



Universitat de les Illes Balears

Facultad de Filosofía y Letras

Memoria del Trabajo de Fin de Grado

Análisis del gradiente térmico altitudinal de la zona central de la Serra de Tramuntana

Juan Miguel Rosillo Comino

Grado en Geografía

Año académico 2019-2020

Trabajo tutelado por Joan Estrany Bertos

Departamento de Geografía

S'autoritza la Universitat a incloure aquest treball en el Repositori Institucional per a la seva consulta en accés obert i difusió en línia, amb finalitats exclusivament acadèmiques i d'investigació	Autor		Tutor	
	Sí	No	Sí	No
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ÍNDICE

1. Resumen-Abstract.....	5
2. Introducción.....	7
3. Área de estudio	
3.1 Geología.....	8
3.2 Clima.....	9
3.3 Situación topográfica de las estaciones	
3.3.1 Coll des Telègraf.....	10
3.3.2 Son Torrella.....	10
3.3.3 Míner Gran.....	11
3.3.4 Lluc.....	11
4. Metodología.....	13
5. Resultados y discusión	
5.1 Dinámica de las temperaturas	
5.1.1 Dinámica anual de las temperaturas.....	14
5.1.2 Dinámica estacional de las temperaturas.....	16
5.2 Factores que inciden en la temperatura	
5.2.1 Factor altitud.....	18
5.2.2 Factor pendiente y orientación.....	19
5.2.3 Factor orográfico.....	20
5.3 Gradiente térmico vertical de la Serra de Tramuntana.....	24
5.4 Anomalías- Inversiones térmicas.....	30
5.5 Papel que juegan los diferentes tipos de tiempo.....	33
6. Conclusiones.....	34
7. Agradecimientos.....	35
8. Referencias bibliográficas.....	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: (A) Mapa de localización geográfica de la isla de Mallorca (B) Mapa de localización de las estaciones meteorológicas en la isla de Mallorca (C) Mapa de la dirección de los perfiles topográficos.....	7
Figura 2: Perfil topográfico en dirección NW-SE de la estación de Coll des Telègraf.....	10
Figura 3: Perfil topográfico en dirección NW-SE de la estación de Son Torrella	10
Figura 4: Perfil topográfico en dirección NW-SE de la estación de Miner Gran.....	11
Figura 5: Perfil topográfico en dirección SE-NW de la estación de Lluc	11
Figura 6: Dinámica anual (2015-2017) de las temperaturas medias, mínimas y máximas en los diferentes gradientes altitudinales	14
Figura 7: Dinámica de las temperaturas en invierno por altitud (2015-2017).....	16
Figura 8: Dinámica de las temperaturas en otoño por altitud (2015-2017).....	16
Figura 9: Dinámica de las temperaturas en primavera por altitud (2015-2017).....	16
Figura 10: Dinámica de las temperaturas en verano por altitud (2015-2017).....	16
Figura 11: Correlación anual entre altitud y temperatura.....	18
Figura 12: Correlación entre orientación y temperatura.....	18
Figura 13: Correlación entre pendiente y temperatura.....	18
Figura 14: Gradiente térmico mensual (2015-2017) entre Son Torrella (840 m) y Coll des Telègraf (1105 m)	21
Figura 15: Gradiente térmico altitudinal (2015-2017) entre Lluc (483 m) y Son Torrella (840 m)	22
Figura 16: Gradiente térmico altitudinal (2015-2017) entre Miner Gran (560 m) y Coll des Telègraf (1105 m)	23
Figura 17: Gradiente altitudinal medio calculado a partir del promedio de las zonas de valle con las zonas de cumbre	24
Figura 18: Amplitudes térmicas medias mensuales por estación (2015-2017).....	25
Figura 19: % de días de inversión térmica entre Lluc (483 m) y Son Torrella (840 m)	26
Figura 20: % días de inversión térmica entre Lluc (480 m) y Coll des Telègraf (1105 m).....	26
Figura 21: % de días de inversión térmica entre Míner Gran (560 m) y Son Torrella (840 m) ..	27
Figura 22: % días de inversión térmica entre Míner Gran (560 m) y Coll des Telègraf (1105 m).	27
Figura 23: % días de inversión térmica entre Son Torrella (840 m) y Coll des Telègraf (1105 m)	27
Figura 24: Mapa isobárica de superficie del 24 de diciembre de 2015 Fuente: www.aemet.es . 28	
Figura 25: Temperaturas máximas registradas en el periodo comprendido entre el 1 y el 31 de diciembre de 2015	29
Figura 26: Temperaturas mínimas comprendidas en el periodo comprendido entre el 1 y el 31 de diciembre de 2015	29
Figura 27: Temperaturas medias registradas en el periodo comprendido entre el 1 y el 31 de diciembre de 2015	30
Figura 28: Temperatura media en Coll des Telègraf (1105 m) según el tipo de tiempo.....	31
Figura 29: Temperatura media en Son Torrella (840 m) según el tipo de tiempo	31
Figura 30: Temperatura media en Lluc (483 m) según el tipo de tiempo	31
Figura 31: Temperatura media en Míner Gran (560 m) según el tipo de tiempo.....	31
Figura 32: Amplitud térmica en Coll des Telègraf (1105 m) según el tipo de tiempo.....	32
Figura 33: Amplitud térmica en Son Torrella (840 m) según el tipo de tiempo	32

Figura 34: Amplitud térmica en Lluc (483 m) según el tipo de tiempo	33
Figura 35: Amplitud térmica en Miner Gran (560 m) según el tipo de tiempo.....	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación climática de las estaciones según Guijarro.....	9
Tabla 2: Origen de los datos de los diferentes observatorios	12
Tabla 3: Dinámica anual de las temperaturas medias, máximas y mínimas en los diferentes gradientes altitudinales.....	14
Tabla 4: Temperaturas medias, máximas y mínimas por estaciones en diferentes gradientes altitudinales (1).....	15
Tabla 5: Temperaturas medias, máximas y mínimas por estaciones en diferentes gradientes altitudinales (2).....	15
Tabla 6: Temperatura media real y estimada por altitud por gradiente altitudinal.....	17
Tabla 7: Correlación anual y estacional entre temperatura y altitud (2015-2017).....	18
Tabla 8: Características físicas de la ubicación de las estaciones. Orientación y pendiente	18
Tabla 9: Clasificación de las estaciones según su situación topográfica.....	20
Tabla 10: Gradiente térmico altitudinal entre Son Torrella (840 m) y Coll des Telègraf (1105 m)	21
Tabla 11: Gradiente térmico altitudinal entre Lluc (483 m) y Son Torrella (840 m).....	22
Tabla 12: Gradiente térmico altitudinal entre Míner Gran (560 m) y Coll des Telègraf (1105 m)	23
Tabla 13: Gradiente altitudinal medio calculado a partir del promedio de las zonas de valle con las zonas de cumbre	24
Tabla 14: Número de días con inversión térmica entre los diferentes gradientes altitudinales relacionado con la situación sinóptica predominante.....	25

1. RESUMEN- ABSTRACT

Las temperaturas superficiales registradas en montaña se caracterizan por su variabilidad. A pesar de que generalmente se acepte un gradiente adiabático de $0,65^{\circ}\text{C}$ por cada 100 metros, varios trabajos recientes han demostrado la existencia de gradientes térmicos verticales específicos. Y es que dichos gradientes no son constantes ya que varían espaciotemporalmente en función de otras variables como la altitud, la humedad, la orientación, la presión atmosférica, la latitud, las situaciones sinópticas predominantes y las características del relieve.

Este estudio se centra en el gradiente térmico vertical de la Serra de Tramuntana, en la isla de Mallorca, a partir del análisis de las temperaturas diarias de cuatro estaciones meteorológicas localizadas en diferentes puntos de la sierra entre los años 2015 y 2017. Concretamente dicha investigación se enfoca en las estaciones de Lluc (483 metros¹, Nordeste²), Míner Gran (560 metros¹, Este²), Son Torrella (840 metros¹, Sudeste²) y Coll des Telègraf (1105 metros¹, Nordeste²).

La situación fisiográfica diferencial primordialmente, junto a otros factores principales como la altitud¹ y la orientación² han provocado que la obtención del gradiente adiabático se haya dividido entre aquellas estaciones localizadas en valle (Lluc y Son Torrella) con un gradiente de $0,47^{\circ}\text{C}/100$ metros y aquellas ubicadas en cumbres (Míner Gran y Coll des Telègraf) con un gradiente de $0,65^{\circ}\text{C}/100$ metros. A partir de esta división y una serie de cálculos, se ha obtenido un gradiente adiabático medio de $0,56^{\circ}\text{C}$ por cada 100 metros, resultado similar a otros tipos de estudios de gradientes térmicos altitudinales realizados anteriormente en el área mediterránea.

Palabras clave: temperatura superficial, Serra de Tramuntana, gradiente adiabático, situación fisiográfica

The surface temperatures recorded in the mountains are characterized by their variability. Although an adiabatic gradient of 0.65°C per 100 meters is generally accepted, several recent works have demonstrated the existence of specific vertical thermal gradients. And it is that these gradients are not constant since they vary spatio-temporally based on other variables such as altitude, humidity, orientation, atmospheric pressure, latitude, the predominant synoptic situations, and the characteristics of the relief.

This study focuses on the vertical thermal gradient of the Serra de Tramuntana, on the island of Mallorca, from the analysis of the daily temperatures of four meteorological stations located at different points in the mountains between 2015 and 2017. Specifically, said research It focuses on the Lluc stations (483 meters¹, Northeast²), Míner Gran (560 meters¹, East²), Son Torrella (840 meters¹, Southeast²) and Coll des Telègraf (1105 meters¹, Northeast²).

The differential physiographic situation, together with other main factors such as altitude¹ and orientation², have caused the obtaining of the adiabatic gradient to have been divided between those stations located in the valley (Lluc and Son Torrella) with a gradient of $0.47^{\circ}\text{C} / 100$ meters. and those located on summits (Míner Gran and Coll des Telègraf) with a gradient of $0.65^{\circ}\text{C} / 100$ meters. From this division and a series of calculations, an average adiabatic gradient of 0.56°C per 100 meters has been obtained, a result like other types of altitude thermal gradient studies previously carried out in the Mediterranean area.

Key words: surface temperature, Serra de Tramuntana, adiabatic gradient, physiographic situation.

2. INTRODUCCIÓN

Aunque en la clasificación climática tradicional se diferencia un clima de montaña igual para todas las montañas de la Tierra, independientemente de su situación, lo cierto es que este tipo de clima no existe (Santiago, 2017). Y es que la altura y el relieve de las montañas distorsionan localmente las características del clima de cada región, pero muchas de las características esenciales del mismo se mantienen (García, J. 2012). De este modo, el clima de montaña de latitudes mediterráneas afectados por ciertos tipos de centros de acciones y masas de aire, presentan características climáticas muy diferenciadas respecto a los climas de montaña de otras latitudes, como son las oceánicas o las tropicales (Santiago, 2017).

En términos generales, hay que destacar que una masa de aire pierde temperatura conforme asciende en altitud en el proceso conocido como gradiente adiabático. El promedio estándar, establecido por la ISO (*International Standard Atmosphere*) es de unos 6,5°C por cada 1000 metros ascendidos. A pesar de esto, varias investigaciones han demostrado que estos gradientes térmicos superficiales no responden a un patrón constante, sino que varían espacio temporalmente en función de otras variables como la humedad, la presión atmosférica, la latitud, las situaciones sinópticas predominantes y las características de los relieves (Navarro, F. et al 2017). Es, por lo que a pesar de que estos descensos de temperaturas son comunes, el gradiente térmico varía ligeramente según las regiones (mayor gradiente térmico en latitudes medias que en zonas tropicales) y las estaciones (incremento del gradiente térmico en verano que respecto en invierno) (García, J. 2012).

Las diferencias existentes en los climas de montaña son mucho más complejas que unas temperaturas más bajas según la altitud y la latitud. Y es que la disposición del terreno modifica en mayor o menor medida el clima y el tiempo meteorológico a escala planetaria, regional y local. Los efectos de la topografía sobre el movimiento del aire se registran sobre una gran variedad de escalas espacio temporales generándose entonces una jerarquía de sistemas de circulación a partir de factores térmicos y dinámicos. (Pascual, R. 2013). La complejidad de dicho terreno, con fondos de valle y laderas con distintas inclinaciones, orientaciones (solanas y umbrías) y exposiciones determinan unas diferencias muy significativas en los registros de los diferentes gradientes adiabáticos que encontramos a lo largo de la Tierra (Blandford, T. 2008). Estas diferencias entre unas zonas y otras provocan la formación de diferentes tipos de topo climas, que son climas zonales distintos al clima general.

Asimismo, el descenso térmico a mayor altitud presente en áreas montañosas se puede diferir e incluso llegar a invertir, en función de la situación atmosférica dominante y las características del relieve (Rodríguez, D. 2016). Las diferencias de insolación según la orientación del terreno, el viento catabático y el drenaje de aire frío en el gradiente de temperatura del aire en las cuencas montañosas, especialmente en la temperatura mínima puede producir que algunos días en altitudes más bajas se registren temperaturas medias inferiores que respecto a zonas más elevadas (Romero,H. et al 2017). Es, por ello, que con todos estos factores en una región montañosa aparecen infinidad de topo climas y microclimas, que afectan a una ladera, a un valle, a una cumbre, o a un lugar concreto (Santiago, 2017).

En el presente trabajo se realizará un estudio de las dinámicas de las temperaturas en diferentes gradientes altitudinales de la zona central de la Serra de Tramuntana en Mallorca entre 2015 y 2017, ambos inclusive. Se pretende investigar el gradiente térmico altitudinal y el papel que juegan los diferentes tipos de situaciones sinópticas predominantes. Además, se investigará si

existen factores topográficos que inciden en el registro de las temperaturas y se analizará si dichos factores son los responsables en las anomalías que se producen en la zona de estudio.

3. ÁREA DE ESTUDIO

La Serra de Tramuntana es la cadena montañosa más extensa y elevada de las Islas Baleares. Situada en la parte occidental de la isla de Mallorca (Fig.1), presenta una longitud aproximada de unos 90 km y una amplitud media de unos 15 km. Las altitudes medias varían considerablemente según la zona, siendo la parte central la que agrupa las mayores altitudes, con picos que superan los 1000 m de altura como el Puig Major (1447 m), el Penyal des Migdia (1356 m) o el Puig de Massanella (1367 m).

Específicamente, el estudio se centrará en cuatro estaciones meteorológicas situadas en la zona central de la Serra (Fig.1c).

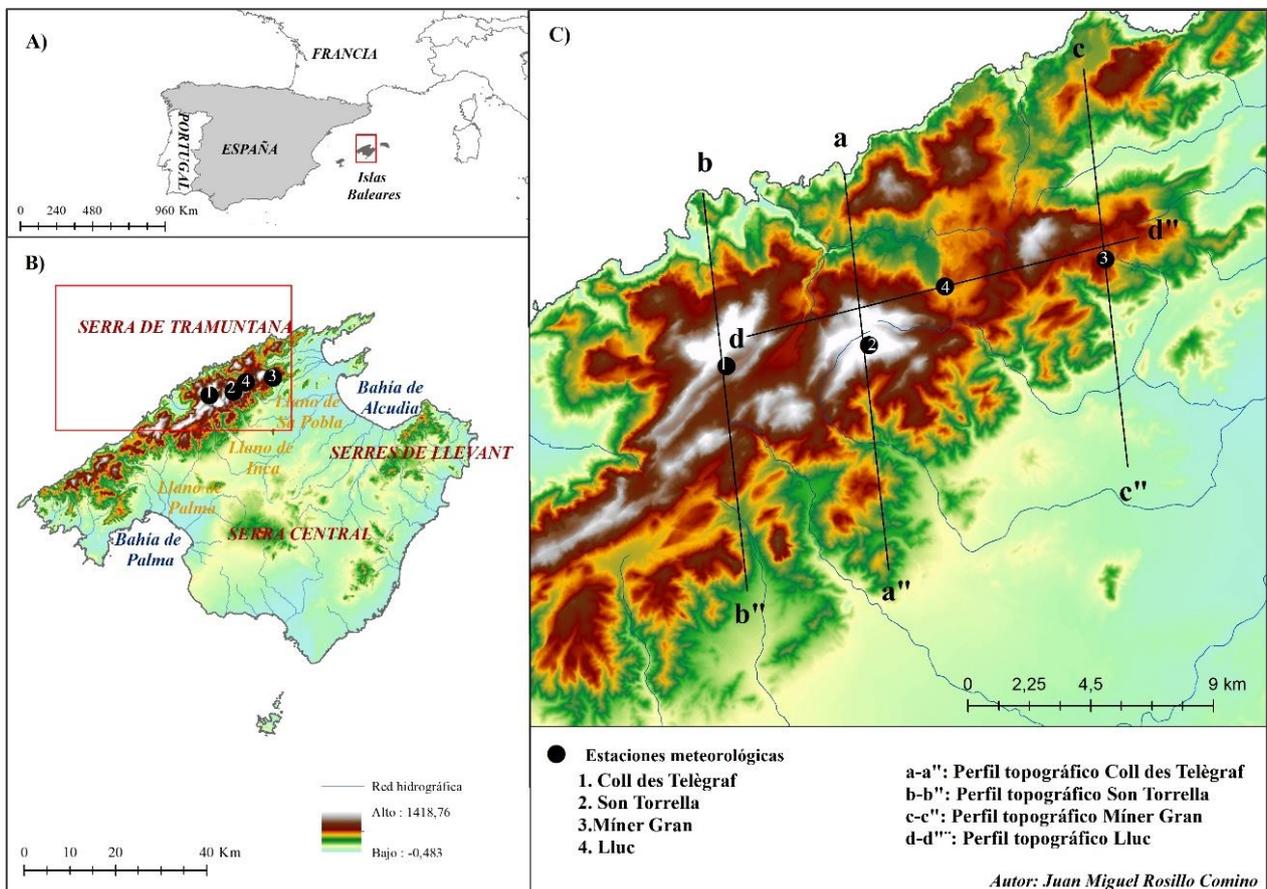


Figura 1: (A) Mapa de localización geográfica de la isla de Mallorca (B) Mapa de localización de las estaciones meteorológicas en la isla de Mallorca (C) Mapa de la dirección de los perfiles topográficos

3.1 Geología

La isla de Mallorca, que se encuentra situada geográficamente a una latitud de 39°N y a una longitud que va de los 2°E a los 3°E, forma parte juntamente con las islas de Menorca, Ibiza y Formentera de la zona emergida del conocido como Promontorio Balear, un umbral submarino que constituye la prolongación hacia el NE de la Cordillera Bética, formación geológica del sur de la Península Ibérica formada durante la orogenia por el choque de dos placas tectónicas: la placa Africana y la placa Euroasiática (López. J, et al 2010).

Las zonas de relieve de la isla se formaron durante la compresión que se produjo en el Mioceno Medio Inferior. Dicha compresión provocó pliegues y cabalgamientos que provocaron la formación de las actuales Serra de Tramutana y las Serres de Llevant (López. J, et al 2010), cadenas montañosas relativamente extensas que producen una alternancia significativa en las altitudes medias en la isla.

Durante el Mioceno Medio Superior se produjo una extensión y se conformó tal y como se conoce actualmente la Sierra de Tramuntana. Dicha extensión, que por un lado produjo que las islas girasen en sentido a las agujas del reloj hasta conformar la posición en la que se sigue encontrando en la actualidad con una orientación de NE-SE, provocó la formación de estructuras conocidas como fallas normales que originaron un conjunto de bloques elevados (horsts) y hundidos (grabens), diferenciando así las actuales Serra de Tramuntana, Serres de Llevant y las Serres Centrals (bloques elevados) de los llanos de Palma, Inca y Sa Pobla tal y como se visualiza en el sub mapa B de la figura 1 (López. J et al 2010).

3.2 Clima

Desde una perspectiva general, las Islas Baleares tienen un clima mediterráneo matizado y diversificado por efectos de tipo regional y local. Los veranos suelen ser secos y cálidos, mientras que los inviernos son suaves y comprenden los meses en los que se recoge una mayor cantidad de precipitación. Dicha diferencia de precipitación entre los meses cálidos y los meses más fríos sumado al factor temperatura, produce en la zona un déficit hídrico en la etapa estival debido a que el porcentaje de agua evapotranspirada es superior al agua caída en forma de precipitación. A pesar de todo esto, la disposición de las islas, así como sus características internas (relieve, zonas de interior insular...) provocan que existan diferencias en los climas insulares que pueden llegar a ser incluso notables entre unas zonas y otras (Guijarro 1986).

Concretando más hacia la zona de estudio, se debe destacar que la isla de Mallorca es la que presenta el clima más complejo con más variación interna por lo que se refiere a la temperatura y a la pluviometría. Esta complejidad en cuanto al clima se puede observar en el artículo de Sumner et al. (1993) que estudia específicamente la organización espacial de las precipitaciones diarias en Mallorca. A través del uso de componentes principales rotados y análisis de conglomerados aplicados a las matrices de correlación estos autores dividen la isla de Mallorca en siete áreas climáticas principales, de las más secas en zonas del sur de la isla, a las más húmedas en las áreas de relieve. Y es que son estas zonas de relieve las que sirven como barreras topográficas y climatológicas, produciendo con ello una marcada alineación en la ocurrencia de lluvia espacial. Además, los vientos dominantes, así como las brisas también son un factor clave que repercuten en mayor o menor medida en la distribución de las precipitaciones en la isla de Mallorca y, por tanto, en la división climática del clima insular (Sumner, 1993).

Más específicamente, la Serra de Tramuntana a pesar de que presente una serie de características diferenciales, en general dichas características no producen que, en su conjunto, el clima de la Serra se distinga excesivamente del resto de la isla. De hecho, el ritmo anual de precipitaciones sigue plenamente las características de la variabilidad balear de los climas mediterráneos, marcado por el acusado mínimo de precipitación veraniega, centrado en el mes de julio, y un destacado máximo en otoño, centrado en octubre y manteniéndose hasta diciembre. En el caso de las temperaturas, hay que decir que siguen la misma dinámica con mínimos en enero y febrero (no especialmente remarcable) y máximos en julio y agosto (Grimalt, M. et al 1998). No obstante, la Serra presenta una serie de características diferenciales que se pueden resumir en una elevada pluviometría y unas temperaturas inferiores a medida que se aumenta de altitud. Dicha disminución de temperaturas y aumento de precipitaciones se produce de una forma asimétrica a lo largo de la Serra debido a diversos factores topográficos. Y es que la desigual incidencia de la radiación solar en función de la orientación determina que el área meridional de la Serra manifieste una anomalía térmica positiva. En sentido contrario, el fondo de depresiones cerradas es proclive a las inversiones térmicas y a la aparición de heladas (Grimalt, M. et al 1998).

Además del elaborado por Sumner et al (1993), varios han sido los trabajos de clasificación climática de la isla de Mallorca. Uno de los más importantes es el elaborado por José Antonio Guijarro en su tesis doctoral defendida en 1986. Y es que este autor dividió los diferentes climas en una escala de diferenciación de 1 km² a partir de diferentes modelos de regresión lineal y regresión múltiple a través de las relaciones existentes entre las diversas variables climáticas y un cierto conjunto de parámetros fisiográficos (Guijarro, J. 1986). Se obtuvo un mapa clasificador de los tipos de clima que caracterizan la isla de Mallorca, distribuyendo diferentes climas mediterráneos en zonas costeras, zonas internas y áreas de relieve (Tabla 1).

Estaciones	Altitud (metros)	Clima según Guijarro
Coll des Telègraf	1105	Húmedo fresco
Son Torrella	840	Húmedo fresco
Míner Gran	560	Húmedo templado
Lluc	483	Húmedo templado

Tabla 1: Clasificación climática de las estaciones según Guijarro

3.3 Situación topográfica de las estaciones meteorológicas

Para conocer la situación topográfica de las estaciones meteorológicas se han realizado toda una serie de perfiles topográficos elaborados a partir de la dirección de las diferentes líneas del sub mapa c de la figura 1. A partir de estos se ha podido conocer mejor la situación geográfica de las estaciones analizando con ello el relieve circundante para cada uno de los observatorios sometidos a estudio.

3.3.1 Coll des Telègraf

Es la estación meteorológica localizada a una mayor cota, concretamente a 1105 m de altitud en el municipio de Escorca. Se encuentra ubicada en un collado de montaña, es decir en el punto más bajo de una línea de cumbres que ocupa en su parte sur el Puig de Massanella (1367 m) y en la parte septentrional el Puig de sa Mola (1180 m).

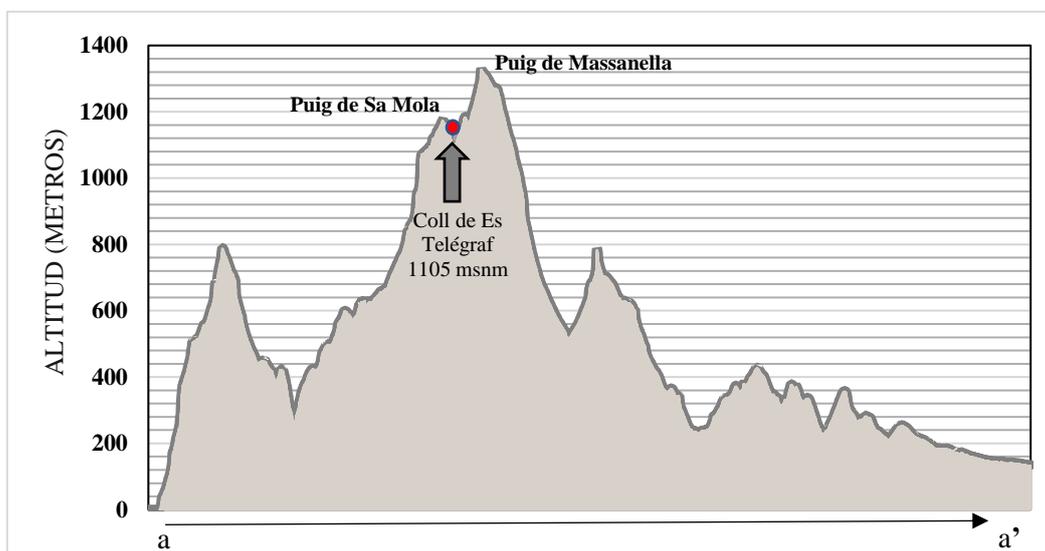


Figura 2: Perfil topográfico en dirección NW-SE de la estación de Coll des Telègraf

3.3.2 Son Torrella

Esta estación meteorológica, situada a una altitud de 840 m de altura en el municipio de Escorca, se encuentra localizada en una depresión cárstica (polje), siendo el valle más elevado de las Islas Baleares. Su ubicación, justo en la zona inferior de una imponente ladera que asciende unos 500 m hasta su cumbre, el Puig Major (zona más alta de la isla de Mallorca y de las Islas Baleares), le confiere una serie de características térmicas propias.

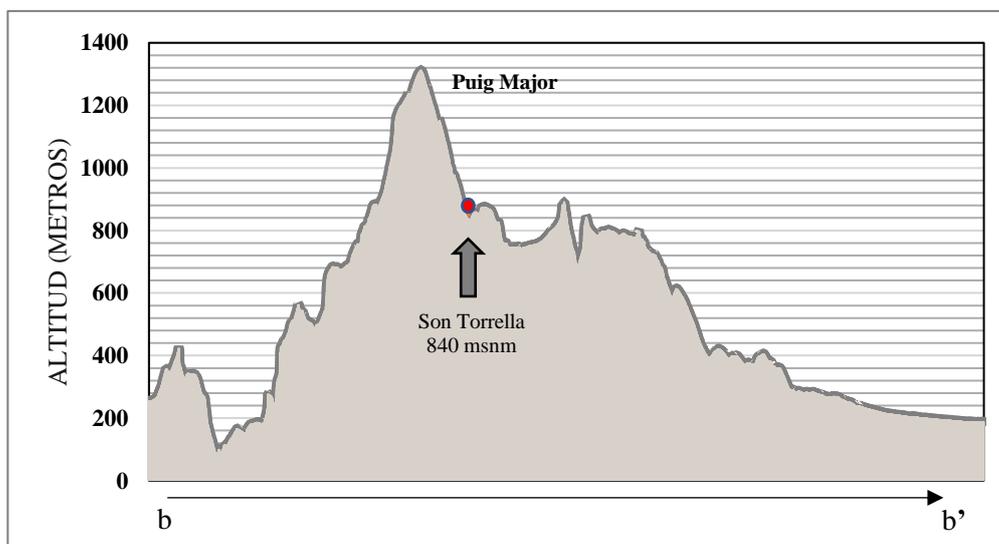


Figura 3: Perfil topográfico en dirección NW-SE de la estación de Son Torrella

3.3.3 Míner Gran

La estación de Míner Gran, a diferencia del resto de estaciones que se encuentran localizadas en el término municipal de Escorca, se sitúa en el municipio de Pollença a una altitud de 560 m. La estación, situada en la parte oriental respecto al Puig Tomir (1103 m) se ubica en una pequeña cumbre entre los predios de Míner Gran y Míner Petit.

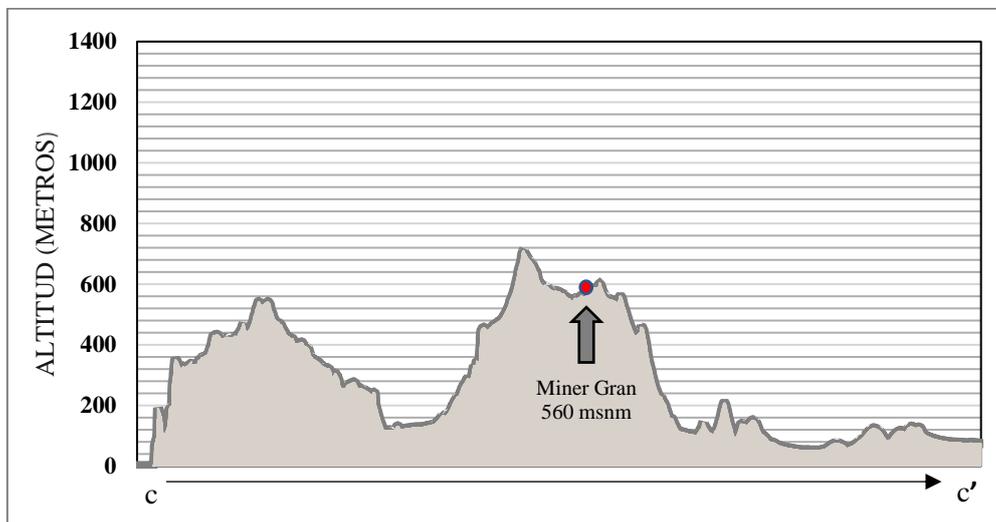


Figura 4: Perfil topográfico en dirección NW-SE de la estación de Míner Gran

3.3.4 Lluc

Es la estación meteorológica localizada a una menor altura, concretamente a una cota de 483 m en el municipio de Escorca. El área de estudio se encuentra situado en el fondo de una cuenca rodeada por una serie de imponentes cumbres como el Puig de Massanella (1367 m) al oeste y el Puig Tomir (1103 m) al este y otras de menor altitud como son el Puig dels Castellot (694 m) y el Puig de ses Covasses (753 m) en el sur.

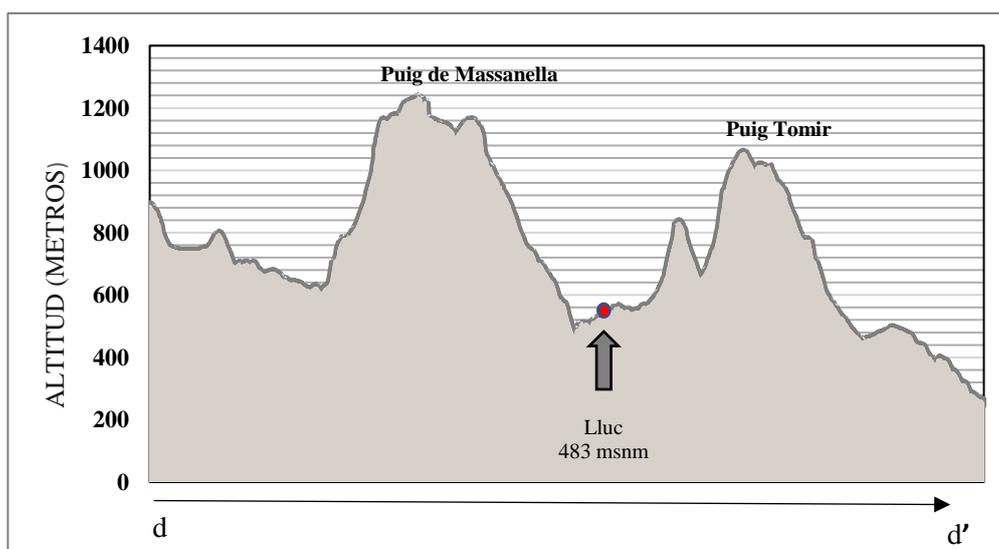


Figura 5: Perfil topográfico en dirección SE-NW de la estación de Lluc

4. METODOLOGÍA

Se han calculado los gradientes de temperaturas superficiales a una escala diaria para 4 estaciones meteorológicas de la Serra de Tramuntana para los tres años transcurridos entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de diciembre de 2017. Los datos de temperatura se han extraído, por un lado, a partir de observatorios de la Agencia Estatal de Meteorología de España (AEMET), y por otro lado por estaciones meteorológicas de la Universidad de las Islas Baleares (UIB) instaladas en las diferentes zonas de la Serra desde el año 2014. Estas últimas son estaciones del Grupo de Investigación en Hidrología y ecogeomorfología en ambientes mediterráneos (MEDhyCON).

AEMET	UIB-MEDhyCON
B013X Lluc	UIB1 Coll des Telègraf
B684A Son Torrella	UIB2 Miner Gran

Tabla 2: Origen de los datos de los diferentes observatorios

Análisis primario de las temperaturas

En primer lugar, ha sido necesario depurar los datos a través del programa Microsoft Excel. Para dicha depuración, se han tenido que agrupar los datos quince-minútales para obtener con ello valores diarios. Una vez obtenidos dichos datos diarios, se ha calculado por un lado la temperatura media, y por otro lado la temperatura mínima y máxima para poder conocer la amplitud térmica diaria en todas las estaciones. Una vez ya se han calculado todos estos valores, se han realizado una serie de promedios entre todos los valores de temperaturas máximas, mínimas y medias diarias que han permitido agrupar los datos de temperaturas diarias en temperaturas mensuales, estacionales y anuales.

Análisis de la zona de estudio

Antes de llevar a cabo un análisis para obtener el gradiente térmico, se ha realizado una exhaustiva búsqueda bibliográfica, y a partir de una serie de fuentes primarias y secundarias se han obtenido los principales factores que pueden llegar a incidir en los registros térmicos de la zona de estudio. Entre estas fuentes destaca la utilización de artículos como *Topo climatología andina del norte de Chile: estimaciones estadísticas e interpretaciones culturales* (Romero, H. et al 2017), *gradientes de temperaturas en la montaña española* (Navarro, F. et al 2017) o *Análisis del gradiente térmico en las vertientes Este y Oeste de la isla de La Palma* (Rodríguez, D. 2015) entre otros.

Los valores de dichos factores (orientación, altitud, pendiente y las características del relieve) han sido extraídos a partir de ArcMap. A través de estos datos, se ha realizado un cálculo del coeficiente de correlación de Pearson entre las diferentes variables obtenidas anteriormente con las temperaturas medias anuales de los tres años con el objetivo de conocer qué relación existen entre los registros térmicos analizados respecto a los diferentes factores que inciden en la temperatura.

Además, para un mejor análisis de la situación topográfica de las estaciones meteorológicas, se ha realizado una serie de perfiles topográficos que ha permitido visualizar las características de los relieves circundantes a cada estación. Para realizar dichos perfiles, ha sido necesario establecer una serie de patrones lineales en ArcMap (figura 1) y exportarlos a Excel para configurar así las gráficas.

Obtención del gradiente térmico mensual y anual

En primer lugar, a partir de las temperaturas medias anuales entre el 2015 y el 2017 de cada estación, se realiza una diferenciación mensual entre las temperaturas medias de aquellas zonas localizadas en valles por un lado y aquellas áreas ubicadas en cumbres o en sus medianías por otro lado a través de Excel. Una vez ya realizada la diferencia, y ya conociendo la altitud que separa las dos estaciones de valle y cumbres respectivamente, se han obtenido los diferentes gradientes térmicos verticales entre los diferentes observatorios a través de la división de la resta de las temperaturas medias mensuales entre la diferencia de altitud entre una zona y otra. No obstante, para poder conocer cuántos ° Celsius por cada 100 metros desciende la temperatura, ha sido necesario aplicar una regla de 3 que ha permitido obtener los diferentes gradientes térmicos mensuales por cada mes. Para conocer el gradiente anual, se ha realizado un promedio entre todos los meses del año.

Además, para calcular el gradiente térmico final de la Serra de Tramuntana se ha elaborado un promedio de los gradientes obtenidos de las zonas de valle y de cumbres elaborados anteriormente. Para acompañar estas tablas de gradientes, se han elaborado gráficos lineales a partir de Excel para hacer más representativo los datos obtenidos.

Recuento de días con inversión térmica

Con el fin de saber la frecuencia de los días con inversión térmica entre unas altitudes y otras se han contabilizado los días en los que las temperaturas medias de altitudes más bajas eran inferiores que respecto a altitudes más altas. Además, esto se ha relacionado con las situaciones sinópticas predominantes. Este recuento se ha realizado mediante la herramienta Excel a partir de una serie de pasos.

En primer lugar, se ha realizado una diferencia de las temperaturas medias diarias entre unas zonas y otras. Más tarde, se han contabilizado los días por meses y por años en los que se produjo dichas inversiones y se ha relacionado esto con las situaciones sinópticas predominantes. Mediante otra contabilización de días con anticiclones y borrascas se ha establecido un porcentaje de días en los que dominó un tipo de tiempo u otro en cuanto a la relación con días de inversión térmica. Finalmente se ha realizado una serie de gráficos y un ejemplo del diciembre de 2015 que ha hecho más representativo el estudio.

Análisis de los tipos de tiempo

Por último, mediante el formato Excel y a través de la información de los tipos de tiempo (viento) que afectó la zona durante los 3 años sometidos a estudio extraído de la AEMET, se ha realizado un análisis de la temperatura según el tipo de tiempo. Se han realizado una serie de gráficas y se ha buscado información de diferentes fuentes que han complementado el estudio

Para finalizar, cabe destacar que toda la información extra aplicada a los pasos anteriores se ha extraído de diferentes fuentes primarias y secundarias que han servido para complementar el trabajo realizado. Además de las ya mencionadas, también se han hecho servir diferentes herramientas como el QGIS o R, que han ayudado a complementar las estadísticas y las figuras realizadas a lo largo del presente estudio.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Dinámica de las temperaturas

El comportamiento de las temperaturas en los diferentes gradientes altitudinales es variable. Los valores diarios, mensuales y anuales varían diferencialmente según las estaciones meteorológicas y el periodo de estudio analizado.

5.1.1 Dinámica anual de las temperaturas:

El comportamiento anual de las temperaturas es anómalo, ya que zonas con una mayor cota presentan unas temperaturas medias superiores que respecto a zonas inferiores.

Año	2015			2016			2017		
Altitud	Máx.	Mín.	\bar{x}	Máx.	Mín.	\bar{x}	Máx.	Mín.	\bar{x}
1105 m	17,48	9,65	12,47	16,38	8,45	12,22	20,27	10,98	14,60
840 m	17,96	6,67	12,13	17,72	6,92	12,31	18,01	6,60	12,12
560 m	20,06	12,34	15,79	19,95	12,38	15,75	19,94	12,36	16,10
483 m	20,31	8,23	13,79	19,83	8,51	14,08	19,78	8,18	13,95

Tabla 3: Dinámica anual de las temperaturas medias, máximas y mínimas en los diferentes gradientes altitudinales.

Mientras que las temperaturas máximas cumplen el patrón de la altitud, siendo las zonas altas en su mayoría los que menores valores registran, las temperaturas mínimas varían considerablemente. Las estaciones de Son Torrella y Lluc presentan temperaturas mínimas medias inferiores que respecto a las estaciones de Míner Gran y Coll des Telègraf, Estas temperaturas mínimas más bajas pueden llegar a ser las responsables del porqué las temperaturas medias en ambas áreas son más bajas que respecto a estaciones ubicadas en altitudes más altas.

Si se realiza una comparación más focalizada, se puede observar que Son Torrella ubicada a unos 840 m de altitud presenta una temperatura media entre 2015 y 2017 (12,18°C) de 0,91°C inferior a la registrada en el Coll des Telègraf (13,09°C). La misma dinámica sucede si se comparan las estaciones de Míner Gran y Lluc, estaciones que, a pesar de estar ubicadas en elevaciones similares, presentan temperaturas medias, mínimas y máximas muy diferenciadas. Y es que, la temperatura media de Lluc (13,94°C) es 1,94°C inferior a la media anual registrada en Míner Gran (15,88°C). Estas diferencias de temperaturas entre áreas que se encuentran localizadas en mayor o menor medida en las mismas altitudes se pueden deber a diversos factores topográficos que puedan llegar a incidir en las temperaturas.

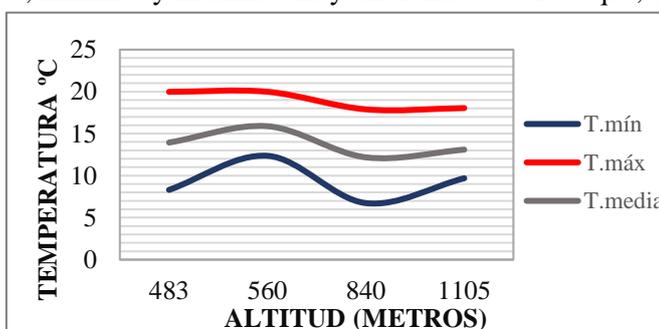


Figura 6: Dinámica anual (2015-2017) de las temperaturas medias, mínimas y máximas en los diferentes gradientes altitudinales

5.1.2 Dinámica estacional de las temperaturas

En cuanto al comportamiento estacional de las temperaturas se puede decir que las diferencias existentes entre unas zonas y otras aumentan o disminuyen según la estación meteorológica en la cual se han registrado datos. A pesar de todo, en cada una de ellas se visualiza un patrón común donde existe una mayor diferencia en las temperaturas mínimas que repercuten en mayor o menor medida en las temperaturas medias totales estacionales de las áreas de estudio.

Año	Otoño			Invierno		
	Máx.	Mín.	\bar{x}	Máx.	Mín.	\bar{x}
1105 m	17,01	9,88	13,48	8,64	2,96	5,47
840 m	17,99	7,72	13,71	10,36	1,55	5,64
560 m	19,67	12,36	17,23	12,76	6,45	9,29
483 m	19,27	8,70	14,36	13,05	2,54	7,24

Tabla 4: Temperaturas medias, máximas y mínimas por estaciones en diferentes gradientes altitudinales (1)

Año	Primavera			Verano		
	Máx.	Mín.	\bar{x}	Máx.	Mín.	\bar{X}
1105 m	15,11	6,37	11,21	26,08	15,69	20,83
840 m	16,36	4,64	10,60	26,76	12,90	19,93
560 m	18,40	10,13	14,01	28,66	19,48	23,70
483 m	18,31	5,98	12,20	28,25	15,28	22,06

Tabla 5: Temperaturas medias, máximas y mínimas por estaciones en diferentes gradientes altitudinales (2)

Al igual que el comportamiento anual, se puede visualizar que, durante todas las estaciones del año, las estaciones de Son Torrella y Lluc presentan temperaturas mínimas mucho más bajas que respecto a las estaciones de Míner Gran y Coll des Telègraf. Estas diferencias se incrementan o disminuyen según la estación y el área estudiada.

Durante el invierno y el otoño las temperaturas medias en Coll des Telègraf son ligeramente más bajas que en Son Torrella. En cambio, en primavera y sobre todo en verano, se produce una inversión térmica y es la estación situada en los 840 metros de altitud la que menor temperatura media presenta. Y es que la diferencia de estas temperaturas mínimas entre la estación de Son Torrella y la del Coll des Telègraf pasan de una media de 1,41°C en invierno a 2,79°C en la etapa estival.

En cambio, en la comparación de Míner Gran y Lluc, a pesar de situarse más o menos en la misma altitud, se puede observar que en todas las estaciones del año existe una importante diferencia en sus temperaturas medias. Estas diferencias disminuyen en la etapa veraniega y primaveral donde la temperatura media en Lluc es 1,79°C y 1,64°C respectivamente inferior a la registrada a la de Míner Gran (en comparación con las de la etapa invernal y otoñal que son 2,05°C y 2,87°C inferiores). Incluso, en todas las estaciones, Lluc presenta temperaturas mínimas medias inferiores a la estación localizada a 1105 metros de altitud, aun así, localizándose 622 metros de cota inferior.

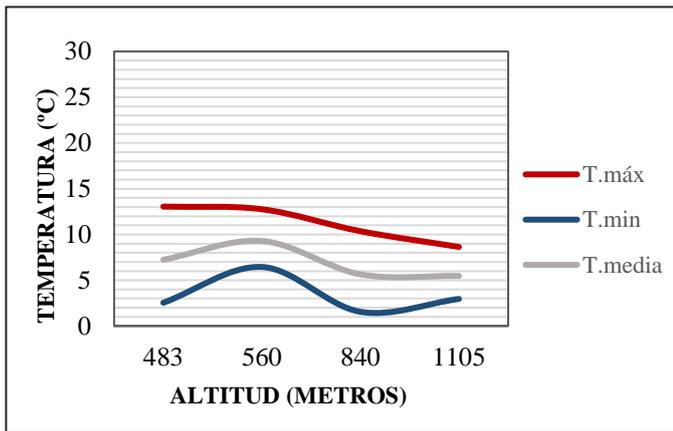


Figura 7: Dinámica de las temperaturas en invierno por altitud (2015-2017)

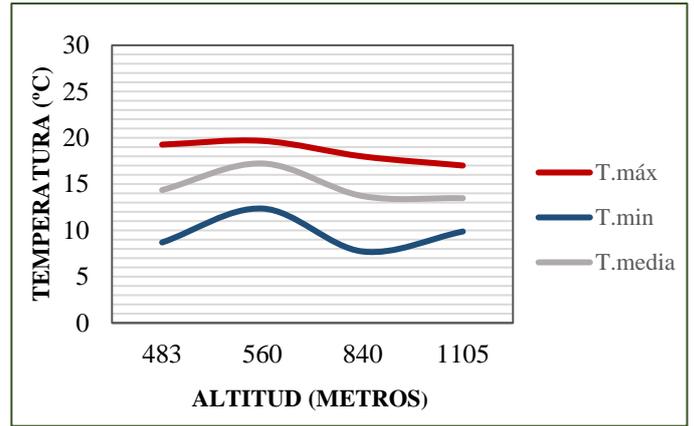


Figura 8: Dinámica de las temperaturas en otoño por altitud (2015-2017)

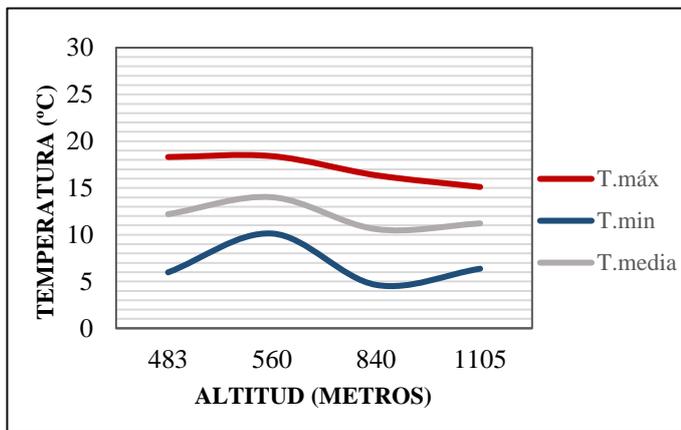


Figura 9: Dinámica de las temperaturas en primavera por altitud (2015-2017)

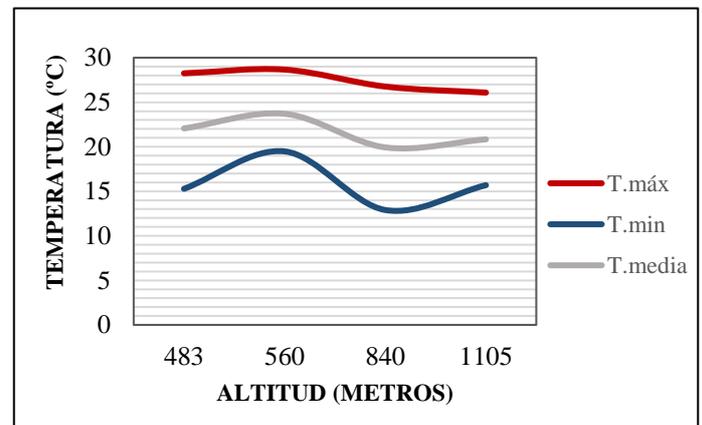


Figura 10: Dinámica de las temperaturas en verano por altitud (2015-2017)

En las anteriores figuras (7 a 10), se puede observar la dinámica de las temperaturas medias estacionales para los años comprendidos entre 2015 y 2017 en los diferentes gradientes altitudinales. Se puede visualizar la existencia de un claro patrón en las temperaturas. Mientras que las temperaturas máximas registradas descienden con la altitud, el comportamiento en las temperaturas mínimas varía considerablemente entre unas áreas y otras estableciendo con ellos diferencias importantes en las temperaturas medias analizadas.

Estas diferencias se deben a una serie de factores topográficos que alteran en mayor o menor medida el registro de dichas temperaturas. Es, por tanto, que, con anterioridad a la realización del gradiente térmico, se ha realizado un análisis de los diferentes factores que pueden llegar a incidir a la temperatura registrada en las estaciones sometidas a estudio.

5.2 Factores que inciden en la temperatura

Antes de realizar el estudio del gradiente térmico altitudinal de la zona central de la Serra de Tramuntana en la isla de Mallorca, se han analizado las zonas de la Sierra donde se han ubicado las distintas estaciones meteorológicas para poder observar si existen factores topográficos que puedan repercutir en mayor o menor medida en el registro de dichas temperaturas. Entre estos factores topográficos encontramos varios como las pendientes y orientaciones del terreno, altitud de las posibles barreras montañosas que lo rodean, distancia al mar... (Blandford, 2008).

5.2.1 Altitud

Tal y como se apuntaba en la Introducción de este trabajo, a mayor altitud, menor temperatura. La temperatura desciende en una media de 0,65°C por cada 100 m de elevación, lo que equivale a 6,5°C por cada mil metros de altura. Es, por lo tanto, que las estaciones que se encuentran situadas a una mayor cota deberían de presentar una temperatura media inferior respecto a aquellas localizadas en altitudes más bajas. A pesar de esto, tal y como se puede visualizar en la tabla 7, esta relación no se cumple a la perfección debido a una serie de factores que producen que algunas estaciones sean más cálidas o frías de lo que deberían si solo se rigieran por el factor altitud.

Altitud	Tº Media estimada por altitud (°C)	Tº Media observada (°C)	Diferencia de temperatura (°C)
1105	11,42	12,35	+0,93
840	13,14	12,18	-0,96
563	14,94	15,88	+0,94
483	15,46	13,94	-1,52

Tabla 6: Temperatura media real y estimada por altitud por gradiente altitudinal

Tal y como se observa en la anterior tabla, en las que se han calculado las temperaturas medias reales entre 2015-2017 de las diferentes estaciones meteorológicas y las temperaturas que deberían de tener dichas estaciones si solo se tuviera en cuenta el factor elevación, existen dos localizaciones, que son Lluç y Son Torrella, cuyas temperaturas son inferiores a las que le tocaría por cota. En cambio, las estaciones pertenecientes a Coll des Telègraf y Míner Gran, presentan unas temperaturas superiores a las que le tocaría si solo se tuviera en cuenta el factor altitud. Incluso, existe el caso de estaciones situadas a unas elevaciones más bajas que presentan temperaturas medias inferiores a otras situadas a una mayor altitud.

Esta variabilidad produce que las correlaciones entre temperatura y altitud sean moderadas-bajas. Si se tienen en cuenta la relación que existe entre un factor y otro desde el punto de vista anual (2015-2017), se puede observar que hay una correlación negativa moderada de -0,4716 (figura 2). En cuanto a las correlaciones de las diferentes estaciones del año, los resultados son cambiantes siendo primavera la que menor e invierno la que mayor correlación entre altitud y temperatura presentan (tabla 5).

Relación altitud-temperatura	Correlación de Pearson
Otoño	0,4640
Verano	0,4389
Invierno	0,5951
Primavera	0,3885
Anual	0,4716

Tabla 7: Correlación anual y estacional entre temperatura y altitud (2015-2017)

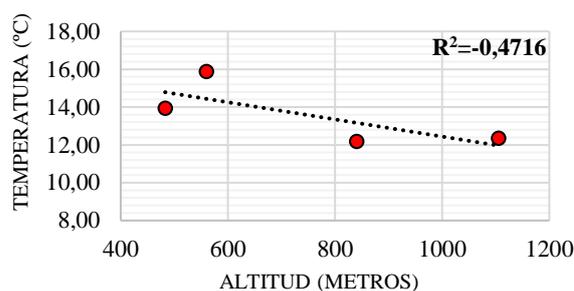


Figura 11: Correlación anual entre altitud y temperatura

Todas estas irregularidades en las temperaturas se deben a una serie de factores que alteran en mayor o menor medida los registros térmicos analizados. Es, por tanto, que a continuación se ha realizado un estudio de los principales factores topográficos que afectan a las zonas de estudio.

5.2.2 Orientación y pendiente

La orientación de las laderas se convierte en un aspecto muy importante en cuanto al estudio de la temperatura. Aquellas laderas que se encuentran orientadas al norte, umbría, son más frescas y húmedas ya que reciben una menor cantidad de radiación solar. En cambio, las laderas con una orientación hacia el sur, solana, son mucho más cálidas y secas debido principalmente al mayor porcentaje de radiación solar recibida.

En cuanto a la pendiente, también es importante ya que según el ángulo con el que incidan los rayos solares sobre una determinada ladera se producirá un aumento o una disminución de las temperaturas. Es, por tanto, que teniendo en cuenta lo anteriormente explicado se han obtenido los siguientes resultados:

Estación	Orientación	Pendiente (%)	Radiación	Tº Media Real (°C)
Coll des Telègraf	Nordeste	16,01	1018357,063	12,35
Son Torrella	Sudeste	21,35	1222222,803	12,18
Míner Gran	Este	9,89	1149867,28	15,88
Lluc	Nordeste	18,66	1090672,753	13,94

Tabla 8: Características físicas de la ubicación de las estaciones. Orientación y pendiente

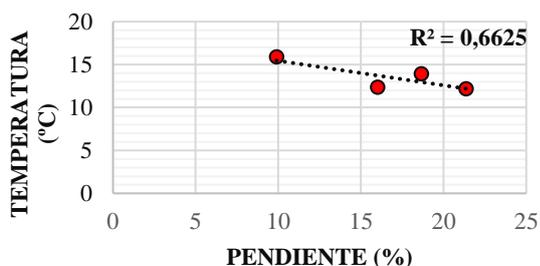


Figura 13: Correlación entre pendiente y temperatura

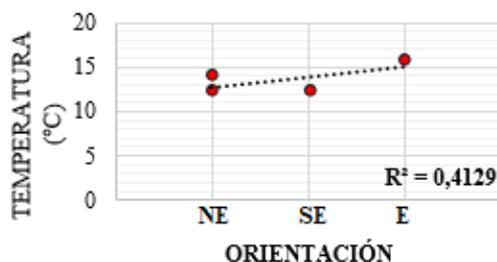


Figura 12: Correlación entre orientación y temperatura

Tras la realización de la anterior tabla (tabla 6) se puede observar por un lado la orientación y la pendiente que presentan las ubicaciones de las estaciones meteorológicas y, por otro, la media de la cantidad de radiación solar que reciben anualmente las diferentes zonas sometidas a estudio. Por otro lado, se puede visualizar la correlación moderada existente entre los factores descritos anteriormente con la temperatura en la figura 3 y 4 (-0,6625-Pendiente; 0,4129- Orientación).

El Coll des Telègraf y Lluc son las localizaciones que debido a su orientación y su posición reciben una menor cantidad de radiación que respecto a las de Míner Gran y Son Torrella que reciben más. A través de estos datos, se puede observar como la orientación puede ser el principal responsable de qué en Lluc se registren temperaturas medias anuales de 2,08°C inferiores a los valores anuales registrados en Míner Gran, estación localizada a una cota superior, pero que recibe más cantidad de radiación.

En cambio, estos factores no explican que la estación que recibe menos radiación, Coll des Telègraf, presente una temperatura media anual entre 2015 y 2017 de 0,28°C superior a la de Son Torrella, estación que recibe la mayor cantidad de radiación además de situarse en una cota inferior.

Es, por tanto, que a pesar de que la orientación y la pendiente pueden llegar a influir en la cantidad de radiación incidente y, por tanto, en mayor o menor medida en las temperaturas (tal y como muestran las correlaciones realizadas anteriormente), este no es el factor principal que pueda explicar la variabilidad térmica presente en la zona de estudio, sobre todo en aquellas estaciones localizadas a mayor cota.

5.2.3 Orografía, características del relieve:

Las zonas localizadas en valles de montaña presentan unas temperaturas más bajas de las que tocaría por altitud debido principalmente al efecto de las conocidas como brisas de valle o brisas de montaña. Estas brisas se originan debido a las diferencias térmicas existentes entre las diferentes partes de la ladera montañosa y los valles y planicies localizados en áreas colindantes. Dichos contrastes térmicos producen la formación de una circulación meso escalar que genera vientos anabáticos tras la salida del Sol y vientos catabáticos en su puesta (Cuñat, E. 1992). La presencia y la intensidad de estas brisas dependen de la insolación y sobre todo de la estabilidad o inestabilidad atmosférica.

Las brisas de valle que soplan por la mañana, los vientos anabáticos, se originan por el calentamiento de la ladera de solana que consecuentemente produce la formación de corrientes ascendentes en la ladera que succionan aire de la parte baja del valle hacia arriba y en consecuencia se llena con nuevo aire, factor que genera dicha corriente. (Cuñat, E. 1992). Estos vientos trasladan el calor acumulado de los valles hacia zonas altas, produciendo registros de temperatura más elevados en las cumbres de las que tocaría por altitud.

En cambio, los vientos catabáticos se originan bien entrada la tarde en el momento en el que las laderas se enfrían provocando un nuevo movimiento, esta vez, descendente de aire. Esta nueva circulación produce que el aire frío más denso de las zonas altas descienda por las laderas debido a la gravedad instaurándose en las cuencas de montaña y provocando que las áreas situadas en los valles sean más frías de las que tocaría por altitud.

Tal y como se ha podido visualizar anteriormente en los perfiles topográficos entre las figuras 2 y 5, existe una disposición orográfica diferencial entre las estaciones meteorológicas. A partir de la visualización de estos se ha establecido la siguiente clasificación:

Estación	Situación topográfica	T° Media Real (°C)
Coll des Telègraf	Cumbre	12,35
Son Torrella	Valle elevado	12,18
Míner Gran	Cumbre	15,88
Lluc	Valle	13,94

Tabla 9: Clasificación de las estaciones según su situación topográfica

Tras la realización de la anterior clasificación, se aprecia que la relación existente entre la temperatura con estas variables es clara, siendo las temperaturas inferiores a las que tocaría en zonas de valle, y más altas en zonas de cumbre. Estas diferencias en las temperaturas producen que en ciertas épocas del año sean frecuentes las inversiones térmicas, sobre todo en aquellas estaciones del año donde existe un predominio claro de las altas presiones, que son las que facilitan e intensifican las brisas de alta montaña mencionadas anteriormente. Todo esto se pueden relacionar con la dinámica de las temperaturas, tanto anuales, como estacionales realizadas en el apartado anterior. Tal y como se ha dicho anteriormente, la media de las temperaturas mínimas de las estaciones localizadas en zonas de valle, Lluc y Son Torrella, son mucho más bajas que las localizadas en cumbres. Principalmente, la diferencia en estas temperaturas mínimas, son las causas del porqué existen importantes contrastes entre las diferentes temperaturas medias diarias, estacionales y anuales entre las diferentes zonas.

Es por todas estas diferencias que el estudio del gradiente adiabático se ha dividido según las características fisiográficas entre aquellas zonas localizadas en valles, y aquellas otras ubicadas en cumbres. Esta clasificación se ha hecho diferencialmente para que el análisis sea más representativo.

5.3 Gradiente térmico vertical de la Serra de Tramuntana

El gradiente altitudinal demuestra cuál es el descenso de temperatura en grados Celsius (°C) por cada 100 metros de altitud. Para que este análisis sea representativo, ha sido necesario dividir, como ya se ha dicho anteriormente, el estudio entre las zonas que se encuentren con importantes similitudes en cuanto al estudio de las características topográficas del terreno.

Es por esto, que el gradiente térmico de la Serra de Tramuntana se ha calculado mediante la diferenciación del gradiente altitudinal entre las estaciones meteorológicas situadas en valles, con mayores amplitudes térmicas (Son Torrella y Lluc) y las situadas en zonas de cumbre (Míner Gran y Coll des Telègraf).

Y es que, si se tuvieran en cuenta todos y cada uno de los gradientes entre las diferentes estaciones, el estudio sería poco representativo debido a que se asimilaría que todas las estaciones se encuentran situadas topográficamente en zonas con características similares. Un ejemplo de esto último explicado anteriormente, se visualiza en el estudio del gradiente altitudinal entre las estaciones de Son Torrella y Coll des Telègraf (840 a 1105 metros de altitud).

Gradiente altitudinal	De Son Torrella a Coll des Telègraf	
	°C/100m	Laguna de datos
Enero	0,22	16,13%
Febrero	0,52	48,24%
Marzo	0,12	35,49%
Abril	0,05	33,34%
Mayo	-0,19	16,13%
Junio	-0,32	0%
Julio	-0,49	0%
Agosto	-0,26	0%
Septiembre	0,07	1,12%
Octubre	0,19	33,34%
Noviembre	-0,13	33,34%
Diciembre	-0,56	33,34%
Anual	-0,06	20,87%

Tabla 10: Gradiente térmico altitudinal entre Son Torrella (840 m) y Coll des Telègraf (1105 m)

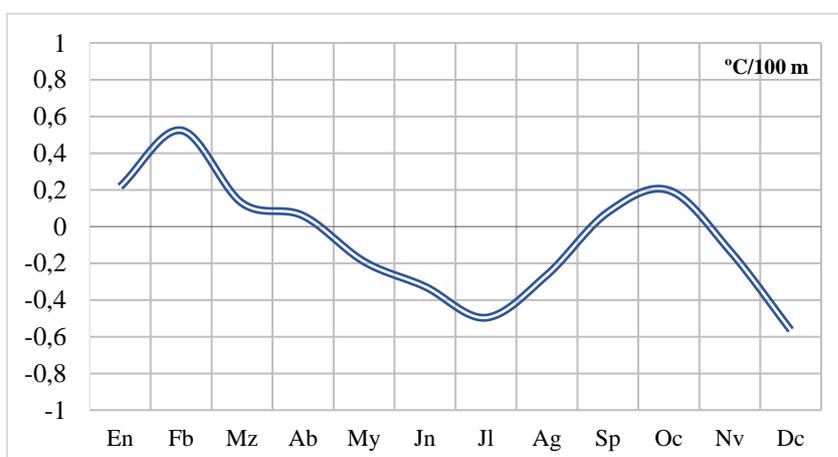


Figura 14: Gradiente térmico mensual (2015-2017) entre Son Torrella (840 m) y Coll des Telègraf (1105 m)

En este caso, el estudio del gradiente altitudinal es deficiente debido a que el resultado es anómalo y, por lo tanto, no es útil para poder especificar cuál es el gradiente térmico vertical de la Serra de Tramuntana. Y es que, si se tuviera en cuenta este gradiente, las temperaturas

aumentarían al incrementarse la cota, factor que en la generalidad de la Serra no es cierto.

Las zonas de valle de la Serra de Tramuntana tienen un gradiente térmico vertical medio de 0,47°C por cada 100 metros, valor que difiere en 0,17°C respecto al gradiente altitudinal medio estipulado por la ISO (0,65°C/100 metros). En cambio, el gradiente térmico de las zonas que se encuentran situadas cercanas a las cumbres es de 0,65°C cada 100 metros, valor que se iguala al calculado por la ISO. Las variaciones térmicas mensuales de dichos gradientes altitudinales varían según la situación topográfica.

En el caso de los valles, de la diferenciación de las temperaturas de Lluc y Son Torrella, los mayores gradientes térmicos se registran en las etapas estivales con gradientes en las temperaturas que incluso ascienden en julio a 0,80°C cada 100 metros. En cambio, los más bajos se producen en la etapa otoñal, siendo noviembre el que menos gradiente presenta con una disminución de 0,22°C cada 100 metros. Estos gradientes térmicos mínimos se producen en etapas con situaciones atmosféricas inestables que producen la existencia de una menor cantidad de días con inversiones térmicas. En cambio, los máximos se producen en la etapa estival cuando las amplitudes térmicas en Son Torrella son mayores que las registradas en Lluc.

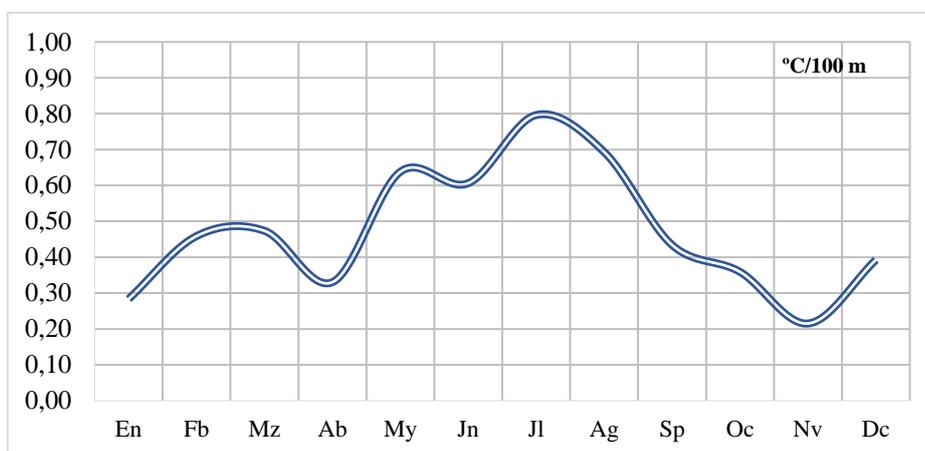


Figura 15: Gradiente térmico altitudinal (2015-2017) entre Lluc (483 m) y Son Torrella (840 m)

Gradiente altitudinal	De Lluc a Son Torrella	
	°C/100m	Lagunas de datos
Enero	0,28	0%
Febrero	0,46	0%
Marzo	0,47	0%
Abril	0,33	0%
Mayo	0,64	1,08%
Junio	0,61	0%
Julio	0,80	0%
Agosto	0,69	0%
Septiembre	0,43	0%
Octubre	0,36	2,16%
Noviembre	0,22	0%
Diciembre	0,39	1,08%
Anual	0,47	0,36%

Tabla 11: Gradiente térmico altitudinal entre Lluc (483 m) y Son Torrella (840 m)

En el caso de las estaciones localizadas en cumbres o medianías, Míner Gran y Coll des Telègraf, los mayores gradientes térmicos se producen en la etapa invernal con gradientes térmicos de incluso 0,83°C por cada 100 metros. Por el contrario, los más bajos se producen en la etapa estival, siendo julio el que menor gradiente térmico presenta (0,44°C cada 100 metros). El resto de año se mantiene variable.

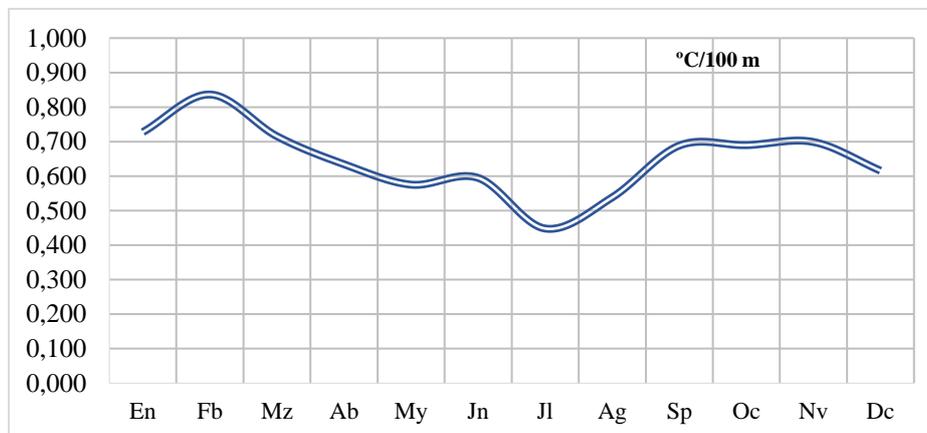


Figura 16: Gradiente térmico altitudinal (2015-2017) entre Míner Gran (560 m) y Coll des Telègraf (1105 m)

Gradiente altitudinal	De Míner Gran a Coll des Telègraf	
	°C/100m	Lagunas de datos
Enero	0,73	16,13%
Febrero	0,83	48,24%
Marzo	0,71	35,49%
Abril	0,63	33,34%
Mayo	0,57	16,17%
Junio	0,59	0%
Julio	0,44	0%
Agosto	0,53	0%
Septiembre	0,69	1,12%
Octubre	0,69	33,34%
Noviembre	0,70	33,34%
Diciembre	0,61	33,34%
Anual	0,65	20,87%

Tabla 12: Gradiente térmico altitudinal entre Míner Gran (560 m) y Coll des Telègraf (1105 m)

A través de los datos obtenidos anteriormente, se ha realizado una media del gradiente térmico vertical que podemos encontrar en la Serra de Tramuntana. Y es que, en cómputo general, se puede decir que entre los años 2015 y 2017 el gradiente altitudinal de la sierra ha sido de 0,56°C cada 100 metros, es decir 0,09°C inferior de los estipulado por la ISO. Además, este valor se encuentra cercano al calculado en el artículo de los *Gradientes de temperaturas en la montaña española* (Navarro, F. et al 2017), que tras una serie de resultados defiende que el gradiente térmico en las Islas Baleares es de 0,51°C cada 100 metros, 0,05°C inferior al calculado en este trabajo.

Haciendo referencia a los gradientes mensuales, se puede observar que se mantiene estable a lo largo de todos los años, siendo abril el mes con menor gradiente térmico en altura (0,48°C por cada 100 metros), y febrero el que mayor gradiente presenta (0,65°C por cada 100 metros).

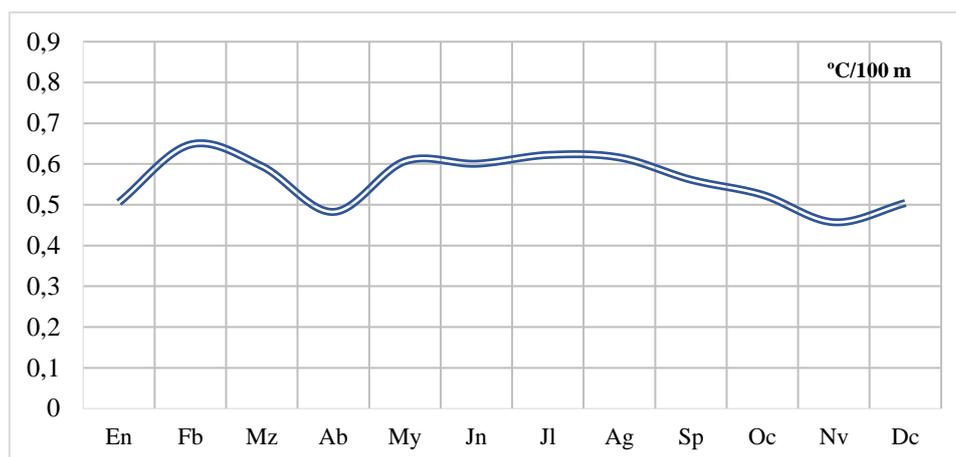


Figura 17: Gradiente altitudinal medio calculado a partir del promedio de las zonas de valle con las zonas de cumbre

Gradiente altitudinal	Media entre todas las altitudes	
	°C/100m	Laguna de datos
Enero	0,51	9,68%
Febrero	0,65	28,95%
Marzo	0,59	21,30%
Abril	0,48	20,01%
Mayo	0,61	9,68%
Junio	0,60	0%
Julio	0,62	0%
Agosto	0,62	0%
Septiembre	0,56	0,68%
Octubre	0,52	27,11%
Noviembre	0,46	26,68%
Diciembre	0,50	26,89%
Anual	0,56	16,48%

Tabla 13: Gradiente altitudinal medio calculado a partir del promedio de las zonas de valle con las zonas de cumbre

Gran parte de la variabilidad presente en estos gradientes se debe principalmente a las inversiones térmicas que vienen determinadas por unas situaciones sinópticas predominantes.

5.4 Inversión térmica (Anomalías)

Las inversiones térmicas se producen cuando en una zona que se encuentra a menor cota presenta una temperatura media inferior que respecto a zonas más elevadas. Tal y como se ha dicho anteriormente, la situación topográfica de las diferentes estaciones produce que en algunas zonas sometidas a estudio sean típicas dichas inversiones. Sobre todo, entre aquellas zonas situadas en valles que respecto a las otras localizadas en cumbres o sus medianías.

Estas inversiones térmicas, que se intensifican con ciertas situaciones sinópticas, se deben por un lado a las diferencias existentes en las amplitudes térmicas de ambas áreas.

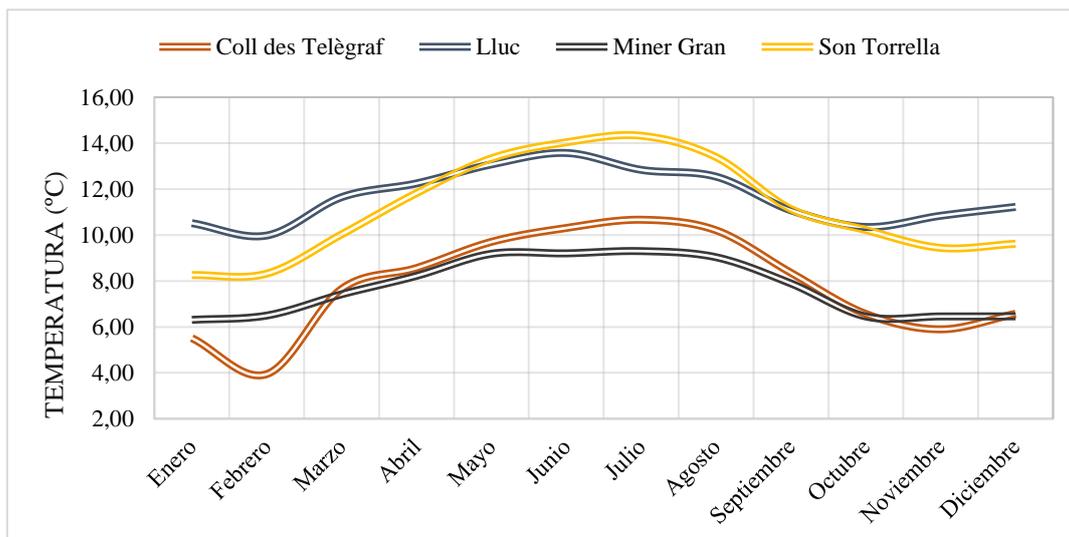


Figura 18: Amplitudes térmicas medias mensuales por estación (2015-2017)

Y es que tal y como se puede visualizar en la figura 19, las estaciones meteorológicas de Lluc y Son Torrella presentan unas amplitudes bastante mayores que las registradas en Míner Gran y Coll des Telègraf. Las diferencias entre estas estaciones oscilan a lo largo del año, pero en mayor o menor medida siempre se encuentran en valores promedios de 4-5°C. Además, todas las zonas muestran un patrón común en las amplitudes térmicas siendo los meses estivales los que mayor diferencia entre las temperaturas máximas y las temperaturas mínimas presentan. Esto se debe principalmente al predominio de las altas presiones durante estas etapas que favorecen una intensificación de las brisas de montaña que producen una mayor diferencia entre las temperaturas diurnas y las nocturnas.

A partir de esto, se ha realizado un análisis del comportamiento anómalo de las temperaturas y se han contabilizado los días de cada mes en los que la temperatura aumentaba con la altitud entre los 483 y los 840 m, entre los 483 y los 1105 m, entre los 560 y 840 m, entre los 560 y 1105 m y entre los 840 y los 1105 m. En este análisis se ha marginado el estudio entre Lluc (483 m) y Míner Gran (560 m) debido a que la diferencia de altitud es mínima, además de que su situación topográfica diferencial produjo que en el 100% de los días entre 2015 y 2017 se registraran inversiones térmicas.

Inversiones térmicas anuales y situación sinóptica predominante									
	2015	A(%)	B(%)	2016	A(%)	B(%)	2017	A(%)	B(%)
483- 840	30 días	89,47	10,53	16 días	87,50	12,50	28 días	78,94	21,06
483-1105	81 días	96,34	3,64	53 días	82,06	17,94	58 días	84,61	15,39
560-840	2 días	50	50	3 días	100	0	0 días	-	-
560-1105	2 días	100	0	4 días	75	25	1 día	100	0
840-1105	136 días	88,11	11,89	163 días	79,64	20,36	139 días	82,29	17,71

Tabla 14: Número de días con inversión térmica entre los diferentes gradientes altitudinales relacionado con la situación sinóptica predominante.

A- ALTAS PRESIONES B- BAJAS PRESIONES

Como se puede observar la cantidad de días de inversiones térmicas aumentan o disminuyen según cuáles son las estaciones analizadas. En todas ellas se produce una predominancia de las altas presiones que favorecen estas situaciones anómalas en las que la temperatura aumenta al

incrementarse la altitud. Además, se debe destacar que, en todos los casos estudiados, se produce un mayor incremento de los días de inversión cuando se compara una estación localizada en un valle que respecto a otras localizadas en las cumbres o sus medianías.

Es el caso de la comparación de las estaciones de Lluc y Son Torrella con la del Coll des Telègraf. En el primer caso, la estación de Lluc localizada a una cota muy inferior presenta como media entre 2015 y 2017 un 6,75% de los días al año en los cuales su temperatura media diaria fue superior a la que se pudo encontrar en el Coll des Telègraf. En cambio, en el otro caso, la estación de Son Torrella, localizada a una altitud no muy inferior, presenta como media un 39,96% de días al año en que su temperatura fue superior a la registrada en el Coll des Telègraf. Estas situaciones anómalas de inversión térmica vinieron acompañadas de situaciones de altas presiones en un 87,67% y un 83,34% de casos respectivamente.

Por otro lado, si se realiza una comparación de las inversiones térmicas que se han producido entre una zona localizada en una cumbre o sus medianías cuya cota es inferior a otras localizadas en valles, se puede visualizar que el porcentaje de ocurrencia de estas anomalías es mucho menor. Es el caso de Míner Gran respecto a Son Torrella, en el que tan solo hubo como media un 0,47% de días al año donde la temperatura fue superior en cotas inferiores. A pesar de esto, al igual que el resto, en el 80% de los casos estas inversiones se produjeron durante situaciones anticiclónicas.

Por último, si se comparan dos estaciones localizadas topográficamente con características similares, se puede observar que la cantidad de días en los cuales se producen inversiones entre las zonas de valle o bajo laderas es superior (17,51%) a las que ocurren entre zonas localizadas en cumbres o sus medianías (0,63%). A pesar de esto, al igual que todos los resultados de los análisis elaborados anteriormente, los anticiclones son la principal causa de estas anomalías (85,60% y 91,60% respectivamente).

A partir de estos datos, se han elaborado una serie de gráficas que representan el porcentaje de días mensuales en los que se producen este tipo de anomalías entre las diferentes estaciones analizadas.

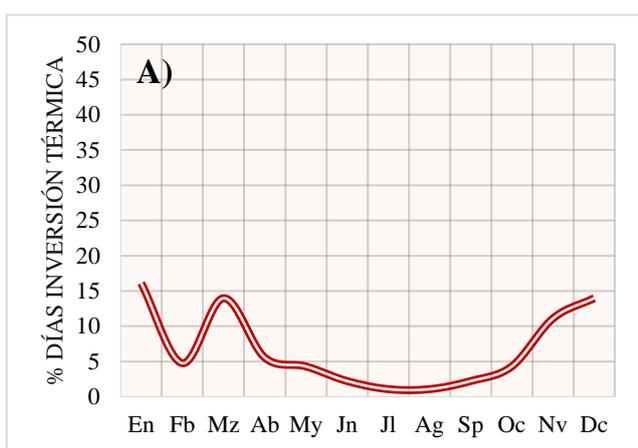


Figura 19: % de días de inversión térmica entre Lluc (483 m) y Son Torrella (840 m)

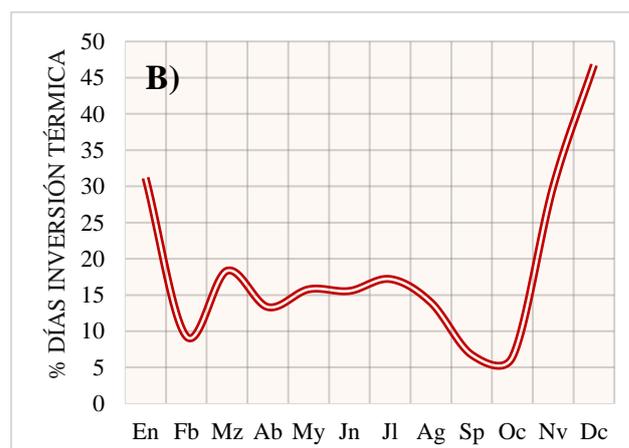


Figura 20: % días de inversión térmica entre Lluc (480 m) y Coll des Telègraf (1105 m)

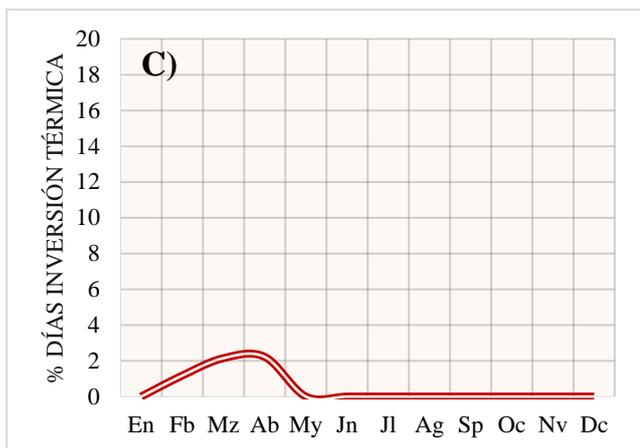


Figura 21: % de días de inversión térmica entre Míner Gran (560 m) y Son Torrella (840 m)

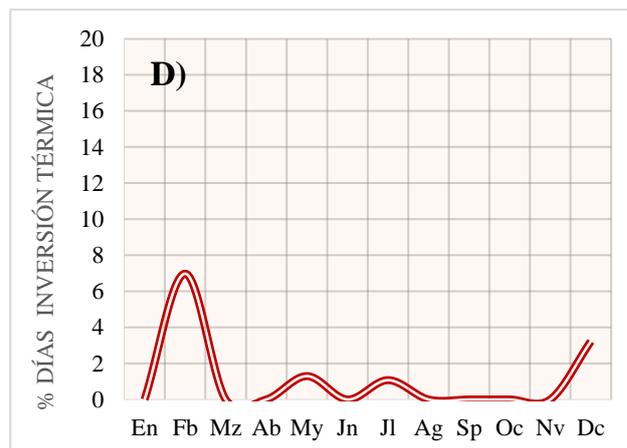


Figura 22: % días de inversión térmica entre Míner Gran (560 m) y Coll des Telègraf (1105 m).

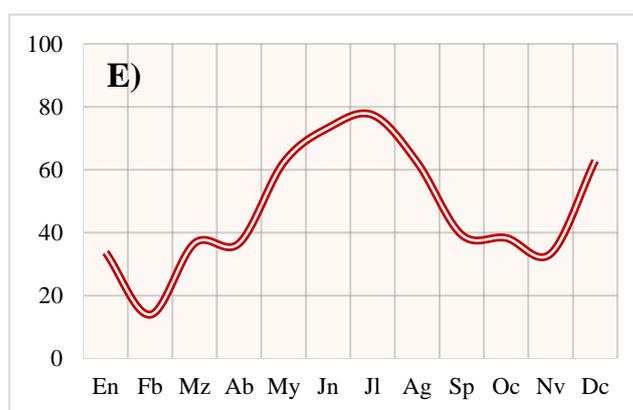


Figura 23: % días de inversión térmica entre Son Torrella (840 m) y Coll des Telègraf (1105 m)

Tal y como se observa, entre los años 2015 y 2017 se ha producido una distribución mensual diferencial de las anomalías entre las diferentes estaciones.

En el gráfico A y B, se puede visualizar el porcentaje de días mensuales en los que la temperatura en Lluc fue superior a estaciones situadas a mayor cota. La situación topográfica diferencial entre Lluc y Coll des Telègraf (B) produce que haya un mayor porcentaje de días en los que se produzcan estas anomalías. En este caso, son los meses de noviembre (30%), diciembre (46,7%) y enero (31,16%) los que mayor cantidad de días anómalos presentan. Esto se debe principalmente a los potentes anticiclones que afectaron la zona durante gran parte de los tres meses entre 2015 y 2017. Esta estabilidad atmosférica, junto a la laguna de datos de algunos meses de 2017 del Coll des Telègraf, producen que el porcentaje de anomalías aumente que respecto a otros meses. El resto del año, las anomalías se presentan estables en una media del 15%, a excepción de los meses de febrero (9,30%), septiembre (6,74%) y octubre (6,45%) Este descenso se debe principalmente a una mayor presencia de situaciones sinópticas donde hubo un predominio de días con inestabilidad atmosférica y, por tanto, menores amplitudes térmicas.

En el otro caso, el caso A, al localizarse Lluc y Son Torrella en situaciones topográficas con características similares, la cantidad de días de inversión térmica disminuye. Solo cabe destacar, al igual que con el Coll des Telègraf, los meses de enero (16,9%), noviembre (11,1%) y diciembre

(13,9%). Este aumento se puede deber a que las amplitudes térmicas en estos meses en Lluc son en promedio 2°C superiores a las registradas en Son Torrella. Esta diferencia, junto a otros factores, como la insolación (que en la etapa invernal es mucho más baja en Lluc que en Son Torrella), pueden ser claves para entender dicho comportamiento anómalo.

En el gráfico C y D, se observa que el porcentaje de días en los que Míner Gran presenta temperaturas medias inferiores que respecto a zonas más altas son mínimos. En la mayor parte de los meses no se producen inversiones térmicas debido principalmente a su situación topográfica.

Por último, en el gráfico E, se puede visualizar la gran cantidad de porcentaje de días de inversión térmica presentes entre las estaciones de Son Torrella respecto a la del Coll des Telègraf. Los meses de mayo (62,33%), junio (73,33%), julio (77,41), agosto (62,36%) y diciembre (62,90%) son los que mayor cantidad de días presentan. Esto se debe a la predominancia de las altas presiones y las mayores amplitudes térmicas en la etapa estival.

Para visualizar un ejemplo de inversión térmica, se ha realizado un estudio de una serie de días en diciembre de 2015 en el que las temperaturas fueron superiores en cotas inferiores, exceptuando a la estación de Míner Gran, que tal como se ha dicho anteriormente casi no presenta días en los cuales sus temperaturas fueran superiores a cotas más elevadas. Estas inversiones térmicas vinieron acompañadas de un tiempo estable, ya que el mes de diciembre de ese mismo año se caracterizó por la predominancia de un tiempo anticiclónico con una anomalía de altas presiones, que incluso se alargó hasta bien entrado enero del siguiente año.



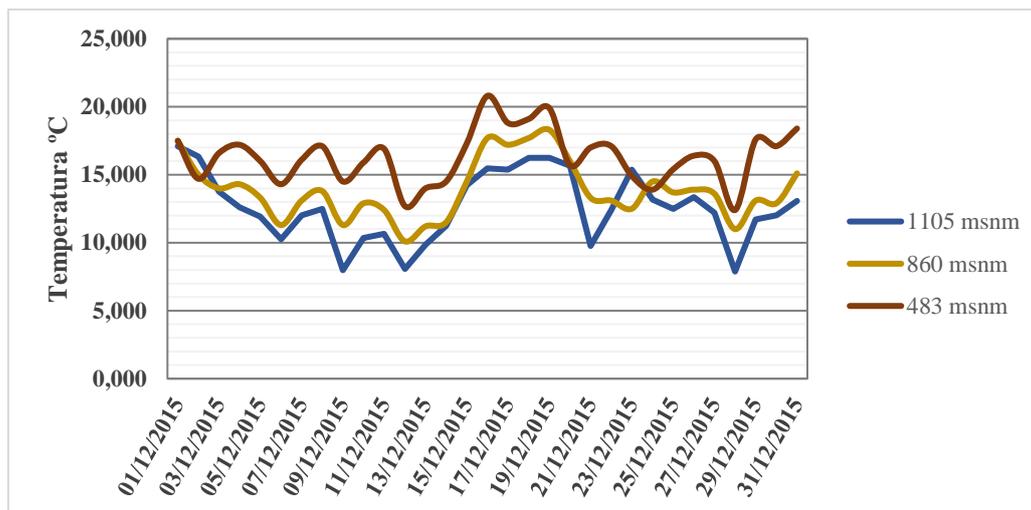


Figura 25: Temperaturas máximas registradas en el periodo comprendido entre el 1 y el 31 de diciembre de 2015

Las diferencias realmente importantes se encontraron en las temperaturas mínimas donde como consecuencia de diversos factores como la situación topográfica de las estaciones, se produjo en la mayoría del mes una inversión térmica. Las estaciones de Lluc y Son Torrella presentaron temperaturas mínimas más bajas casi todo el mes respecto a la estación localizada a una mayor altitud. Incluso, entre los días 15 y 21 de diciembre, la estación ubicada en la cota más baja registró temperaturas mínimas más frías que las dos estaciones localizadas en elevaciones más altas. Durante este periodo de tiempo, la diferencia entre las temperaturas mínimas entre una zona y otra fueron bastante considerables, ya que, por ejemplo, el día 19 de diciembre la diferencia de temperatura mínima entre la zona más baja y la más alta se encontró en 7,7°C. (Lluc 1,5°C, Coll des Telègraf 9,2°C).

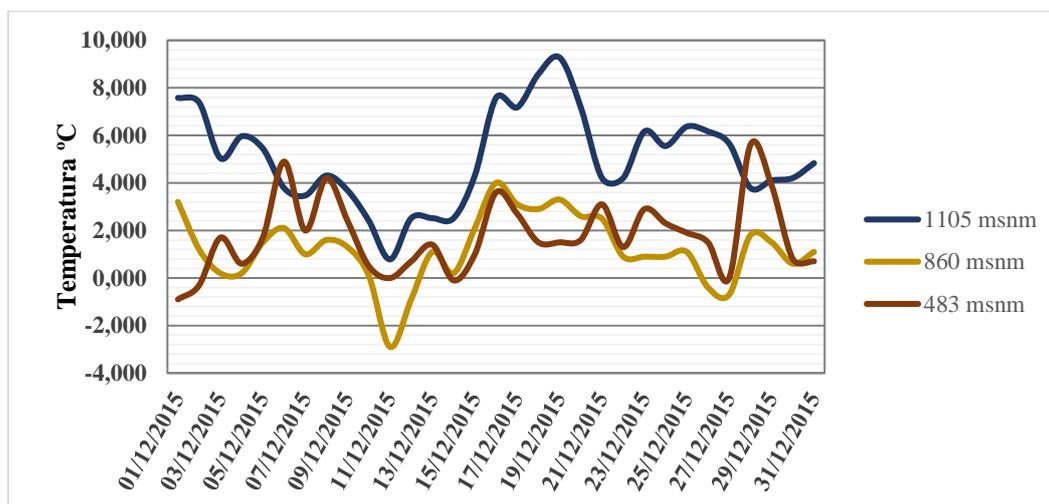


Figura 26: Temperaturas mínimas comprendidas en el periodo comprendido entre el 1 y el 31 de diciembre de 2015

Todos estos registros de temperaturas mínimas y máximas se tradujeron en unas temperaturas medias anómalas en gran parte del mes de diciembre del 2015. Y es que en Lluc se registró en un 64,52% del mes temperaturas medias inferiores que respecto a la estación situada a una mayor altitud. En el caso de Son Torrella, fueron 27 los días, es decir el 87,1%, en los cuales se registraron temperaturas medias más bajas que respecto al Coll des Telègraf.

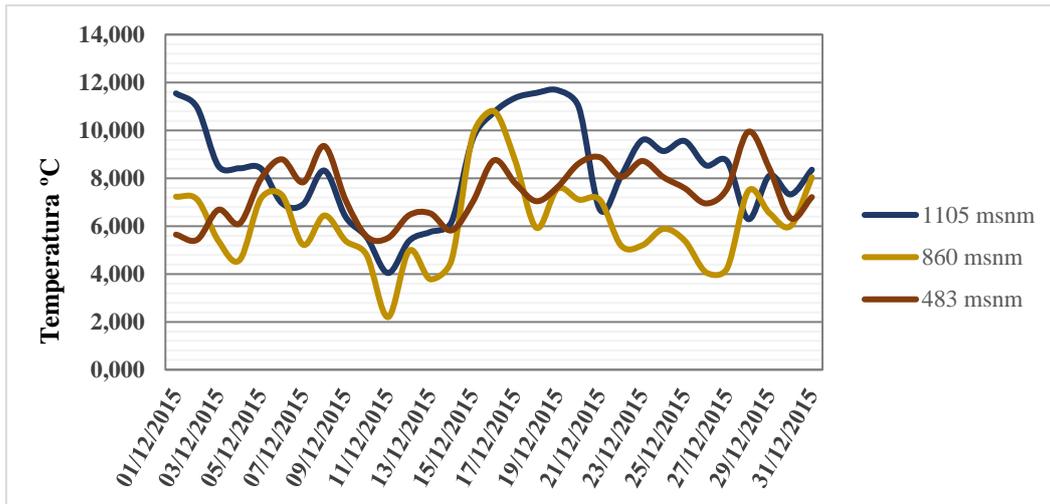


Figura 27: Temperaturas medias registradas en el periodo comprendido entre el 1 y el 31 de diciembre de 2015

Mediante este pequeño análisis del mes de diciembre de 2015 se puede visualizar por un lado la importancia que presenta la situación topográfica de las zonas estudiadas. Y es que las estaciones localizadas en valles presentan una amplitud térmica mucho mayor a la situada en cumbre debido a la diferencia existente entre las temperaturas máximas y las temperaturas mínimas. Dicha amplitud es la principal culpable del porqué se producen inversiones térmicas entre unas zonas y otras. Y es que, si diferenciamos las zonas topográficamente similares, se puede observar que tan solo 5 días, es decir, el 16,12%, Lluc presentó temperaturas medias inferiores que respecto a Son Torrella. Si se compara este valor, con el 64,52% entre la estación más baja y la más alta se puede intuir que la disposición orográfica de la sierra juega un papel fundamental en la variabilidad de las temperaturas registradas.

Por otro lado, presenta gran importancia los tipos de tiempo. Y es que el dominio de las altas presiones es fundamental para poder entender el comportamiento de las temperaturas en las gráficas explicadas anteriormente. Y es que en el caso de que hubiera existido un predominio de las bajas presiones, las amplitudes térmicas hubieran disminuido, y con ello las inversiones térmicas.

5.5 Papel que juegan los diferentes tipos de tiempo

Una vez ya visualizada la importancia que presenta la predominancia de las altas presiones en relación con las inversiones térmicas, preferentemente entre aquellas zonas de valle respecto a las zonas de cumbre tal y como se ha dicho anteriormente, a continuación, se ha realizado un análisis del papel que juegan los diferentes tipos de tiempo en las temperaturas registradas en las diferentes estaciones meteorológicas.

Y es que las temperaturas registradas varían según el tipo de tiempo. Tal y como se puede visualizar en las siguientes gráficas, las temperaturas medias mínimas en todas las áreas se registran con tiempos del norte, principalmente los de tramontana (N) que respecto a los de gregal (NE) y los de Mistral (NW), que, a pesar de ser también fríos, lo son menos que respecto al principal. Esto se debe a que son tipos de tiempo con vientos procedentes de latitudes más altas, y por lo tanto más frías. En cambio, son los tiempos del sur o del poniente según la zona, en los

que se produce un mayor ascenso en las temperaturas. Referente a los de sur, estos mayores registros térmicos se deben a que son vientos procedentes de latitudes más bajas (subtropicales), y por lo tanto más cálidas. Respecto a los de poniente, cabe destacar que en algunos casos traen las temperaturas más altas debido a que los vientos en su trayecto por la Península Ibérica de oeste a este pierden humedad y ganan temperatura.

Entre los diferentes registros térmicos que podemos encontrar en las diferentes estaciones meteorológicas según el tipo de tiempo encontramos:

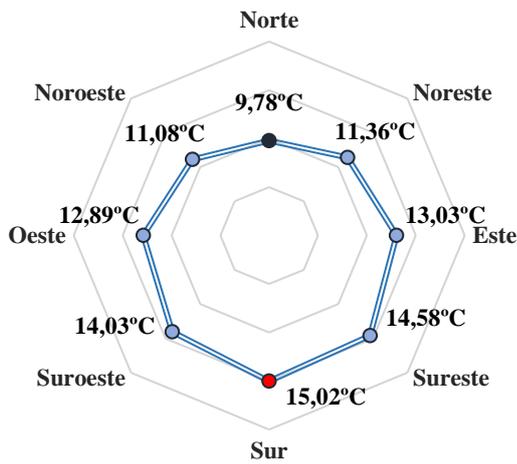


Figura 28: Temperatura media en Coll des Telègraf (1105 m) según el tipo de tiempo

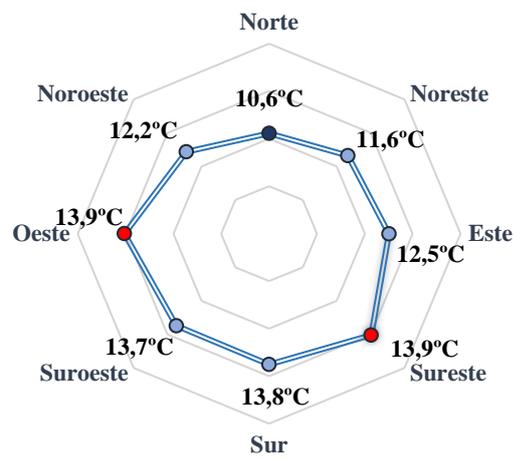


Figura 29: Temperatura media en Son Torrella (840 m) según el tipo de tiempo

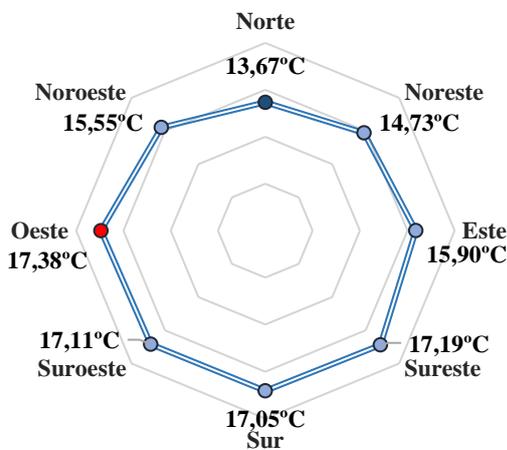


Figura 31: Temperatura media en Míner Gran (560 m) según el tipo de tiempo

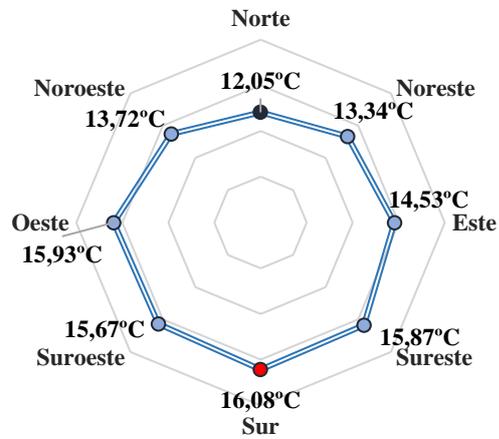


Figura 30: Temperatura media en Lluc (483 m) según el tipo de tiempo

En el caso del Coll des Telègraf, las temperaturas medias analizadas con vientos del norte (10,74°C) son más bajas que respecto a las registradas en Son Torrella (11,47°C). En cambio, las temperaturas con vientos del sur traen temperaturas medias más cálidas en el Coll (14,54°C) que respecto a Son Torrella (13,8°C). Esta diferencia se puede deber al tipo de tiempo que se origina preferentemente con los diferentes vientos. Los del norte, que atraen un tipo de tiempo más inestable y frío producen una menor cantidad de días con inversiones térmicas, factor que puede llegar a explicar por qué en los meses de invierno en los que existe un predominio de estos vientos de norte, las temperaturas respondan más adecuadamente al patrón altitud, registrándose en el

Coll, temperaturas inferiores que en Son Torrella. En cambio, los vientos de sur repercuten directamente en un ascenso de las temperaturas en ambas áreas debido a que atraen un tipo de tiempo más estable y cálido, factor que aumenta las posibilidades de que se registren inversiones térmicas entre unas zonas y otras.

Esto se puede verificar tras la visualización de los gráficos de las amplitudes térmicas por tipo de tiempo. Mientras que las diferencias de las amplitudes térmicas en el Coll entre los vientos del norte (7,01°C) y los vientos del sur (8,29°C) son mínimas (+1,28°C), las registradas en Son Torrella entre los vientos de tramontana (9,14°C) y los de sur (11,95°C) son más importantes (+2,81°C). Esto se puede deber, tal y como se ha comentado con anterioridad a las mayores amplitudes térmicas que se registran en zonas de valle con estos tipos de tiempo del sur, que respecto a los del norte.

Esto también se observa si se analiza las temperaturas por tipos de tiempo de las estaciones localizadas a una menor altitud. Mientras que las temperaturas con tiempos del norte producen registros térmicos y diferencias menores entre la estación de Lluc y la del Coll (2,29°C de diferencia), los tiempos del sur en los que como ya se ha dicho con anterioridad favorecen las inversiones térmicas, produce que esta diferencia disminuya hasta los 1,33°C. Esto se debe a las mayores amplitudes térmicas de Lluc, tanto con tipos de tiempo del norte, pero especialmente con tiempos del sur.

Respecto a Míner Gran, junto con Son Torrella, hay que decir que son los vientos de poniente los que mayor temperatura registran. Esto se debe principalmente a la situación fisiográfica de estas dos estaciones sumado a los ya cálidos vientos de poniente después de perder humedad y ganar temperatura en su trayecto sobre la Península Ibérica. Y es que justo en su parte occidental, las dos estaciones presentan dos elevaciones importantes (Son Torrella, el Puig Major, y Míner Gran, el Puig Tomir), factor que produce que las temperaturas aumenten por el conocido como efecto Föhn. Con este tipo de tiempo, este efecto se agudiza en la zona produciendo un aumento de las temperaturas en las estaciones localizadas a sotavento debido al proceso de compresión adiabática.

En cambio, para finalizar, cabe destacar que los tiempos de levante presentan vientos con un gran recorrido marítimo, factor que produce precipitaciones en gran parte de las áreas de estudio, que en consecuencia provocan un descenso general de las temperaturas registradas a la vez que unas menores amplitudes térmicas que respecto a los tipos de tiempo del sur y de poniente.

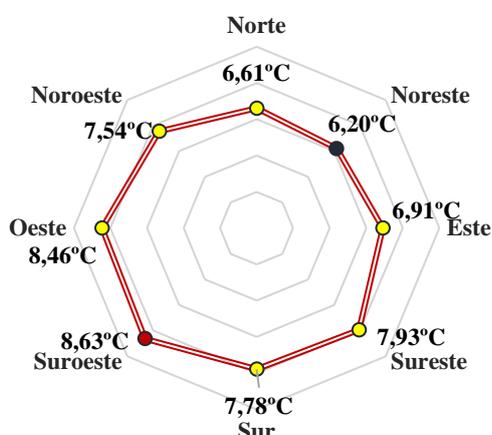


Figura 32: Amplitud térmica en Coll des Telègraf (1105 m) según el tipo de tiempo

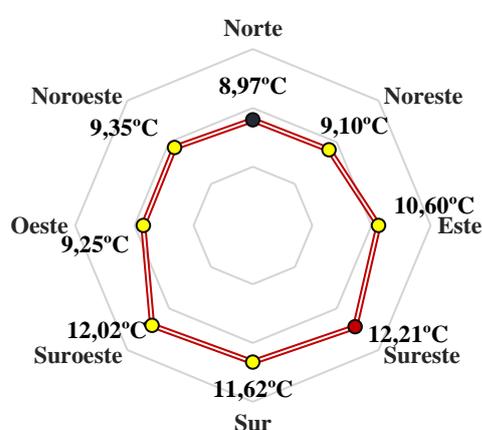


Figura 33: Amplitud térmica en Son Torrella (840 m) según el tipo de tiempo

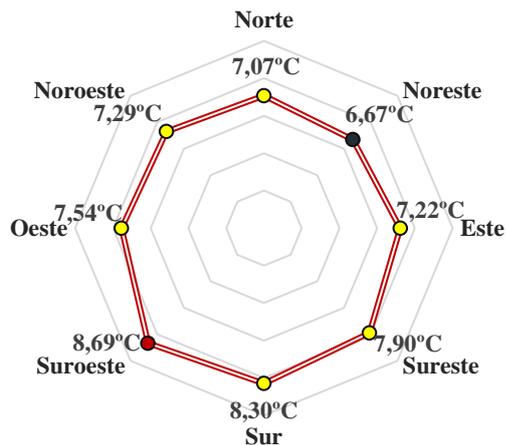


Figura 35: Amplitud térmica en Miner Gran (560 m) según el tipo de tiempo

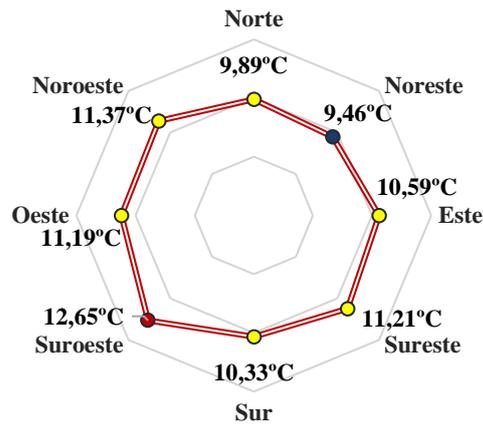


Figura 34: Amplitud térmica en Lluc (483 m) según el tipo de tiempo

Una vez analizados todos los gráficos en su conjunto se puede observar que los tipos de tiempo repercuten claramente en las temperaturas y las amplitudes térmicas registradas. Mientras que los tiempos de sur son los que en general mayores temperaturas y amplitudes térmicas registran, los tiempos de norte son los que menos. Esto se explica, juntamente con los tipos de tiempo de poniente y de levante, por la situación latitudinal y la situación fisiográfica de las diferentes estaciones meteorológicas analizadas.

6. CONCLUSIONES

La temperatura es un elemento climático que difiere notablemente, en cualquier territorio, en función de la altitud, la orientación, la situación fisiográfica y el momento del día. Estas variaciones altitudinales se analizan a través del cálculo de los gradientes térmicos verticales y en este Trabajo Final de Grado se ha realizado una aproximación a sus rasgos en la Serra de Tramuntana, analizando el diferente comportamiento a escala mensual y anual entre los años 2015 y 2017.

En primer lugar, tras el análisis de los diferentes factores que inciden en la temperatura, se ha observado que es la disposición orográfica del terreno la que mayor repercute en el análisis de dichos registros térmicos. Y es que estaciones localizadas en valles de montaña presentan temperaturas medias inferiores que respecto a otras debido principalmente a las brisas de montaña. Estas brisas, que se intensifican en épocas donde existe un claro predominio de las altas presiones, producen un desplome de las temperaturas mínimas que repercuten directamente en los registros térmicos medios analizados. Este factor produce que estaciones localizadas en valles a menor altitud, presentan incluso días en los que su temperatura media fue inferior que, respecto a otras estaciones ubicadas en mayores elevaciones, pero en situaciones fisiográficas distintas, como pueden llegar a ser en zonas de cumbre o sus medianías.

Esta disposición orográfica diferencial ha sido la causa del porqué el estudio del gradiente altitudinal de la Serra de Tramuntana se haya realizado mediante la división de las estaciones en dos áreas: en zonas de valle representadas por las estaciones de Lluc y Son Torrella y las de

cumbre o sus medianías por las estaciones de Coll des Telègraf y Miner Gran. Mediante dicha diferenciación se ha obtenido que el comportamiento del gradiente térmico medio es diferente en ambas áreas, siendo más pronunciado en las zonas de cumbre ($0,65^{\circ}\text{C}/100$ metros) que respecto a las zonas de valle ($0,47^{\circ}\text{C}/100$ metros). Estas diferencias existentes entre un área y otra se deben principalmente al fuerte dinamismo térmico que existe en estas últimas zonas, especialmente en la estación de Lluc, una estación con registros de temperaturas más bajas y precipitaciones mucho más cuantiosas de las que le tocaría por altitud debido a su situación topográfica entre diferentes montañas de importante elevación en la zona central de la Serra. Es, por tanto, que como promedio se ha aceptado que el gradiente térmico vertical de la Serra de Tramuntana es de $0,56^{\circ}\text{C}$ por cada 100 metros, un dato que no se aleja demasiado con otros estudios de gradiente térmico realizados a nivel nacional.

Tal y como se ha dicho anteriormente, el gradiente se ha analizado diferencialmente debido principalmente a las desigualdades de las amplitudes térmicas entre las zonas de valle y las zonas de cumbre. Y es que la diferencia de las amplitudes térmicas entre unas zonas y otras produce que en muchas épocas del año se originen anomalías, las conocidas como inversiones térmicas. Dichas inversiones se producen aquellos días en los que las temperaturas aumentan con la altitud, es decir, cuando estaciones localizadas a cotas más bajas presentan temperaturas medias inferiores que respecto a otras localizadas en cotas más altas. La ocurrencia de estas inversiones varía según las estaciones que se diferencian. Las zonas de valle, respecto a las de cumbre presentan en grandes rasgos el mayor porcentaje de días con inversión térmica, concentrados principalmente en aquellas épocas del año donde existe un predominio de las altas presiones. Estas inversiones vienen explicadas fundamentalmente, no por las temperaturas máximas que en generalidad cumplen el patrón altitud, sino por la diferencia existente en las temperaturas mínimas, que en algunos casos puede llegar a ser incluso notable.

Además, estas inversiones térmicas vienen favorecidas según el tipo de tiempo predominante. Y es que tanto los vientos del sur, como los vientos de poniente, asociados a un tipo de tiempo estable y cálido aumentan la probabilidad de que se produzcan dichas anomalías, y con ello un menor gradiente entre zonas de valle con respecto a zonas de cumbre localizadas a una cota superior. En cambio, los vientos del norte y los de levante, asociados a un tipo de tiempo menos estable y más frío disminuyen esta probabilidad de ocurrencia de inversiones térmicas. Todos estos tipos de tiempo condicionan, por tanto, el registro térmico de las diferentes estaciones analizadas.

Es por lo que, tras el análisis de todos estos resultados, se puede concluir que pese a haber estudiado tan solo 4 estaciones meteorológicas pertenecientes a la Serra de Tramuntana, el gradiente térmico analizado en este presente trabajo final de grado se ajusta a lo determinado por otros autores como Francisco Navarro en su análisis del gradiente térmico de las montañas españolas debido a que el estudio solo difiere en $0,05^{\circ}\text{C}/100$ metros. Para finalizar se puede decir que el interés y la relevancia que puede tener el análisis del gradiente térmico altitudinal de la Serra de Tramuntana radica principalmente en conocer cómo varían en realidad las temperaturas superficiales con la elevación para futuras predicciones meteorológicas, modelos climáticos o estudios ecosistémicos.

7. AGRADECIMIENTOS

Antes de todo, me gustaría agradecer al grupo de Hidrología y ecogeomorfología en ambientes mediterráneos -MEDhyCON por haberme facilitado los datos para realizar el presente trabajo, tanto los de estaciones AEMET como de las que mantiene dicho grupo de investigación.

Por consiguiente, me gustaría dar las gracias a todos mis compañeros que han estado apoyándome este periodo universitario. En especial a tres de ellos, Antonia Torres Pérez, Alfonso Poveda Suárez y Eugenia Villalonga Gómez. Sin vosotros no hubiera sido lo mismo.

Por otro lado, a todos aquellos profesores que han hecho más fácil esta etapa en la que orgulloso puedo decir que he adquirido muchos conocimientos que espero ponerlos en práctica en un futuro no muy lejano. Especialmente, quiero dar las gracias a Celso García García, a Enrique Morán Tejeda, Jesús González Pérez y Maurici Ruíz Pérez.

Por último, me gustaría dar las gracias a aquellas personas de mi día a día que me han apoyado en esta etapa y me han aguantado en mis momentos de estrés. Familia, amigos, este reto no lo podría haber conseguido sin vuestra ayuda. Siempre estaré en deuda con vosotros.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEMET (2020). Resumen climatológico del mes de diciembre de 2015. Recuperado de: http://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/vigilancia_clima/resumenes_climat/mensuales/2015/res_mens_clim_2015_12.pdf
- Antequera, P. D. (1996). Las inversiones térmicas en Canarias. *Investigaciones Geográficas (Esp)*, (15), 109-124.
- Blandford, T. R., Humes, K. S., Harshburger, B. J., Moore, B. C., Walden, V. P., & Ye, H. (2008). Seasonal and synoptic variations in near-surface air temperature lapse rates in a mountainous basin. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47(1), 249-261.
- Cano, G. C. (1990). La excepcionalidad climática de los Arribes del Duero. *Ería: Revista cuatrimestral de geografía*, (21), 45-60.
- CUÑAT, E. M. (1928). Generalidades de las brisas. *Anales de la Sociedad Española de Meteorología*, 2, 93-102.
- Diaz, H. F., Giambelluca, T. W., & Eischeid, J. K. (2011). Changes in the vertical profiles of mean temperature and humidity in the Hawaiian Islands. *Global and Planetary Change*, 77(1-2), 21-25.
- Fuentes, V. B. (2007). Las inversiones térmicas en el Valle Bajo del Henares. *Serie Geográfica*, (14), 47-60.
- García, J (s.f). El mosaico de las regiones de montaña. Universidad de Cantabria. Recuperado de: https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2318/mod_resource/content/1/7%2C%20los%20ambientes%20de%20montana.pdf
- Gheyret, G., Mohammad, A., & Tang, Z. Y. (2020). Elevational patterns of temperature and humidity in the middle Tianshan Mountain area in Central Asia. *Journal of Mountain Science*, 17(2), 397-409.
- Grimalt, M. (1988): “Precipitaciones 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. (1998). El Clima. En: Blázquez, M., Díaz, R., & Rullan, O. (1998). *La Serra de Tramuntana, natura i cultura*, pp. 33-36.
- Guijarro, J.A. (1986): “Contribución a la bioclimatología de las Islas Baleares”. Tesis doctoral inédita. Universidad de les Illes Balears, Palma.
- Kattel, D. B., & Yao, T. (2018). Temperature–topographic elevation relationship for high mountain terrain: an example from the southeastern Tibetan Plateau. *International Journal of Climatology*, 38, e901-e920.
- 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). Recuperado de: http://www.sociedadgeologica.es/archivos_pdf/gdia10_mallorca_triptico.pdf
- Marzol, M. V., & Máyer, P. (2015). El gradiente térmico en las Islas Canarias. *DE LA RIVA, J.; IBARRA, P.; MONTORIO, R*, 1755-1764.

Navarro-Serrano, F. M., López-Moreno, J. I., Alonso-González, E., Vicente-Serrano, S. M., Sanmiguel-Valladolid, A., Reig-Gracia, F., & Azorín-Molina, C. GRADIENTES DE TEMPERATURAS EN LA MONTAÑA ESPAÑOLA.

Pascual, R. (2013). Meteorología de montaña. Recuperado de: <https://www.tiempo.com/ram/166/meteorologia-de-montana/>

Pepin, N. C., Pike, G., Schaefer, M., Boston, C. M., & Lovell, H. (2017). A comparison of simultaneous temperature and humidity observations from the SW and NE slopes of Kilimanjaro: The role of slope aspect and differential land-cover in controlling mountain climate. *Global and Planetary Change*, 157, 244-258.

Ramírez, S. (2019). Asociaciones interespecíficas de anuros en cuatro gradientes altitudinales de la Reserva Biológica Tapichalaca, Zamora-Chinchipe, Ecuador. *Boletín Técnico, Serie Zoológica*, 8(4-5).

Rodrigo Comino, J. (2013). Cuantificación de los gradientes térmicos a nivel superficial a lo largo de Rheinland-Pfalz (Renania-Palatinado, Alemania).

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

Romero, H., Opazo, D., & Sepúlveda, D. (2017). Topoclimatología andina del norte de Chile: estimaciones estadísticas e interpretaciones culturales. XVI Encuentro de Geógrafos Latinoamericanos, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia, 24-28.

Santiago, F (2007). Climas de montaña. La guía de geografía. Recuperado de: <https://geografia.laguia2000.com/climatologia/climas-de-montana>

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.

Verger, V. M. R. (2013). La Serra de Tramuntana de Mallorca. Paisatge físic i cultural. *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*, 215-230.

Worldclimate (2020). Temperaturas y precipitaciones medias de la isla de Mallorca, Ibiza y Menorca. Recuperado de: <http://www.worldclimate.com/>