



**Universitat de les
Illes Balears**

Facultad de Filosofía y Letras

Memoria del Trabajo de Fin de Grado

Análisis pluviométrico altitudinal del sector central de la Serra de Tramuntana

Antonia Torres Pérez

Grado de Geografía

Año académico 2019-20

DNI del alumno: XXXXXXXXXX

Trabajo tutelado por Josep Fortesa Bernat
Departamento de Geografía

Se autoriza a la Universidad a incluir este Trabajo en el Repositorio Institucional para su consulta en acceso abierto y difusión en línea, con finalidades exclusivamente académicas y de investigación.	Autor		Tutor	
	Sí	No	Sí	No
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Palabras clave del trabajo:

Precipitación orográfica, gradiente pluviométrico, Serra de Tramuntana, disposición orográfica

ÍNDICE

RESUMEN.....	-
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ÁREA DE ESTUDIO	3
2.1. Factores que inciden en la precipitación.....	4
2.1.1. <i>Geología-Relieve</i>	<i>4</i>
2.1.2. <i>Circulación atmosférica.....</i>	<i>5</i>
2.1.3. <i>Climatología.....</i>	<i>6</i>
3. MÉTODOS	6
3.1. Adquisición de los datos	6
3.2. Computación de los datos.....	7
3.3. Estudio de la distribución espaciotemporal de la precipitación	8
3.4. Análisis de los factores que inciden en la precipitación.....	8
3.5. Obtención del gradiente pluviométrico.....	9
3.6. Análisis de los tipos de tiempo.....	10
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	10
4.1. Distribución espacial y temporal de la precipitación.....	10
4.1.1. <i>Período de estudio (2014-2017).....</i>	<i>10</i>
4.1.2. <i>Escala anual.....</i>	<i>13</i>
4.1.3. <i>Escala estacional.....</i>	<i>16</i>
4.2. Relación de los factores que inciden en la precipitación.....	20
4.2.1. <i>Altitud media</i>	<i>21</i>
4.2.2. <i>Orientación.....</i>	<i>22</i>
4.2.3. <i>Distancia al mar</i>	<i>23</i>
4.3. Gradiente pluviométrico.....	23
AGRADECIMIENTOS	31
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
APÉNDICE.....	34

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. (a) Situación geográfica de las Islas Baleares en el Mediterráneo occidental. (b) Localización del área de estudio en la isla de Mallorca y Serra de Tramuntana. (c) Modelo digital de elevaciones en 3D de la zona de estudio, vista frontal. (d) Perfiles topográficos y ubicación de las estaciones meteorológicas en la Serra de Tramuntana.</i>	<i>3</i>
<i>Figura 2. Mínimo, mediana, máximos y valores atípicos de los acumulados diarios en las cinco estaciones meteorológicas entre 2014-2017.</i>	<i>11</i>
<i>Figura 3. Histograma de las cinco estaciones meteorológicas para el periodo de estudio 2014-2017.</i>	<i>12</i>
<i>Figura 4 Dinámica anual de las precipitaciones acumuladas en las cinco estaciones meteorológicas.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 5. Mínimo, mediana, máximos y valores atípicos de los acumulados diarios a escala anual de las cinco estaciones meteorológicas.</i>	<i>14</i>
<i>Figura 6. Dinámica estacional de las precipitaciones acumuladas en las cinco estaciones meteorológicas</i>	<i>16</i>
<i>Figura 7. Precipitaciones acumuladas (mm) a escala estacional (otoño, invierno, primavera, verano) durante los años 2014-2017 en cada una de las estaciones meteorológicas.</i>	<i>17</i>
<i>Figura 8. Mínimo, mediana, máximos y valores atípicos de los acumulados diarios de precipitación (mm) en las estaciones meteorológicas a escala estacional.</i>	<i>18</i>
<i>Figura 9. Perfiles topográficos (Orientación NO-SE) de las cinco estaciones meteorológicas (Fig.1d): 1-Coll del Telègraf, 2- Son Torrella, 3-Míner Gran, 4-Lluc, 5-Biniatró</i>	<i>20</i>
<i>Figura 10. Dispersión y relación de la altitud media y la precipitación con un área de influencia de 3 km.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 11. Dispersión y relación de la precipitación y la orientación.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 12. Dispersión y relación de la precipitación y la distancia al mar</i>	<i>23</i>
<i>Figura 13. (a) Gradiente pluviométrico estacional de las zonas de valle y de cumbres. (b) Gradiente pluviométrico mensual de las zonas de valle y cumbres.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 14.(a) Gradiente pluviométrico estacional del sector central de la Serra de Tramuntana (b) Gradiente pluviométrico mensual del sector central de la Serra de Tramuntana</i>	<i>26</i>
<i>Figura 15. Acumulaciones medias (mm) de las estaciones en el periodo de estudio por tipo de tiempo.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 16. (a) Predominancia del tipo de tiempo por acumulados a escala anual. (b) Predominancia del tipo de tiempo por acumulados a escala estacional.</i>	<i>28</i>

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Fuente de los datos utilizados y tipología de estación.</i>	<i>7</i>
<i>Tabla 2. Años de la serie temporal de cada una de las cinco estaciones meteorológicas con el promedio de precipitación, desviación típica y coeficiente de variación.</i>	<i>11</i>
<i>Tabla 3. Precipitación anual (mm) de las cinco estaciones meteorológicas.</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 4. Aportación anual de precipitación de las acumulaciones diarias atípicas de las cinco estaciones meteorológicas.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 5. Precipitaciones acumuladas medias por estación del año y estaciones meteorológicas. Son simbolizadas de color azul las mayores precipitaciones acontecidas en una estación anual determinada y de color rojo las inferiores, acompañados de un número que indica su posición de mayor a menor.....</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 6. Aportación estacional en el periodo de estudio de acumulaciones diarias atípicas. Son simbolizadas de color azul las mayores aportaciones en una estación del año determinada y de color rojo las inferiores.</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 7. Altitud media según el incremento del área de influencia (250 m, 500m, 750m, 1km, 2km, 3km) en las estaciones meteorológicas junto al coeficiente de Pearson y de determinación.</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 8. Orientación del relieve y disposición orográfica de las cinco estaciones meteorológicas</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 9. Acumulaciones en el período de estudio >1 mm por tipo de tiempo</i>	<i>27</i>
<i>Tabla apéndice 1. Gradientes pluviométricos mensuales positivos y negativos (color rojo) de las estaciones meteorológicas.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla apéndice 2. Gradientes pluviométricos anuales de las zonas de cumbre y de valles.....</i>	<i>34</i>

LISTA DE ACRÓNIMOS

A: Anticiclón	MEDhyCON: Grupo de investigación en hidrología y ecomorfología en ambientes mediterráneos.	O: Oeste
AEMET: Agencia Estatal de Meteorología	N: Norte	P\bar{x}: Precipitación media
AI: Área de influencia	NAO: North Atlantic Oscillation	S: Sur
AO: Artic Oscillation	NE: Noreste	SE: Sureste
B: Borrasca	NO: Noroeste	SO: Suroeste
E: Este		WeMOi: West Mediterranean Oscillation Index
MDE: Modelo digital de elevación		WT: Tipos de tiempo

RESUMEN

Las precipitaciones se distribuyen muy irregularmente en los territorios influenciados por el clima mediterráneo, siendo la variabilidad interanual e intraanual su principal característica. Estas se encuentran potenciadas en las zonas montañosas por el efecto orográfico, la distancia al mar o la orientación; factores que juntamente con los tipos de tiempo condicionan las precipitaciones registradas. El papel que juega la orografía en la precipitación es analizado mediante gradientes pluviométricos.

Estos gradientes varían espacio-temporalmente a mayor escala según factores geográficos como la situación latitudinal, indirectamente condicionantes de las influencias climáticas y las situaciones sinópticas, así como factores fisiográficos. Estas variables motivan la existencia de diversas regionalizaciones climáticas, con diferentes climas locales en las áreas montañosas donde los contrastes pluviométricos son llamativos y los regímenes pluviométricos se caracterizan por su irregularidad.

El presente estudio se centra en el análisis de la distribución espaciotemporal de la precipitación a tres escalas temporales diferentes, para así determinar el gradiente pluviométrico del sector central de la Serra de Tramuntana, a partir de los acumulados diarios registrados durante el período 2014-2017 en cinco estaciones meteorológicas (Coll des Telègraf, Son Torrella, Míner Gran, Lluc y Biniatró) localizadas a 1105 m, 840 m, 560 m, 483 m y 112 m respectivamente. La distribución de los acumulados a escala del período de estudio, anual y estacional, es relacionado con los valores atípicos. Los valores mínimos, máximos y las medianas de los conjuntos de datos son estudiados en las tres escalas temporales. Un análisis estadístico de la influencia de la altitud, distancia al mar y orientación en dichas irregularidades revela la importancia que estos suponen en la pluviometría acumulada. La incorporación de las situaciones sinópticas predominantes entre 2014-2017 como resultado de las diferencias entre la circulación atmosférica en altura y en superficie, refleja la interacción entre los tipos de tiempo y los acumulados totales, siendo mayores en situaciones de tiempo norte o del noreste.

La disposición orográfica ha permitido identificar diferencias entre los gradientes de las estaciones localizadas en cumbres o en depresiones. El gradiente pluviométrico en las zonas de cumbres es de 18,38 mm por cada 100 metros ascendientes; mientras que en las áreas de valles es ligeramente inferior, siendo este de 15,43 mm/100m. Se determina por tanto que el gradiente pluviométrico de la zona central de la Serra de Tramuntana es de 16,91 mm/100m, valor muy lejano al establecido en toda la Serra por Raso Nadal.

La dificultad que supone la caracterización de la precipitación se asocia a la variabilidad espaciotemporal de la precipitación juntamente con los factores que inciden en ella (altura, orientación, distancia al mar, disposición orográfica). Implica, por tanto, la realización de un estudio con una gran muestra de estaciones meteorológicas ubicadas espacialmente en características topográficas diferentes.

Palabras clave: *precipitación orográfica, gradiente pluviométrico, Serra de Tramuntana, disposición orográfica*

1. INTRODUCCIÓN

La cuenca del mar mediterráneo occidental posee una topografía bastante compleja debido a los múltiples procesos geológicos que han actuado en él. Influenciada por los sistemas atlánticos de bajas presiones (especialmente en el oeste y el norte) como por las perturbaciones mediterráneas (en la parte oriental), presenta fuertes contrastes estacionales resultado de la latitud en la que se localiza. La combinación de ambos factores provoca precipitaciones diarias de considerable variabilidad espacial y temporal (Romero et al., 1998), provocando que el carácter pluviométrico y por tanto los acumulados totales dependan de escasos días particularmente lluviosos (Benhamrouche, 2014). Además, a menor escala, dicha variabilidad espaciotemporal de la lluvia se reproduce (Camarasa, 1993).

La cuenca occidental del Mar Mediterráneo situada entre la latitud 35° y 45° se encuentra bajo la influencia del anticiclón de las Azores en la mitad del año más cálida (abril-octubre). Cuando el desarrollo del anticiclón no es tan prominente, es más propenso a las perturbaciones ligadas a la corriente del jet polar invernal (Lawson, 1989). La amplia extensión del mediterráneo, juntamente con las particularidades fisiográficas que se encuentran en él, provoca en la otra mitad del año más fría, la formación de importantes ciclogénesis que afectan el área catalanobalear (Jansà, 1978; Ramis & Ballester, 1984).

La capacidad ciclogénica del mar Mediterráneo está relacionada con el abrupto relieve que se encuentra a su alrededor. Las borrascas de influencia atlántica que entran por el norte de España llegan debilitadas a la isla de Mallorca fruto de los múltiples obstáculos, tales como cordilleras y sierras que atraviesan la península. La configuración casi cerrada del Mediterráneo favorece la evaporación, generando depresiones y masas de aire de velocidad acentuada y de diferente origen que se adentran a la comunidad balear a través de los pasos libres que dejan las montañas (Ruiz et al., 2012). La presencia de la borrasca del golfo de Génova provoca que se generen tormentas locales severas que pueden producir graves inundaciones muy localizadas, asociadas a la estación otoñal (Wheeler, 1991) debido a la advección del aire caliente del sur o sureste (Llasat et al., 1989) y a las altas tasas de evaporación que se producen en el mediterráneo (Wheeler, 1988).

Las montañas ejercen de control sobre la distribución global del clima, principalmente por su influencia en la precipitación y en el transporte de vapor de agua (Qingfang, 2016). A pequeña escala, sobre las regiones montañosas en las que hay un viento dominante, la precipitación es mayor en el lado de barlovento y más reducido en el lado de sotavento (Qingfang, 2016), aunque en algunas ocasiones la diferenciación es escasa entre ambas laderas (Álvarez, 2011). El aire cargado de humedad debido al componente insular asciende los obstáculos orográficos, siendo enfriado a medida que aumenta la altitud a razón de $-0,65^{\circ}\text{C}/100\text{m}$. Dependiendo de su temperatura puede oscilar entre $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ (gradiente adiabático de aire seco) o $-0,5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ (gradiente adiabático de aire muy húmedo). La capacidad de retención de humedad del aire disminuye a menor temperatura y al alcanzar el punto de saturación se origina la precipitación orográfica gracias a la presencia de núcleos higroscópicos, mecanismo que controla los patrones de precipitación desempeñando un papel fundamental en la interacción entre la atmósfera y el sistema terrestre (Roe, 2005).

En la isla de Mallorca las interacciones entre la circulación atmosférica, la accidentada topografía al estar rodeada por cordilleras montañosas litorales, la orientación del relieve, la exposición a los vientos de lluvia, la distancia a la costa y el propio componente insular, se traducen en una importante variabilidad de la precipitación. Esta se ve influenciada en particular por la Serra de Tramuntana, cordillera que supera los 1.000 m de altitud en $11,1\text{ km}^2$ a través de 13 km de costa,

obstaculizando a modo de barrera, los flujos de aire de componente oeste y noroeste. Junto con la Serra de Llevant, funciona como potenciador orográfico de nubes y precipitaciones asociadas a los mayores sistemas sinópticos, desencadenantes del desarrollo de abundantes precipitaciones que superan los 1.000 mm (Sumner et al., 1995).

Por un lado, el forzamiento orográfico originado en las zonas de mayor relieve y altitud se traduce por lo general en acumulados mayores e intensidades menores. Por el contrario, entre la zona de montaña y las áreas planas, desde primavera hasta principios de otoño la brisa marina entra por la bahía de Palma y de Alcúdia (y en menor medida por el litoral oriental y meridional) fruto de las variaciones de las temperaturas. Dichos flujos penetran en la isla y crean zonas de convergencia vinculadas a fuertes intensidades de precipitaciones muy localizadas (Alomar & Grimalt, 2006).

Jansà y Jaume (1946) determinaron la distribución de las zonas de convergencia en Mallorca, las cuales pueden ser modificadas por la circulación regional o por áreas donde el aumento orográfico causa mayor inestabilidad (Sumner et al., 1993). Alomar y Grimalt (2006) determinaron patrones de distribución espacial de las brisas en verano y la relación de los núcleos de precipitación respecto a las zonas de convergencia teóricas.

La influencia marítima abastece de humedad y energía los vientos que se adentran en la Serra de Tramuntana mientras que la orografía ejerce una doble influencia sobre estos. Estos factores son clave en la distribución espacial de la precipitación sobre la zona mediterránea española, favoreciendo una mayor complejidad de la orografía la precipitación en tierras más expuestas y elevadas y provocando una reducción de la precipitación en áreas más resguardadas o de menor altitud, generando así un gradiente pluviométrico (Romero et al., 1998). Por un lado, la orientación del relieve provoca el obligado ascenso de las masas de aire favoreciendo el desarrollo de los procesos de precipitación. Además, la orografía determina vías preferenciales de penetración de flujos inestables. Los valles favorecen el encauzamiento de estos flujos, mientras que la morfología superior de los promontorios montañosos impide la lluvia, bifurcando los flujos hacia vaguadas topográficas de disposición más favorable (Camarasa, 1993).

Como consecuencia, se distinguen dos tipos de precipitaciones: las convectivas (de mayor intensidad, menor duración y de desplazamiento más rápido) y las precipitaciones orográficas (de intensidad moderada, menor duración y desplazamiento más lento) (Camarasa, 1993). Es por tanto que la precipitación se distribuye irregularmente en el territorio a diversas escalas temporales y espaciales a causa de factores como la latitud, la localización, el relieve o la distancia al mar entre otros.

Mallorca presenta unas circunstancias ideales para estudiar las diferencias en la distribución de la precipitación. La influencia de los anticiclones y las borrascas de origen atlántico y mediterráneo, la creación de zonas de convergencia originadas por brisas y los diversos tipos de tiempo en combinación con los factores topográficos que caracterizan la zona, hacen que la isla sea un escenario complejo para el estudio del componente irregular de las precipitaciones.

Este estudio analiza la distribución temporal y espacial de la precipitación en el sector central de la Serra de Tramuntana durante tres años meteorológicos y determina el gradiente pluviométrico de la zona. Para estudiar la dinámica espacial de la precipitación diaria se han seleccionado 5 estaciones meteorológicas con la finalidad de examinar las diferencias en los acumulados y su relación con las precipitaciones extremas. La distribución temporal se ha realizado en la totalidad del período de estudio, así como de forma anual y estacional para observar la distribución de la

precipitación a diferentes escalas temporales. Se ha calculado el coeficiente de correlación de Pearson para identificar los factores que favorecen los mayores acumulados de precipitación. Todo ello nos permite determinar el gradiente pluviométrico del sector estudiado y las anomalías que se producen en él. Se determinan, por tanto, los factores que mayormente inciden en las disparidades espaciales de las precipitaciones, el papel que juegan los diversos tipos de tiempo, y se establece un gradiente pluviométrico altitudinal focalizado en el sector central de la Serra de Tramuntana.

2. ÁREA DE ESTUDIO

La isla de Mallorca, localizada geográficamente a una latitud de 39°, se encuentra dentro de la denominada zona templada en el hemisferio norte, exactamente en la parte occidental del Mar Mediterráneo (Fig 1a). En la zona septentrional de la isla, paralela a la costa noroccidental, en dirección NE-SO se encuentra la cadena montañosa más extensa y de mayor envergadura de las Islas Baleares: la Serra de Tramuntana (Fig. 1b). Se caracteriza por una longitud de 89 km (desde Sa Dragonera hasta Formentor) y una amplitud media aproximada de 15 km. La línea de cumbres supera los 600 metros (Ferrer, 1997). La Serra concentra las mayores altitudes en la zona central, área donde se hallan puntos culminantes como el Puig Major (1445 m) y el Puig de Massanella (1348 m).

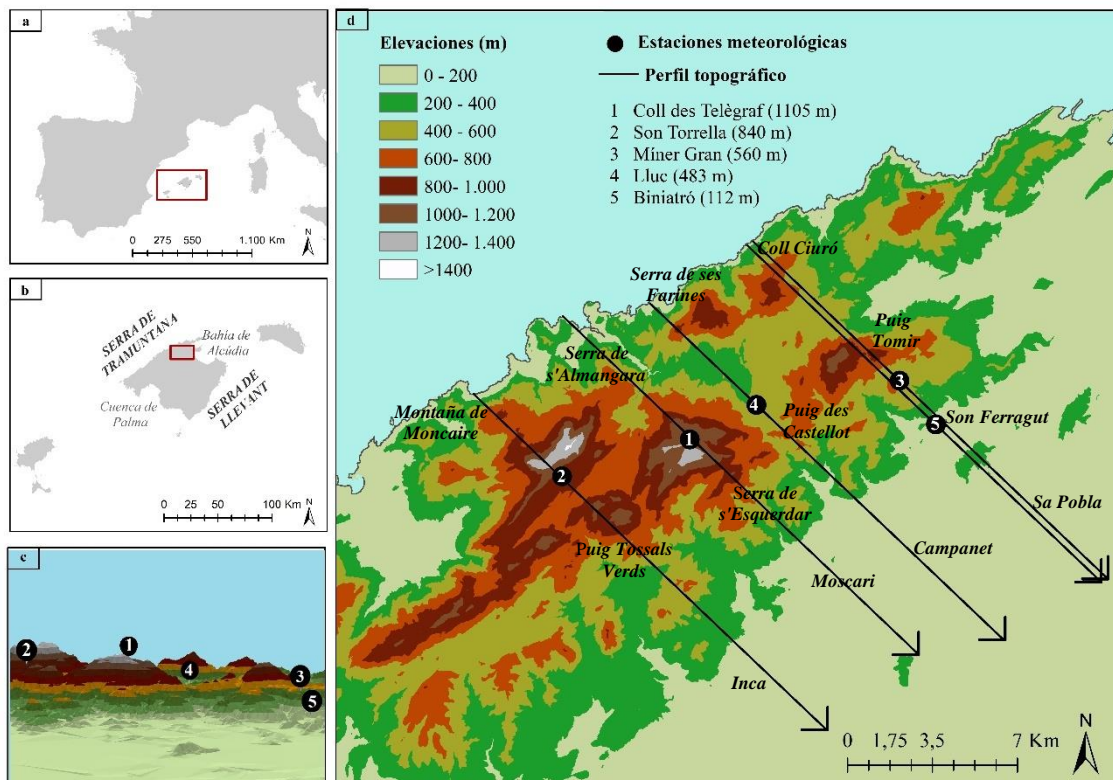


Figura 1. (a) Situación geográfica de las Islas Baleares en el Mediterráneo occidental. (b) Localización del área de estudio en la isla de Mallorca y Serra de Tramuntana. (c) Modelo digital de elevaciones en 3D de la zona de estudio, vista frontal. (d) Perfiles topográficos y ubicación de las estaciones meteorológicas en la Serra de Tramuntana.

2.1. Factores que inciden en la precipitación

2.1.1. Geología-Relieve

La Serra de Tramuntana forma la parte emergida de una amplia zona submarina elevada conocida como Promontorio Balear de 350 km de largo y 100 km de ancho que representa la prolongación nororiental del arco orogénico Bético-Rifeño a causa de la subducción de litosfera oceánica por el acercamiento entre la placa africana y euroasiática (García et al., 2007).

El borde noroeste (NW) de la Serra de Tramuntana presenta abruptos escarpes y acantilados sobre el mar, mientras que al sureste (SE), sus relieves, más redondeados, descienden suavemente hasta el Llano Central. Esta diferencia de relieve entre la vertiente marina y la vertiente suroriental está condicionada por la disposición estructural de los materiales, inclinados hacia el SE” (García et al., 2007). Ha estado condicionada por procesos de compresión alpina, donde los materiales fueron estructurados en dirección noroeste en pliegues y cabalgamientos, alterando así la simetría de las sierras; y una extensión Neógena y cuaternaria en la que se consolidaron los rasgos identificativos de la morfología de las islas y del propio Promontorio (López et al., 2010).

La isla se encuentra formada por un conjunto de bloques elevados (horsts) y hundidos (grabens) limitados por fallas creadas a partir del Mioceno Superior creando una diferenciación entre las sierras y los valles presentes. En la figura 1c se muestran las zonas en las que hay presencia de material de relleno propio del Mioceno Medio-Superior y del Plio-Cuaternario que hacen referencia a áreas llanas tales como la cuenca de Palma, Inca o Sa Pobla. Por otro lado, la Serra de Tramuntana o la Serra de Llevant son resultado de un patrón de levantamiento de las fallas normales. Dicha orografía constituye uno de los factores más importantes en la distribución de la precipitación a la escala espacial de estudio. A menor escala, la variabilidad espaciotemporal de la lluvia se reproduce (Camarasa, 2003).

La Serra de Tramuntana provoca indirectamente relevantes cantidades de precipitaciones que se descargan a lo largo de ella fruto de la precipitación orográfica. Las masas cargadas de aire húmedo a causa de su paso por el mar Mediterráneo se encuentran con el gran obstáculo orográfico de la isla de Mallorca. Esta barrera provoca la obligada ascensión del aire húmedo generando fuertes procesos de condensación debido a la pérdida de capacidad de contención intrínseca de la humedad, fruto de alcanzar altitudes superiores (Johnson, 1995). La ascensión del aire por la zona de la montaña que recibe el viento (barlovento); provoca una reducción progresiva de la altura de la columna de aire, cuyo diámetro aumenta con neta divergencia anticiclónica en las cumbres (Jiang, 2003).

En la zona de sotavento, el aire al descender se somete contractivamente a la columna de aire y de su convergencia surge la depresión (Estiene & Godard, 1970). De esta forma se evidencia una presión atmosférica más elevada en las zonas litorales extensas de la Serra de Tramuntana frente a zonas menormente expuestas debido a los procesos de contracción del flujo de aire (ascenso) y distensión (descenso). Asimismo, cuanto mayor es la envergadura del relieve expuesto, mayores intensidades se registran (Camarasa, 1993).

2.1.2. Circulación atmosférica

La dinámica atmosférica de la cuenca Mediterránea Occidental en la que se sitúa la isla de Mallorca (Fig.1a) depende en gran parte del índice NAO (North Atlantic Oscillation) indicando las diferencias de presión que se producen entre el anticiclón de las Azores y la borrasca de Islandia. Condiciona tanto la posición latitudinal como la fuerza con la que se desplazan los vientos del oeste por el Atlántico, asociando a ello el transporte de humedad. En las ocasiones en las que la amplitud de las presiones es alta (NAO+), en la cuenca del Mediterráneo se producen períodos de sequías fruto del desplazamiento del anticiclón de las Azores hacia latitudes septentrionales; mientras que un debilitamiento de dichas presiones (NAO-) da lugar a vientos con alto contenido de humedad que penetran en latitudes más bajas, provocando fuertes precipitaciones en el Mediterráneo y dejando una situación de sequía en el norte del continente europeo. Asimismo, el Artic Oscillation (AO) caracteriza las anomalías de presión que se producen entre el Ártico y latitudes en torno a los 40-45°C y las repercusiones climáticas que produce debido al reforzamiento o debilitamiento de la corriente que circula en dirección O-E conocida como Jet Stream.

Si bien las variaciones en las precipitaciones que se dan en las Islas Baleares tanto a escala anual como estacional se asocian en parte a los índices comentados, cabe remarcar el componente insular y la influencia que ejerce el Mar Mediterráneo en la isla. La importancia radica por ser una zona activa en la formación de numerosas ciclogénesis mediterráneas que dejan a su paso por la isla importantes acumulados de precipitación en una franja temporal muy acotada. Las variaciones climáticas que se producen en la cuenca del Mediterráneo occidental son explicadas a través del índice WeMOi (West Mediterranean Oscillation Index) a través de las diferencias de presión entre Padua (Italia) y Cádiz. En una fase positiva (WEMOI+) en la que predomina un anticiclón en la zona sur de la Península Ibérica y un centro de bajas presiones en el norte de Italia, los vientos suelen ser secos y de componente noroeste, generando en Mallorca un tiempo más seco; mientras que en la situación inversa (WEMOI-) los vientos suelen ser húmedos y de componente este, provocando precipitaciones intensas en el litoral balear.

A escala estacional, la circulación atmosférica en altura y en superficie da lugar a una sucesión de diversas situaciones a lo largo del año que constituyen el tipo de tiempo. En invierno predomina el tiempo anticiclónico frío y seco causado por los anticiclones térmicos del interior peninsular y del centro de Europa, así como los anticiclones polares atlánticos. El descenso latitudinal de la corriente Jet Stream y una situación de NAO- provoca la entrada de frentes polares y borrascas atlánticas. Por el contrario, en verano predomina un tiempo anticiclónico seco y caluroso causado por el ascenso del anticiclón a latitudes superiores (NAO+). Sin embargo, ocasionalmente se suelen producir tormentas fruto de la inestabilidad procedida de masas de aire frío en altura o por calentamiento de la superficie terrestre. En otoño y primavera si bien se producen situaciones anticiclónicas similares, la variabilidad del tiempo es notablemente mayor debido a la presencia de depresiones atlánticas, gotas frías y temporales del este que provocan abundantes precipitaciones en la costa mediterránea, acentuadas por el efecto orográfico del aire sobre los relieves montañosos paralelos a la línea de costa. Un ejemplo de ello ocurre a escala local en la cordillera de Tramuntana.

2.1.3. Climatología

La isla de Mallorca se encuentra por lo general bajo el dominio de un clima Csa, propio de veranos cálidos y secos y de inviernos suaves y lluviosos. Sin embargo, en la zona central de la Serra de Tramuntana predomina un clima Csb propio de regiones más húmedas.

A escala local, una de las divisiones climáticas más completas es la realizada por Guijarro en el 1986 donde se muestra un pronunciado gradiente de lluvia desde las partes más altas, que superan los 1000 metros, hasta el margen costero del noroeste (NO). J.A Guijarro determinó doce subtipos de clima atendiendo a la desigual distribución climática en la isla a través de un análisis de parámetros fisiográficos. En el sector central de la Serra de Tramuntana donde se localizan las estaciones meteorológicas se diferencian zonas húmedas frescas, húmedas templadas y subhúmedas cálidas.

La comarcalización climática de Mallorca revela que el sector central de la Serra de Tramuntana (Fig 1.b) constituye el lugar donde se producen los mayores acumulados de la isla debido a una organización de lluvia fuertemente anisotrópica asociada a la ubicación y la topografía adyacente (Sumner et al., 1993). Asimismo, los autores regionalizaron la isla de Mallorca en siete tipologías y sus correspondientes potenciales factores generadores de lluvia, entre los que se incluye la precipitación orográfica, las brisas marinas o el grado de exposición.

La precipitación se distribuye de manera desigual interanualmente, estacional y espacialmente en el territorio a causa de la latitud, la situación, el relieve y la distancia al mar. En términos generales, la media de precipitación en la Serra de Tramuntana es aproximadamente de 800 mm anuales, mientras que en el sur las precipitaciones difícilmente superan los 500 mm anuales. Además, las precipitaciones máximas diarias son mayores en las estaciones más próximas a la costa, creando numerosas disimetrías entre las precipitaciones medias y los máximos de precipitación. Uno de los dos núcleos de máxima intensidad en la Serra de Tramuntana se encuentra en las cimas de más de 1.000 metros que culminan en el Puig de Masanella (1340 m) y en el Puig Major (1445 m) (Grimalt, 1988). Ello se confirma con el mayor evento balear de precipitación máxima diaria (526,5 mm) registrado el día 22 de octubre del 1959 en la estación de Son Torrella (AEMET).

3. MÉTODOS

3.1. Adquisición de los datos

Se han obtenido datos de precipitación referentes a acumulados diarios entre el período 2014-2017, siendo analizados tres años meteorológicos en un total de cinco estaciones meteorológicas. Estas se encuentran localizadas en el sector central de la Sierra de Tramuntana. De mayor a menor altitud se simboliza en la figura 1c y 1d, la estación de Coll des Telègraf (1) y Son Torrella (2), ambas localizadas en el término municipal de Escorca; Miner Gran (3) situada en el municipio de Pollença, Lluc (4) que al igual que 1 y 2 también se encuentra en Escorca y Biniatró (5) ubicada en la zona norte de Campanet. La distancia mínima que separan las estaciones es de 2,35 km entre Miner Gran y Biniatró; y la máxima se produce entre Son Torrella y Biniatró (15,57 km).

Los datos han sido extraídos a partir de dos fuentes (Tabla 1). Por un lado, los datos de tres de las cinco estaciones meteorológicas han sido facilitados por la Agencia Estatal de Meteorología de España ([AEMET](#)). Por otro lado, los pertenecientes a las dos estaciones restantes y los datos de

tipo de tiempo (WT), han sido extraídos a través de la red de estaciones meteorológicas del grupo de investigación en hidrología y ecomorfología en ambientes mediterráneos ([MEDhyCON](#)).

El tipo de pluviómetro que registra el incremento de las precipitaciones cada 0,2 mm, corresponde a un balancín localizado a 1 m de la superficie terrestre conectado a un datalogger HOBO Pendant® G Data Logger-UA-004-64. La estación del Coll des Telègraf está conectada a una placa solar y batería (7 amperios y 12 voltios) que activa un calentador con interruptor térmico en caso de precipitaciones con temperaturas iguales o inferiores a 1°C.

Tabla 1. Fuente de los datos utilizados y tipología de estación.

MEDhyCON			AEMET		
Código	Nombre	Tipo de estación	Código	Nombre	Tipo de estación
UIB1	Coll des Telègraf	Automática	B013X	Lluc	Automática
UIB 2	Míner Gran	Automática	B684A	Son Torrella	Automática
			B696	Biniatró	Manual

3.2. Computación de los datos

Se ha realizado una depuración de datos a través de Excel, dividida en varias fases. En primer lugar, se ha llevado a cabo una supresión y corrección de anomalías registradas en las horas de registro debido al diferente comportamiento entre las estaciones. Los datos de precipitación extraídos de las estaciones de la red de MEDhyCON y la AEMET corresponden a secuencias de quince y diez minutos respectivamente. En Biniatró, al ser una estación manual, se especifica un acumulado diario entre los registros producidos cada 24 horas, entre las 7:00 h hasta pasadas 24 horas. Por ello, se ha realizado la misma suma de la precipitación diaria para homogeneizar los datos en las cinco estaciones meteorológicas. Posteriormente, se ha realizado un sumatorio de los valores diez y quince minutales con la finalidad de corroborar la veracidad de los datos diarios extraídos.

Por tanto, se han resumido y transformado los datos acumulados desde secuencias temporales muy acotadas (10 min, 15 min) a escala diaria desde el 1 de septiembre de 2014 a las 7:00h, hasta el 1 de setiembre de 2017 a la misma hora, pasando de n=526.070 a una muestra simplificada (n=5475). Únicamente han sido seleccionados para la realización del análisis los acumulados diarios iguales o mayores a 1 mm. Asimismo el 0,8% de los datos analizados se encontraban incompletos, por lo que han sido excluidos del presente estudio. Sin embargo, es importante remarcar que las precipitaciones acontecidas en secuencias anteriores y posteriores revelan una precipitación acumulada de 0 mm, por lo que se incrementa aún más la representatividad del periodo.

3.3. Estudio de la distribución espaciotemporal de la precipitación

La distribución espacial de la precipitación se ha analizado a tres escalas temporales (periodo de estudio, año, estación del año) para cada una de las estaciones meteorológicas. Se calcula la media aritmética (\bar{P}), la desviación típica, el coeficiente de variación (CV) para comparar la representatividad del periodo de estudio y de los años seleccionados respecto a series temporales largas de cada una de las estaciones meteorológicas.

En primer lugar, se han analizado los acumulados de precipitación para el periodo de estudio (2014-2017), desde octubre del año 2014 hasta agosto del 2017. Para comparar valores mínimos, máximos, rango intercuartil, cuartiles y datos atípicos de los valores de precipitación de cada una de las estaciones se han representado sus valores mediante diagramas de caja. Se ha aplicado el test estadístico no paramétrico de U de Mann-Whitney a través del software SPSS para determinar si existen diferencias significativas en la precipitación diaria de las estaciones meteorológica

Las cajas de diagrama revelan la asimetría de los conjuntos de datos. Estos han sido elaborados a través del software RStudio. A través del mismo software, se realiza un análisis estadístico de los valores atípicos. Esto permite conocer la cantidad de valores que se encuentran extremadamente por encima de un conjunto de datos (*valores atípicos*) y la aportación de precipitación que representan en referencia al acumulado total del período de estudio; es decir, cuál es el porcentaje de acumulación total a cualquiera de las escalas temporales estudiadas que explican dichos valores extremos.

Asimismo, se presenta un histograma para observar las disparidades en las frecuencias entre ambas estaciones meteorológicas.

En segundo y tercer lugar, se examina la distribución de la precipitación a escala anual y estacional. Se observa así la variabilidad tanto en los años 2014, 2015 y 2016 como a escala estacional, siendo analizada la estacionalidad del clima mediterráneo. También se muestra el valor absoluto de las precipitaciones diarias atípicas, así como el valor relativo, siendo este último representado en porcentaje a través de la relación entre los anuales y/o estacionales.

3.4. Análisis de los factores que inciden en la precipitación

Para analizar la distribución de las precipitaciones acumuladas en cada una de las estaciones meteorológicas y el gradiente pluviométrico cabe reconocer los factores que inciden en la precipitación. Para ello, a través del software ArcGis han sido extraídos los datos referentes a los factores de índole geográfica tales como la disposición orográfica, la exposición y orientación del relieve, la altitud, así como la distancia al mar; variables que han sido utilizadas en otros estudios para categorizar las irregularidades espaciales en la precipitación (Guijarro, 1986; White, 1979).

La disposición orográfica del relieve ha sido analizada a través de la realización de diversos perfiles topográficos que atraviesan cada una de las estaciones meteorológicas en una misma dirección [NO-SE y sentido (Fig. 1d)]. En primer lugar, las coordenadas (x,y) y la altitud (z) han sido extraídas mediante ArcGis. Por medio del Servicio Web de Transformación de Coordenadas del Instituto Geográfico Nacional ([IGN](#)) se ha llevado a cabo la transformación a coordenadas geográficas. Finalmente se ha realizado un gráfico para cada uno de los perfiles topográficos. De esta forma, se han podido esclarecer los obstáculos frontales que presentan las diversas estaciones meteorológicas, la orientación de estas (barlovento o sotavento) y su situación en un perfil

longitudinal de 20 km. Además, la orientación del relieve se ha determinado a través de la herramienta espacial de superficie de ArcGis, obteniendo la orientación de la estación según la vertiente dominante.

La altitud de cada una de las estaciones meteorológicas ha sido extraída a partir de un modelo digital de elevaciones (MDE), con un tamaño de píxel de 25 m (5x5 m) del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG). Sin embargo, para verificar la importancia del relieve que influencia cada una de las estaciones se ha realizado el cálculo de la altitud media a partir de diversas áreas de influencia (A.I) y su correlación con la precipitación acumulada diaria en cada una de las estaciones meteorológicas (Goh et al., 1974). A través del MDE, de la herramienta que calcula el área de influencia de un determinado punto y de la función de estadística zonal, se ha extraído la altitud media de diferentes áreas de influencia (250 m, 500 m, 750 m, 1 km, 2 km, 3 km), siendo generados un total de 30 buffers en la zona de estudio. Posteriormente, el resultado ha sido relacionado con la precipitación a través del coeficiente de correlación de Pearson para evaluar el signo y el grado de correlación existente entre las dos. Se ha utilizado la siguiente fórmula:

$$r_{xy} = \frac{n\sum X * Y - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{(n\sum X^2 - (\sum X)^2)}\sqrt{(n\sum Y^2 - (\sum Y)^2)}} \quad (\text{Ec. 1})$$

siendo n : muestra, X : número de variables de precipitación, Y : número variables de altura.

A continuación se ha calculado el coeficiente de determinación, coeficiente que mide el grado de asociación entre las dos variables (R^2).

En cuanto a la distancia al mar, ha sido utilizada la herramienta de cercanía del software ArcGis para poder conocer la distancia mínima lineal de cada una de las estaciones meteorológicas respecto a la línea de costa. A través del coeficiente de Pearson se ha analizado la relación entre distancia al mar y precipitación. Además, se ha calculado la distancia entre las mismas estaciones meteorológicas, generando una matriz de distancias con la finalidad de argumentar las irregularidades espaciales de la precipitación acontecida en el periodo de estudio.

3.5. Obtención del gradiente pluviométrico

El cómputo de las precipitaciones acumuladas en cada una de las estaciones meteorológicas para el período 2014-2017 permite establecer un gradiente pluviométrico altitudinal en la zona a escala anual, estacional y mensual. Debido a la localización de las estaciones según los accidentes geográficos y geomorfológicos que influyen en ellas y tal y como lo realiza Camarasa (1993), se realiza una diferenciación entre las estaciones localizadas en zonas de collado o cumbre (▲) y las situadas en zonas cóncavas propias de depresiones o valles (▼) relacionándose intrínsecamente, siendo descartada cualquier relación que no cumpla este criterio. Al conocer la altitud por análisis previos y la diferencia de precipitación, se establece una proporcionalidad entre la altura y la precipitación en el 40% de las relaciones posibles entre estaciones meteorológicas. El promedio de los gradientes pluviométricos mensuales determina el gradiente pluviométrico anual de las dos zonas de características topográficas diferentes (cumbres y valles). Por último, se establece el gradiente pluviométrico altitudinal del sector central de la Serra de Tramuntana resultado de la media de ambas zonas, siendo expresado en mm por cada 100 metros de altitud.

3.6. Análisis de los tipos de tiempo

Los datos de tipo de tiempo (WT), facilitados por el MEDhyCON, han sido determinados en el Proyecto de Reanálisis de 40 años NCEP/NCAR a través de las observaciones de las presiones en superficie del nodo que se encuentra a una latitud de 40° y una longitud de 2,5° (Kalnay et al., 1996) para el período de estudio 2013-2017 y el período climatológico 1981-2010. Estos han sido segregados mediante la clasificación propuesta por Jenkinson y Collinson (1977) y modificada por Trigo y DaCamara (2000). Los 26 WT de la clasificación original han sido simplificados en 10 tipos: el tiempo anticiclónico (A) y ciclónico (B) además de los tipos direccionales norte (N), noreste (NE), este (E), sureste (SE), sur (S), suroeste (SO), oeste (O) y noroeste (NO).

En primer lugar, ha sido analizada la frecuencia de los diversos WT a escala de período de estudio. Posteriormente se han relacionado los WT que acarrearán una mayor o menor cantidad de precipitación en la zona a escala del período de estudio, anual y estacional. La vinculación de los WT con los acumulados de precipitación ha sido realizada teniendo en cuenta las precipitaciones diarias mayores a 1 mm con la finalidad de evadir cualquier posible error. Los resultados han sido expuestos a partir de gráficos radiales, comentando su representatividad a partir de publicaciones científicas de remarcable interés que definen el tipo de tiempo predominante en la cuenca oeste del Mediterráneo entre 1948-2009 (Grimalt et al., 2013).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Distribución espacial y temporal de la precipitación

Una vez han sido caracterizadas las diversas estaciones y los factores que inciden en menor o mayor medida sobre ellas, se relacionan los resultados obtenidos a partir del análisis de la distribución de la precipitación acumulada a diversas escalas, siendo remarcable el papel de la precipitación orográfica en los acumulados totales de las cinco estaciones.

4.1.1. Período de estudio (2014-2017)

En los tres años meteorológicos que se han estudiado la precipitación media acumulada es de 3.413 mm en el conjunto de las 5 estaciones estudiadas. Sin embargo, se observan notables diferencias entre estaciones en los acumulados de precipitación, siendo el mínimo 2704,9 mm (Míner Gran) y el máximo 4084,8 mm (Son Torrella).

La mayor precipitación acumulada se produjo en la estación de Son Torrella (4.084,8 mm); seguida de los acumulados obtenidos en la estación del Coll des Telègraf (3.904,8 mm), Lluc (3.637,3 mm), Biniatró (2.734,3 mm) y por último Míner Gran (2704,9 mm). Por ende, la precipitación media en el trienio ha sido de 1361,6 mm; 1301,6 mm; 1212,4 mm; 911,4 mm y 901,6 mm respectivamente, siendo diferenciadas las estaciones que registraron precipitaciones mayores a 1200 mm y las que acumularon una precipitación inferior a los 920 mm.

En la tabla 2 se analiza la representatividad de los años seleccionados respecto series largas de precipitación. En la estación de Lluc, se presenta una serie de precipitación caracterizada por una muestra de 22 años (1985-2006). Los parámetros obtenidos a través de la serie de precipitación

en la estación de Biniatró son los más completos por la extensión de la propia serie (1965-2016). Asimismo, para Míner Gran se utiliza el intervalo de años entre 2012 y 2017, para Coll des Telègraf la serie 2012-2017 y en Son Torella la serie 1970-2010.

Tabla 2. Años de la serie temporal de cada una de las cinco estaciones meteorológicas con el promedio de precipitación, desviación típica y coeficiente de variación.

Estación	Años	$P\bar{x}$ (mm)	σ	CV (%)	$P\bar{x} - \sigma$ (mm)	$P\bar{x} + \sigma$ (mm)	P.E- 2014- 2017 (mm)	2014 (mm)	2015 (mm)	2016 (mm)
Coll des Telègraf	5	1019,2	179,4	17,6	839,6	1198,6	1301,5	1404,1	807,1	1693,6
Son Torrella	41	1316,2	393,2	29,9	923	1709,3	1361,6	1546,4	778,1	1760,3
Míner Gran	6	840,8	213	25,3	627,8	1053,8	901,6	1086,1	650,4	968,4
Lluc	22	1201,4	339,5	28,3	875,5	1554,5	1212,4	1302,1	720	1615,2
Biniatró	52	927	213,2	23	713,8	1140,2	911,4	1047,7	656,4	1030,2

El período de estudio se ajusta a la precipitación media obtenida en las series temporales largas. Tanto el año meteorológico de 2014 como el 2016 fueron más húmedos en comparación al promedio. El año 2015 no es explicado en la mayoría de los casos por el coeficiente de variación (CV) respecto la serie de precipitación de referencia al estar por debajo de los valores expuestos en el año seco. Por lo general, en el período de estudio (2014-2017) se registran precipitaciones medias superiores a las de las series de referencia ($P\bar{x}$) en el 80% de las estaciones, exceptuando la estación de Biniatró que se encuentra por debajo. De las 4 estaciones que superan la $P\bar{x}$, el Coll des Telègraf supera el umbral $P\bar{x} + \sigma$. Por ende, en términos generales el período de estudio podría ser considerado húmedo siendo remarcadas importantes irregularidades anuales.

Las estaciones con un coeficiente de variación mayor y menor son Lluc y Coll des Telègraf respectivamente. Por tanto, es en Lluc donde el análisis del conjunto de datos pluviométricos se traduce en una mayor dispersión de estos respecto a la serie temporal larga, mientras que en el Coll des Telègraf se produce una dispersión menor, presentando la precipitación anual una menor variabilidad respecto a la media en contraposición a las lluvias acumuladas entre el 2014 y el 2017. Esto es explicado por la diferencia de años de la serie temporales de Lluc (22 años) y Coll des Telègraf (5 años).

La distribución de los acumulados diarios se distribuye de manera desigual entre las cinco estaciones (Fig. 2).

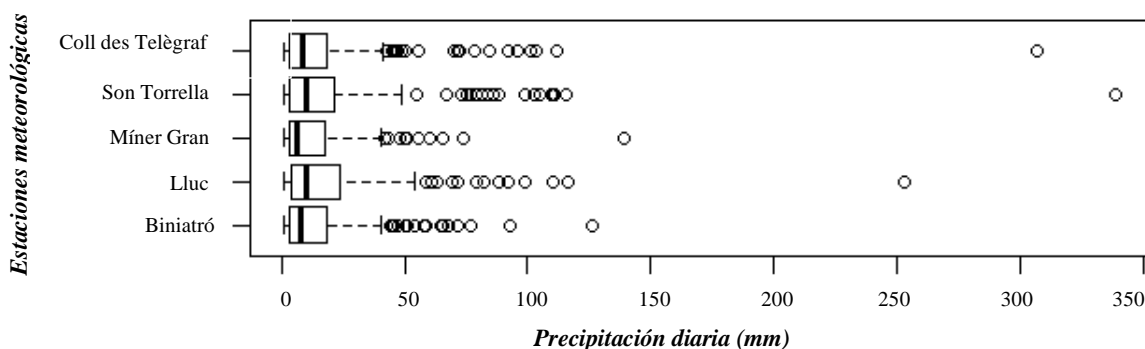


Figura 2. Mínimo, mediana, máximos y valores atípicos de los acumulados diarios en las cinco estaciones meteorológicas entre 2014-2017.

La mediana más baja se encuentra en la estación de Míner Gran (6,60 mm), seguida de Biniatró (7,60 mm) y Coll del Telègraf (8,30 mm), mientras que Son Torrella y Lluc tienen una mediana superior muy similar, de 9,80 y 10,30 mm respectivamente; reflejando un valor mayor de acumulados. Estas diferencias de precipitación son estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre todas las estaciones excepto entre Son Torrella - Lluc. En Míner Gran el 75% de los datos se encuentra por debajo de una precipitación de 17,95 mm y el máximo de precipitación es de 40,20 mm (Fig. 2). La distribución de Biniatró es muy similar a la anterior, siendo ligeramente superior el tercer cuartil (18,80 mm) y el valor máximo (40,30 mm).

La estación de Lluc es la que presenta una mayor dispersión de datos, siendo la precipitación máxima de 54 mm y el 75% de estos se encuentra por debajo de precipitaciones inferiores a 23,98 mm. Son Torrella se caracteriza por un valor máximo inferior de 49 mm y el 75% de su conjunto de datos se asocia a precipitaciones acumuladas diarias iguales o inferiores a 21,95 mm.

Las estaciones con un mayor número de valores atípicos diarios son el Coll des Telègraf (20), Son Torrella (18), Biniatró (17) seguidas de Lluc (15) y Míner Gran (11). Existe por tanto una menor presencia de eventos extremos en Lluc respecto a Biniatró. Sin embargo, es la estación meteorológica que presenta un mayor rango intercuartil y un límite superior más extenso, por lo que la dispersión en las precipitaciones es mayor. Si bien la dispersión en Son Torrella, Lluc y Coll des Telègraf es similar, esta última estación presenta un rango intercuartil menor a las dos anteriores y un número de valores atípicos superior. Míner Gran y Biniatró siguen una distribución asimétrica semejante, aunque esta última se encuentra mayormente sesgada positivamente.

La diferencia de valores atípicos se traduce en la obtención de un mayor o menor nombre de acumulados entre las estaciones. En concreto, un 39,08% de la precipitación acumulada en Biniatró para el período de estudio 2014-2017 es explicada por los valores atípicos frente al 25,32% de Míner Gran. Estos resultados podrían explicar el hecho de que estas dos estaciones hayan presentado diferencias significativas en el test estadístico no paramétrico de U de Mann-Whitney. La estación en la que los valores atípicos presentan un mayor peso en el total de los acumulados es Son Torrella (45,50%), seguida del Coll des Telègraf (41,30%) y de Lluc (38,26%). Es decir, dicho porcentaje representa el total de la precipitación acumulada que es explicada por los valores atípicos. Se evidencian las diferencias de frecuencia en la distribución espacial analizadas en la figura 3.

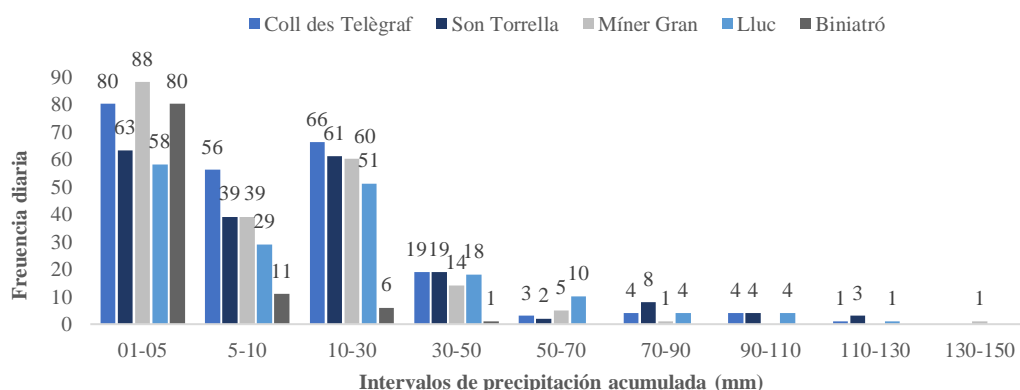


Figura 3. Histograma de las cinco estaciones meteorológicas para el periodo de estudio 2014-2017.

La clasificación de la precipitación acumulada diaria revela las importantes diferencias que se producen entre estaciones pese a su escasa distancia (Fig. 3). Las precipitaciones que van de 1 a

5 mm son mayores en Míner Gran seguida de Biniatró y Coll des Telègraf. En los acumulados que van desde los 5 mm hasta los 30 mm se sigue una misma dinámica. Estos se basan en que las frecuencias de estos acumulados son mayores en Coll des Telègraf, seguido con frecuencias similares de Son Torrella y Míner Gran y bastante alejados de las estaciones de Lluc y Biniatró. A medida que los valores de precipitación aumentan progresivamente, las frecuencias de Son Torrella son predominantes respecto a las del resto de las estaciones. El caso contrario ocurre en Biniatró, estación en la que las frecuencias disminuyen a medida que aumentan los acumulados diarios, siendo concentrados sus valores entre acumulados de 1 mm y 30 mm. En referencia a la estación de Lluc, en los primeros intervalos se encuentra normalmente por debajo de las frecuencias de Son Torrella, Coll des Telègraf y Míner Gran. No obstante, a partir del intervalo 30-50 reduce diferencias, siendo en el intervalo posterior (50-70 mm) la estación meteorológica con mayores frecuencias.

No se encuentran simbolizados tres valores observables en la figura 2 que condicionan los acumulados totales. Estos conllevaron a registros diarios extremos en la estación meteorológica de Son Torrella (338,8 mm), Coll des Telègraf (306,8 mm) y Lluc (253,1 mm) el día 20 de diciembre del 2016 fruto del temporal de lluvia provocado por una borrasca mediterránea que mantuvo continuamente un flujo de componente norte y noreste ente Tramuntana y Gregal. Como se indica en la figura 3, comparando la precipitación de ese mismo día se observa una gran variabilidad espacial de los acumulados entre la estación de Míner Gran (139 mm) y Biniatró (33,88 mm), separada tan solo por una distancia de 2,3 km.

4.1.2. Escala anual

Teniendo en cuenta todas las estaciones meteorológicas, de los tres años que han sido estudiados las precipitaciones han sido mayores por lo general en el año 2016-2017 (Tabla 3). En este año se acumularon un promedio de 1413,5 mm, respecto a los 1277,3 mm del 2014-2015 y los 722,39 mm del 2015-2016. Entre el 2014-2015 y el 2015-2016 la precipitación acumulada se incrementó en un 95,67%, registrándose casi el doble de la precipitación total anual de un año para otro. Si bien la precipitación acumulada fue mayor en el último año estudiado, en Míner Gran y Biniatró destacó ligeramente por encima el 2014-2015.

Tabla 3. Precipitación anual (mm) de las cinco estaciones meteorológicas.

	<i>Coll des Telègraf</i>	<i>Son Torrella</i>	<i>Míner Gran</i>	<i>Lluc</i>	<i>Biniatró</i>
2014-2015	1404,1	1546,4	1086,1	1302,1	1047,7
2015-2016	807,1	778,1	650,4	720	656,4
2016-2017	1693,6	1760,3	968,4	1615,2	1030,2

La mayor diferencia interanual entre el año más húmedo (2016-2017) y el año seco (2015-2016) se observa en la estación de Son Torrella, ya que la precipitación aumentó un 126,23% (982,2 mm), seguida del Coll des Telègraf, donde aumentó un 109,85 % (886,57 mm). De igual forma a las estaciones de Biniatró y Míner Gran se le atribuye el menor incremento de la precipitación, siendo este del 48,89 % (318 mm) y de 56,95% (373,8 mm) respectivamente.

Asimismo, se produjeron disparidades en el descenso de la pluviometría del año 2014-2015 y 2015-2016. Son Torrella y Lluc fueron las estaciones más afectadas por la disminución de las lluvias registradas, decreciendo un 49,68% (768,3 mm) y un 44,70 % (435,7 mm) respectivamente. En la figura 4 se observa la variabilidad de la precipitación en la distribución espacial entre las estaciones más próximas a la costa (Son Torrella, Coll des Telègraf y Lluc) y

las más alejadas (Míner Gran y Biniatró), siendo estas dos últimas estaciones las que presentan un menor decrecimiento en términos porcentuales entre el 2014-2015 y el 2015-2016, así como un menor incremento entre este último período y el 2016-2017.

Ello se debe a que el rango pluviométrico tiene una notable amplitud entre estaciones meteorológicas en los años húmedos, mientras que en el año seco su rango es menor. En el año meteorológico más húmedo (2016-2017), la mayor amplitud de precipitación fue de 791,9 mm fruto de la diferencia entre Son Torrella y Míner Gran y la menor fue de 61,8 mm entre Míner Gran y Biniatró. En el 2014-2015 (año húmedo) la amplitud mayor fue de 460,3 mm y la menor fue de 38,4 mm; nuevamente producida entre las mismas estaciones. Sin embargo, en el año seco (2015-2016) se registraron acumulados muy por debajo de los años contiguos. El mayor rango pluviométrico se registró entre la estación del Coll des Telègraf y Míner Gran (156,66 mm), mientras que el menor (6 mm) se atribuye a la misma relación comentada anteriormente.

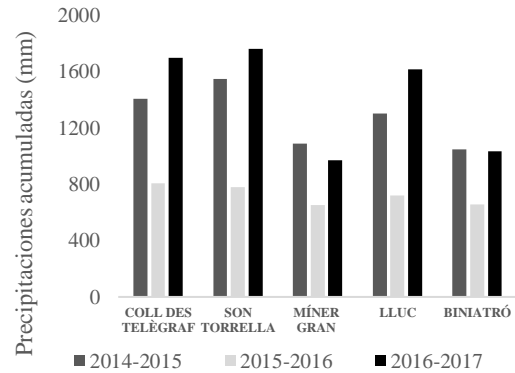


Figura 4 Dinámica anual de las precipitaciones acumuladas en las cinco estaciones meteorológicas.

En la figura 5 se muestran diversas cajas de diagramas a escala anual para cada una de las estaciones. Se diferencia el año seco (2015-2016) respecto a los húmedos. Al igual que en la escala anual, la mediana no se sitúa en el centro de la caja de diagrama, traduciéndose en una clara asimetría de la distribución de los datos.

Debido a que los valores se concentran en todos los casos en la parte superior (derecha) de la distribución, la asimetría resulta negativa. El rango intercuartil indica el rango de las precipitaciones. Los años húmedos se caracterizan por una mayor dispersión de días de lluvia. En el año 2015-2016 se puede observar un menor rango intercuartil debido a una menor dispersión de los datos, indirectamente relacionado por un menor número de días en las que se recogieron precipitaciones superiores a 1 mm (año seco).

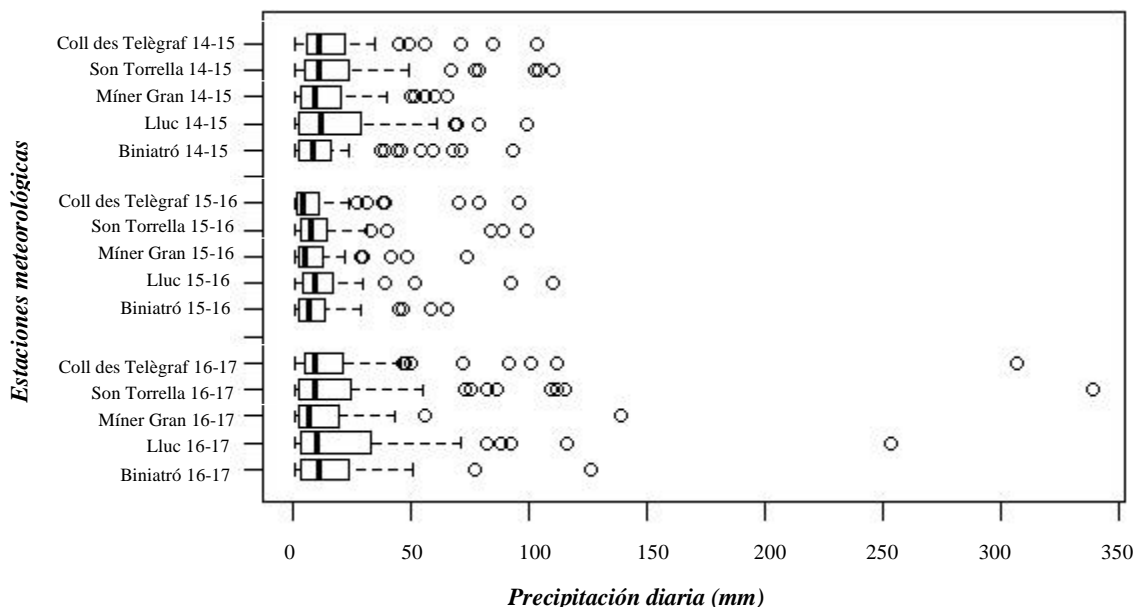


Figura 5. Mínimo, mediana, máximos y valores atípicos de los acumulados diarios a escala anual de las cinco estaciones meteorológicas.

Respecto a la distribución espacial, se aprecian irregularidades en un mismo año. En los tres años meteorológicos, Lluc presenta una mayor dispersión de la precipitación frente al resto de las estaciones.

En el año 2014-2015 el máximo se registra en la estación de Lluc (69,7 mm), seguida de Son Torrella (49 mm), Coll des Telègraf (45,3 mm), Míner Gran (40,2 mm) y Biniatré (24 mm). Asimismo, la mediana sigue el orden comentado de mayor a menor. Destaca el rango intercuartil de Lluc y la amplia distancia del tercer cuartil (30,35 mm) al máximo, observando una gran variabilidad de los acumulados registrados. Por el contrario, en Biniatré, el tercer cuartil explica que el 75% de las precipitaciones diarias son menores a 16,7 mm, siendo el máximo de 24 mm. Por tanto, el 25% de los valores pertenecientes a los acumulados más altos se encuentran entre ambos intervalos.

En el año 2015-2016 se observa una menor dispersión de la precipitación diaria, siendo los rangos intercuartiles de menor longitud que los rangos correspondientes de los años 2014-2015 y 2016-2017. El valor máximo más alto de todas las cajas de diagrama se localiza en Son Torrella (31,2 mm). El 50% de los valores de precipitación son inferiores a 9,1 mm en Lluc y a 4,6 mm en el Coll des Telègraf. La caja de diagrama perteneciente a Son Torrella es la más simétrica de las estudiadas en la totalidad del período de estudio a las diversas escalas. Ello se traduce en una menor distancia entre la mediana (8,1 mm) y el primer cuartil (3,05 mm); y la mediana y el tercer cuartil (14,55 mm).

Todas las estaciones presentan máximos superiores en el 2016-2017 respecto al 2014-2015. El rango pluviométrico difiere en años húmedos y secos en las estaciones que presentan acumulados totales mayores, mientras que estaciones como Míner Gran y Biniatré se caracterizan por una menor variabilidad en su dispersión a escala interanual. En Lluc, el 75% de los días que se produjeron precipitaciones fueron inferiores a acumulados diarios de 32,95 mm y en Míner Gran para el mismo cuartil fueron inferiores a 19,6 mm.

El análisis de los valores atípicos se resume en las siguientes aportaciones pluviométricas (mm) por cada uno de los años y estaciones estudiadas (Tabla 4).

Tabla 4. Aportación anual de precipitación de las acumulaciones diarias atípicas de las cinco estaciones meteorológicas.

<i>Año</i>	<i>Coll del Telègraf</i>	<i>Son Torrella</i>	<i>Míner Gran</i>	<i>Lluc</i>	<i>Biniatré</i>
2014-2015	409,23	540,5	282,7	316,7	512
2015-2016	380,9	345,2	223	293,3	280,7
2016-2017	828,2	991,6	194,8	632,2	203,4

En el año 2014-2015 un 48,87% de la precipitación total acumulada en Biniatré fue causada por valores atípicos. En el año 2015-2016 y 2016-2017 dichos valores explicaron un 47,20% y un 48,90% de la precipitación acumulada en el Coll des Telègraf. No obstante, en términos absolutos las aportaciones por los eventos puntuales han sido superiores en los años húmedos en Son Torrella, donde se acumularon 540,7 mm y 991,6 mm. En el año seco dichos eventos acumularon 380,9 mm en Lluc. Por último, cabe remarcar la escasa diferencia de rango entre los diversos años en la estación de Míner Gran respecto a las restantes.

4.1.3. Escala estacional

En el período de estudio las precipitaciones también se distribuyen irregularmente a escala estacional debido principalmente a la situación geográfica y sinóptica de Mallorca que por latitud geográfica influye en ella. Se basa fundamentalmente en la característica principal del clima mediterráneo: la estacionalidad. Esto provoca que, en la totalidad de las estaciones meteorológicas, el invierno destaque notablemente por ser la estación del año donde se registra una mayor cantidad de precipitación, seguida del otoño, primavera y verano. Al igual que en la escala anual, se observan diferentes acumulados de precipitación en las estaciones.

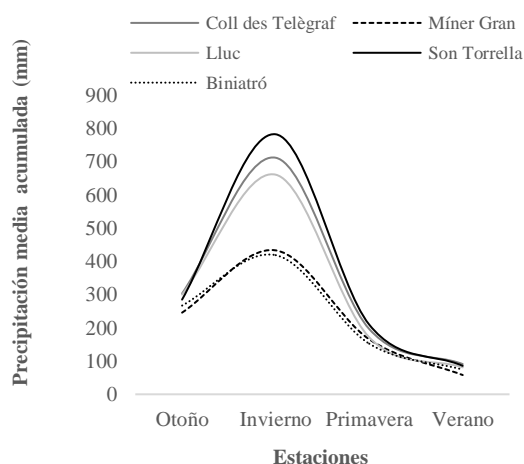


Figura 6. Dinámica estacional de las precipitaciones acumuladas en las cinco estaciones meteorológicas

Por un lado, Son Torrella, Coll des Telègraf y Lluc siguen una dinámica similar, produciéndose grandes diferencias entre las concentradas precipitaciones en invierno en comparación con el resto de las estaciones del año (Fig. 6). Por el contrario, en Míner Gran y Biniatró se observa una distribución ligeramente aplanada y relativamente homogénea en las precipitaciones en comparación a los casos anteriores, hecho que da lugar a que las diferencias en esta variable continua sean menores a lo largo de un año (Fig. 6).

En la tabla 5 se observan en términos absolutos las precipitaciones medias acumuladas (mm) por estaciones del año y el porcentaje que representa sobre los acumulados totales.

Tabla 5. Precipitaciones acumuladas medias por estación del año y estaciones meteorológicas. Son simbolizadas de color azul las mayores precipitaciones acontecidas en una estación anual determinada y de color rojo las inferiores, acompañados de un número que indica su posición de mayor a menor.

	<i>Coll des Telègraf</i>	<i>Son Torrella</i>	<i>Míner Gran</i>	<i>Lluc</i>	<i>Biniatró</i>
Otoño	303,1 (23,2%)	284,7(20,9%)	245,5 (27,2%)	299,7 (24,7%)	266,6 (29,3%)
Invierno	711,3 (54,6%)	781,8 (57,4%)	432,8 (48%)	660,4 (54,5%)	418,4 (45,9%)
Primavera	196,4 (15,1%)	209,6 (15,4%)	165,5 (18,4%)	171,3 (14,1%)	152,3 (16,7%)
Verano	90,8 (7%)	85,5 (6,3%)	57,9 (6,4%)	81,0 (6,7%)	74,1 (8,1%)

Los mayores acumulados se dan en otoño y verano en la estación meteorológica de mayor altitud (Coll des Telègraf), mientras que los mínimos en estas dos estaciones del año se atribuyen a Míner Gran. El orden que siguen los acumulados de precipitación, es similar en ambos casos, debido a la escasa diferencia entre la precipitación registrada en Son Torrella y Lluc.

En invierno y primavera la acumulación máxima se produce en Son Torrella (estación localizada a las faldas del Puig Major) y mayormente afectada por los procesos convectivos, mientras que la mínima se recoge en la estación de menor altitud (Biniatró). Tanto en el período primaveral como invernal, el orden seguido es el mismo, siendo Son Torrella el lugar donde las acumulaciones son mayores, seguido del Coll del Telègraf, Lluc, Míner Gran y Biniatró. Por tanto, se destaca la importancia de la disposición orográfica, hecho que provoca que las acumulaciones sean mayores en Son Torrella respecto al Coll del Telègraf así como en Lluc en comparación a Míner Gran.

También destaca la importancia de la altitud debido a que los máximos estacionales se registran en las dos estaciones meteorológicas de mayor cota: Coll des Telègraf y Son Torrella.

Los acumulados máximos y mínimos se dan en invierno y primavera en Son Torrella y Biniatró respectivamente. Estos acumulados ocurren en verano y otoño en Coll des Telègraf y Míner Gran, siguiendo una dinámica muy similar entre ambas estaciones. El rango pluviométrico, es decir, la diferencia entre la máxima y la mínima entre estaciones meteorológicas es superior en invierno (363,4 mm) y prácticamente igual en otoño y primavera (57,6 mm y 57,3 mm).

La estación de Biniatró, situada a una cota menor (114 metros) y localizada a una distancia mayor a la línea de costa, presenta una precipitación superior en verano respecto a Míner Gran. Esto es probablemente explicado por el efecto de disparo de la convección que provoca, en condiciones de inestabilidad, la convergencia de las brisas marítimas que penetran principalmente por las bahías (Alomar & Grimalt, 1988). La estación de Biniatró, se encuentra dentro de dichas zonas definidas por Jansà i Jaume (1946). Asimismo, existen núcleos de precipitaciones convectivas intensas generadas en verano debido al régimen de brisas (Alomar & Grimalt, 1988). Dichos autores identifican núcleos de precipitación ligeramente desplazados de dicha zona de convergencia; por lo que, con una alta probabilidad, la superioridad de acumulados en la estación estival se deba a las brisas estivales. Las precipitaciones convectivas producidas en Biniatró, y que en menor medida por proximidad pueden afectar a Míner Gran, suelen caracterizarse por una intensidad superior a las precipitaciones orográficas. Sin embargo, estas suelen aportar acumulados mayores a escalas temporales superiores, tal y como ocurre en las estaciones de Son Torrella, Coll des Telègraf y Lluc.

En referencia a la relación entre los períodos estacionales y los años cabe remarcar las diferencias que se producen en invierno (Fig. 7). Los acumulados mayores ocurrieron en invierno de 2016 en las estaciones donde la precipitación orográfica tiene especial relevancia. Cabe destacar que en Son Torrella, pese a estar afectada por este tipo de precipitación, debido a su altitud y su situación entre los relieves más elevados de la Serra de Tramuntana, se producen acumulados anuales y de intensidad diaria muy elevados (Grimalt, 1998), siendo por tanto una excepción.

Contrariamente, destacan las escasas precipitaciones en invierno del 2015 debido a la presencia de altas presiones que se localizaron en todo el sur y el este de Europa en la primera quincena de diciembre, bloqueando el paso de las borrascas atlánticas. Esta situación se alargó hasta entrado el mes de febrero. La primavera de este año fue más lluviosa respecto a la de los años restantes, produciéndose una situación inversa. La distribución de las precipitaciones acumuladas denota homogeneidad en cuanto a la distribución espacial entre estaciones meteorológicas.

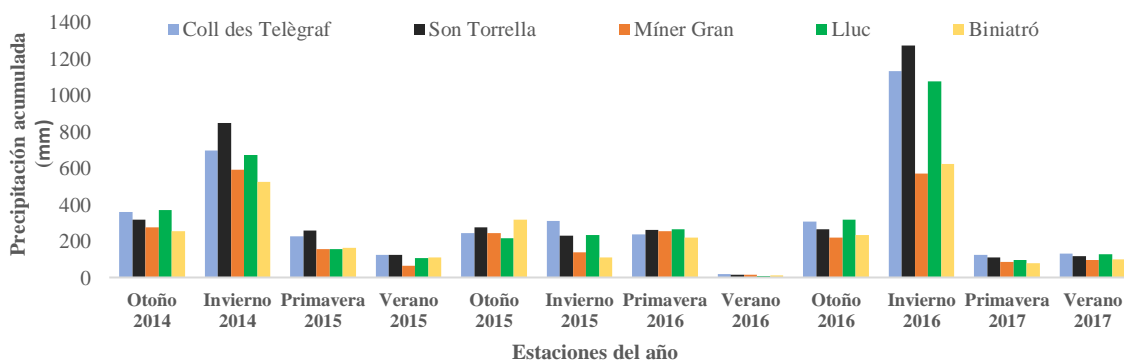


Figura 7. Precipitaciones acumuladas (mm) a escala estacional (otoño, invierno, primavera, verano) durante los años 2014-2017 en cada una de las estaciones meteorológicas.

Se evidencia una concentración y potenciación de la precipitación acumulada en invierno en los años húmedos, siendo también apreciable una significativa variabilidad entre años en la estación otoñal. El período primaveral resulta peculiar por su comportamiento y la estación estival se observa por lo general acusada por los extensos períodos de sequía. Sin embargo, en verano se observa mayor precipitación en Biniatró que en Míner Gran pese a estar a 446 metros por debajo, a causa del régimen de brisas estival predominante.

En cuanto a los valores atípicos y a la dispersión de los datos en base a las estaciones del año (Fig. 8), la estación de invierno presenta una elevada dispersión del conjunto de datos respecto a otras estaciones del año. Se observa claramente el componente estacional mediterráneo de las precipitaciones, ya que la estación con una mayor dispersión es invierno, seguida de otoño, primavera y verano.

En otoño la mayor dispersión se observa en Lluc, con un valor máximo de 54,7 mm y una mediana de 10,7 mm. El 75% de los valores son iguales o inferiores a 23,75 mm, siendo aún mayor dicha dispersión entre el tercer cuartil y el valor máximo. Míner Gran es la estación que presenta una menor dispersión, con una mediana de 6,6 mm y un máximo de 26,4 mm.

En invierno, Lluc y Son Torrella tienen un comportamiento similar, siendo ligeramente superior Lluc en el valor máximo (82,5 mm), el tercer cuartil (36,7mm) y la mediana (14,6 mm). Las estaciones de Biniatró, Míner Gran y Coll des Telègraf siguen una dinámica similar en cuanto a dichos parámetros. Sin embargo, los valores atípicos condicionan totalmente el acumulado estacional.

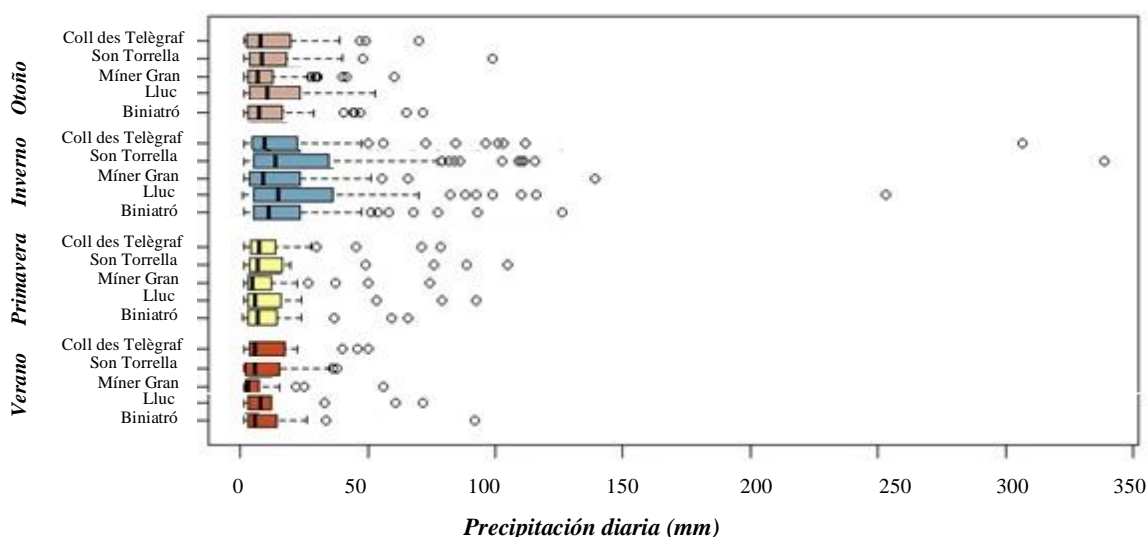


Figura 8. Mínimo, mediana, máximos y valores atípicos de los acumulados diarios de precipitación (mm) en las estaciones meteorológicas a escala estacional.

En primavera las diferencias en la dispersión entre estaciones meteorológicas disminuyen sustancialmente. Si bien Son Torrella se convierte en la estación con el valor máximo inferior (19,4 mm), esta presenta el valor del tercer cuartil superior (16,6 mm).

En verano, se refleja una importante disparidad entre Míner Gran y Biniatró tal y como ha sido explicado anteriormente. Biniatró se caracteriza por un valor máximo de 22,5 mm frente al 15,2 mm de Míner Gran. De igual modo, en Biniatró, el 75% de los valores se encuentran por debajo de 22,4 mm, mientras que en Míner Gran es de 9,2 mm.

En referencia a los valores atípicos, se generan 36 eventos de precipitaciones extremas en invierno, 19 en primavera, 18 en otoño y 13 en verano. La distribución de los acumulados totales que se generan por estación meteorológica en las diversas estaciones del año se caracteriza por diversas situaciones anómalas, entre las cuales se observa una mayor aportación en las estaciones de menor altitud en otoño (Tabla 6).

Tabla 6. Aportación estacional en el periodo de estudio de acumulaciones diarias atípicas. Son simbolizadas de color azul las mayores aportaciones en una estación del año determinada y de color rojo las inferiores.

	<i>Coll des Telègraf</i>	<i>Son Torrella</i>	<i>Míner Gran</i>	<i>Lluc</i>	<i>Biniatró</i>
<i>Otoño</i>	165,8 (18,23%)	147 (17,21%)	259,1 (35,18%)	0,00 (0%)	312,9 (39,12%)
<i>Invierno</i>	982,2 (46,03%)	1218,7 (51,96%)	260,2 (20,04%)	841,1 (42,46%)	527,6 (42,03%)
<i>Primavera</i>	224,9 (38,17%)	317,8 (50,53%)	187,6 (37,79%)	224,5 (43,68%)	161,5 (35,35%)
<i>Verano</i>	125,6 (46,11%)	74 (28,86%)	103 (59,33%)	165,5 (68,11%)	136,5 (61,38%)

Las precipitaciones ocurridas en invierno ligadas a los valores atípicos (1218,7 mm) explican más del 50% de la precipitación registrada en Son Torrella. Míner Gran es la estación que en valores absolutos (260 mm) y relativos (20,04 %) registra un valor inferior de precipitaciones acumuladas diarias.

Destaca que el periodo primaveral sea superado en acumulados por los valores extremos de otoño, hecho que se traduce en que los valores atípicos acumulan una mayor cantidad de precipitación diaria en primavera respecto a otoño. En invierno el mayor aporte de estas precipitaciones anómalas se localiza en las estaciones más cercanas al mar (Son Torrella, Coll des Telègraf y Lluc); mientras que en otoño se produce la situación inversa, aportando una mayor cantidad de lluvia en la estación de Biniatró y Míner Gran. Destaca que en Lluc no se registre ningún valor atípico en otoño, siendo explicada el 100% de su precipitación por acumulados inferiores a su valor máximo (52,7 mm).

En verano se observa la importancia que tienen los valores atípicos sobre la precipitación acumulada en el período de estudio en la estación de Biniatró (61,38%) respecto los valores en Son Torrella (28,86%). La diferencia es asociada a la zona de convergencia presente en la localización de Biniatró.

4.2. Relación de los factores que inciden en la precipitación

La disposición orográfica del terreno revela el intervalo de altitud en la que se encuentra cada una de las estaciones meteorológicas. Los perfiles topográficos en perpendicular a la Sierra de Tramuntana (NO-SE), explican la exposición de la estación frente al relieve existente.

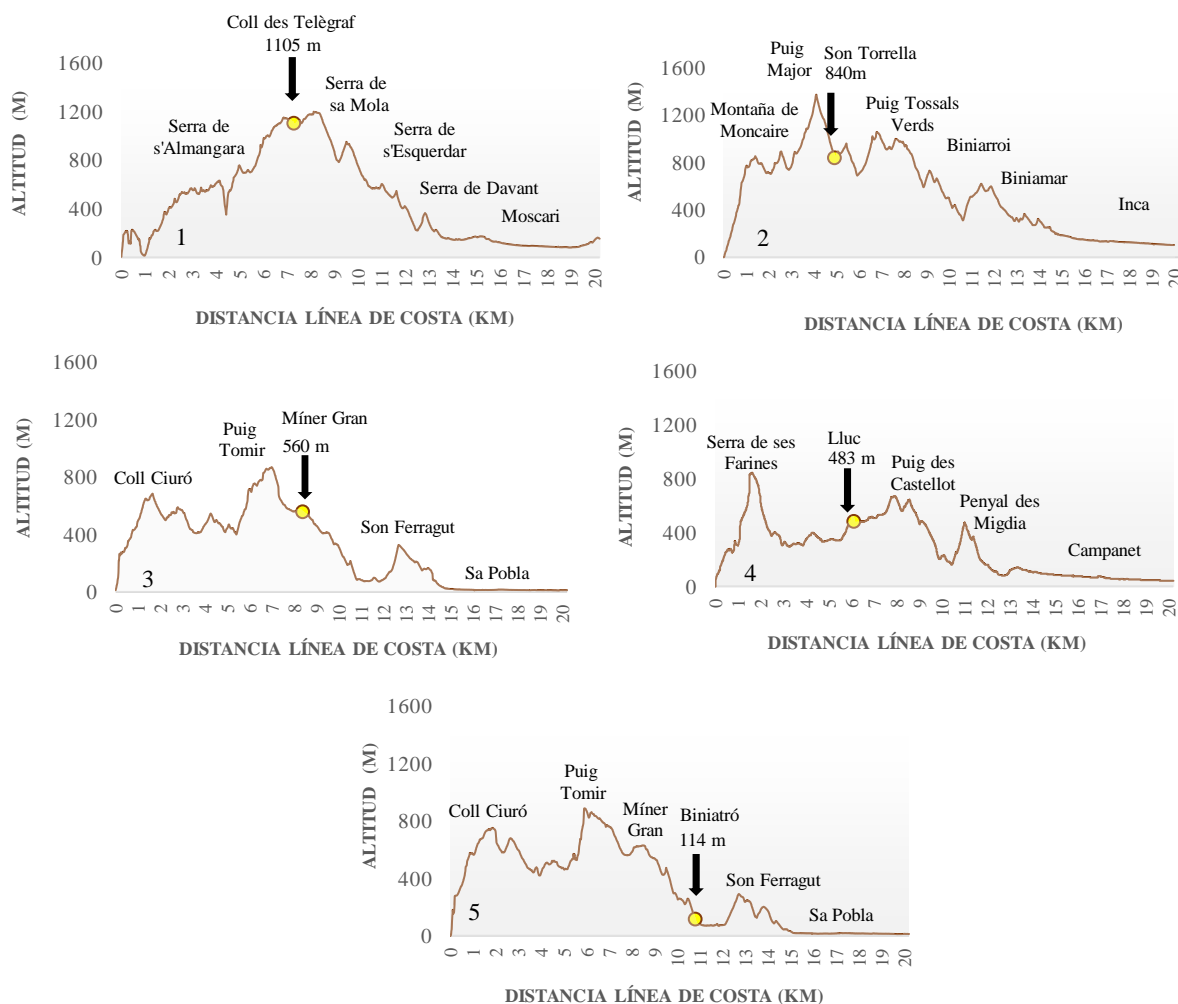


Figura 9. Perfiles topográficos (Orientación NO-SE) de las cinco estaciones meteorológicas (Fig.1d): 1-Coll del Telègraf, 2- Son Torrella, 3-Míner Gran, 4-Lluc, 5-Biniatró)

La estación del coll del Telègraf (Fig. 9.1), se encuentra localizada en un collado de montaña en la sierra de sa Mola, muy próxima al Puig de Masanella. La distancia de la línea de costa es de 5,61 km y se encuentra ubicada a una mayor altitud respecto a las cuatro restantes, exactamente a 1105 m. La exposición del relieve a los flujos es alta.

La estación de Son Torrella (Fig. 9.2) se encuentra en la sierra de Torrelles a una altura de 840 metros y a la menor distancia respecto a la línea de costa (4,66 km). Dicha estación se encuentra en la falda del Puig Major, punto más elevado de Mallorca y también de las Islas Baleares. Sin embargo, la estación se encuentra en la ladera descendente debido a la configuración del terreno existente entre la sierra de Turixant, sierra de Torrelles, sierra de Cúber y el propio Puig Major. Su localización en un polje y los fuertes efectos orográficos y condensativos asociados a las relevantes pendientes que configuran la cara frontal de la Sierra de Tramuntana, repercuten en la pluviometría registrada.

La estación de Míner Gran (Fig. 9.3) localizada en una pequeña cumbre entre Míner Gran y Míner Petit se encuentra a 7,72 km de la línea de costa y a una altura de 560 metros. En la cara frontal a la estación se localiza una importante barrera montañosa: el Puig Tomir, de 1.103 m, relieve que condiciona notablemente las precipitaciones registradas en su área de influencia

La estación de Lluc (Fig. 9.4) se encuentra localizada en un valle en las aproximaciones al monasterio de Lluc a una altura de 483 metros y a 5,44 km de la costa. La serra de sa Mola y en concreto el Puig de Massanella (segunda montaña más alta de la isla) se encuentran en el suroeste, el Puig Tomir en el noreste y la serra d'en Massot al este. Ambas cimas, que superan los 1.000 metros, tienen una clara influencia en las precipitaciones.

Biniatró (Fig. 9.5) es la estación más lejana a la costa (9,99 km) y la que presenta una menor altitud. Al situarse en una concavidad próxima a la comarca del Raiguer, también debe su influencia a los factores que condicionan la precipitación en la Serra de Tramuntana fruto del relieve que atraviesan las masas de aire, aunque en menor medida.

4.2.1. *Altitud media*

De acuerdo con Goh et al., (1974), al establecer relaciones entre las variables altitud y precipitación cabe tener en cuenta que se obtienen mejores resultados de relación entre los factores cuando en lugar de la altitud puntual de una estación se tiene en cuenta las altitudes que la rodean en el área de influencia (A.I).

Una mayor precipitación tiene lugar en las zonas de mayor altitud como es el caso del Coll del Telègraf o Son Torrella. Por altitud, en el Coll des Telègraf (1105 m) deberían registrarse unos acumulados de precipitación mayores a Son Torrella (840 m). De igual forma ocurre con la estación de Lluc, que ubicada a 77 metros menos respecto Míner Gran, precipitaron 310,8 mm más. En la mencionada estación, se ha registrado el acumulado más bajo (901,6 mm) para la totalidad de las estaciones en dicho período. No obstante, su altitud (560 m) es muy superior a la estación de Biniatró (112 m). Ello determina la importancia que supone conocer otros factores que determinan y complementan la distribución de la precipitación, entre los que se encuentra la altitud media del A.I de las estaciones.

Tabla 7. *Altitud media según el incremento del área de influencia (250 m, 500m, 750m, 1km, 2km, 3km) en las estaciones meteorológicas junto al coeficiente de Pearson y de determinación.*

<i>Estaciones meteorológicas</i>	<i>Altitud (m)</i>	<i>A.I 250 m</i>	<i>A. I 500 m</i>	<i>A.I 750m</i>	<i>A.I 1km m</i>	<i>A.I 2km</i>	<i>A.I 3 km</i>
<i>Coll des Telègraf</i>	1105	1136	1140	1129	1097	911	753
<i>Son Torrella</i>	840	882	925	958	972	915	837
<i>Míner Gran</i>	560	563	561	553	542	499	465
<i>Lluc</i>	483	491	487	491	500	573	597
<i>Biniatró</i>	112	126	132	137	145	199	255
<i>Coficiente de Pearson (r)</i>	0,76	0,77	0,78	0,80	0,82	0,89	0,93
<i>Coficiente de determinación (R²)</i>	0,57	0,59	0,61	0,64	0,67	0,79	0,87

A medida que aumenta el área de influencia el coeficiente de correlación de Pearson incrementa progresivamente (Tabla 7), pasando de una correlación positiva alta (R:0,76), a una correlación positiva muy alta (R:0,93). Se explica por tanto la importancia del relieve circundante y por consiguiente la altitud de este a 3 km de las estaciones meteorológicas en todas las direcciones.

Teniendo en cuenta la altitud in situ del punto donde se localizan las estaciones meteorológicas, el modelo de regresión solo explica el 57% de la variabilidad total de las observaciones; mientras que a medida que se aumenta el área de influencia al igual que con r , (R^2) aumenta considerablemente. En la figura 10 se observa que al tener en cuenta la altitud media en un área de influencia de 3 km se explica el 86,58% de la variabilidad total de las observaciones del modelo expuesto en la tabla 8. Se confirma a través del coeficiente de correlación de Pearson y el coeficiente de determinación, la importancia no solo de la altitud exacta en la que se encuentra la estación, sino de la configuración del terreno que la rodea (Goh et al., 1974).

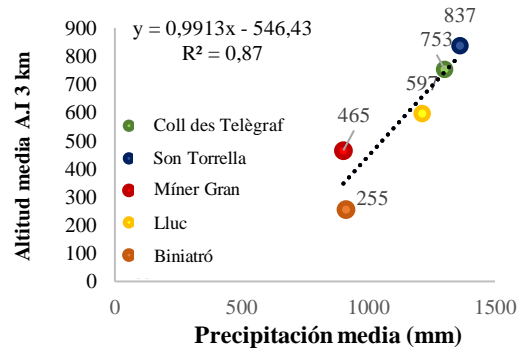


Figura 10. Dispersión y relación de la altitud media y la precipitación con un área de influencia de 3 km

4.2.2. Orientación

Las laderas orientadas al norte suelen ser más húmedas respecto a las que se encuentran orientadas en otras direcciones. Su relación con los vientos dominantes deriva en el fenómeno oroclimático llamado efecto Föhn, estando caracterizado por una ladera más húmeda y fresca (barlovento) debido a una mayor exposición a los vientos y una ladera más seca (sotavento) a causa del calentamiento del aire (Jiang, 2003). Además, en función de la orientación se presencian vertientes caracterizadas por sombras pluviométricas a causa de una obstaculización de los flujos húmedos de la misma orografía (AEMET).

Tabla 8. Orientación del relieve y disposición orográfica de las cinco estaciones meteorológicas

Estación meteorológica	Orientación	Ladera	Precipitación media
Coll des Telègraf	Noreste	Barlovento/Collado	1301,6 mm
Son Torrella	Sureste	Sotavento/Polje	1361,6 mm
Míner Gran	Este	Barlovento/Cumbre	901,6 mm
Lluc	Noreste	Valle	1212,4 mm
Biniatró	Sureste	Sotavento/Vaguada	911,4 mm

La relación entre la precipitación media y la orientación de las vertientes en la que se encuentran las estaciones meteorológicas pone de manifiesto que en el 80% de los casos estudiados, se cumple la regla. Además, se ha analizado mediante una diferenciación entre zonas de cumbres y valles debido a la situación orográfica de cada estación visualizada en la figura 9.

La tabla 8 indica que las estaciones orientadas al noreste (Coll des Telègraf y Son Torrella) albergan mayores acumulados de precipitación que las orientadas al este o sureste, siendo una excepción Son Torrella, que según su orientación debería acumular menor precipitación. El coeficiente de determinación ($R^2:0,43$) relaciona negativamente la variabilidad de la precipitación según la orientación de las laderas (Fig. 11).

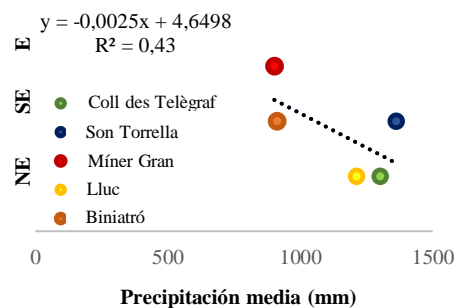


Figura 11. Dispersión y relación de la precipitación y la orientación

El coeficiente de Pearson (-0,65), revela que se trata de una correlación negativa moderada, perteneciendo los acumulados mayores a las estaciones orientadas al noreste y disminuyendo a medida que la orientación alberga un componente más sureño. No obstante, Míner Gran orientada hacia el este, debería de albergar precipitaciones mayores a Biniatró. Esta correlación es menor que la relación precipitación-altitud, por lo tanto, la orientación explicaría en menor grado la variabilidad de la precipitación que el factor altitudinal.

4.2.3. Distancia al mar

El análisis de la distancia al mar respecto a las diversas estaciones meteorológicas resulta en que en el sector central de la Serra de Tramuntana se cumple la relación distancia-precipitación estudiada por Sumner et al., (1995).

El coeficiente de correlación de Pearson para la relación es de -0,91 y el coeficiente de determinación es de 0.83 (Fig. 12) Esto se traduce en una correlación negativa muy alta, registrándose acumulados mayores en las estaciones más próximas a la costa tal y como es el caso de Son Torrella, estación más próxima al mar que registra el mayor valor de acumulados en el período 2014-2017. Míner Gran y Biniatró, estaciones localizadas a una distancia mayor registraron acumulados inferiores a las tres estaciones situadas a una distancia menor de la abrupta línea de costa (Son Torrella, Coll des Telègraf y Lluc). Si bien Biniatró y Míner Gran presentan unas precipitaciones medias acumuladas similares, se encuentran a 2,3 km de distancia. Por otro lado, las tres estaciones que presentan acumulados medios superiores a 1.200 mm reducen la precipitación a medida que se aumenta la distancia al mar a excepción de Lluc, estación localizada en un valle que estando a una distancia menor del mar, presenta menor precipitación que Coll des Telègraf. La otra excepción es Biniatró, estación meteorológica que por su distancia al mar debería de registrar precipitaciones medias inferiores a las de Míner Gran. Por lo que en dicha correlación negativa; a medida que se incrementa la distancia al mar, disminuye la precipitación media, registrándose un comportamiento anómalo en Lluc y Biniatró, ambas localizadas en una zona de valle.

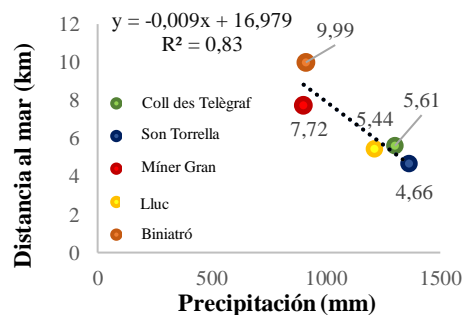


Figura 12. Dispersión y relación de la precipitación y la distancia al mar

4.3. Gradiente pluviométrico

El gradiente pluviométrico enfocado a la orografía española ha sido únicamente estudiado en cuatro ocasiones analizando únicamente la precipitación y el relieve. Dos de ellas, se centran en el Macizo de Moncayo donde se determinó un gradiente de 37 mm/100 m en la vertiente norte y 43 mm/100 m en la vertiente sur en el 1984 respecto a los 100 mm/100 m en la ladera norte y 25,3 mm/100 m en la sur que fueron concretados en el 1994. En el archipiélago canario, el gradiente mínimo es de 22 mm/100 m frente a un máximo de 88 mm/100 m. Por último, en el año 1981, Raso Nadal estableció un gradiente de 119mm/100m en la Serra de Tramuntana.

La disposición orográfica condiciona la pluviometría debido a que el relieve ejerce un papel fundamental en la distribución espacial de las precipitaciones, generando precipitaciones orográficas (Sumner et al., 1993).

El 30% de las relaciones (Míner Gran-Lluc, Míner Gran-Biniatró y Coll des Telègraf-Son Torrella), son descartadas debido al gradiente negativo pluviométrico que comportan (ver tabla apéndice 1). En estas relaciones a medida que aumenta la altitud, disminuye la precipitación, incumpliendo la hipótesis de a mayor altura, mayor precipitación. En el caso de Míner Gran y Lluc, se debe a la diferenciación entre una cumbre y un valle, así como en la sustancial orografía y su localización, hecho que influencia que en esta última estación la potenciación de la precipitación orográfica provoque acumulados muy superiores que alcanzan los 465,84 mm por cada 100 metros descendientes. En la relación Míner Gran-Biniatró, se trata de una zona de cumbre y valle respectivamente, tal y como se ha mostrado en los perfiles topográficos.

La mayor exposición del relieve donde se localiza Míner Gran comporta la bifurcación de los flujos hacia las vaguadas, donde en este caso se encuentra Biniatró, hecho que juntamente con las brisas estivales explicarían que el gradiente pluviométrico sea muy pronunciado y negativo respecto a la estación de Lluc. El tercer caso también se asocia a una relación entre collado (Coll des Telègraf) y una depresión (Son Torrella). En este caso, la altitud no resulta ser la variable que mejor explique una mayor o menor acumulación de precipitaciones debido a la presencia de la barrera montañosa de mayor altura de la Serra de Tramuntana: el Puig Mayor. Dicho relieve potencia los efectos tanto en la intensidad como en los acumulados. Entre la estación de Míner Gran y Lluc existen grandes diferencias de acumulados en el período estudiado a pesar de que la diferencia altitudinal es de 77 metros. Esto provoca que el gradiente vertical sea de -100,91 mm por cada 100 metros de ascenso. Del mismo modo, entre Míner Gran y Biniatró el gradiente pluviométrico altitudinal es de -0,55 mm por cada 100 de ascenso, hecho que también se traduce en una escasa representatividad debido a que, si bien las precipitaciones acumuladas no difieren en gran cantidad entre una estación meteorológica u otra, existe una diferencia de altitud de 446 metros.

Se descartan también las estaciones que pese a tener un gradiente positivo, su relación se basa en zonas de características topográficas diferentes, es decir, entre una cumbre o collado, y un valle o área de depresión, como ocurre entre Coll des Telègraf-Lluc, Coll des Telègraf- Biniatró y Son Torrella-Míner Gran. Los factores topográficos condicionantes disminuyen sustancialmente el gradiente, por lo que realmente debería ser superior al obtenido.

Se han analizado para el cálculo del gradiente pluviométrico las zonas de disposición orográfica y orientación del relieve similar, es decir, las zonas de valle a través de las relaciones (Son Torrella-Lluc, Son Torrella-Biniatró y Lluc-Biniatró) y el de las zonas de collado o cumbres referente a la relación entre Coll des Telègraf-Míner Gran (ver tabla apéndice 2). De este modo se obtiene un gradiente pluviométrico vertical de mayor representatividad al tener en cuenta los factores fisiográficos.

La zona de collado responde a un gradiente pluviométrico vertical de 18,38 mm por cada 100 metros que se incrementan en altitud. Estacionalmente, es invierno el período en el que el gradiente pluviométrico es superior (Fig. 13a). Únicamente se observa una perturbación acontecida en el mes de mayo que provoca que el gradiente mensual resulte negativo. Dicho gradiente pluviométrico es superior en los meses donde la precipitación es mayor. En diciembre se alcanza un gradiente de 71,16 mm por cada 100 metros de altitud en las cumbres o en las zonas próximas a estas (Fig. 13b), debido a las notables diferencias de acumulados según dominen procesos orográficos o convectivos.

Las áreas de vaguada presentan un gradiente pluviométrico altitudinal medio para el periodo de estudio de 15,43 mm por cada 100 metros de altitud. Sin embargo, en los meses estivales (Fig.

13a) concretamente en mayo y junio, el gradiente resulta negativo y por tanto anómalo, fruto de mayores intensidades en las precipitaciones convectivas registradas en altitudes inferiores. Asimismo, los gradientes más elevados se producen en los meses de invierno, siendo destacable el mes de diciembre, donde por cada 100 metros se incrementan 71,73 mm (Fig. 13b).

La disposición orográfica del relieve pone de manifiesto una diferencia en el gradiente pluviométrico de 2,95 mm por cada 100 metros de altitud entre las estaciones localizadas en zonas de cumbre (▲) y las situadas en zonas cóncavas propias de depresiones o valles (▼). Si bien la dinámica es similar tanto a escala estacional como mensual, las zonas cóncavas presentan un gradiente vertical pluviométrico menor en otoño, principalmente por las diferencias observadas en septiembre. En este mes, el gradiente pluviométrico es de 8,52 mm/100m en las cumbres y de -9,71 mm/100 m en los valles. La menor diferencia entre ambas áreas se produce en el período estival. Si bien por lo general el gradiente pluviométrico estacional es superior en las cumbres respecto a las zonas de valle, en verano se produce una situación inversa, en la que el gradiente en las cumbres es de 5,69 mm/100 m y en los valles 7,92 mm/100 m.

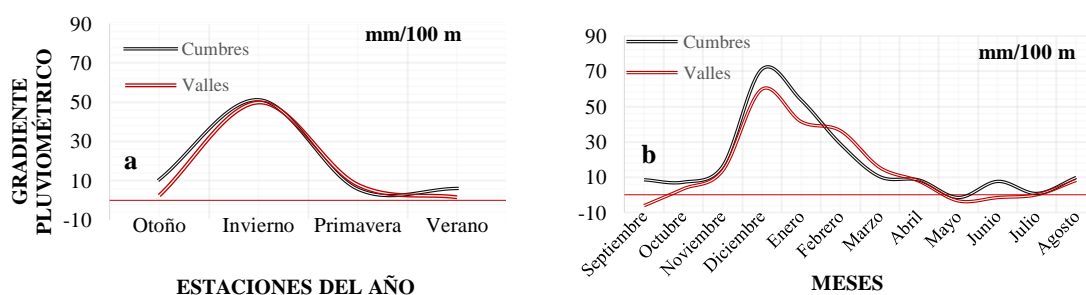


Figura 13. (a) Gradiente pluviométrico estacional de las zonas de valle y de cumbres. (b) Gradiente pluviométrico mensual de las zonas de valle y cumbres.

Asimismo, estas zonas se caracterizan por un mayor número de meses en los que el gradiente pluviométrico es negativo. Estos meses son mayo, junio y septiembre, por lo que también podría ser explicado por las zonas de convergencias existentes en el 66.6% de las relaciones seleccionadas entre las estaciones situadas en valles.

A partir del análisis del gradiente estacional (Fig. 14a) y el mensual (Fig. 14b) se determina que el gradiente pluviométrico altitudinal anual en el sector central de la Serra de Tramuntana es de 16,91 milímetros por cada 100 metros que se ascienden.

Por medio de la variable precipitación únicamente son cuatro los trabajos dedicados a la investigación del gradiente pluviométrico de parte de la orografía española. Dos de ellos centrados en el Macizo de Moncayo establecen un gradiente de 37 mm/100 m en la vertiente norte y 43 mm/100 m en la sur en el 1984 respecto a los 100 mm/100 m en la ladera norte y 25,3 mm/100 m en la sur que fueron concretados diez años después. En las Islas Canarias el gradiente mínimo se encuentra en 22 mm/100 m frente a los 88 mm/100 m del máximo. Por último, el que mayor relevancia presenta a efectos del presente documento, es el determinado en la Serra de Tramuntana (119mm/100m) en el 1981.

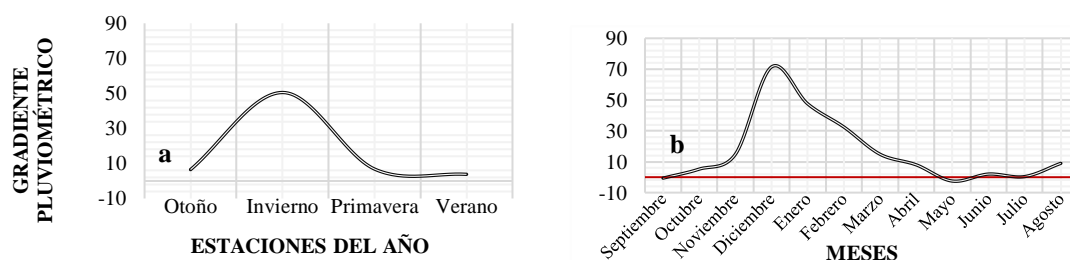


Figura 14.(a) Gradiente pluviométrico estacional del sector central de la Serra de Tramuntana (b) Gradiente pluviométrico mensual del sector central de la Serra de Tramuntana

El resultado difiere sustancialmente con el establecido por Raso Nadal (1981) de 119 mm/100m, a través del análisis de 32 estaciones meteorológicas de la Serra de Tramuntana en la serie 1943-1972.

Las diferencias de gradiente se ven acentuadas por las características topográficas que influyen en las estaciones meteorológicas. Los acumulados de la estación de Biniatró son muy superiores a los registrados en estaciones meteorológicas de alturas similares (105 m -120 m) localizadas en la Serra de Tramuntana. La estación de Binibassí se encuentra situada en una pequeña vaguada, en la cara frontal de la Serra. Su precipitación media es de 865,1 (Guijarro, 2007). Por otro lado, la precipitación media de la estación de Valldemossa Can Senen, muy próxima a la línea de costa es de 562 mm (Guijarro, 2007), no siendo influenciada por relieves frontales a causa de su alta exposición a los flujos de aire. De igual forma, la estación de Andratx Son Fortuny localizada en una depresión entre la Serra Garrafa y na Gruta acumula anualmente una media de 444,4 mm de precipitación (Guijarro, 2007). También son superiores a las registradas en las estaciones de Lloseta (198 m) y Caimari (170 m), localizadas en la comarca del Raiguer. En la estación de Lloseta s'Estorell, localizada en una pequeña depresión entre la serra d'Estorell y la comuna de Biniamar, se recogen anualmente una media de 687,6 m. Por otro lado, en Caimari, se registran 755,8 m. En ambos casos, la media de precipitación se ve superada por la registrada en la estación de Biniatró en el período 2014-2017. Esto explica la diferencia en el gradiente respecto a Raso Nadal, ya que a causa de las diversas características topográficas los gradientes pluviométricos presentan una elevada variabilidad en la Serra de Tramuntana en función de las estaciones seleccionadas.

Por ello, cabe remarcar la escala local y detallada de la presente investigación, estando caracterizadas las cinco estaciones meteorológicas por acumulados anuales que superan los 900 mm de precipitación independientemente de la altitud.

4.4. Pluviometría y tipos de tiempo

Los tipos de tiempo dominantes condicionan totalmente las precipitaciones. Diversos estudios han asociado los mayores acumulados a tipos de tiempo del norte (N) (Sumner, 1995).

Según Grimalt et al. (2013) el tipo de tiempo más frecuente en la cuenca oeste del mediterráneo (1948-2009), es el indeterminado (43,8%), seguido de los anticiclones (41,5%) y las borrascas (14,7%). En este estudio el tiempo más frecuente también fue el indeterminado, seguido de anticiclones y borrascas; por lo que los años estudiados son representativos respecto a lo que determinaron los mencionados autores.

Las borrascas tienen el mínimo de ocurrencia en el verano y el máximo en la parte fría del año debido al gran dinamismo de la atmósfera. Ello provoca la ocurrencia de importantes precipitaciones. De forma contraria los anticiclones suelen ocurrir en la mitad del año más cálida, siendo concentrados en los meses estivales. Sin embargo, se ha detectado una anomalía fruto del anticiclón de larga duración que azotó el área mediterránea en el invierno de 2015, ocasionando una supresión total de la precipitación del mes de diciembre y una reducción en todos los meses invernales.

El tiempo del norte (N) y noreste (NE) son los que generan un mayor valor de acumulados como consecuencia en el primer caso de canalizaciones de aire seco fruto de la presencia de un anticiclón polar marítimo en el Atlántico y una depresión en el norte de Europa. Ello provoca una gran canalización de aire seco que a su paso por el océano se recarga de humedad dejando importantes precipitaciones y notables descensos térmicos (Guijarro, 2002). A su vez, el tiempo del NE, correspondiente al viento de Gregal se produce por la llegada a la península de un anticiclón térmico, generando así una canalización de aire polar que alberga humedad en el mar Mediterráneo. Sin embargo, otros tipos de tiempo como los del NO o del E provocan abundantes precipitaciones en la zona asociadas a fuertes inestabilidades atmosféricas.

El tiempo más frecuente en los 1095 días analizados es el indeterminado con un 43,8% (480 días) debido a la alta presencia en la cuenca mediterránea de pantanos barométricos. Estos se producen por no haber un dominio ni de las altas ni de las bajas presiones, por lo que la presión atmosférica es similar en una superficie muy amplia. El resto de las frecuencias por tipos de tiempo se distribuyen en altas presiones (A), con el 41,5% (454 días), y las bajas presiones (B) con el 14,7% (161 días).

La relación entre los tipos de tiempo y los acumulados de precipitación revela que Son Torrella es la estación meteorológica donde el 93,2 % de las precipitaciones se generan en situaciones de borrascas, frente al 6,7% en situaciones anticiclónicas. Por el contrario, el 84,5% de las precipitaciones registradas en el Coll des Telègraf se asocian a B y un 15,5% a A. Las precipitaciones generadas en situación A son superiores en Míner Gran y Biniatró (10,6%), respecto a la de Lluc. A escala del período de estudio, el tiempo del NE es el que con notables diferencias aporta mayores acumulados en las estaciones (Fig. 15) con una media de 711,6 mm; seguidos del viento del N (590,4 mm), del E (326,5 mm) y del NO (241,7 mm). En Míner Gran, las mayores acumulaciones desde el 2014 hasta el 2017 se producen inversamente en tiempo N, seguido del NE. La tercera situación de mayor aportación se atribuye a los vientos del NO en comparación a los del E en el resto de las estaciones (Tabla 9).

Tabla 9. Acumulaciones en el período de estudio >1 mm por tipo de tiempo

	C.des Telègraf	Son Torrella	Míner Gran	Lluc	Biniatró
Norte	681,9	698,7	517,2	559,7	494,6
Noreste	788,6	927,9	501,5	801,4	538,7
Este	365,9	422,8	202,7	377,2	263,8
Sureste	154,0	144,0	155,3	148,9	183,3
Sur	167,3	122,2	102,0	139,5	110,7
Suroeste	118,9	113,4	61,2	96,3	48,4
Oeste	154,0	92,2	88,8	113,4	66,9
Noroeste	212,6	275,1	251,2	250,6	218,8

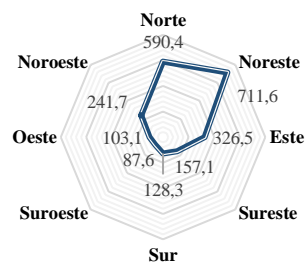


Figura 15. Acumulaciones medias (mm) de las estaciones en el período de estudio por tipo de tiempo.

En el año 2015-2016 la presencia de un anticiclón en invierno provocó que las precipitaciones registradas en el mes de diciembre fueran nulas en todas las estaciones meteorológicas. A escala estacional, las mayores acumulaciones en otoño y primavera se producen con vientos del NE, habiéndose realizado una aportación media de 415 mm y 60,2 mm en circunstancias de B y A en otoño, y 239,66mm en B y 29,96 mm con tipos de tiempo A respectivamente. En invierno las mayores acumulaciones se dan en tiempo N. Se aportaron 1112,61 mm en situaciones B y 2,8 en tiempo A. En verano, las precipitaciones superiores se dan en tiempo N. Dicha estación es la única que en una situación A produce acumuladores mayores (79,24 mm) que en B (15,38 mm).

A escala anual (Fig. 16a), los mayores acumulados del 2014-2015 se registraron en tiempo NE, seguidos del E y del N. En el 2015-2016 se dieron con situaciones de NE y NW. Sin embargo, la escala del gráfico revela los escasos acumulados que se produjeron. En el 2016-2017 una precipitación superior se registró con un tipo de tiempo N.

A escala estacional, en invierno los elevados acumulados se dieron en situaciones con viento de N, NE y E. En verano se centraron en N y en menor medida E. En primavera y otoño las precipitaciones acumuladas siguieron un patrón similar en cuanto al tipo de tiempo, siendo predominantes las acumulaciones por situación sinóptica NE.

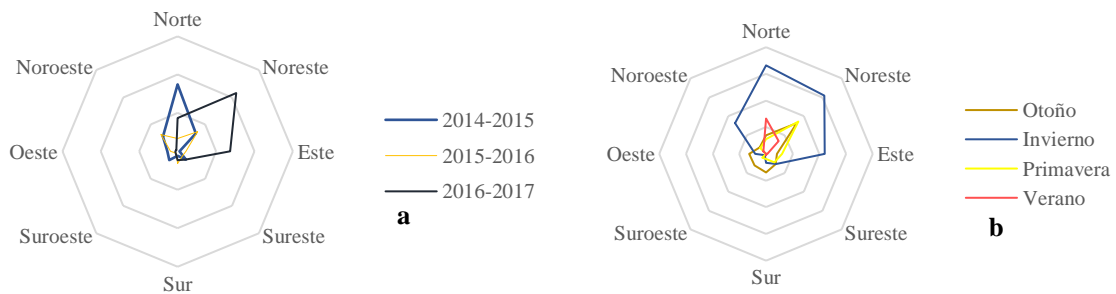


Figura 16. (a) Predominancia del tipo de tiempo por acumulados a escala anual. (b) Predominancia del tipo de tiempo por acumulados a escala estacional.

5. CONCLUSIONES

En este estudio, se ha analizado la precipitación acumulada a tres escalas temporales (periodo de estudio, anual y estacional) en cinco estaciones meteorológicas ubicadas en el Coll des Telègraf, Son Torrella, Míner Gran, Lluc y Biniatró.

La precipitación se distribuye de forma irregular tanto a escala espacial como temporal. La latitud, el clima, la disposición orográfica, la orientación, la distancia al mar y la altitud media son factores que explican su compleja distribución a lo largo del sector central de la Serra de Tramuntana. Durante el periodo de estudio (2014-2017) la precipitación anual y tipos de tiempo registrados fueron representativos de las series temporales observadas. Esto permite explicar que los resultados suelen ocurrir en situaciones “normales” y por lo tanto no se trata de hechos muy localizados asociados a situaciones de poca representatividad.

En primer lugar, a través del análisis de diversas escalas temporales se ha obtenido que en el periodo de estudio los acumulados son mayores en las estaciones de Son Torrella, Coll des Telègraf y Lluc respecto a Míner Gran y Biniatró. Ello se debe a los fuertes procesos de convección que se dan en la cara frontal de la Serra de Tramuntana fruto del ascenso obligado de los flujos sobre la orografía. En Míner Gran y Biniatró, encontrarse a una mayor distancia de los relieves más abruptos se traduce en la obtención de menores acumulados. Estos fuertes procesos basados en la precipitación orográfica son también los originarios de que los valores atípicos sean los que explican el 45,50% de la precipitación acumulada en la estación de Son Torrella en el periodo 2014-2017, el 41,30% en el Coll des Telègraf y el 25,32% en Lluc.

En segundo lugar, a través del análisis realizado entre las acumulaciones diarias y los factores que inciden en la precipitación, se obtiene que la altitud media de un área de influencia de 3 km y por lo tanto el relieve circundante, es el factor que mayormente condiciona un mayor valor de acumulados diarios, siendo la correlación altamente positiva ($r=0,93$) seguido de la correlación altamente negativa entre la distancia al mar y las precipitaciones acumuladas ($r=-0,91$) y la correlación con la orientación ($r=-0,65$).

A escala anual, se ejemplifica de nuevo la desigual dinámica pluviométrica entre las estaciones más próximas y las más lejanas a la costa, siendo las últimas las que presentan una menor variabilidad entre los años húmedos y los secos debido a una menor dispersión de acumulados.

A escala estacional los mayores acumulados se registran en invierno. En otoño y verano los máximos y los mínimos se atribuyen a las estaciones de Coll des Telègraf y Míner Gran respectivamente; mientras que por el contrario en la otra mitad del año los máximos y los mínimos se producen en Son Torrella y Biniatró respectivamente. Las mayores aportaciones de las acumulaciones diarias atípicas en Biniatró respecto a Míner Gran, Son Torrella y Coll des Telègraf se traduce en la influencia de las precipitaciones convectivas de mayor intensidad que las orográficas, producidas por las brisas que penetran las dos bahías principales de la isla (Palma y Alcúdia) creando así a su recorrido diversas zonas de convergencia en la que se localiza la estación meteorológica de Biniatró.

Las diversas distribuciones espaciales de las precipitaciones han sido observables a través de los acumulados diarios de un acontecimiento extraordinario que dejó 338,8 mm en la estación de Son Torrella, 306,8 mm en Coll des Telègraf, 253 mm en Lluc, 130 mm en Míner Gran y solo 33,9 mm a tan solo 2 km de esta última estación, en Biniatró. Los mayores valores se encuentran relacionados con los tipos de tiempo del noreste (NE), norte (N) y este (E), vientos que cargados de humedad dejaron fuertes cantidades de acumulados en el periodo de estudio, tal y como suele ser habitual en la cuenca del Mediterráneo.

Las disposiciones orográficas de las estaciones meteorológicas alteran significativamente el análisis del gradiente pluviométrico, generando un gradiente negativo producto de no realizarse distinciones según las características topográficas del lugar. Esto se traduce en que el 30% de las interacciones posibles entre estaciones meteorológicas no cumplen la hipótesis de a mayor altura mayor precipitación.

Por ello se ha utilizado el 40% de las posibles relaciones a través de una segregación entre ambas zonas, siendo diferenciado un gradiente pluviométrico altitudinal en las zonas de cumbres de 18,38 mm/100 m y de 15,43 mm/100 m en las zonas de valles, fruto de la bifurcación de los flujos debido a las morfologías orográficas. De este modo, se ha podido determinar que el gradiente pluviométrico altitudinal del sector central de la Serra de Tramuntana es de 16,91 mm/100m, dato que se aleja de la publicación de Raso Nadal en el que se determinaba un gradiente de 119/100m teniendo en cuenta la totalidad de la Serra.

Esto es principalmente explicado por el número de muestras escogidas y la escala local a la que se ha centrado el presente trabajo, ya que hasta la actualidad aún no hay precedentes de estudios mayormente focalizados.

De cara al futuro resulta interesante ampliar la muestra de estaciones meteorológicas según la ubicación fisiográfica en alturas similares con la finalidad de extender el gradiente pluviométrico de la Serra de Tramuntana.

AGRADECIMIENTOS

Han sido muchas las personas que directa o indirectamente me han animado y apoyado tanto en la realización de este proyecto como a lo largo de estos 4 años.

En primer lugar, me gustaría agradecer al grupo de investigación en hidrología y ecomorfología en ambientes mediterráneos (MEDhyCON) la facilitación de los datos pertenecientes a la red de estaciones meteorológicas.

En segundo lugar, a todas aquellas personas que me han ayudado a resolver mis dudas a lo largo de este periodo. En concreto, a los profesores que además de transmitir sus conocimientos han apostado por la implicación y la importancia de los valores humanos; y a mi tutor de TFG Josep Fortesa, quien desde el primer momento ha estado disponible para sobrepasar los obstáculos surgidos en estos 4 meses.

En tercer lugar y no menos importante me gustaría dar las gracias a mis amigos; en especial a Juan Miguel Rosillo Comino, Eugenia Villalonga Gómez y Alfonso Poveda Suárez quienes desde el primer día de carrera han estado acompañándome en esta aventura. Vuestra amistad es uno de los mayores logros que podría haber conseguido. Gracias por los buenos momentos que hemos vivido y por vuestra infinita sonrisa hasta en los momentos más tensos. Todo lo vivido en esta etapa es inolvidable gracias a vosotros.

Por último, me gustaría agradecer a mi familia los valores que me han inculcado y a mis amigos el apoyo recibido. Gracias por la paciencia y el cariño que me habéis demostrado durante toda mi vida. Mis logros son totalmente vuestros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alomar, G., & Grimalt, M. (2006). Precipitaciones de verano y régimen de brisas en Mallorca.
- Ferrer, B. G. (1997). La estructura geológica de la mitad occidental de la isla de Mallorca (Vol. 104). IGME.
- García, J. G., Ferrer, B. G., & Sàbat, F. (2007). El relieve de las Islas Baleares. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 15(2), 175-184.
- GoH, K., Chuan, G. K., & JG, L. (1974). An assessment of topographical controls on the distribution of rainfall in the Central Pennines.
- Grimalt, M. (1988): "Precipitacions màximes diàries a la Serra de Tramuntana, Mallorca". *A Treballs de Geografia*, núm. 40, pp 51-60. Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears
- Grimalt, M., Tomàs, M., Alomar, G., Martin-Vide, J., & Moreno-García, M. D. C. (2013). Determination of the Jenkinson and Collison's weather types for the western Mediterranean basin over the 1948-2009 period. Temporal analysis. *Atmósfera*, 26(1), 75-94.
- Guijarro, J. A. (1986). Contribución a la bioclimatología de Baleares. (Doctoral dissertation, Universitat de les Illes Balears).
- Guijarro, J. A. (2002). Tendencias de la precipitación en el litoral mediterráneo español. *Publicaciones de la Asociación Española de Climatología. Serie A*; 3.
- Guijarro, J. A. (2007). Termopluviometría media de Baleares del trentenio 1971-2000.
- Jansà, J. M., & Jaume, E. (1946). El régimen de brisas en la isla de Mallorca. *Revista de Geofísica*, 19, 304-328.
- Jiang, Q. (2003). Moist dynamics and orographic precipitation. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 55(4), 301-316.
- Johnson, G. L., & Hanson, C. L. (1995). Topographic and atmospheric influences on precipitation variability over a mountainous watershed. *Journal of Applied Meteorology*, 34(1), 68-87.
- López, J. Sevillano, A. Mateos, R. Gelabert, B. Giménez, J & Morey, B. *La Geología de Mallorca: Una ventana a su pasado remoto Geología de la Bahía de Palma* (2010).
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., ... & Zhu, Y. (1996). The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American meteorological Society*, 77(3), 437-472.
- Nadal, J. M. R. (1983). Precipitación y altitud en el Mediterráneo Occidental: el caso de la Cordillera de Tramuntana. In *Ponencias y comunicaciones: Coloquio de Geografía, VII* (pp. 155-162). Asociación Española de Geografía.
- Ramis, C., & Ballester, M. (1984). Ciclogénesis Catalano-Balear. Estudio del temporal de abril de 1978. *Rev. de Geofísica*, 40, 243-258.
- Roe, G. H. (2005). Orographic precipitation. *Annual Review of earth and planetary sciences*, 33(1), 645-671.

Romero, R., Guijarro, J. A., Ramis, C., & Alonso, S. (1998). A 30-year (1964–1993) daily rainfall data base for the Spanish Mediterranean regions: First exploratory study. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 18(5), 541-560.

Rodríguez Hernández, D. (2015). Análisis del gradiente térmico en las vertientes Este y Oeste de la isla de La Palma.

Sumner, G., Ramis, C., & Guijarro, J. A. (1993). The spatial organization of daily rainfall over Mallorca, Spain. *International Journal of Climatology*, 13(1), 89-109.

Sumner, G., Guijarro, J. A., & Ramis, C. (1995). The impact of surface circulation on significant daily rainfall patterns over Mallorca. *International Journal of Climatology*, 15(6), 673-696.

Sumner, G., Ramis, C., & Guijarro, J. A. (1995). Daily rainfall domains in Mallorca. *Theoretical and applied climatology*, 51(4), 199-221.

Trigo, R. M., & DaCamara, C. C. (2000). Circulation weather types and their influence on the precipitation regime in Portugal. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 20(13), 1559-1581.

APÉNDICE

Tabla apéndice 1. Gradientes pluviométricos mensuales positivos y negativos (color rojo) de las estaciones meteorológicas

Año meteorológico	Míner Gran-Lluc	Míner Gran-Biniatró	Coll des Telègraf- Son Torrella
Septiembre	-62,47	-20,18	10,29
Octubre	21,56	1,23	7,76
Noviembre	-170,39	4,73	2,89
Diciembre	-465,84	14,73	-27,34
Enero	-248,57	-8,83	18,51
Febrero	-172,21	3,79	-34,52
Marzo	-28,96	3,52	-26,45
Abril	-14,55	5,18	4,63
Mayo	20,65	0,18	6,73
Junio	-69,61	-9,15	9,89
Julio	1,43	0,38	2,05
Agosto	-21,95	-2,17	-5,86
ANUAL	-100,91	-0,55	-5,70

Tabla apéndice 2. Gradientes pluviométricos anuales de las zonas de cumbre y de valles.

Año meteorológico	PROMEDIO CUMBRES	ZONAS DE VAGUADA			PROMEDIO VAGUADAS
	Coll des Telègraf- Míner Gran	Son Torrella- Lluc	Son Torrella- Biniatró	Lluc-Biniatró	
Septiembre	8,52	-8,04	-9,72	-11,36	-9,71
Octubre	7,13	9,78	3,29	-3,01	3,35
Noviembre	16,10	-14,30	13,91	41,27	13,63
Diciembre	71,16	28,02	72,17	115,01	71,73
Enero	53,64	41,65	41,42	41,19	41,42
Febrero	28,79	32,07	36,35	40,51	36,31
Marzo	10,26	28,80	19,41	10,30	19,5
Abril	8,34	6,15	7,74	9,30	7,73
Mayo	-1,54	-2,85	-3,48	-4,09	-3,47
Junio	7,61	-10,67	-3,49	3,47	-3,56
Julio	0,74	-0,08	0,04	0,16	0,04
Agosto	9,82	14,50	8,13	1,95	8,19
ANUAL	18,38	10,42	15,48	20,39	15,43