (1266 días), mientras que el menos que se ha dado es el ciclónico (74 días). En la siguiente figura se muestra un ejemplo de cada WT:

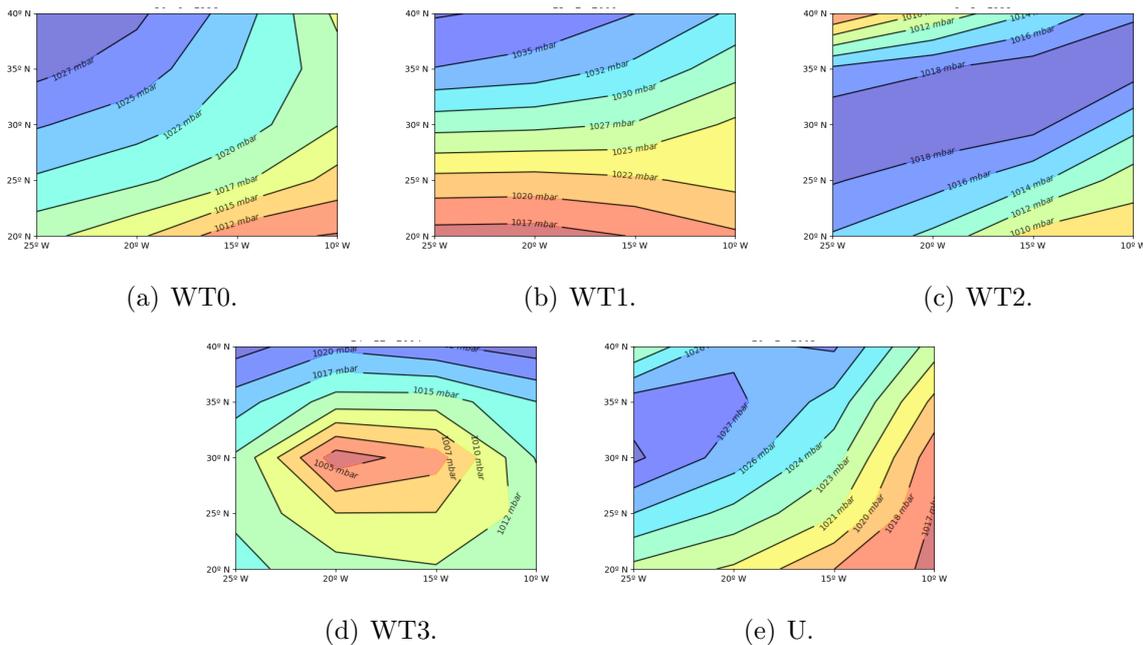


Figura 18: Ejemplos de cada WT en días concretos del período 1995-2004.

Se puede observar como en WT0 las líneas isobáricas pasan de ser lineales a curvarse, debido a la presencia de ciclones y/o anticiclones en las proximidades. Por otro lado, WT1 se caracteriza por presentar líneas de presión prácticamente lineales. En WT2 se puede ver como destaca la presencia de una alta presión, mientras que en WT3 sucede precisamente lo contrario. Finalmente, en U parecen entremezclarse varios WTs, lo que dificulta su clasificación en alguno de los WTs propuestos.

Esto también se puede visualizar con mapas en los que se representa la diferencia entre la presión a nivel de superficie media de un fenómeno concreto en el período 1995-2004 respecto de la presión a nivel superficial media para dicho período. Con esto, los valores de presión negativos nos indicarán centros de bajas presiones, mientras que los valores de presión positivos nos mostrarán justamente lo contrario.

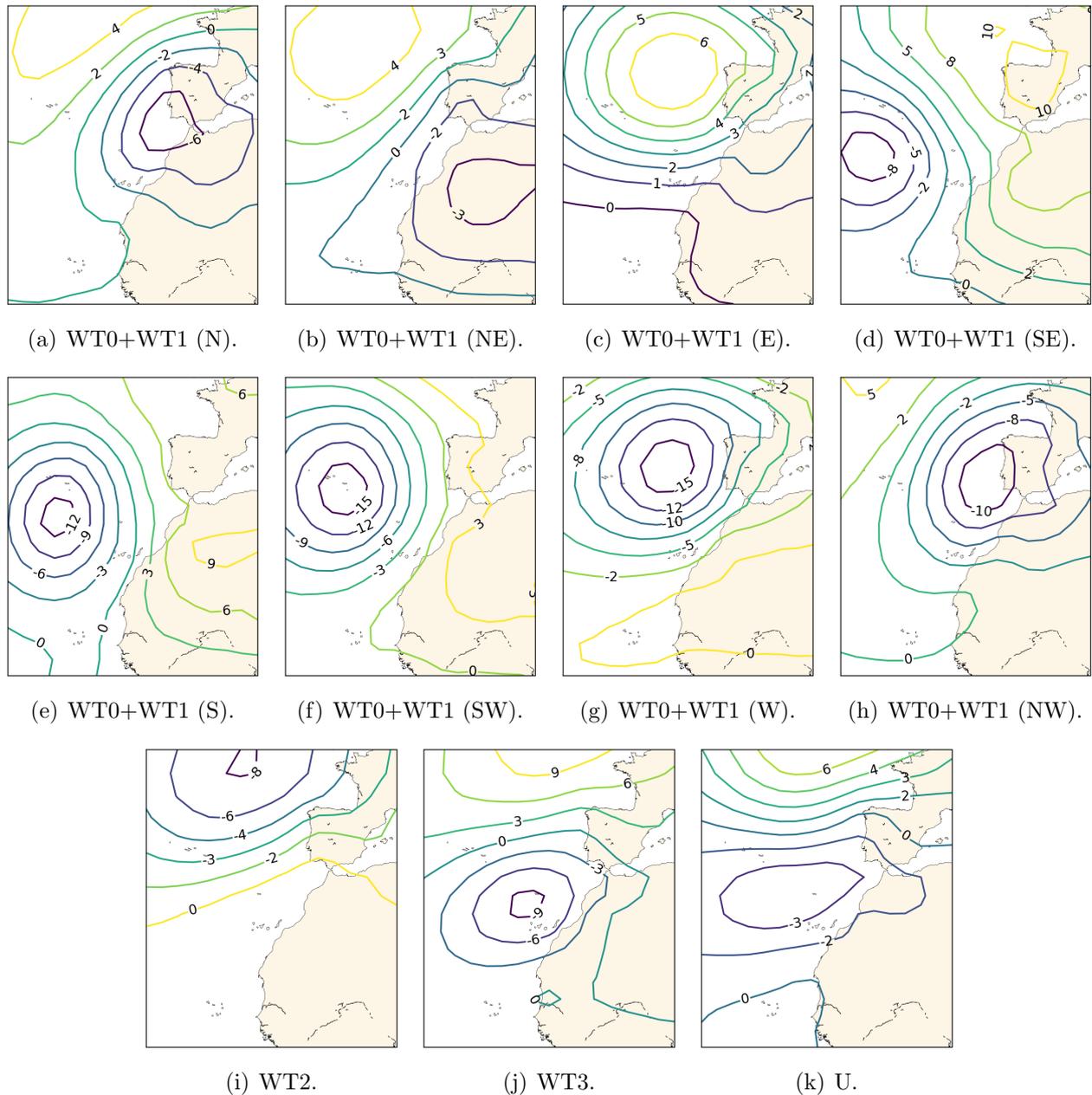


Figura 19: Mapas de diferencias de presión.

En las subfiguras que van de la 19a a la 19h se pueden ver la forma que toman las líneas isobáricas dependiendo de la dirección del viento, teniendo en cuenta híbridos y WTs puramente direccionales. En las tres subfiguras restantes se pueden apreciar los tipos anticiclónico, ciclónico e indefinido, respectivamente.

### 3.3. Análisis de los resultados obtenidos

En este apartado se analizarán por medio de tablas de datos los resultados obtenidos para cada PC y WT. Primero se propondrán los valores de precipitación media y acumulada, en donde se combinarán los híbridos (WT0) y los tipos lineales (WT1) con el fin de obtener mejores resultados, pues como se citó en la sección 2.2 el WT0 tiene parte direccional. Se analizarán solamente aquellos resultados que sean destacables, pues estos valores aportan poca información acerca de que WTs son más influyentes en las Islas Canarias. Posteriormente se analizarán los percentiles 75, 95 y 99, los cuales sí aportan información de mayor relevancia, pues, como también se citó en la sección 2.2, para su cálculo se desprecian los días en los que no haya llovido nada, lo que ayuda a discriminar aquellos días en los que haya habido pocas precipitaciones.

#### 3.3.1. Base de datos WRF

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tipo de tiempo	W-PC1	W-PC2	W-PC3	W-PC4
WT1 (N)	1.75 mm	1.99 mm	2.00 mm	5.10 mm
WT1 (NE)	0.63 mm	0.97 mm	0.88 mm	2.06 mm
WT1 (E)	0.34 mm	0.66 mm	0.51 mm	1.07 mm
WT1 (SE)	0.02 mm	0.47 mm	0.17 mm	0.25 mm
WT1 (S)	8.89 mm	6.57 mm	6.24 mm	2.65 mm
WT1 (SW)	0.19 mm	2.14 mm	0.11 mm	0.47 mm
WT1 (W)	1.42 mm	4.20 mm	1.83 mm	2.11 mm
WT1 (NW)	2.70 mm	2.72 mm	1.32 mm	5.92 mm
WT2	0.26 mm	0.19 mm	0.27 mm	0.44 mm
WT3	2.00 mm	8.83 mm	4.15 mm	6.74 mm
U	0.49 mm	0.82 mm	0.48 mm	0.84 mm

Tabla 3: Precipitación media diaria para las componentes del WRF.

Tipo de tiempo	W-PC1	W-PC2	W-PC3	W-PC4
WT1 (N)	52.38 <i>mm</i>	59.83 <i>mm</i>	59.92 <i>mm</i>	152.88 <i>mm</i>
WT1 (NE)	227.66 <i>mm</i>	351.06 <i>mm</i>	319.04 <i>mm</i>	742.63 <i>mm</i>
WT1 (E)	210.69 <i>mm</i>	413.31 <i>mm</i>	321.72 <i>mm</i>	666.48 <i>mm</i>
WT1 (SE)	0.27 <i>mm</i>	8.44 <i>mm</i>	3.11 <i>mm</i>	4.53 <i>mm</i>
WT1 (S)	35.58 <i>mm</i>	26.29 <i>mm</i>	24.95 <i>mm</i>	10.59 <i>mm</i>
WT1 (SW)	4.42 <i>mm</i>	49.14 <i>mm</i>	2.48 <i>mm</i>	10.84 <i>mm</i>
WT1 (W)	174.98 <i>mm</i>	516.53 <i>mm</i>	224.81 <i>mm</i>	259.76 <i>mm</i>
WT1 (NW)	134.78 <i>mm</i>	135.82 <i>mm</i>	65.82 <i>mm</i>	296.10 <i>mm</i>
WT2	324.81 <i>mm</i>	236.99 <i>mm</i>	341.16 <i>mm</i>	563.10 <i>mm</i>
WT3	147.64 <i>mm</i>	653.32 <i>mm</i>	307.09 <i>mm</i>	498.60 <i>mm</i>
U	42.09 <i>mm</i>	70.92 <i>mm</i>	41.51 <i>mm</i>	72.54 <i>mm</i>
<i>Total</i>	1355.30 <i>mm</i>	2521.65 <i>mm</i>	1711.61 <i>mm</i>	3278.05 <i>mm</i>

Tabla 4: Precipitación acumulada en el período de 10 años para las componentes del WRF.

Las tablas 3 y 4 se entienden mejor si se analizan conjuntamente. Se puede ver como las precipitaciones más abundantes se dan en las regiones W-PC2 (2521.65 *mm* de precipitación total acumulada) (ver figura 6b) y W-PC4 (3278.05 *mm* de precipitación total acumulada) (ver figura 6d). Esta última se analizará en mayor profundidad. En cuanto a precipitación acumulada se refiere, destacan los vientos del noreste (742.63 *mm*), del este (666.48 *mm*) y los WTs anticiclónico (563.10 *mm*) y ciclónico (498.60 *mm*). Con respecto al WT2, la precipitación media es de 0.44 *mm*, por lo que la gran cantidad de precipitación que acumula se debe a la cantidad de días en los que tiene lugar este WT. Además, para el viento del noreste se tienen 5.92 *mm* de precipitación media diaria, acumulando aproximadamente la mitad de precipitación que WT2 (296.10 *mm*), algo que también tiene que ver con la cantidad de días en los que tiene lugar dicho fenómeno.

- Considerando WT0 y WT1 conjuntamente:

Tipo de tiempo	W-PC1	W-PC2	W-PC3	W-PC4
WT0+WT1 (N)	1.41 <i>mm</i>	1.79 <i>mm</i>	1.58 <i>mm</i>	4.31 <i>mm</i>
WT0+WT1 (NE)	0.60 <i>mm</i>	0.69 <i>mm</i>	0.77 <i>mm</i>	1.63 <i>mm</i>
WT0+WT1 (E)	0.28 <i>mm</i>	0.54 <i>mm</i>	0.46 <i>mm</i>	0.90 <i>mm</i>
WT0+WT1 (SE)	0.18 <i>mm</i>	0.72 <i>mm</i>	0.68 <i>mm</i>	0.53 <i>mm</i>
WT0+WT1 (S)	4.46 <i>mm</i>	11.85 <i>mm</i>	4.95 <i>mm</i>	5.30 <i>mm</i>
WT0+WT1 (SW)	0.12 <i>mm</i>	1.70 <i>mm</i>	0.16 <i>mm</i>	0.74 <i>mm</i>
WT0+WT1 (W)	1.11 <i>mm</i>	3.00 <i>mm</i>	1.25 <i>mm</i>	1.54 <i>mm</i>
WT0+WT1 (NW)	2.18 <i>mm</i>	2.45 <i>mm</i>	1.09 <i>mm</i>	5.39 <i>mm</i>
WT2	0.26 <i>mm</i>	0.19 <i>mm</i>	0.27 <i>mm</i>	0.44 <i>mm</i>
WT3	2.00 <i>mm</i>	8.83 <i>mm</i>	4.15 <i>mm</i>	6.74 <i>mm</i>
U	0.49 <i>mm</i>	0.82 <i>mm</i>	0.48 <i>mm</i>	0.84 <i>mm</i>

Tabla 5: Precipitación media diaria para las componentes del WRF.

<b>Tipo de tiempo</b>	<b>W-PC1</b>	<b>W-PC2</b>	<b>W-PC3</b>	<b>W-PC4</b>
WT0+WT1 (N)	83.12 <i>mm</i>	105.45 <i>mm</i>	93.33 <i>mm</i>	254.30 <i>mm</i>
WT0+WT1 (NE)	409.95 <i>mm</i>	474.49 <i>mm</i>	531.60 <i>mm</i>	1122.91 <i>mm</i>
WT0+WT1 (E)	305.31 <i>mm</i>	588.87 <i>mm</i>	502.72 <i>mm</i>	979.72 <i>mm</i>
WT0+WT1 (SE)	7.02 <i>mm</i>	28.27 <i>mm</i>	26.67 <i>mm</i>	20.50 <i>mm</i>
WT0+WT1 (S)	35.70 <i>mm</i>	94.80 <i>mm</i>	39.59 <i>mm</i>	42.37 <i>mm</i>
WT0+WT1 (SW)	5.18 <i>mm</i>	71.20 <i>mm</i>	6.72 <i>mm</i>	30.96 <i>mm</i>
WT0+WT1 (W)	238.25 <i>mm</i>	642.37 <i>mm</i>	268.12 <i>mm</i>	328.60 <i>mm</i>
WT0+WT1 (NW)	187.10 <i>mm</i>	210.28 <i>mm</i>	93.53 <i>mm</i>	463.82 <i>mm</i>
WT2	324.81 <i>mm</i>	236.99 <i>mm</i>	341.16 <i>mm</i>	563.10 <i>mm</i>
WT3	147.64 <i>mm</i>	653.32 <i>mm</i>	307.09 <i>mm</i>	498.60 <i>mm</i>
U	42.09 <i>mm</i>	70.92 <i>mm</i>	41.51 <i>mm</i>	72.54 <i>mm</i>
<i>Total</i>	1786.17 <i>mm</i>	3176.66 <i>mm</i>	2252.04 <i>mm</i>	4377.42 <i>mm</i>

Tabla 6: Precipitación acumulada en el período de 10 años para las componentes del WRF.

Si ahora se consideran los híbridos y los tipos direccionales conjuntamente se puede ver como siguen destacando las componentes W-PC2 (3176.66 *mm* de precipitación total acumulada) (ver figura 6b) y W-PC4 (4377.42 *mm* de precipitación total acumulada) (ver figura 6d). No obstante, en este caso se analizará la región más árida: W-PC1 (1786.17 *mm* de precipitación acumulada) (ver figura 6a). Para dicha componente, los WTs más importantes en cuanto a precipitación media se refiere son los vientos procedentes del sur (4.46 *mm*), del noroeste (2.18 *mm*) y el tiempo ciclónico (2.00 *mm*). Sin embargo, en cuanto a precipitación acumulada se refiere destacan el viento del noreste (409.95 *mm*), tiempo anticiclónico (324.81 *mm*) y el flujo lineal del este (305.31 *mm*). Como se puede ver en la tabla 6, el viento del sur solo acumula 35.70 *mm* de lluvia, mientras que el flujo lineal del este supone 0.28 *mm* de precipitación diaria y el tiempo anticiclónico 0.26 *mm*. Esto vuelve a explicarse por la cantidad de días que atesora cada WT.

### 3.3.2. Base de datos SPREAD

Se han obtenido los siguientes resultados:

Tipo de tiempo	S-PC1	S-PC2	S-PC3	S-PC4
WT1 (N)	0.47 mm	1.23 mm	1.10 mm	3.60 mm
WT1 (NE)	0.21 mm	0.86 mm	0.18 mm	1.21 mm
WT1 (E)	0.09 mm	0.53 mm	0.06 mm	0.46 mm
WT1 (SE)	0.06 mm	0.70 mm	0.04 mm	0.35 mm
WT1 (S)	0.87 mm	2.89 mm	0.29 mm	2.89 mm
WT1 (SW)	0.64 mm	7.34 mm	0.26 mm	3.03 mm
WT1 (W)	2.39 mm	5.55 mm	2.34 mm	3.32 mm
WT1 (NW)	1.31 mm	2.85 mm	2.41 mm	6.46 mm
WT2	0.08 mm	0.29 mm	0.12 mm	0.36 mm
WT3	4.14 mm	10.64 mm	4.05 mm	7.41 mm
U	0.33 mm	1.80 mm	0.29 mm	1.08 mm

Tabla 7: Precipitación media diaria para las componentes del SPREAD.

Tipo de tiempo	S-PC1	S-PC2	S-PC3	S-PC4
WT1 (N)	14.23 mm	37.04 mm	32.94 mm	108.10 mm
WT1 (NE)	75.00 mm	311.23 mm	64.14 mm	438.40 mm
WT1 (E)	54.28 mm	327.81 mm	39.42 mm	285.04 mm
WT1 (SE)	1.15 mm	12.59 mm	0.66 mm	6.24 mm
WT1 (S)	3.47 mm	11.56 mm	1.17 mm	11.55 mm
WT1 (SW)	14.74 mm	168.85 mm	6.03 mm	69.76 mm
WT1 (W)	293.63 mm	683.11 mm	287.85 mm	407.75 mm
WT1 (NW)	65.61 mm	142.52 mm	120.68 mm	323.11 mm
WT2	94.97 mm	372.29 mm	157.71 mm	460.59 mm
WT3	306.42 mm	787.16 mm	299.67 mm	584.43 mm
U	28.52 mm	154.59 mm	25.28 mm	93.19 mm
Total	952.02 mm	3008.75 mm	1035.55 mm	2752.16 mm

Tabla 8: Precipitación acumulada en el período de 10 años para las componentes del SPREAD.

Para esta base de datos se puede ver como las regiones más húmedas son la S-PC2 (3008.75 mm de precipitación total acumulada) (ver figura 13b) y la S-PC4 (2752.16 mm de precipitación total acumulada) (ver figura 13d). Ambas componentes son similares a las obtenidas con la base de datos WRF (W-PC2 y W-PC4). Ahora se analizará la primera de estas regiones. Si se sigue estudiando la precipitación acumulada, se puede apreciar como el WT más influyente es el ciclónico (787.16 mm), seguido del viento del oeste (683.11 mm). En cuanto a precipitación media se refiere, estos WT ostentan 10.64 mm y 5.55 mm respectivamente, que son valores altos y que explican la cantidad de precipitación que acumulan. Sin embargo, una gran diferencia entre la precipitación media y la acumulada total se vuelve a dar en el WT2, entre otros, en donde se tienen 0.29 mm de precipitación media diaria y 372.29 mm de precipitación acumulada. Algo similar sucede con los vientos del noreste y este.

- Considerando WT0 y WT1 conjuntamente:

Tipo de tiempo	S-PC1	S-PC2	S-PC3	S-PC4
WT0+WT1 (N)	0.78 mm	1.47 mm	1.79 mm	4.16 mm
WT0+WT1 (NE)	0.17 mm	0.62 mm	0.18 mm	0.96 mm
WT0+WT1 (E)	0.13 mm	0.48 mm	0.13 mm	0.46 mm
WT0+WT1 (SE)	0.05 mm	0.75 mm	0.12 mm	0.20 mm
WT0+WT1 (S)	0.56 mm	4.28 mm	0.81 mm	2.09 mm
WT0+WT1 (SW)	0.82 mm	5.16 mm	0.95 mm	2.03 mm
WT0+WT1 (W)	1.65 mm	4.38 mm	2.15 mm	2.61 mm
WT0+WT1 (NW)	1.45 mm	2.31 mm	1.80 mm	5.47 mm
WT2	0.08 mm	0.29 mm	0.12 mm	0.36 mm
WT3	4.14 mm	10.64 mm	4.05 mm	7.41 mm
U	0.33 mm	1.80 mm	0.29 mm	1.08 mm

Tabla 9: Precipitación media diaria para las componentes del SPREAD.

Tipo de tiempo	S-PC1	S-PC2	S-PC3	S-PC4
WT0+WT1 (N)	45.92 mm	86.70 mm	105.80 mm	245.31 mm
WT0+WT1 (NE)	118.92 mm	424.99 mm	123.70 mm	656.96 mm
WT0+WT1 (E)	144.20 mm	526.66 mm	136.65 mm	504.58 mm
WT0+WT1 (SE)	2.00 mm	29.24 mm	4.65 mm	7.94 mm
WT0+WT1 (S)	4.45 mm	34.26 mm	6.47 mm	16.69 mm
WT0+WT1 (SW)	34.57 mm	216.65 mm	39.99 mm	85.45 mm
WT0+WT1 (W)	352.57 mm	938.09 mm	460.74 mm	557.63 mm
WT0+WT1 (NW)	124.68 mm	198.57 mm	154.91 mm	470.81 mm
WT2	94.97 mm	372.29 mm	157.71 mm	460.59 mm
WT3	306.42 mm	787.16 mm	299.67 mm	548.43 mm
U	28.52 mm	154.59 mm	25.28 mm	93.19 mm
<i>Total</i>	1257.22 mm	3769.20 mm	1515.5 mm	3647.58 mm

Tabla 10: Precipitación acumulada en el período de 10 años para las componentes del SPREAD.

Se vuelve a tener que las regiones más húmedas son la S-PC2 (3769.20 mm de precipitación total acumulada) (ver figura 13b) y la S-PC4 (3647.58 mm de precipitación total acumulada) (ver figura 13d). En este caso se analizará la componente S-PC4. Esta se caracteriza por tener grandes registros diarios de precipitaciones cuando se da tiempo ciclónico (7.41 mm), flujo lineal del noroeste (5.47 mm) y del norte (4.16 mm). La media de precipitaciones diarias también es importante cuando se da viento del oeste (2.61 mm), del sur (2.09 mm) y del suroeste (2.03 mm). Por otro lado, se puede ver que los WTs causantes de la mayor acumulación de lluvias en los 10 años que se están estudiando son el viento del noreste (656.96 mm), del oeste (557.63 mm), el tiempo ciclónico (548.43 mm), los vientos orientales (504.58 mm) y noroccidentales (470.81 mm) y el tiempo anticiclónico (460.59 mm). No obstante, también se puede apreciar como el tiempo anticiclónico y los flujos lineales del noreste y este presentan baja precipitación

media diaria: 0.36 *mm*, 0.96 *mm* y 0.46 *mm*. Además, la precipitación acumulada debida a los vientos del sur (16.69 *mm*) y del suroeste (85.45 *mm*) es muy baja, a diferencia de la precipitación media diaria que dejan a su paso por el archipiélago.

### 3.4. Análisis de los percentiles

Como se citó en la sección 2, se calcularán los percentiles 75, 95 y 99 a partir de cada base de datos.

Como criterio de clasificación, se determinarán como WTs muy influyentes aquellos que superen o igualen un 15% de precipitación acumulada, mientras que serán simplemente influyentes aquellos que oscilen entre un 10% y un 15%. Los que no alcancen estas cotas se considerarán como WTs poco influyentes.

#### 3.4.1. Percentil 75

El percentil 75 permite hacer una primera evaluación acerca de que WTs son más influyentes en cada una de las regiones. No obstante, los resultados obtenidos para los percentiles 95 y 99 nos mostrarán resultados más significativos, ya que se basan en precipitaciones intensas.

En este margen de trabajo se analizarán lluvias de carácter moderado, e incluso débiles, en adelante.

- Base de datos WRF:

Los resultados obtenidos aplicando el análisis de percentiles son los siguientes:

Tipo de tiempo	W-PC1	W-PC2	W-PC3	W-PC4
WT0+WT1 (N)	5.67 %	3.41 %	4.71 %	6.50 %
WT0+WT1 (NE)	21.67 %	14.05 %	22.71 %	25.81 %
WT0+WT1 (E)	14.42 %	17.48 %	21.26 %	20.76 %
WT0+WT1 (SE)	0.41 %	0.92 %	1.42 %	0.50 %
WT0+WT1 (S)	2.67 %	3.25 %	2.13 %	1.07 %
WT0+WT1 (SW)	0.27 %	2.37 %	0.22 %	0.77 %
WT0+WT1 (W)	16.37 %	21.55 %	13.45 %	7.86 %
WT0+WT1 (NW)	13.30 %	6.98 %	4.50 %	12.07 %
WT2	12.00 %	5.43 %	11.32 %	10.03 %
WT3	10.78 %	22.31 %	16.32 %	13.00 %
U	2.44 %	2.27 %	1.96 %	1.64 %
PERCENTIL 75	0.74 <i>mm</i>	0.73 <i>mm</i>	0.9 <i>mm</i>	1.46 <i>mm</i>

Tabla 11: Precipitación acumulada en porcentaje que supera el percentil 75 para el WRF.

Como se puede ver, para la componente W-PC1 (ver figura 6a) los WT's más influyentes en los registros de precipitaciones de la zona son el flujo lineal procedente del noreste (21.67 %) y del oeste (16.37 %). También tienen su importancia los vientos procedentes del este (14.42 %) y noroeste (13.30 %) y los tiempos anticiclónico (12.00 %) y ciclónico (10.78 %). Se ve que el tiempo anticiclónico aparece como uno de los WT's más influyentes en la precipitación de la zona, importancia que disminuirá con los percentiles 95 y 99.

Para la segunda componente, W-PC2 (ver figura 6b), se tiene que los WT's más destacables son el tiempo ciclónico (22.31 %) y los vientos procedentes del oeste (21.55 %) y del este (17.48 %). También destaca, aunque en menor medida, el flujo lineal del noreste (14.05 %).

En la componente W-PC3 (ver figura 6c) se puede apreciar que los WT's más importantes son el viento procedente del noreste (22.71 %) y del este (21.26 %) y el tiempo ciclónico (16.32 %). Destacan en menor medida el flujo lineal del oeste (13.45 %) y el tiempo anticiclónico (11.32 %).

Por último, en la región W-PC4 (ver figura 6d) los WT's más influyentes son los vientos del noreste (25.81 %) y del este (20.76 %). En este caso también tienen su importancia otros WT's, como el ciclónico (13.00 %), el flujo lineal del noroeste (12.07 %) y el anticiclónico (10.03 %).

- Base de datos SPREAD:

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tipo de tiempo	S-PC1	S-PC2	S-PC3	S-PC4
WT0+WT1 (N)	3.56 %	2.15 %	7.41 %	7.35 %
WT0+WT1 (NE)	8.62 %	9.84 %	5.47 %	17.41 %
WT0+WT1 (E)	10.81 %	12.38 %	8.63 %	12.76 %
WT0+WT1 (SE)	0.15 %	0.79 %	0.32 %	0.19 %
WT0+WT1 (S)	0.38 %	1.01 %	0.43 %	0.46 %
WT0+WT1 (SW)	2.93 %	6.44 %	2.96 %	2.47 %
WT0+WT1 (W)	29.23 %	27.30 %	33.66 %	15.94 %
WT0+WT1 (NW)	10.09 %	5.23 %	9.92 %	14.45 %
WT2	6.38 %	6.76 %	7.59 %	9.36 %
WT3	25.79 %	23.85 %	22.79 %	17.23 %
U	2.07 %	4.24 %	0.83 %	2.38 %
PERCENTIL 75	0.56 mm	1.86 mm	2.67 mm	1.96 mm

Tabla 12: Precipitación acumulada en porcentaje que supera el percentil 75 para el SPREAD.

La primera componente, S-PC1 (ver figura 13a), se ve más influenciada por el viento del oeste (29.23 %) y el tiempo ciclónico (25.79 %). En menor medida también tienen su importancia los vientos del este (10.81 %) y noroeste (10.09 %).

Para la región S-PC2 (ver figura 13b) se puede ver como los WT's más influyentes vuelven a ser el viento del oeste (27.30 %) y el tiempo ciclónico (23.85 %), siendo menos importante el viento procedente del este (12.38 %).

En la zona S-PC3 (ver figura 13c) se vuelven a obtener los mismos WTs: viento del oeste (33.66 %) y tiempo ciclónico (22.79 %).

Por último, la región S-PC3 ya no muestra unos porcentajes tan evidentes. Ahora, los WTs más importantes son el flujo lineal del noreste (17.41 %), el tiempo ciclónico (17.23 %) y el flujo lineal del oeste (15.94 %). En menor medida destacan los vientos procedentes del noroeste (14.45 %) y los del este (12.76 %).

### 3.4.2. Percentil 95

En este margen de trabajo prácticamente se descartan las lluvias débiles y de carácter moderado, cobrando más importancia la influencia de las precipitaciones intensas. Por tanto, con el análisis de este percentil se podrán obtener los mejores resultados acerca de como se distribuye la precipitación copiosa en el archipiélago dependiendo del WT que se considere.

- Base de datos WRF:

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tipo de tiempo	W-PC1	W-PC2	W-PC3	W-PC4
WT0+WT1 (N)	7.31 %	2.92 %	4.38 %	8.35 %
WT0+WT1 (NE)	10.14 %	10.38 %	18.72 %	22.00 %
WT0+WT1 (E)	14.47 %	12.86 %	18.28 %	14.29 %
WT0+WT1 (SE)	0.72 %	0.66 %	2.34 %	0.64 %
WT0+WT1 (S)	4.71 %	4.53 %	3.98 %	1.52 %
WT0+WT1 (SW)	0.47 %	2.81 %	0.00 %	0.97 %
WT0+WT1 (W)	23.67 %	25.03 %	17.45 %	7.83 %
WT0+WT1 (NW)	16.41 %	5.73 %	3.12 %	16.40 %
WT2	2.55 %	2.98 %	2.84 %	5.22 %
WT3	16.56 %	30.32 %	27.55 %	21.18 %
U	2.98 %	1.78 %	1.34 %	1.61 %
PERCENTIL 95	2.66 mm	5.78 mm	4.00 mm	8.59 mm

Tabla 13: Precipitación acumulada en porcentaje que supera el percentil 95 para el WRF.

Para la primera componente principal, W-PC1 (ver figura 6a), se tiene que los WTs más influyentes son el viento del oeste (23.67 %), el tiempo ciclónico (16.56 %) y el viento procedente del noroeste (16.41 %). Menor importancia cobran el flujo lineal del este (14.47 %) y del noreste (10.14 %). Dado que esta región es árida y está formada por islas de bajo relieve, se entiende que los vientos de cualquier componente tengan cierta influencia en la precipitación de esta zona, ya sea en mayor o menor medida.

Para la componente W-PC2 (ver figura 6b), los WTs más importantes son el tiempo ciclónico (30.32 %) y el viento del oeste (25.03 %). Seguidamente se tienen los vientos procedentes del este (12.86 %) y del noreste (10.38 %). La gran importancia del flujo lineal del oeste se debe a que esta región, como se citó en la sección 3.1, engloba las vertientes occidentales de las islas de la provincia de Santa Cruz de Tenerife. Además, la influencia moderada de los vientos de componente oriental encuentran su explicación en la alta humedad que presenta la vertiente este de la isla de La Palma.

La región W-PC3 (ver figura 6c) se ve bastante influenciada por el tiempo ciclónico (27.55 %) y por los vientos procedentes del noreste (18.72 %), este (18.28 %) y oeste (17.45 %). Esta región, que se corresponde con la isla de Gran Canaria, destaca por tener un relieve suficiente como para frenar los vientos alisios y producir formaciones nubosas tanto en el norte como noreste de la isla, dando esto explicación a la importancia de los vientos procedentes de dichas direcciones en la influencia de las precipitaciones en la zona. Por otro lado, el flujo lineal del oeste es importante también en esta isla, dando esto muestra de la humedad que predomina en la cara noroccidental de la isla.

Por último, en la componente W-PC4 (ver figura 6d) se tiene que los WTs más importantes son el viento del noreste (22.00 %), el tiempo ciclónico (21.18 %) y el flujo lineal del noroeste (16.40 %). También tiene su importancia el viento procedente del este (14.29 %). Esta región comprende los montes de Anaga, que se encuentra en el noreste de Tenerife, y el bosque de Los Tilos, que se encuentra en el noreste de La Palma, entre otros lugares de interés. La vegetación de estas áreas destaca por ser de laurisilva, es decir, se tratan de zonas con una alta humedad. Esto da explicación a que los vientos procedentes del noreste y, en menor medida, del este cobren bastante importancia en el desarrollo de las precipitaciones de la región. Además, el monte de Anaga también se ve influenciado por los vientos procedentes del noroeste.

- Base de datos SPREAD:

Los resultados obtenidos son los siguientes:

<b>Tipo de tiempo</b>	<b>S-PC1</b>	<b>S-PC2</b>	<b>S-PC3</b>	<b>S-PC4</b>
WT0+WT1 (N)	1.93 %	1.43 %	8.52 %	10.36 %
WT0+WT1 (NE)	4.95 %	6.91 %	0.00 %	14.60 %
WT0+WT1 (E)	11.55 %	8.78 %	9.98 %	9.44 %
WT0+WT1 (SE)	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %
WT0+WT1 (S)	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.68 %
WT0+WT1 (SW)	1.92 %	9.82 %	4.91 %	2.66 %
WT0+WT1 (W)	34.15 %	28.27 %	43.45 %	15.81 %
WT0+WT1 (NW)	7.54 %	2.51 %	5.08 %	18.41 %
WT2	4.03 %	2.89 %	5.43 %	2.90 %
WT3	33.01 %	35.86 %	22.63 %	23.62 %
U	0.91 %	3.52 %	0.00 %	1.51 %
PERCENTIL 95	5.90 mm	11.87 mm	12.79 mm	9.71 mm

Tabla 14: Precipitación acumulada en porcentaje que supera el percentil 95 para el SPREAD.

En la componente S-PC1 (ver figura 13a) destacan el flujo lineal del oeste (34.15%) y el tiempo anticiclónico (33.01%). También tiene cierta importancia el viento del este (11.55%). Esta región, que engloba casi la totalidad de Fuerteventura y el sur de Gran Canaria, destaca por ser árida. No obstante, los vientos procedentes del oeste suelen ser bastante húmedos, por lo que al pasar por la isla mayorera suelen dejar precipitaciones. La influencia no tan importante del viento del este puede deberse a las pequeñas áreas del este de Tenerife que se encuentran en esta componente y que parecen encontrarse en el valle de Güímar, que forma parte de la corona forestal.

Para la región S-PC2 (ver figura 13b) los WTs más influyentes son el tiempo ciclónico (35.86%) y el viento del oeste (28.27%). Esta componente se puede comparar, por similitud, a la región W-PC2. Nuevamente, la importancia de estos vientos se debe a que la región comprende el oeste de las islas occidentales, además del oeste de Gran Canaria.

En la tercera componente, S-PC3 (ver figura 13c), destaca especialmente el viento de componente occidental (43.45%), acumulando casi la mitad de las precipitaciones intensas en la región. También tiene especial importancia el tiempo ciclónico (22.63%). La zona, que comprende la isla de Lanzarote y el norte de Fuerteventura, destaca por ser árida, como la componente S-PC1. La explicación de la gran importancia de los vientos del oeste vuelve a radicar en lo húmedos que son.

Por último se tiene la componente S-PC4 (ver figura 13d), en donde predominan el tiempo ciclónico (23.62%) y los vientos del noroeste (18.41%) y del oeste (15.81%). También destacan en menor medida los vientos de componente nororiental (14.60%) y norte (10.36%). Esto se debe a que las zonas que se ven afectadas en esta componente son los nortes de las islas capitales, dando esto explicación a la influencia de los vientos de componente norte, noroccidental y nororiental. Los vientos occidentales afectan especialmente al noreste de Tenerife, mientras que los vientos del noreste, normalmente los alisios, afectan especialmente a los valles que se encuentran en esta zona, como el valle de La Orotava.

### 3.4.3. Percentil 99

Con el análisis de este percentil cobrarán especial importancia las lluvias torrenciales, es decir, precipitaciones extremas.

- Base de datos WRF:

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tipo de tiempo	W-PC1	W-PC2	W-PC3	W-PC4
WT0+WT1 (N)	0.00 %	0.00 %	0.00 %	14.26 %
WT0+WT1 (NE)	7.16 %	14.47 %	10.64 %	19.55 %
WT0+WT1 (E)	25.67 %	11.20 %	6.91 %	11.05 %
WT0+WT1 (SE)	0.00 %	0.00 %	2.92 %	0.00 %
WT0+WT1 (S)	10.19 %	7.43 %	8.63 %	4.27 %
WT0+WT1 (SW)	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %
WT0+WT1 (W)	18.72 %	15.34 %	26.73 %	6.82 %
WT0+WT1 (NW)	11.39 %	3.46 %	0.00 %	12.34 %
WT2	3.02 %	0.00 %	0.00 %	5.20 %
WT3	21.16 %	48.10 %	44.17 %	26.50 %
U	2.70 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %
PERCENTIL 99	7.97 mm	24.76 mm	9.95 mm	20.63 mm

Tabla 15: Precipitación acumulada en porcentaje que supera el percentil 99 para el WRF.

Para la componente W-PC1 (ver figura 6a) se tiene que los WTs más influyentes son el viento del este (25.67%), el tiempo ciclónico (21.16%) y el viento del oeste (18.72%). Destacan en menor grado los vientos del noroeste (11.39%) y del sur (10.19%).

Para la componente W-PC2 (ver figura 6b) se puede apreciar como destaca en gran medida el tiempo ciclónico (48.10%), que es causante de casi la mitad de las lluvias torrenciales en la región. También destaca el viento del oeste (15.34%) y, en menor medida, los vientos del noreste (14.47%) y del este (11.20%).

En la región W-PC3 (ver figura 6c) el tiempo ciclónico vuelve a tener un elevado porcentaje de precipitaciones muy intensas (44.17%). Menor es la influencia de los vientos del oeste (26.37%), aunque sigue siendo bastante importante. También influyen los vientos de componente nororiental (10.64%).

Por último, en la zona W-PC4 (ver figura 6d) el tiempo ciclónico vuelve a ser importante (26.50%), aunque ahora solo explica un cuarto de las lluvias torrenciales en la región. También tienen una importante influencia los vientos del noreste (19.55%), además de los vientos del norte (14.26%), noroeste (12.34%) y este (11.05%). Estos cuatro últimos WTs encuentran su explicación en las abundantes precipitaciones que dejan los alisios por medio del fenómeno conocido como mar de nubes.

- Base de datos SPREAD:

Los resultados obtenidos al analizar el percentil 99 con los datos del SPREAD son:

Tipo de tiempo	S-PC1	S-PC2	S-PC3	S-PC4
WT0+WT1 (N)	0.00 %	0.00 %	0.00 %	6.53 %
WT0+WT1 (NE)	0.00 %	6.31 %	0.00 %	0.00 %
WT0+WT1 (E)	18.03 %	8.89 %	29.93 %	11.05 %
WT0+WT1 (SE)	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %
WT0+WT1 (S)	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %
WT0+WT1 (SW)	0.00 %	16.33 %	14.72 %	0.00 %
WT0+WT1 (W)	46.53 %	15.02 %	22.29 %	21.97 %
WT0+WT1 (NW)	0.00 %	0.00 %	0.00 %	20.41 %
WT2	0.00 %	0.00 %	0.00 %	6.34 %
WT3	35.44 %	49.00 %	33.07 %	33.69 %
U	0.00 %	4.44 %	0.00 %	0.00 %
PERCENTIL 99	16.91 mm	26.97 mm	23.44 mm	26.87 mm

Tabla 16: Precipitación acumulada en porcentaje que supera el percentil 99 para el SPREAD.

En la región S-PC1 (ver figura 13a) los WTs más influyentes son el viento del oeste (46.53 %), el tiempo ciclónico (35.44 %) y el viento del este (18.03 %).

Para la componente S-PC2 (ver figura 13b) destaca con gran diferencia el tiempo ciclónico (49.00 %), aglomerando prácticamente la mitad de las precipitaciones torrenciales. También destacan, en menor medida, los vientos del suroeste (16.33 %) y del oeste (15.02 %).

La componente S-PC3 (ver figura 13c) se ve bastante influenciada por el tiempo ciclónico (33.07 %) y los vientos del este (29.93 %) y del oeste (22.29 %). En menor medida también influyen los vientos de componente suroccidental (14.72 %).

Finalmente, en la componente S-PC4 (ver figura 13d) vuelve a destacar el tiempo ciclónico (33.69 %), seguido del flujo lineal del oeste (21.97 %) y del noroeste (20.41 %). El viento del este también cobra cierta importancia (11.05 %).

## 4. Conclusiones

### SUMMARY

*In this section, the results of PCA, WT's calculation and their analysis will be discussed, only considering the most representative obtained results and highlighting especially the obtained results using the 95<sup>th</sup> percentile. Finally, the results of both databases will be compared.*

*The WT's that are more important in the Canary Islands for WRF database are the cyclonic type and northeast, east and west winds. In the islands of Fuerteventura, Lanzarote and the northeast of La Palma and Tenerife the northwest winds are also important for the rain in the zone. Meanwhile, for SPREAD database the cyclonic type and the west winds are very important, and also the northwest, northeast and north winds in the north of the capital islands.*

---

En este último apartado se expondrán los resultados obtenidos de mayor relevancia.

En cuanto al PCA, cabe destacar la similitud existente entre las componentes W-PC2 (ver figura 6b) y S-PC2 (ver figura 13b) y, en menor medida, las regiones W-PC4 (ver figura 6d) y S-PC4 (ver figura 13b).

Por otro lado, el WT que más se da en Canarias es el tiempo anticiclónico, con un total de 1266 días, seguido de cerca por los tipos puramente direccionales, que atesoran 1234 días. En el lado contrario se tiene el tiempo ciclónico, que solo ha tenido lugar en 74 ocasiones en el período 1995-2004.

Por último, con respecto al análisis de los resultados obtenidos al comparar el producto de tratar conjuntamente el fruto del PCA y de la determinación de WT's, se pondrá especial énfasis en los resultados que se hallaron con el percentil 95 (sección 3.4.2), que es el que reúne las lluvias más intensas.

### 4.1. Base de datos WRF

Las conclusiones que se pueden extraer a partir de esta base de datos son los siguientes:

- En todas las islas el **tiempo ciclónico** suele ser la causa de las lluvias intensas (23.90 % de media), mientras que el **anticiclónico** apenas influye en este aspecto (3.40 % de media).
- En cuanto a los WT's puramente direccionales, los que más importancia tienen en la sucesión de las lluvias en toda Canarias son aquellos cuyos vientos proceden del **noreste** (15.31 % de media), del **este** (14.98 % de media) y del **oeste** (18.50 % de media). Por otro lado, los vientos del **sureste** (1.09 % de media) y del **suroeste** (1.06 % de media) apenas dejan precipitaciones importantes en las islas.
- Los vientos del **noroeste** (16.41 % de media) dejan importantes lluvias en las islas de Fuerteventura, Lanzarote y en el noreste de La Palma y Tenerife

## 4.2. Base de datos SPREAD

Para esta base de datos se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Nuevamente, el **tiempo ciclónico** vuelve a ser una de las causas principales de las lluvias intensas en Canarias (28.78 % de media), mientras que el **tiempo anticiclónico** apenas deja precipitaciones en el archipiélago (3.81 % de media).
- Por otro lado, destacan notablemente los vientos de componente **occidental** (30.42 % de media) en todas las islas. Los vientos del **este** tienen una contribución próxima a la décima parte de las lluvias importantes en todas las regiones analizadas (9.94 % de media). Por el contrario, los vientos del **sur** (0.17 % de media) y del **sureste** (0.00 % de media) apenas dejan precipitaciones abundantes.
- En los nortes de las islas capitalinas destacan los vientos del **noroeste** (18.41 % de media), **noreste** (14.60 % de media) y **norte** (10.36 %).

## 4.3. Comparativa entre ambas bases de datos

Se puede ver como para los tiempos ciclónico y anticiclónico los resultados obtenidos al aplicar ambas bases de datos son similares. Por otro lado, en cuanto a los flujos lineales, se puede observar como tanto con el uso del WRF como del SPREAD se tiene que los vientos del este y del oeste destacan especialmente. También se da constancia de la importancia de los vientos del noreste en el archipiélago, aunque según el SPREAD se tiene que afecta más al norte de las islas capitalinas, a diferencia del WRF, que determina que es importante en todas las componentes. Por último, también se da constancia en ambas bases de datos de que los vientos del sur y del sureste apenas afectan a las lluvias de carácter fuerte que tienen lugar en Canarias.

## Referencias

- [1] J. J. Bernal García, S. M. Martínez María-Dolores, and J. F. Sánchez García. Modelización de los factores más importantes que caracterizan un sitio en la red.
- [2] Departamento de Estadística (UC3M). Tema 3: Análisis de componentes principales.
- [3] Enciclopedia de GEVIC. Pluviometría.
- [4] E. Kalnay et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77:437–470, 1996.
- [5] R. García Herrera, D. Gallego Puyol, E. Hernández Martín, L. Gimeno Presa, and P. Ribera Rodríguez. Influence of the North Atlantic Oscillation on the Canary Islands precipitation. *Journal of Climate*, 14(19):3889–3903, 2001.
- [6] P. D. Jones, C. Harpham, and K. R. Briffa. Lamb weather types derived from reanalysis products. *International Journal of Climatology*, 33(5):1129–1139, 2013.
- [7] Mesoscale & Microscale Meteorology Laboratory. Weather Research and Forecasting model.
- [8] R. Serrano-Notivoli, S. Beguería, M. Á. Saz, L. A. Longares, and M. de Luis. SPREAD: a high-resolution daily gridded precipitation dataset for Spain – an extreme events frequency and intensity overview. *Earth System Science Data*, 9(2):721–738, 2017.
- [9] A. Sánchez-Benítez, R. García-Herrera, and S. M. Vicente-Serrano. Revisiting precipitation variability, trends and drivers in the Canary Islands. *International Journal of Climatology*, 37(9):3565–3576, 2017.
- [10] Wikipedia. Sigma coordinate system.