

ANÁLISIS DEL GRADIENTE TÉRMICO  
EN LAS VERTIENTES ESTE Y OESTE  
DE LA ISLA DE LA PALMA

TRABAJO DE FIN DE GRADO



**Trabajo realizado por:** David Rodríguez Hernández

**Dirigido por:** María Victoria Marzol Jaén

**ÍNDICE**

	<b>Págs.</b>
1. INTRODUCCIÓN .....	6
2. ANTECEDENTES .....	9
3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS DEL TRABAJO .....	16
4. DATOS Y METODOLOGÍA .....	16
5. RESULTADOS .....	20
5.1. El régimen térmico .....	20
5.2. El gradiente térmico vertical de las vertientes Este y Oeste .....	22
5.3. Isotermas e inversiones térmicas .....	26
5.4. Episodios con inversiones térmicas .....	30
6. APLICABILIDAD DE SU CONOCIMIENTO .....	38
7. CONCLUSIONES .....	38
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	41
9. CONSULTAS BIBLIOGRÁFICAS .....	44

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Págs.</b>
Tabla 1. Cuadro sinóptico de los estudios realizados sobre los gradientes termoplumiométricos .....	14
Tabla 2. Principales características de las estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio .....	17
Tabla 3. Temperaturas medias en las vertientes Este y Oeste de La Palma (1986-2015) .....	21
Tabla 4. Gradientes térmicos medios mensuales en la vertiente Este de La Palma (1986-2015) .....	24
Tabla 5. Gradientes térmicos medios mensuales en la vertiente Oeste de La Palma (1986-2015) .....	25
Tabla 6. Porcentajes mensuales de días con isoterma o gradiente térmico negativo en la vertiente Este de La Palma.....	27
Tabla 7. Porcentajes mensuales de días con isoterma o gradiente térmico negativo en la vertiente Oeste de La Palma .....	29
Tabla 8. Duración de los episodios en julio y agosto en la vertiente Este (1986-2015) .....	32
Tabla 9. Duración de los episodios en julio y agosto en la vertiente Oeste (1986-2015) .....	33
Tabla 10. Sondeo termodinámico de Güímar del día 11 de julio de 2010 a las 12 horas .....	37

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Págs.</b>
Figura 1. Principales formas del relieve de la isla de La Palma .....	7
Figura 2. Nubosidad rebasando Cumbre Nueva y descendiendo por la ladera occidental de La Palma .....	8
Figura 3. Localización de las estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio .....	18
Figura 4. Variaciones mensuales del gradiente térmico en dos altitudes muy próximas de la vertiente Oeste de La Palma .....	20
Figura 5. Correlación y rectas de regresión entre la temperatura y la altitud en las vertientes Este y Oeste de la isla de La Palma .....	21
Figura 6. Comportamiento de las temperaturas medias, medias de las máximas y medias de las mínimas anuales de ambas vertientes .....	22
Figura 7. Capa de estratocúmulos anclada en la vertiente Este de La Palma .....	23
Figura 8. Variaciones mensuales del gradiente térmico en las vertientes Este y Oeste de La Palma .....	23
Figura 9. Variaciones mensuales del gradiente térmico vertical en la vertiente Este de La Palma .....	24
Figura 10. Variaciones mensuales del gradiente térmico vertical en la vertiente Oeste de La Palma .....	26
Figura 11. Evolución de los porcentajes mensuales de días con isoterma y gradiente térmico negativo en la vertiente Este de La Palma .....	28
Figura 12. Comportamiento de las temperaturas en el episodio de inversión térmica entre los días 15 y 26 de Febrero de 1990 .....	28
Figura 13. Evolución de los porcentajes mensuales de días con isoterma y gradiente térmico negativo en la vertiente Oeste de La Palma .....	30

Figura 14. Distribución porcentual del número de episodios existentes en ambas vertientes de La Palma en el periodo 1986-2015 .....	31
Figura 15. Evolución de las temperaturas en el episodio del 6 al 15 julio de 1990 en la vertiente Este .....	32
Figura 16. Evolución de las temperaturas en el episodio del día 19 de agosto de 1989 en la vertiente Este.....	34
Figura 17. Mapas del tiempo a nivel de superficie y de 850 hPa a las 12 h del día 19 de agosto de 1989 .....	35
Figura 18. Evolución de las temperaturas en el episodio del 6 al 14 de julio de 2010 en la vertiente Oeste .....	35
Figura 19. Mapas de temperatura a 850 hPa y mapas del tiempo a nivel de superficie del día 11 de julio de 2010 .....	36

*Análisis del gradiente térmico en las vertientes Este y Oeste de la isla de La Palma***RESUMEN**

La temperatura en la isla de La Palma, al igual que en cualquier territorio, puede presentar contrastes asociados a factores como la altitud y la orientación del relieve. La finalidad de este Trabajo de Fin de Grado es analizar el comportamiento térmico en las vertientes Este y Oeste de La Palma y su variación altitudinal. También calcular la frecuencia de los días en los que se produce inversión térmica e isotérmica porque reduce el gradiente térmico vertical.

Los resultados obtenidos indican que las temperaturas son más elevadas en la vertiente occidental que en la oriental y su descenso con la altitud también es mayor en la primera que en la segunda. Además, los días con inversión térmica son más frecuentes en verano que en invierno, en medianías y en cumbres que en costas.

**Palabras clave:** gradiente térmico, altitud, orientación, inversión, La Palma.

*Analysis of the thermal gradient in the East and West slopes in the island of La Palma***ABSTRACT**

The temperature in La Palma –as in any territory– can present contrasts associated to factors such as altitude and orientation of relief. The aim of this Final Project of the Degree is to analyze the thermal behavior of the East and West slopes of La Palma and its altitudinal variation, as well as to calculate the frequency of days in which thermal and isothermal inversion occurs, since it reduces the vertical thermal gradient.

The results indicate that the temperatures are higher on the Western slope than in the Eastern slope, and the drop with altitude is also higher in the first one than in the second one. In addition, the days with thermal inversion are more frequent in summer than in winter and in medium zones and summits than in coasts.

**Keywords:** thermal gradient, altitude, orientation, inversion, La Palma.

## 1. INTRODUCCIÓN

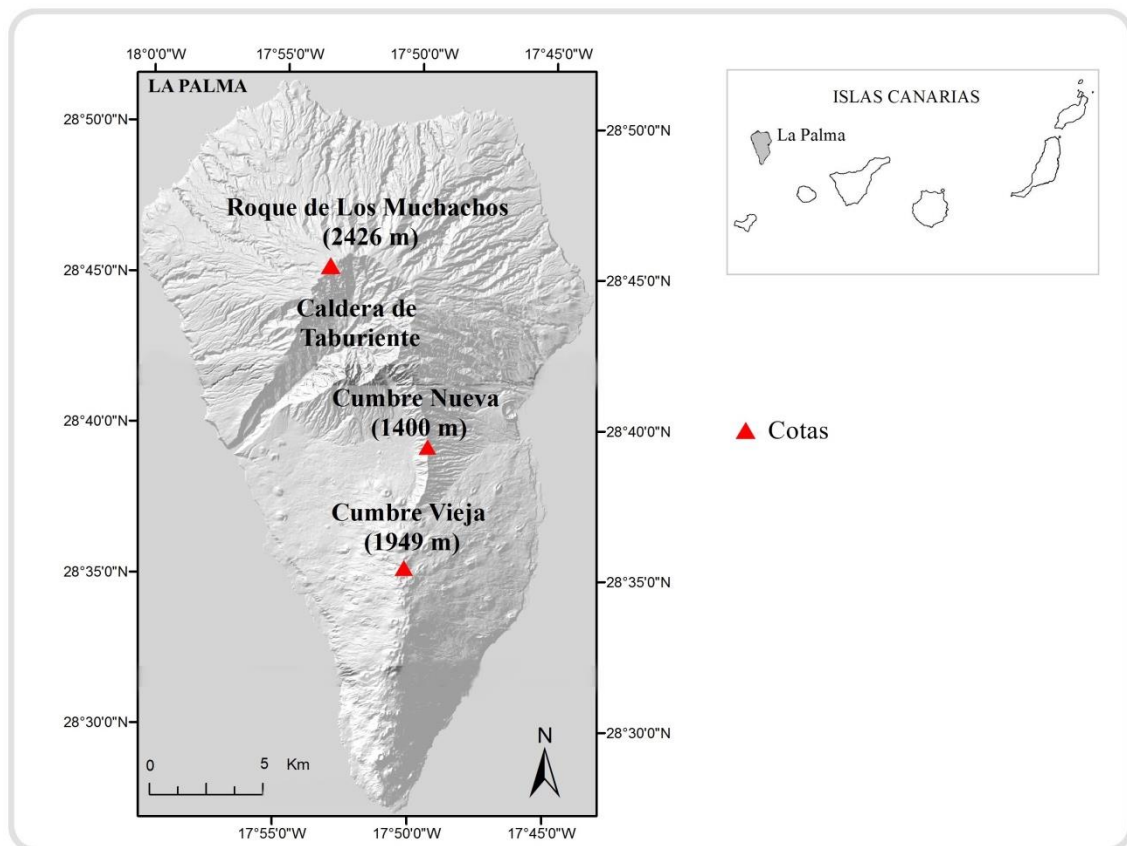
El efecto más claro de la radiación solar es la temperatura, y este elemento, junto con la precipitación, son los más representativos de las características climáticas de cualquier lugar (Fernández García, 1995).

La temperatura del aire habitualmente disminuye en la troposfera conforme se asciende. Ese descenso térmico puede diferir e incluso llegar invertirse, en función de la situación atmosférica dominante y las características del relieve (Cuadrat y Pita, 1997; Fernández García, 1995; Picazo, 2000). Según Cuadrat y Pita (1997) el motivo de este comportamiento se explica a partir del calentamiento de la superficie terrestre con la radiación solar que, a su vez, es devuelta a la atmósfera en forma de energía. Como consecuencia de ello, se calienta de forma indirecta a través del suelo, por tanto, la temperatura del aire será mayor cuánto más cerca se esté del foco de calor, y a su vez disminuirá conforme nos alejemos de él.

La topografía de un lugar condiciona la llegada de una mayor o menor radiación y, a su vez, provoca importantes contrastes térmicos locales, teniendo un papel relevante la exposición que permite distinguir entre las solanas y las umbrías de las cadenas montañosas (Cuadrat y Pita, 1997). En el caso de Canarias, Marzol y Máyer (2012) explican que la combinación de las condiciones atmosféricas regionales con la altitud y la orientación generan contrastes climáticos que son notables incluso entre vertientes de una misma isla.

Las Islas Canarias se encuentran a una latitud en la que la presencia del anticiclón de las Azores, unido a la influencia constante de los vientos alisios, a la existencia de una corriente oceánica fría permanente y a la cercanía respecto al continente africano, determinan que la estabilidad atmosférica sea la situación predominante (Marzol, 1990; Dorta, 1996; Marzol y Máyer, 2012). Por otro lado, las islas de mayor relieve presentan considerables contrastes térmicos locales asociados al obstáculo que suponen las cadenas montañosas en la trayectoria habitual de las masas de aire (Máyer, 2005), mientras que en las de relieve menos abrupto, esas diferencias térmicas se reducen y tienden a ser menos contrastadas entre una vertiente y otra. Por lo tanto, la altitud causa una gradación vertical de los valores térmicos y pluviométricos, así como de la humedad y la nubosidad (Máyer, 2005).

En Canarias, los factores geográficos no intervienen por igual en todas las islas y en el caso de La Palma presenta numerosas particularidades (Máyer, 2005; Pérez, 2014). La isla se encuentra situada en el extremo noroccidental del archipiélago y la disposición lineal de su dorsal montañosa de Norte a Sur es lo que motiva una distinción entre dos grandes vertientes: la Este y la Oeste (figura 1). La primera es susceptible a la llegada de masas de aire inestables procedentes del Atlántico y, por tanto, es la ladera que mayores registros pluviométricos presenta anualmente (Máyer, 2005; Marzol y Máyer, 2013). La segunda es menos lluviosa, al localizarse a sotavento del régimen de alisios procedentes del Nordeste, pero también es la más abierta a las borrascas del Sur y del Suroeste en invierno (Máyer, 2005; Bullón, 2006).



**Figura 1. Principales formas del relieve de la isla de La Palma.** Fuente: GRAFCAN.

El alisio y la nubosidad no pueden rebasar el relieve debido a la considerable altitud que alcanza el Norte de La Palma, propiciando temperaturas algo más suaves. Sin embargo, las nubes sí pueden sobrepasar Cumbre Nueva (1400 m) y descender por la ladera occidental, incrementando su velocidad, disminuyendo su humedad y aumentando la temperatura del aire (figura 2). La consecuencia de ello es el



denominado *efecto foehn*. Este fenómeno se produce sólo cuando la inversión térmica se sitúa a una cota superior a las de las cimas de Cumbre Nueva (Máyer, 2005).



**Figura 2. Nubosidad rebasando Cumbre Nueva y descendiendo por la ladera occidental de La Palma.** Autor: David Rodríguez Hernández.

Este Trabajo de Fin de Grado se centra en el estudio de la variable de la temperatura y analiza el gradiente térmico vertical en el sector de las vertientes Este y Oeste de la isla de La Palma comprendido por los municipios de Breña Baja, Breña Alta y Villa de Mazo (en el Este) y El Paso, Los Llanos de Aridane y Tazacorte (en el Oeste). Además, se estudian aquellos comportamientos anómalos del gradiente, determinando los días con inversión e isoterma y los episodios más frecuentes que los producen.

Las preguntas que me hice al empezar el trabajo eran: *¿Qué es el gradiente térmico vertical? ¿Cómo es el gradiente térmico en el Este y Oeste de La Palma? ¿Cómo varía a lo largo del año? ¿Qué causa la ralentización del gradiente? ¿Cómo son los episodios en los que se produce una inversión del gradiente? ¿Qué interés y relevancia puede tener el análisis del gradiente en La Palma?*

La finalidad que ha tenido este Trabajo de Fin de Grado ha sido contestar estas preguntas iniciales.

## 2. ANTECEDENTES

Todas las variables climáticas cambian en función de factores geográficos como la latitud, la altitud y la orientación del relieve, la distancia respecto a las masas oceánicas y a las corrientes marinas. En el caso de las temperaturas, éstas experimentan un descenso alrededor de  $0,65^{\circ}\text{C}$  por cada 100 metros de elevación, pero ese valor promedio puede variar (Campos y Castro, 1992; Sánchez, 1995; Dodson and Marks, 1997; Mayer, 2005; y Linares *et al.* 2007). A esa disminución se le denomina gradiente térmico vertical. En ocasiones, esta variación puede ser inversa, es decir, la temperatura en lugar de disminuir con la altitud, aumenta, dando lugar a lo que se conoce como inversión térmica (Hufty, 1975; Marzol, 1993; Dorta, 1996; Melendo *et al.* 2002; Máyer, 2005).

En este capítulo se han seleccionado los artículos de la bibliografía consultada que analizan los gradientes termopluviométricos y con el fin de facilitar la consulta de los estudios realizados sobre el tema, se elabora un cuadro sinóptico donde se indican las fuentes, escalas, variables, gradientes y objetivos utilizados por los autores en cada estudio, que se incluye al final del mismo.

En Canarias, Dorta (1996) demostró, a partir de la información de sondeos termodinámicos diarios, en un periodo de 10 años (1983-1992), que en el archipiélago, el número de días al año en los que se produce una ruptura del gradiente térmico vertical es muy elevado, cerca del 98%. Esa ruptura es la que da lugar a que en Canarias predomine la estabilidad atmosférica (López Gómez, 1975; Marzol, 1990; Martín Vide, 1991; Dorta, 1996; Marzol y Máyer, 2012). Las inversiones térmicas se producen a una determinada altitud, alrededor de los 1.000 m, en función de las condiciones atmosféricas, y su frecuencia alcanza máximos en los meses estivales y mínimos en los invernales. Otros autores como Font Tullot (1959) y Fernández García (1995) coinciden en que las temperaturas se ven condicionadas fundamentalmente por la acción del relieve y este factor, unido a la exposición de las vertientes, propician contrastes térmicos locales muy importantes.

Los estudios climáticos realizados en la isla de La Palma se centran en el análisis de las variables de temperatura, humedad, precipitación, viento (Máyer, 2005) e insolación (Pérez, 2014). En el primer caso, se realiza un análisis a escala mensual y anual de 12 estaciones meteorológicas, que permite fijar un gradiente térmico vertical medio en la

vertiente Norte de esta isla de  $0,7^{\circ}\text{C}$  cada 100 metros, desde la costa hasta los 700-800 metros. A partir de esa altitud, la temperatura desciende  $0,3^{\circ}\text{C}$  cada 100 metros aproximadamente. Por otro lado, el gradiente térmico en las vertientes occidental y oriental es de  $0,3^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ . Según el autor, las principales causas de esas notables diferencias entre ambas vertientes son debidas a la complejidad del relieve que presenta la isla.

En Costa Rica, Campos y Castro (1992) realizaron un análisis del clima a sotavento de las principales cadenas montañosas (cordillera volcánica central, Tilarán y Guanacaste) a partir de fuentes literarias. Los autores estudiaron el viento, precipitaciones, temperaturas, humedad y nubosidad, con el objetivo de obtener similitudes con otras zonas con características geográficas muy parecidas: Cartago (Valle Central Oriental), Bagaces (Cañas), y las faldas de la Cordillera de Tilarán. Determinaron un gradiente térmico vertical medio de  $0,60^{\circ}\text{C}$  cada 100 metros, distinguiendo, a su vez, dos zonas: la del Pacífico con un gradiente de  $0,65^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  y la del Caribe con  $0,54^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ .

Sánchez, en 1995, calculó los gradientes termohídricos anuales originados por diferentes factores geográficos en la comunidad de Extremadura. Para ello, utilizó datos anuales de temperaturas medias, máximas y mínimas y precipitaciones de 72 estaciones meteorológicas. Obtuvo que las temperaturas descienden en función de la altitud a una media de  $0,25^{\circ}\text{C}$  cada 100 metros, un valor notablemente inferior a los obtenidos por otros autores. También analizó los contrastes asociados a la latitud, y concluyó que la temperatura varía a un ritmo de  $-0,23^{\circ}\text{C}$  cada 30' de Sur a Norte; a la longitud, con  $-0,31^{\circ}\text{C}$  cada 30' hacia el Oeste; y finalmente a la exposición  $1,00^{\circ}\text{C}$  por unidad que define como: -2, muy desfavorable (zonas muy sombrías); -1, desfavorable (zonas sombrías); 0, neutra (zonas intermedias); 1, favorable (zonas soleadas); y 2, muy favorable (zonas muy soleadas)<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> La exposición ocasiona unas alteraciones o modificaciones importantes en las temperaturas y precipitaciones, pues dependiendo de que ésta sea favorable o desfavorable, las temperaturas aumentan o disminuyen notablemente.

Al consultar la bibliografía destacan otros métodos de análisis de los gradientes térmicos. Por ejemplo, Hufty, en 1975, optó por utilizar sondeos diarios y compararlos con situaciones sinópticas. De esta manera, estudió las condiciones atmosféricas medias para cada tipo de sondeo a partir de los datos meteorológicos del aeropuerto de Quebec. El autor obtuvo los gradientes de la temperatura a cada hora y los clasificó en tres niveles: entre el superficial y los 100 pies, entre los 100 y 200 pies y entre 200 y 300 pies<sup>2</sup>. Estableció, a su vez, tres tipos de gradientes para cada nivel: isotérmica o gradientes de inversión, adiabáticas (0,1°C a 0,3°C cada 100 m) y por encima del adiabático (0,4°C cada 100 metros) respectivamente.

Dodson y Marks (1997) realizaron una comparativa numérica para evaluar la mayor o menor exactitud entre dos modelos: Neutral Stability Algorithm (NSA) y Linear Lapse Rate Adjustment (LLRA). Los criterios de estimación se basaron en la velocidad, precisión y simplicidad de cada uno. El objetivo fue estudiar los efectos de la altitud en las temperaturas en la zona del Pacífico Noroccidental (Estados Unidos). Para ello, utilizaron datos diarios de temperaturas medias, máximas y mínimas de 907 estaciones meteorológicas repartidas en un radio de 830.000 km<sup>2</sup>. Establecieron dos tipos de gradientes: el adiabático seco con 0,98°C cada 100 metros de elevación y el adiabático saturado con 0,4°C cada 100 metros.

Algunos autores como Linares *et al* (2007) relacionaron las temperaturas y las precipitaciones para elaborar áreas de distribución de especies vegetales, como el *Abies pinsapo*, en el Parque Natural de Sierra de las Nieves (Málaga). Estos autores trabajaron con datos a escala anual facilitados por 15 estaciones meteorológicas, a partir de los cuales determinaron gradientes térmicos verticales muy superiores a los promedios, de 1,2°C por cada 100 metros de elevación. En el caso de las precipitaciones obtuvieron un gradiente medio de 69,5 mm por cada 100 metros. En 1981, Raso Nadal realizó una diferenciación de la cobertura vegetal en la Cordillera Tramuntana basándose en la precipitación. Para ello trabajó con datos anuales de 32 estaciones meteorológicas del período 1943-1972, y estableció un gradiente pluviométrico medio de 1,19 mm por cada metro de ascenso vertical.

---

<sup>2</sup> La equivalencia de 1 pie es igual a 0,3048 metros.

Algunos autores han medido dos variables climáticas y elaborado gradientes termohídricos con el objetivo de explicar situaciones climáticas o diferentes episodios meteorológicos que se suceden en escalas temporal y espacial determinadas. Tal es el caso de Armenta (2013) que en su estudio sobre el efecto foehn, describe su comportamiento intranual en la región del piedemonte amazónico y el valle del Alto Magdalena, en Colombia. Este autor analizó las variables de la temperatura, precipitación, humedad y viento. Las fuentes de estudio se basaron, por un lado, en datos de estaciones meteorológicas y, por otro, en modelos numéricos como el WRF (Weather Research and Forecasting) y el CFS (Climate Forecast System). Centrándonos en las temperaturas, Armenta determinó un gradiente de  $1,0^{\circ}\text{C}$  por cada 100 metros, con escasas disimetrías entre vertientes, y también estableció las variaciones térmicas mensuales que había entre el valle y el piedemonte, siendo de  $3,0$  a  $4,0^{\circ}\text{C}$  en junio y julio, de  $2,0$  a  $3,0^{\circ}\text{C}$  en mayo, de  $1,0$  a  $2,0^{\circ}\text{C}$  de enero a abril y de agosto a octubre, y de  $<1,0^{\circ}\text{C}$  en noviembre y diciembre.

Por otro lado, Fernández y Rasilla (1992) no centran sus estudios en los gradientes térmicos verticales sino que determinan las variaciones térmicas derivadas de las situaciones de vientos del Sur, con brisas costeras, y otras situaciones sinópticas de especial interés en la cornisa cantábrica. Los autores utilizan datos diarios y mensuales de nueve estaciones meteorológicas, en el período 1986-1990, y trabajan las temperaturas, las precipitaciones, el viento (velocidad y dirección), la insolación, la humedad y la evaporación. Analizan el incremento térmico provocado por el tiempo Sur y determinan que en casi un 60% de los casos el ascenso es de  $0$  a  $2,0^{\circ}\text{C}$  por hora; sin embargo, en tan sólo un 8,9% de los casos, la temperatura superó los  $4,1^{\circ}\text{C}$  por hora. Ambos autores, consideran que la configuración geográfica de la zona y la dinámica atmosférica regional son los dos factores que explican la existencia de este tipo de tiempo que presenta rasgos muy similares a los del foehn.

Los gradientes termohídricos del Macizo del Moncayo han sido estudiados por numerosos autores. Destacan Cuadrat y Pellicer (1983) que trabajaron con las temperaturas y precipitaciones a escala anual de 18 estaciones meteorológicas y establecieron un gradiente de  $47,2$  mm cada 100 metros en la vertiente Norte y de  $32,8$  mm cada 100 metros en la Sur. Cuatro años después, Sanz Pérez (1987) obtuvo gradientes diferentes para las mismas vertientes,  $43$  mm cada 100 m y  $37$  mm cada 100 metros respectivamente. El motivo de esa diferencia está en el uso de una serie más

pequeña y que utiliza un menor número de estaciones (ver tabla 1). Años más tarde, Del Valle y San Román (1994) cuantificaron la precipitación media anual y elaboraron un mapa de isoyetas de dicho macizo y su entorno, con un gradiente pluviométrico de 100 mm/100 m en el Norte, en altitudes superiores a los 1000 m, y de 25,3 mm/100 m en el Sur, en altitudes inferiores a los 1400 m. Todos los autores coinciden en que existen grandes disimetrías pluviométricas entre la vertiente septentrional y meridional del macizo del Moncayo.

Marzol y Máyer publicaron en el año 2013 un artículo sobre los gradientes de la precipitación media anual en Canarias, a partir de la información de 291 estaciones meteorológicas y para ello utilizaron un período de 15 años. El objetivo del trabajo era determinar las funciones que mejor expresan la relación entre altitud y precipitación y establecer los gradientes pluviométricos verticales. Llegaron a concluir que hay un gradiente máximo de 88 mm cada 100 metros y un mínimo de 22 mm cada 100 metros, y, a modo de ejemplo, generaron un MDP de Gran Canaria. Ambos autores indican que los factores causantes de las disimetrías pluviométricas, que también influyen en la temperatura, son la configuración orográfica de cada isla y su posición geográfica dentro del archipiélago.

**Tabla 1. Cuadro sinóptico de los estudios realizados sobre los gradientes termopluviométricos.**

<b>Autor</b>	<b>Fuentes</b>	<b>Escala temporal</b>	<b>Variables</b>	<b>Gradientes</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Lugar</b>
Hufty, A. (1975)	Sondeos diarios del aeropuerto de Quebec	Diaria	Temperatura, precipitación, insolación, humedad, velocidad del viento	Superficie-100 pies: isoterma o gradiente de inversión. 100-200 pies: adiabáticas (0,1°C a 0,3°C/100 m). 200-300 pies: sobre adiabático (0,4°C/100m)	Comparar los sondeos diarios con situaciones sinópticas	Quebec (Canadá)
Raso Nadal, J.M. (1981)	32 estaciones meteorológicas	Anual (1943-1972)	Precipitación	1,19 mm/ 1 m	Variación en la cobertura vegetal, según la precipitación	Cordillera Tramuntana (Islas Baleares)
Cuadrat, J. M. y Pellicer, F. (1983)	18 estaciones meteorológicas	Anual	Precipitación y temperatura	47.2 mm/100 m en la vertiente N 32.8 mm/100 m en la vertiente S	Definir y delimitar los sistemas morfoclimáticos presentes	Macizo del Moncayo (Aragón)
Sanz Pérez, E. (1987)	4 estaciones meteorológicas	Anual	Precipitación	43 mm/100 m en la vertiente N 37 mm/100 m en la vertiente S	Estudiar las precipitaciones y determinar el comportamiento del acuífero de Vozmediano	Macizo del Moncayo (Aragón)
Campos, M. y Castro, V. (1992)	Datos climáticos disponibles en distintas regiones. Estudios literarios	Anual	Viento, precipitación, temperatura, humedad, nubosidad	0,6°C/100 m. 0,65°C/100 m en la zona del Pacífico 0,54°C/100 m en la zona del Caribe	Describir el clima de una región basándose en el conocimiento del clima de otra zona geográficamente similar	Cordillera Volcánica Central, Tilarán y Guanacaste (Costa Rica)
Del Valle, J. y San Román, J. (1994)	25 estaciones meteorológicas	Anual (1942-1992)	Precipitación	100 mm/100 m en el Norte (>1000 m) 25,3 mm/100 m en el Sur (<1400 m)	Cuantificar la precipitación media anual y elaborar un mapa de isoyetas del macizo y su entorno	Macizo del Moncayo (Aragón)
Sánchez Martín, J. M. (1995)	72 estaciones meteorológicas	Anual	Precipitación y temperatura	Altitud: -0,25°C/100 m Latitud: -0,23°C/30' de Sur a Norte Longitud: -0,31°C/30' hacia el Oeste Emplazamiento: -0,49°C/1000 m Exposición: 1,00°C/unidad.	Estudiar las principales variables climáticas a partir de un cálculo de los gradientes.	Extremadura

Autor	Fuentes	Escala temporal	Variables	Gradientes	Objetivo	Lugar
Dodson, R. y Marks, D. (1997)	907 estaciones meteorológicas	Diaria	Temperatura	0,98°C/100 m en aire seco 0,4°C/100 m en aire saturado y muy cálido	Evaluar la exactitud de dos métodos algorítmicos: Neutral Stability Algorithm (NSA) y Linear Lapse Rate Adjustment (LLRA).	La zona del Pacífico Noroccidental (Estados Unidos)
Máyer, P. (2005)	12 estaciones meteorológicas	Mensual y anual	Temperatura	0,7°C/100 m en la vertiente N (<700 m) 0,3°C/100 m en la vertiente N (>700 m) 0,3°C/100 m en la vertiente E y O	Describir el clima a partir del análisis de las principales variables climáticas	Isla de La Palma (Canarias)
Linares, J. et al. (2007)	15 estaciones meteorológicas	Anual	Precipitación y temperatura	-1,2°C/100 m 69,5 mm/100 m	1. Realizar una caracterización climática del área de distribución de <i>A. pinsapo</i> 2. Identificar los factores climáticos determinantes en la dinámica de la especie 3. Comparar las características bioclimáticas de <i>A. pinsapo</i> con las de otras coníferas de la región Mediterránea	Parque Natural de la Sierra de las Nieves (Málaga)
Armenta, G. (2013)	Estaciones meteorológicas y modelos WRF y CFS	Mensual (1971-2010)	Viento, temperatura, precipitación y humedad	enero-abril: 1-2°C; mayo: 2-3°C; junio y julio: 3-4°C; agosto, septiembre y octubre: 1-2°C; noviembre y diciembre: <1°C	Identificar la ocurrencia del efecto foehn y describir su comportamiento intranual	Piedemonte amazónico y el valle del alto Magdalena (Colombia)
Marzol, Mª V. y Máyer, P. (2013)	291 estaciones meteorológicas	Anual (15 años)	Precipitación	Máximo: 88 mm/100 m Mínimo: 22 mm/100 m	1. Determinar las funciones que mejor expresan la relación entre la altitud y la precipitación 2. Establecer los gradientes de variación 3. Generar un MDP de la isla de Gran Canaria	Islas Canarias

Elaboración propia.



### **3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS DEL TRABAJO**

La hipótesis de esta investigación es que las diferencias termométricas entre las vertientes oriental y occidental de la isla de La Palma se deben al efecto de la altitud y la orientación.

Este Trabajo de Fin de Grado tiene los siguientes objetivos:

1. Determinar el gradiente térmico vertical de las vertientes Este y Oeste de la isla de La Palma a escala mensual y anual.
2. Estudiar las variaciones altitudinales del gradiente térmico vertical en ambas vertientes.
3. Conocer la frecuencia con la que el gradiente térmico vertical se invierte o se producen isotermas. Un objetivo secundario será relacionar ese comportamiento anómalo del gradiente térmico con las situaciones meteorológicas que lo causan.

### **4. DATOS Y METODOLOGÍA**

La metodología de este trabajo, en consonancia a los objetivos planteados se ha llevado a cabo mediante una serie de pasos:

#### **1. Selección del área de estudio.**

Para analizar y determinar el gradiente térmico vertical, se eligen las vertientes Este y Oeste de la isla de La Palma por dos motivos:

- a) La orientación, extensión y altitud de ambas vertientes en el conjunto del relieve insular permiten estudiar la variación de la temperatura en relación a ambos factores geográficos, la altitud y la orientación.
- b) La existencia de estaciones termométricas bien repartidas en ese territorio que permiten realizar el estudio propuesto.

#### **2. Recopilación de la información meteorológica necesaria.**

Se solicitó a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) las temperaturas máximas y mínimas diarias de las estaciones meteorológicas situadas en las vertientes Este y Oeste de la isla. Se obtuvo la información de nueve estaciones, aunque se descartaron

tres, las de Los Llanos de Aridane-Hermosilla, Buenavista-Aeropuerto Viejo y Breña Baja-San José porque, por un lado, presentaban series temporales muy reducidas y en algunos casos, eran no coincidentes, y, por otro, debido a la proximidad altitudinal entre ellas, no aportaban variaciones importantes de la temperatura. Finalmente, el estudio se realizó con los datos de seis estaciones meteorológicas.

Hay que indicar que en el proceso de selección de las estaciones era necesario tener en cuenta la coincidencia temporal de las series para poder hallar los gradientes diarios.

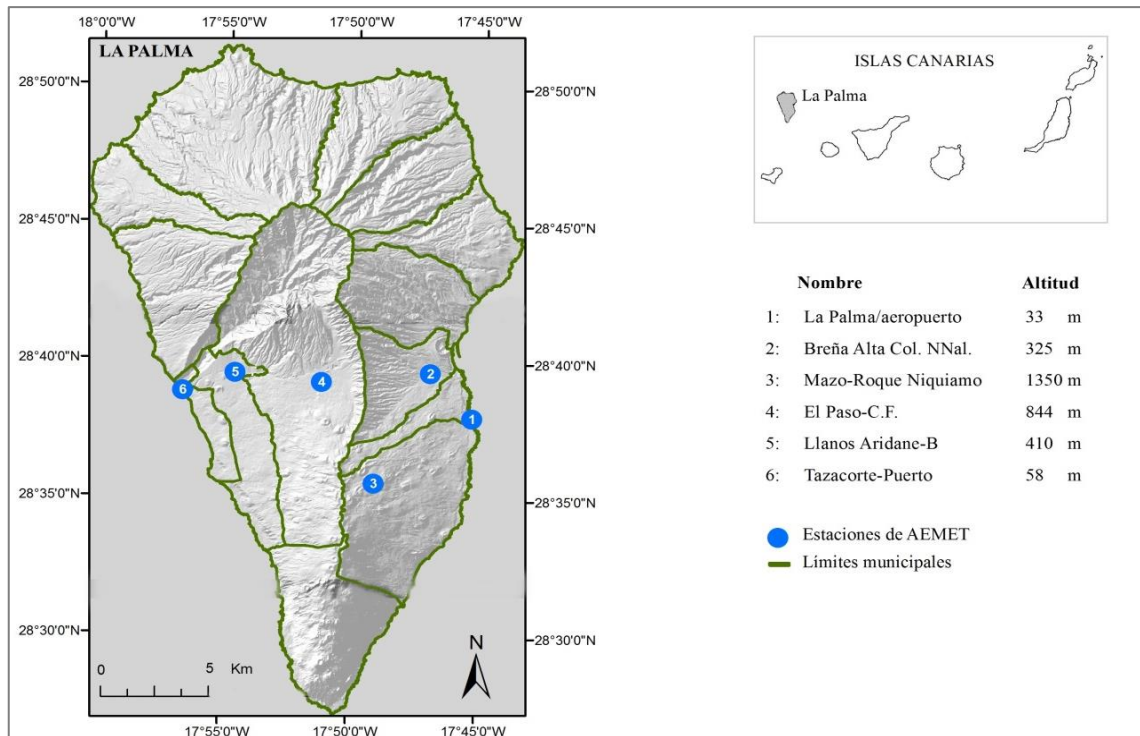
En la Tabla 2 se indican las principales características de las seis estaciones termométricas utilizadas en el trabajo y en la figura 3 sus localizaciones.

**Tabla 2. Principales características de las estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio.**

Nombre	Altitud	Vertiente	Longitud	Latitud	Serie	1	2	3	4
Aeropuerto de La Palma	33 m	Este	17°45'182"W	28°37'59"N	1986-2015	352	8	29	0
Colegio Nacional de Breña Alta	325 m	Este	17°47'042"W	28°39'38"N	1986-2003	102	100	13	7
Mazo Roque Niquiamo	1350 m	Cumbre	17°48'522"W	28°35'41"N	1986-1993	90	6	8	0
Casa Forestal de El Paso	844 m	Oeste	17°51'122"W	28°39'14"N	1986-2015	345	15	29	0
Los Llanos de Aridane-B	410 m	Oeste	17°54'372"W	28°39'32"N	1980-2015	404	16	35	0
Puerto de Tazacorte	58 m	Oeste	17°56'382"W	28°38'51"N	1993-2015	239	25	22	0

1: N° de meses con datos. 2: N° de meses sin datos. 3: N° de años con datos. 4: N° de años sin datos.

Fuente: AEMET. Elaboración propia



**Figura 3. Localización de las estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio.** Fuentes: GRAFCAN y AEMET.

### **3. Selección de pares de estaciones próximas en altitud y depuración de datos.**

Una vez seleccionadas las estaciones, en cada vertiente se escogió la estación de menor altitud (33 m en la Este y 58 m en la Oeste) y se comparó con la estación situada inmediatamente más alta (325 m en la Este y 410 m en la Oeste). Posteriormente, se comparan estas últimas con las siguientes de mayor cota, 1350 m y 844 m, respectivamente.

La depuración de datos consistió en buscar la simultaneidad diaria entre pares de estaciones meteorológicas próximas y eliminar los días en los que no existiesen valores de temperatura en algunas de las localidades.

### **4. Cálculo de las temperaturas medias diarias y diferencias diarias entre cada par de estaciones.**

Las temperaturas medias se hallaron a partir de las temperaturas máximas y mínimas diarias. Una vez obtenidos estos valores, fueron restados con respecto a los de la estación más próxima, restando siempre los datos de la de mayor altitud con respecto a los de la de menor altitud.

### **5. *Cálculo del gradiente térmico vertical diario y mensual.***

El gradiente térmico se calculó a partir de la relación entre las diferencias termométricas y altitudinales de las estaciones, expresadas en °C cada 100 m. De esta manera se obtiene en cuántos grados varía la temperatura cada cien metros de ascenso altitudinal. Con los resultados obtenidos, se hallaron los gradientes mensuales.

### **6. *Recuento del número de días con gradiente térmico vertical negativo o isoterma.***

Con el fin de saber la frecuencia de los días con inversión y así conocer su “peso” en el gradiente térmico medio, se contaron los días en los que el gradiente térmico presentaba un valor negativo o igual a cero.

### **7. *Selección y análisis de los episodios con inversiones térmicas y su relación con la situación meteorológica.***

En el análisis realizado se vio que los meses de julio y agosto son los que reúnen más fechas con gradientes negativos, lo que significa que en esos días la temperatura aumenta con la altitud, por lo que se decide trabajar esta fase del estudio sólo con esos meses.

Conocidos los episodios con inversión térmica más significativos, se analizan los mapas sinópticos y los sondeos termodinámicos de esas fechas para relacionar el comportamiento térmico del aire con el estado de la atmósfera.

El desarrollo de este trabajo de Fin de Grado ha tenido cuatro problemas fundamentales:

1. La información disponible sobre la variable meteorológica de la temperatura en la isla de La Palma es muy desigual espacialmente. Existen grandes áreas en la isla que no disponen de información termométrica, lo que dificulta el análisis de los gradientes térmicos. Es el caso de los sectores Norte y Noroeste.

2. Las series temporales de datos de la temperatura son cortas y en muchas ocasiones no son coincidentes en todas las localidades. Este inconveniente ha obligado a reducir el número de estaciones y el número de años para poder hallar los gradientes diarios.

3. Un tercer problema ha sido que la proximidad de dos estaciones termométricas no permite hallar los gradientes altitudinales entre ellas porque los resultados son aberrantes.

A modo de ejemplo, la figura 4 representa el caso del gradiente térmico vertical medio mensual hallado entre 410 y 494 m, correspondientes a las localidades de Los Llanos de Aridane y Los Llanos-Hermosilla respectivamente. Los resultados obtenidos muestran una evolución del gradiente en forma de sierra, sin ninguna tendencia mensual, muy distinta de la obtenida con las diferencias altitudinales mayores.



**Figura 4. Variaciones mensuales del gradiente térmico en dos altitudes muy próximas de la vertiente Oeste de La Palma.** Fuente: AEMET. Elaboración propia.

5. La inexistencia de estaciones termométricas a la misma altitud en ambas vertientes ha impedido la comparación del comportamiento térmico entre ellas.

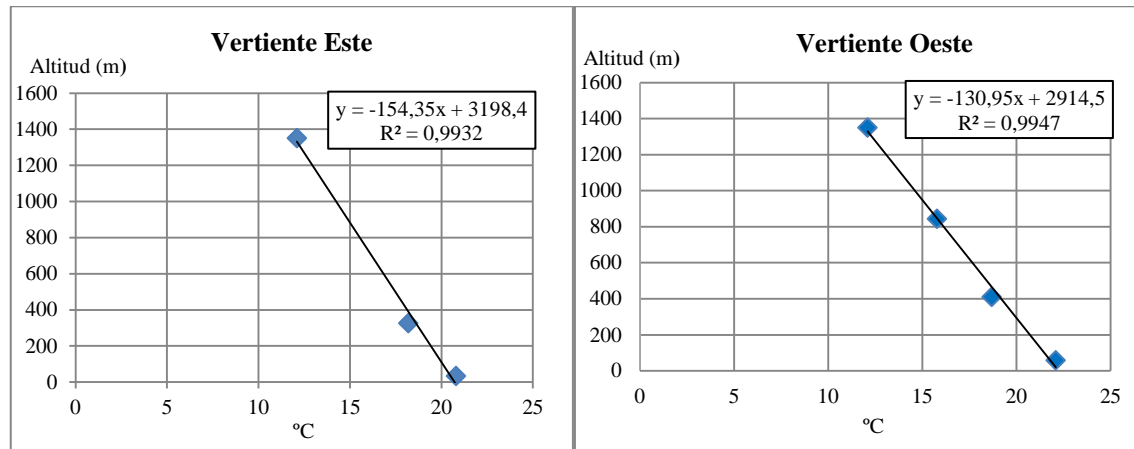
## 5. RESULTADOS

### 5.1. El régimen térmico

La isla de La Palma presenta notables contrastes térmicos asociados a la altitud y a la orientación. Al relacionar la temperatura con la altitud en las vertientes Este y Oeste de la Palma, por un lado se observa que esta variable climática se comporta de manera diferente en cada una de ellas y, por otro, que no varía de manera uniforme a lo largo de la ladera.

La correlación entre la temperatura y la altitud es muy alta en ambas vertientes, puesto que el coeficiente de correlación de Pearson es de 0,99. Es una correlación

negativa o inversa, lo que se traduce en que a medida que la altitud aumenta la temperatura disminuye en proporción más o menos constante (figura 5).



**Figura 5. Correlación y rectas de regresión entre la temperatura y la altitud en las vertientes Este y Oeste de la isla de La Palma.** Fuente: AEMET. Elaboración propia.

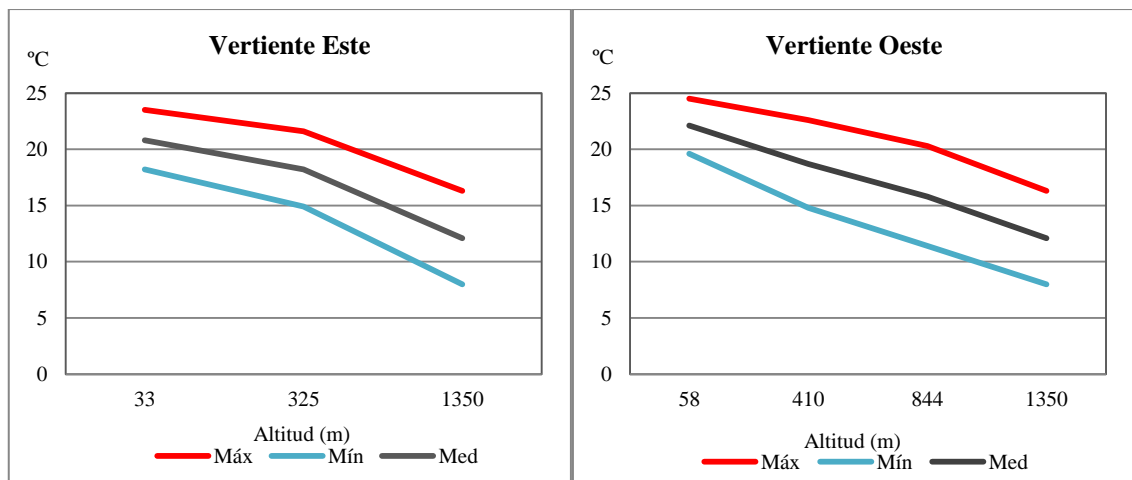
En la costa oriental, la temperatura media anual es de 20,8°C. Al mediodía, representado por las temperaturas medias de máximas, se alcanzan valores de 23,5°C y durante las noches las medias de mínimas son de 18,2°C, por lo que registra una escasa amplitud térmica media, alrededor de 5,3°C. En las medianías bajas, en torno a los 325 m, la temperatura media anual es dos grados y medio más baja que en la costa, siendo mucho más significativo el descenso térmico en las medias mínimas (tabla 3). En las cumbres orientales, a unos 1350 m, la temperatura media anual es de 12,1°C, con una amplitud térmica media de 8,0°C. Las temperaturas medias de máximas son alrededor de 16,0°C mientras que las medias de mínimas descienden hasta los 8,0°C.

**Tabla 3. Temperaturas medias en las vertientes Este y Oeste de La Palma (1986-2015).**

Estación	Altitud (m)	Vertiente	Máx (°C)	Mín (°C)	Med (°C)
Aeropuerto de La Palma	33	Este	23,5	18,2	20,8
Colegio Nacional de Breña Alta	325	Este	21,6	14,9	18,2
Mazo Roque Niquiamo	1350	Cumbre	16,3	8,0	12,1
Casa Forestal de El Paso	844	Oeste	20,3	11,4	15,8
Los Llanos de Aridane-B	410	Oeste	22,6	14,8	18,7
Puerto de Tazacorte	58	Oeste	24,5	19,6	22,1

Máx: Temperaturas medias de las máximas. Mín: Temperaturas medias de las mínimas. Med: Temperaturas medias. Fuente: AEMET. Elaboración propia.

La costa occidental es algo más cálida que la oriental, puesto que a similar altitud la occidental tiene un grado centígrado más durante el mediodía y casi 1,5°C durante la noche (tabla 3). En las medianías, a unos 400 m, la temperatura media anual desciende 3,4°C con respecto a la costa, mientras que las medias de máximas, lo hace en 2,1°C y las medias de mínimas, en 4,8°C. En las cumbres occidentales, a unos 850 m, la temperatura media anual es de 15,8°C. Las medias de máximas alcanzan los 20,3°C, sin embargo, las medias de mínimas descienden hasta los 11,4°C, lo que supone una amplitud térmica media de casi 9°C.



**Figura 6. Comportamiento de las temperaturas medias, medias de las máximas y medias de las mínimas anuales de ambas vertientes.** La localización de las estaciones está en la figura 3. Fuente: AEMET. Elaboración propia.

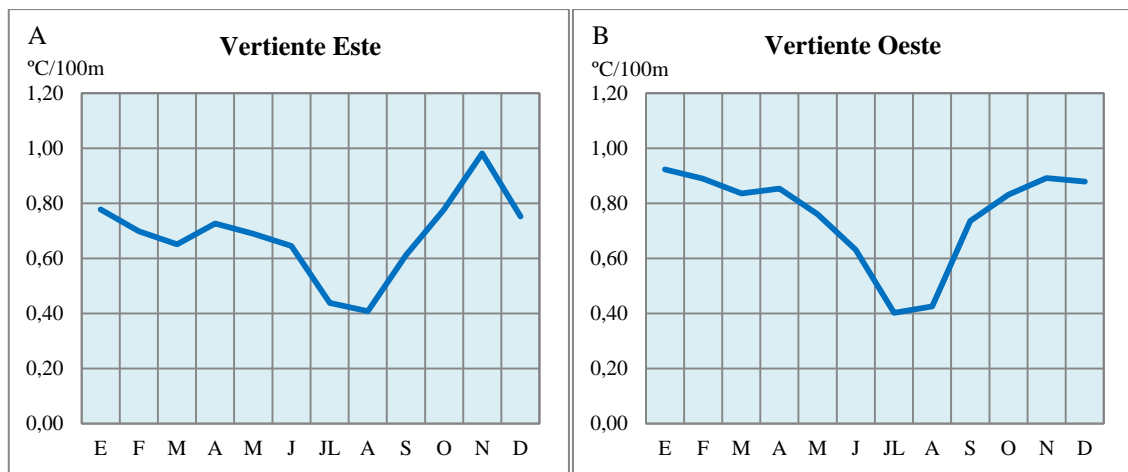
## 5.2. Gradiente térmico vertical de las vertientes Este y Oeste.

La vertiente oriental de la isla de La Palma tiene un gradiente térmico vertical medio anual de 0,68°C cada 100 m de elevación, valor que apenas difiere del promedio obtenido por la mayoría de los investigadores de este campo (tabla 1). En cambio, el gradiente térmico medio anual de la vertiente Oeste es algo superior, alrededor de 0,75°C cada 100 m. Si bien se indicaba que la vertiente occidental es más cálida que la oriental, el descenso térmico con la altitud de la primera es más pronunciado que el de la segunda. La explicación de esta diferencia se encuentra en el papel atemperador del mar de nubes en la primera (figura 7).



**Figura 7. Capa de estratocúmulos anclada en la vertiente Este de La Palma.** Autor: David Rodríguez Hernández.

Las variaciones mensuales de ese gradiente térmico son muy similares en ambas vertientes. En los meses estivales el gradiente disminuye notablemente y en los del invierno aumenta. Estas diferencias estacionales son más evidentes en la vertiente Oeste que en la Este (figura 8).



**Figura 8. Variaciones mensuales del gradiente térmico en las vertientes Este y Oeste de La Palma.** Fuente: AEMET. Elaboración propia.

Al analizar lo que ocurre en la vertiente oriental, el gradiente térmico medio anual de esta ladera no se comporta de manera uniforme en todas las altitudes. En cotas



inferiores a los 300 m el gradiente es superior a la media,  $0,72^{\circ}\text{C}$  cada 100 m, mientras que por encima de esa altitud el gradiente disminuye hasta  $0,64^{\circ}\text{C}$  cada 100 m.

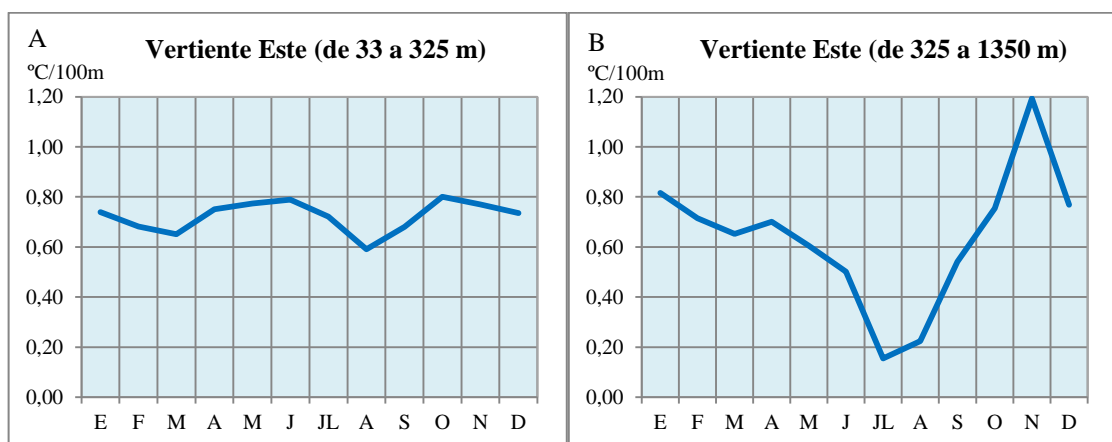
En la tabla 4 se indican los gradientes térmicos medios mensuales hallados en esta vertiente. En el cálculo de los mismos se han utilizado las diferencias termométricas de un total de 5.533 días.

**Tabla 4. Gradientes térmicos medios mensuales en la vertiente Este de La Palma (1986-2015).**

	De 33 a 325 m		De 325 a 1350 m		Media	
	$^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$	Nº de días	$^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$	Nº de días	$^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$	Nº total de días
<b>E</b>	0,74	256	0,82	222	0,78	478
<b>F</b>	0,68	243	0,71	221	0,70	464
<b>M</b>	0,65	274	0,65	245	0,65	519
<b>A</b>	0,75	254	0,70	226	0,73	480
<b>M</b>	0,77	272	0,60	240	0,69	512
<b>J</b>	0,79	267	0,50	207	0,65	474
<b>JL</b>	0,72	238	0,15	208	0,44	446
<b>A</b>	0,59	241	0,22	210	0,41	451
<b>S</b>	0,68	240	0,54	210	0,61	450
<b>O</b>	0,80	248	0,76	208	0,78	456
<b>N</b>	0,77	212	1,19	163	0,98	375
<b>D</b>	0,73	239	0,77	189	0,75	428
<b>ANUAL</b>	<b>0,72</b>	<b>2.984</b>	<b>0,64</b>	<b>2.549</b>	<b>0,68</b>	<b>5.533</b>

En color rojo el gradiente térmico más bajo y en azul el más elevado.  
Fuente: AEMET. Elaboración propia.

En la costa el gradiente térmico oscila entre  $0,60$  y  $0,80^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  a lo largo del año y las diferencias mensuales son poco significativas (figura 9A), mientras que en las medianías y cumbres el gradiente se acentúa y las variaciones entre el verano e invierno son considerables (figura 9B).



**Figura 9. Variaciones mensuales del gradiente térmico en la vertiente Este de La Palma.** Fuente: AEMET. Elaboración propia.

El análisis de la vertiente Oeste se ha podido realizar en tres intervalos altitudinales: entre 58 y 410 m, entre 410 y 844 m y entre 844 y 1350 m (tabla 5). Para ello se ha trabajado con un total de 18.740 días.

**Tabla 5. Gradientes térmicos medios mensuales en la vertiente Oeste de La Palma (1986-2015).**

	De 58 a 410m		De 410 a 844m		De 844 a 1350m		Media	
	°C/100m	Nº de días	°C/100m	Nº de días	°C/100m	Nº de días	°C/100m	Nº total de días
<b>E</b>	0,99	529	0,98	768	0,80	222	0,92	1.519
<b>F</b>	1,11	484	0,90	732	0,66	224	0,89	1.440
<b>M</b>	0,99	551	0,79	817	0,73	248	0,84	1.616
<b>A</b>	1,05	565	0,81	835	0,70	233	0,85	1.633
<b>M</b>	0,96	540	0,73	848	0,59	247	0,76	1.635
<b>J</b>	0,85	572	0,53	780	0,51	231	0,63	1.583
<b>JL</b>	0,84	598	-0,02	867	0,38	211	0,40	1.676
<b>A</b>	0,75	559	0,06	818	0,46	217	0,42	1.594
<b>S</b>	0,91	525	0,61	790	0,68	200	0,74	1.515
<b>O</b>	0,88	558	0,88	817	0,74	208	0,83	1.583
<b>N</b>	0,93	553	0,93	792	0,82	182	0,89	1.527
<b>D</b>	0,99	547	0,98	704	0,67	168	0,88	1.419
<b>ANUAL</b>	<b>0,94</b>	<b>6.581</b>	<b>0,68</b>	<b>9568</b>	<b>0,65</b>	<b>2.591</b>	<b>0,75</b>	<b>18.740</b>

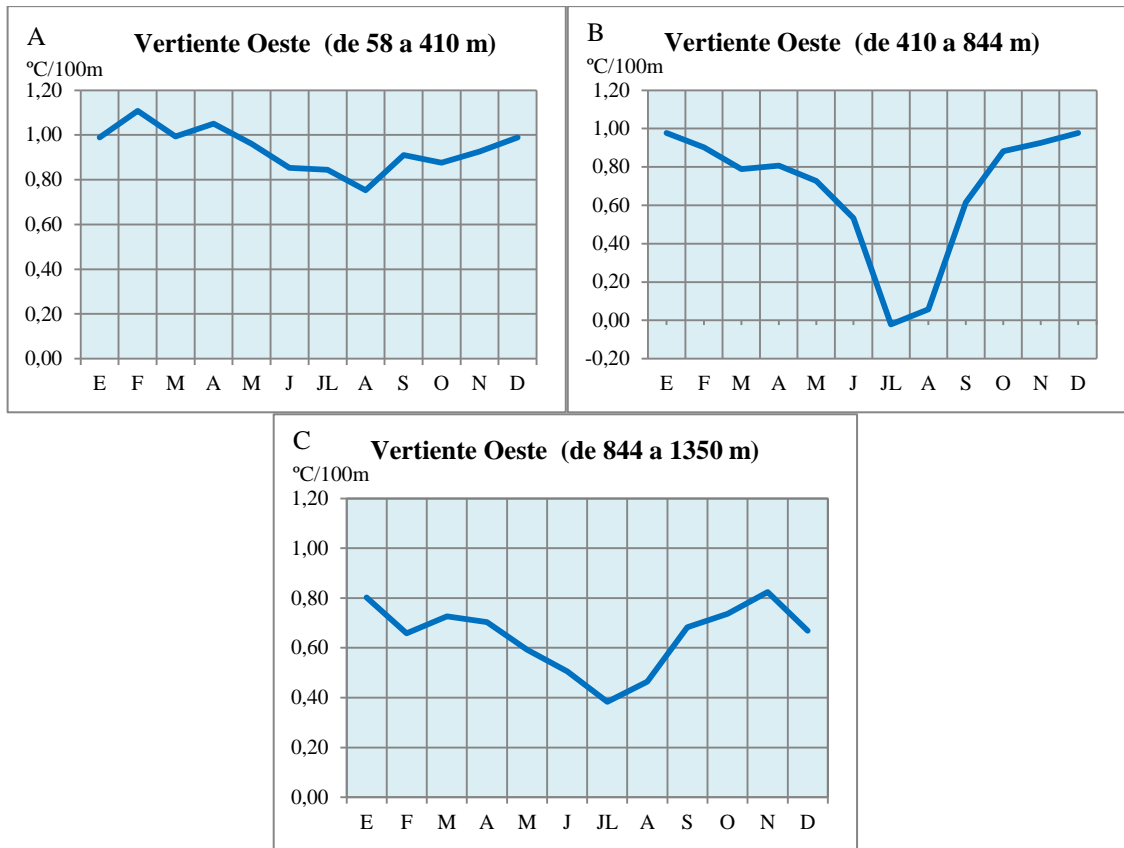
En color rojo el gradiente térmico más bajo y en azul el más elevado.

Fuente: AEMET. Elaboración propia.

Al comparar los diferentes gradientes altitudinales, se observa que conforme se asciende desde la costa occidental hasta los 1350 m, el gradiente va siendo cada vez más suave, pasando de 0,94°C cada 100 m por debajo de 400 m sobre el nivel del mar a 0,65°C cada 100 m a partir de los 844 m.

Al igual que la otra vertiente, en la Oeste los gradientes térmicos medios parciales poseen unos comportamientos similares. Desde la costa hasta los 400 m, la temperatura disminuye más rápidamente y se observa un pequeño mínimo en verano (figuras 9A y 10A); este no es tan acentuado como en altitudes más elevadas. A partir de los 400 m el descenso térmico es más lento y con mayores diferencias entre verano e invierno (figuras 9B y 10B).

En la figura 10A se observa cómo en los meses de invierno, la temperatura entre los 58 y 410 m disminuye a razón de 1,1°C cada 100 m, mientras que en verano esas variaciones se suavizan hasta 0,80°C cada 100 m.



**Figura 10. Variaciones mensuales del gradiente térmico vertical en la vertiente Oeste de La Palma.**

Fuente: AEMET. Elaboración propia.

En cambio, entre los 400 y 850 metros la diferencia estacional se acentúa puesto que en julio y agosto la temperatura no varía entre ambas cotas y en invierno asciende hasta  $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  (figura 10B). Finalmente, entre las medianías y la cumbre la variación altitudinal de la temperatura es bastante suave en todos los meses del año, aunque sigue apareciendo el mínimo en julio (figura 10C).

### 5.3. Isotermas e inversiones térmicas.

Los gradientes térmicos verticales de las dos vertientes estudiadas se suavizan en los meses de verano. El motivo de esas variaciones se debe a un aumento de las inversiones térmicas y para analizar dicho comportamiento anómalo se han contabilizado los días de cada mes en los que la temperatura aumentaba con la altitud entre 33 y 325 m y entre 325 y 1350 m de la vertiente Este y entre 58 y 410 m, entre 410 y 844 m y entre 844 y 1350 m en la Oeste. También se han incluido aquellos días que mantenían una isoterma entre esas cotas. Posteriormente, se han calculado los porcentajes sobre el total de días de cada mes.

Los días con inversiones térmicas e isoterma alcanzan su mayor porcentaje en los meses de julio y agosto, coincidiendo con el descenso del gradiente térmico. En los meses de invierno, ese porcentaje se ve reducido a la par que el gradiente aumenta.

En el Este, entre 33 y 325 m se observa que el 4,2% de los días del año presenta un gradiente térmico negativo y tan sólo un 0,2% corresponde a días con isoterma. En ambos casos, su frecuencia se eleva en los meses cálidos (tabla 6).

**Tabla 6. Porcentajes mensuales de días con isoterma y gradiente térmico negativo en la vertiente Este de La Palma.**

	De 33 a 325 m			De 325 a 1350 m		
	1	2	Total	1	2	Total
<b>E</b>	2,3	0,4	2,7	0,0	0,0	0,0
<b>F</b>	5,8	0,0	5,8	0,9	0,0	0,9
<b>M</b>	8,0	0,0	8,0	3,7	0,8	4,5
<b>A</b>	2,4	0,4	2,8	0,9	0,0	0,9
<b>M</b>	1,8	0,4	2,2	7,5	0,0	7,5
<b>J</b>	2,6	0,0	2,6	9,2	0,5	9,7
<b>JL</b>	6,7	0,4	7,1	35,1	1,0	36,1
<b>A</b>	9,1	0,0	9,1	30,0	1,4	31,4
<b>S</b>	6,7	0,4	7,1	7,1	1,0	8,1
<b>O</b>	0,8	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0
<b>N</b>	2,8	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0
<b>D</b>	1,7	0,0	1,7	0,5	0,0	0,5
<b>ANUAL</b>	<b>4,2</b>	<b>0,2</b>	<b>4,4</b>	<b>7,9</b>	<b>0,4</b>	<b>8,3</b>

1: % de días con gradiente térmico negativo.

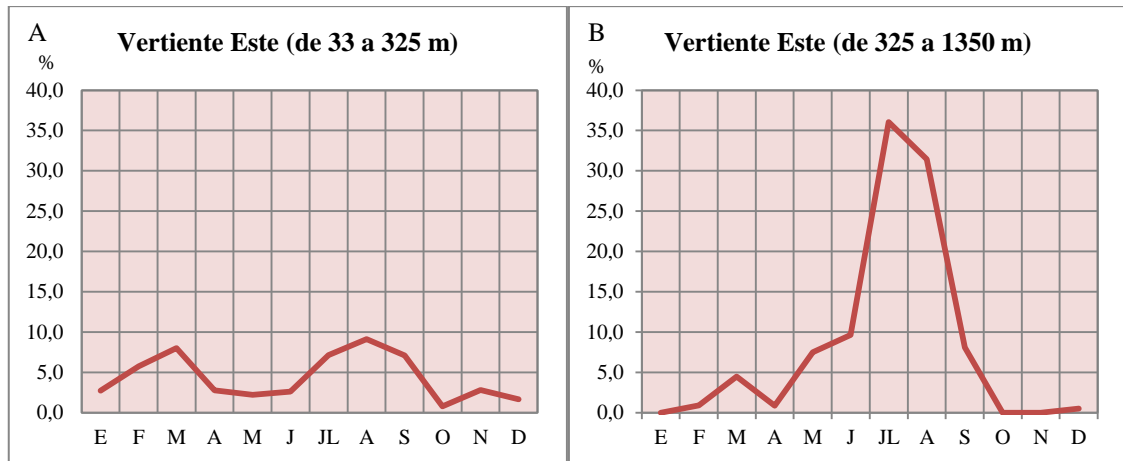
2: % de días con isoterma.

En color rojo el porcentaje más bajo y en azul el más elevado.

Fuente: AEMET. Elaboración propia.

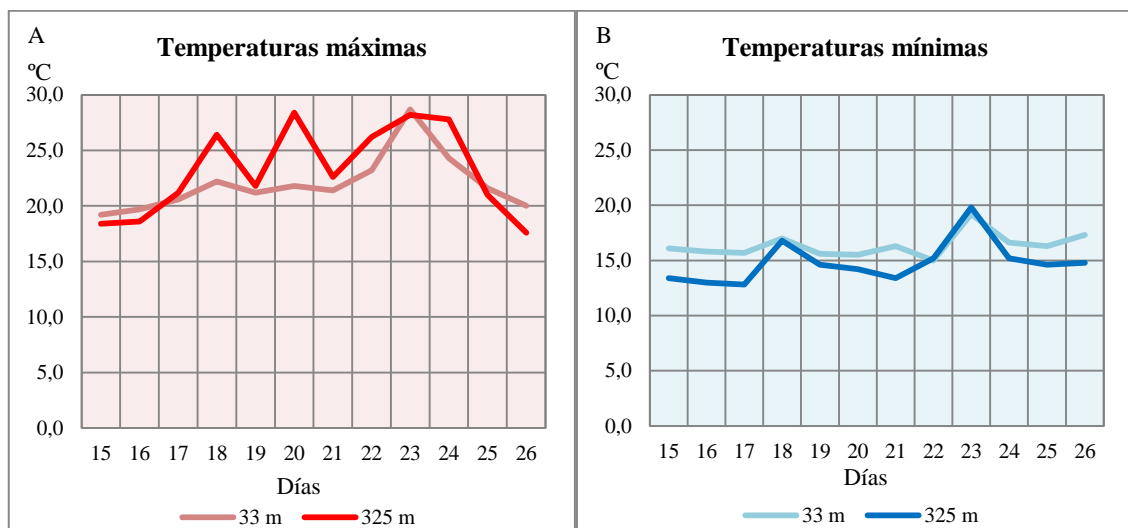
En medianías y cumbres, entre 325 y 1350 m la cantidad de días al año con inversión se duplica, sumando un total de 8,3%, y los contrastes mensuales son mucho más significativos, con un máximo de hasta 36,1% de días en julio y mínimos en enero de cero.

La figura 11 representa gráficamente los valores contenidos en la tabla 6 para una mejor comprensión.



**Figura 11. Evolución de los porcentajes mensuales de días con isoterma y gradiente térmico negativo en la vertiente Este de La Palma.** Fuente: AEMET. Elaboración propia.

En la figura 11A, llama la atención el repunte del porcentaje de días con inversión térmica en los meses de febrero y marzo, alrededor de 6 y 8% respectivamente. Al revisar los datos se observa que en esos meses hubo un aumento considerable de las temperaturas, sobre todo en la localidad situada a 325 m, lo que causó gradientes negativos. A modo de ejemplo, se ha seleccionado un evento del mes de febrero en el que se produjo inversión durante 10 días, dando como resultado un comportamiento anómalo de las temperaturas. En los días que duró este episodio, las temperaturas máximas de la altitud más elevada fueron siempre superiores a las de menor cota (figura 12A), mientras que las mínimas tendieron a igualarse en ambas altitudes (figura 12B).



**Figura 12. Comportamiento de las temperaturas en el episodio de inversión térmica entre los días 15 y 26 de Febrero de 1990.** Fuente: AEMET. Elaboración propia.

Esta inversión de la temperatura con la altitud se debe a intrusiones de aire cálido sahariano, que es común que se manifieste más claro en las medianías. Hay que tener en cuenta que en Canarias, la frecuencia de este fenómeno es mayor en los meses de invierno (Dorta, 1999; Criado y Dorta, 2003). Sin embargo, las inversiones que se producen en verano son más intensas y eso repercute en una disminución del gradiente térmico vertical.

Al analizar lo que ocurre en la vertiente Oeste, entre 58 y 410 m los días de inversión suponen un 5,3% del total anual y de isoterma el 0,3%, mostrando valores semejantes en todos los meses (tabla 7, figura 13A). Sin embargo, entre 410 y 844 m esas diferencias son de nuevo muy notables.

**Tabla 7. Porcentajes mensuales de días con isoterma o gradiente térmico negativo en la vertiente Oeste de La Palma.**

	58-410 m			410-844 m			844-1350 m		
	1	2	Total	1	2	Total	1	2	Total
<b>E</b>	3,0	0,2	3,2	1,2	0,0	1,2	1,8	0,0	1,8
<b>F</b>	6,0	0,6	6,6	2,6	0,1	2,7	7,6	0,0	7,6
<b>M</b>	6,2	0,4	6,5	7,3	0,5	7,8	5,6	0,0	5,6
<b>A</b>	5,1	0,0	5,1	10,1	0,4	10,4	5,2	0,4	5,6
<b>M</b>	2,6	0,0	2,6	13,0	0,1	13,1	10,9	0,0	10,9
<b>J</b>	3,1	0,0	3,1	18,3	0,3	18,6	15,6	1,3	16,9
<b>JL</b>	8,0	0,5	8,5	45,1	0,5	45,6	25,6	0,0	25,6
<b>A</b>	6,8	0,0	6,8	41,4	0,9	42,3	21,2	0,0	21,2
<b>S</b>	4,2	0,4	4,8	12,2	0,6	12,8	7,0	0,0	7,0
<b>O</b>	9,3	0,5	9,9	2,6	0,0	2,6	3,4	0,0	3,4
<b>N</b>	2,7	0,0	2,7	1,8	0,3	2,0	1,6	0,0	1,6
<b>D</b>	3,1	0,5	3,7	1,6	0,0	1,6	1,8	0,6	2,4
<b>ANUAL</b>	<b>5,0</b>	<b>0,3</b>	<b>5,3</b>	<b>13,1</b>	<b>0,3</b>	<b>13,4</b>	<b>8,9</b>	<b>0,2</b>	<b>9,1</b>

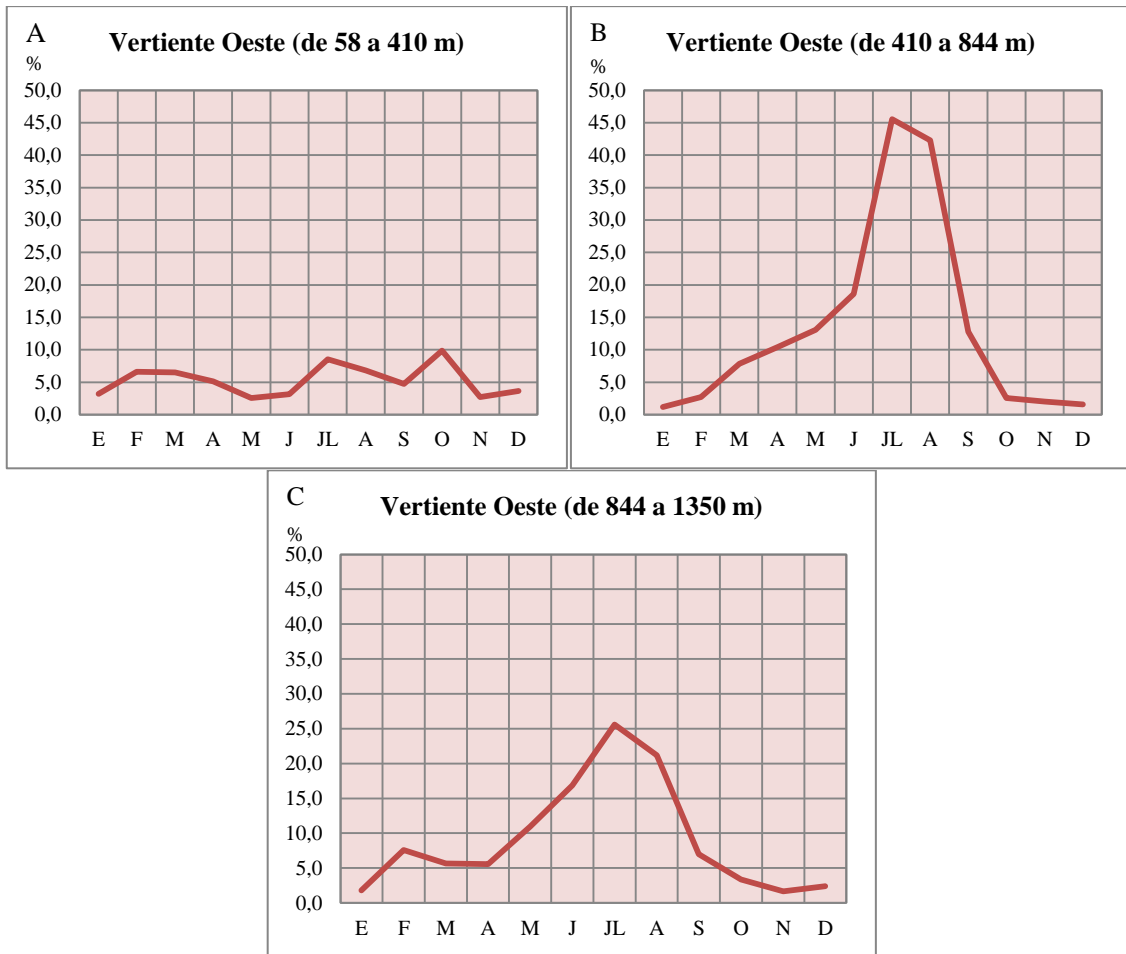
1: % de días con gradiente térmico negativo.

2: % de días con isoterma.

En color rojo el porcentaje más bajo y en azul el más elevado.

Fuente: AEMET. Elaboración propia.

Así en los meses de invierno el porcentaje de días con gradiente térmico negativo e inversión gira en torno al 1 y 2%, mientras que en julio y agosto la frecuencia de esos días llega a ser del total de días casi la mitad de ambos meses (45,1%). Finalmente, entre 844 y 1350 m el porcentaje es ligeramente superior al de la vertiente Este a la misma altitud (tabla 7, figura 13C).



**Figura 13. Evolución de los porcentajes mensuales de días con isoterma y gradiente térmico negativo en la vertiente Oeste de La Palma.** Fuente: AEMET. Elaboración propia.

En definitiva, con los datos obtenidos se puede resumir que:

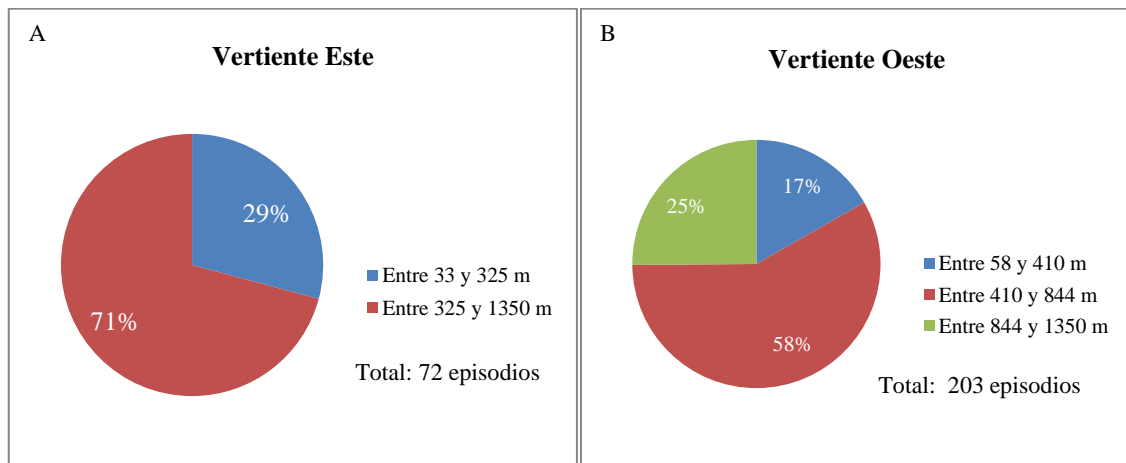
- El gradiente térmico vertical tiene una correlación inversa con el porcentaje de días en los que se produce isoterma e inversión térmica. Es decir, a medida que el gradiente mensual disminuye, el número de días con inversión aumenta.
- El comportamiento estacional del gradiente térmico, con máximos en invierno y mínimos en verano depende del de la inversión térmica de subsidencia.
- Las variaciones mensuales del gradiente térmico se acentúan con la altitud.

#### 5.4. Episodios con inversiones térmicas.

En este epígrafe se pretende buscar la explicación a las siguientes preguntas: *¿Por qué en verano es tan reducido el gradiente térmico?* y *¿son tan frecuentes las inversiones?*

Para ello, se analizan los episodios de inversiones térmicas de los meses de julio y agosto entre las diferentes cotas altitudinales de ambas vertientes. Como se explicó en el epígrafe anterior, julio y agosto son los meses en los que ese comportamiento anómalo de las temperaturas adquiere una mayor frecuencia por lo que el análisis se reducirá a dichos meses (figura 8).

Del periodo analizado, 1986-2015, se han contabilizado un total de 72 episodios con inversión en la ladera Este y hasta 203 episodios en la Oeste (figura 14). Se entiende por episodio con inversión a aquellos días en los que se produce un comportamiento anómalo de las temperaturas, dando como resultado un gradiente térmico negativo. Su longitud temporal dependerá de la situación atmosférica que presente.



**Figura 14. Distribución porcentual del número de episodios en ambas vertiente de La Palma en el periodo 1986-2015.** Fuente: AEMET. Elaboración propia.

La duración de los episodios con inversiones térmicas varía entre uno y más de siete días. También hay diferencias según la altitud y la orientación, siendo más frecuentes los episodios en las medianías y cumbres que en las costas.

La manera de proceder fue contabilizar el número y tipo de episodios con inversión térmica entre dos localidades situadas a diferente altitud, durante los meses de julio y agosto del periodo 1986-2015.

En la vertiente Este se obtuvo un total de 72 episodios, de los cuales más de un 70% se producen en altitudes superiores a los 300 m. Lo más frecuente es que a esa altitud tenga una duración de un día (37%) o de dos días (21,6%). Por debajo de esa cota, el



número total de episodios desciende notablemente y la mitad de ellos, 52,4%, dura un sólo día (tabla 8).

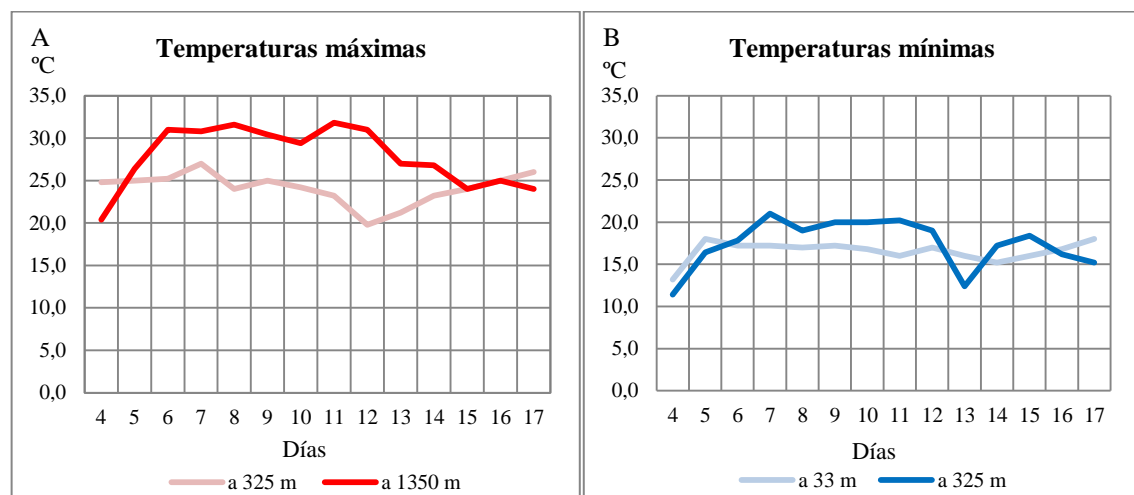
**Tabla 8. Duración de los episodios en julio y agosto en la vertiente Este (1986-2015).** Se expresa en %.

	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	≥7 días	Nº total de episodios	Porcentaje
Entre 33 y 325 m	52,4	28,6	14,3	0,0	0,0	4,8	0,0	21	29,2
Entre 325 y 1350 m	37,3	21,6	13,7	19,6	5,9	0,0	2,0	51	70,8

Fuente: AEMET. Elaboración propia.

Son extraños los episodios de más de cuatro días seguidos con inversión, aunque existen algunos cuya duración puede igualar e incluso superar los siete días.

Para explicar este último argumento se analiza un episodio concreto. Es el caso del ocurrido en el mes de julio de 1990 con una longitud de 10 días de duración. A 1350 m las temperaturas rondaron los 30°C de máximas en casi todos los días, mientras que en la cota inmediatamente más baja, a 325 m, no se superó los 27°C, suponiendo una diferencia térmica de más de 3°C. Por la noche esas diferencias se redujeron entre ambas altitudes, incluso el día 13, la inversión desapareció en las temperaturas mínimas (figura 15B).



**Figura 15. Evolución de las temperaturas en el episodio del 6 al 15 julio de 1990 en la vertiente Este.**

Fuente: AEMET. Elaboración propia.

En el caso de la vertiente occidental se obtiene un total de 203 episodios y más de un 80% se producen en medianías, entre 410 y 844 m y entre los 844 y 1350 m, mientras que en costas ese porcentaje se reduce al 17%. La mayoría de los episodios vuelven a

tener una duración de un día, si bien destaca que entre 410 y 844 m el 20% de los episodios duran más de 7 días.

**Tabla 9. Duración de los episodios en julio y agosto en la vertiente Oeste (1986-2015).**  
Se expresa en %.

	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	≥7 días	Nº total de episodios	Porcentaje
<b>Entre 58 y 410 m</b>	47,1	26,5	11,8	2,9	0,0	2,9	8,8	34	16,7
<b>Entre 410 y 844 m</b>	22,9	16,9	12,7	11,9	11,9	3,4	20,3	118	58,1
<b>Entre 844 y 1350 m</b>	45,1	33,3	11,8	7,8	2,0	0,0	0,0	51	25,1

Fuente: AEMET. Elaboración propia.

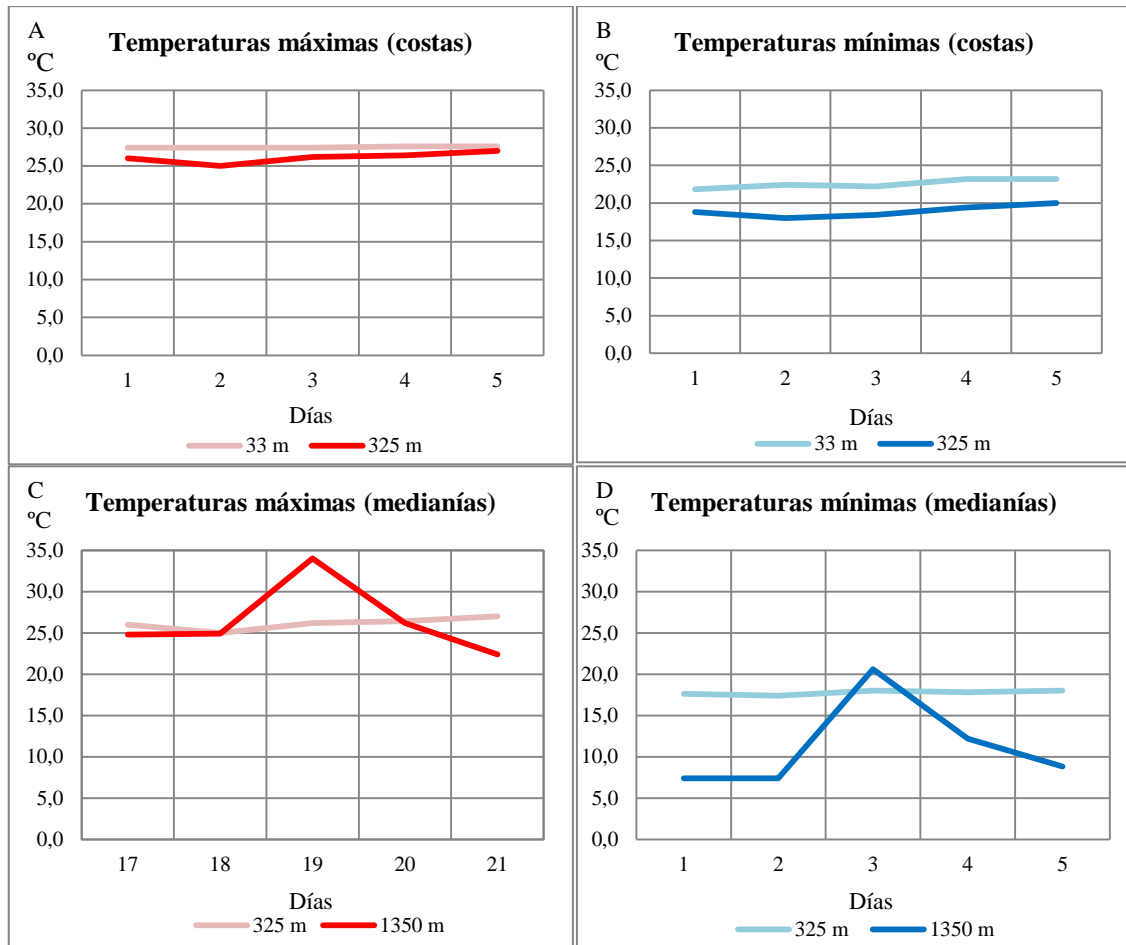
Los resultados obtenidos indican que en la vertiente oriental son más frecuentes los episodios con inversión de uno a tres días, mientras que en la Oeste, siguen siendo igual de frecuentes, pero también son significativos los que duran más de una semana (tablas 8 y 9).

Llama la atención este hecho y por eso se seleccionan, a modo de ejemplo, dos episodios de inversión térmica diferentes: uno de *elevado contraste térmico* y otro de *larga duración*.

1. Hay episodios de un solo día de duración, pero con una diferencia térmica muy elevada, de hasta 10°C. Es el caso del día 19 de agosto de 1989, en el que la temperatura a los 1350 m fue 10°C más cálida que a 325 m.

En las cumbres, a 1350 m, la temperatura máxima alcanzó 34,0°C, mientras que en las medianías, a 325 m, apenas superó 26,0°C (figura 16C). En cambio, en la costa siempre hizo más calor que a 325 m (figura 16A). Por la noche, la inversión en la cumbre se mantuvo pero sólo fue de 2°C (figura 16D).

El gradiente térmico medio anual entre esas dos localidades para el mes de agosto, puesto que se trata de un episodio en este mes, es de 0,22°C/100 m y eso significa que si a 325 m había 26°C, a 1350 m debería haber 2,2°C menos, es decir 23,8°C cuando, en realidad, se registró 34,0°C, diez grados más de lo que le correspondería.



**Figura 16.** Evolución de las temperaturas en el episodio del día 19 de agosto de 1989 en la vertiente Este. Fuente: AEMET. Elaboración propia.

Entre 33 y 325 metros no se produjo inversión térmica, aunque las temperaturas máximas sólo fueron 1°C más cálidas en la costa que a 325 m (figura 16A). Por la noche, la diferencia en la temperatura mínima entre ambas altitudes era de alrededor de 3°C.

Los mapas que se muestran a continuación indican la situación atmosférica que tuvo lugar el día 19 de agosto de 1989. En este episodio, el aumento de las temperaturas a la cota de los 1350 m no estuvo asociado a un evento de intrusión cálida de aire sahariano. El mapa de análisis en superficie refleja la situación habitual del Anticiclón de las Azores al Noroeste del archipiélago y el centro de bajas presiones al Noroeste en el continente africano (figura 17). En este caso, la situación atmosférica se corresponde a un día de alisio, es por ello que, la razón de ese comportamiento térmico anómalo pudo deberse a un día puntual en el que la capa de estratocúmulos fue muy compacta, situándose en la vertiente de barlovento por debajo de los 1.000 m como es habitual en verano y propiciado temperaturas más elevadas por encima de esa cota.

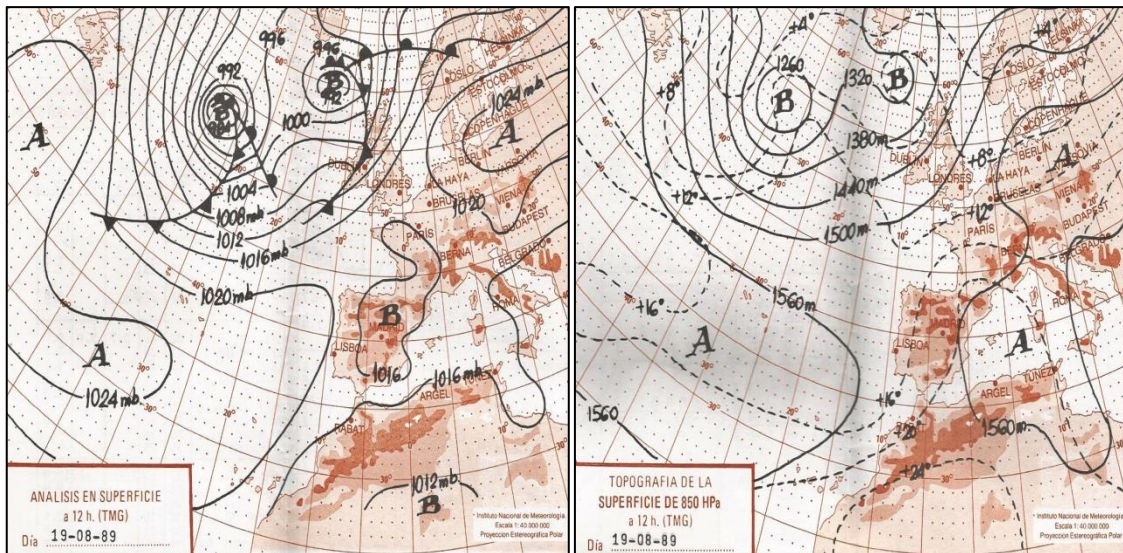


Figura 17. Mapas del tiempo a nivel de superficie y de 850 hPa a las 12 h del día 19 de agosto de 1989. Fuente: AEMET.

2. El otro tipo de episodio lo determina la *longitud o duración* del evento. A modo de ejemplo se seleccionó el ocurrido en las medianías.

El episodio se produjo entre los días 6 y 14 de julio de 2010 y tuvo una duración aproximada de 9 días con inversión térmica. Desde el día 4 de julio, las temperaturas máximas aumentan progresivamente y a partir del 6 comienza a haber mayor temperatura a 410 m que a 844 m, alcanzándose el pico el día 11. A partir de esa fecha, la temperatura máxima comienza a descender hasta restablecer de nuevo sus valores habituales el día 16 (figura 18A).

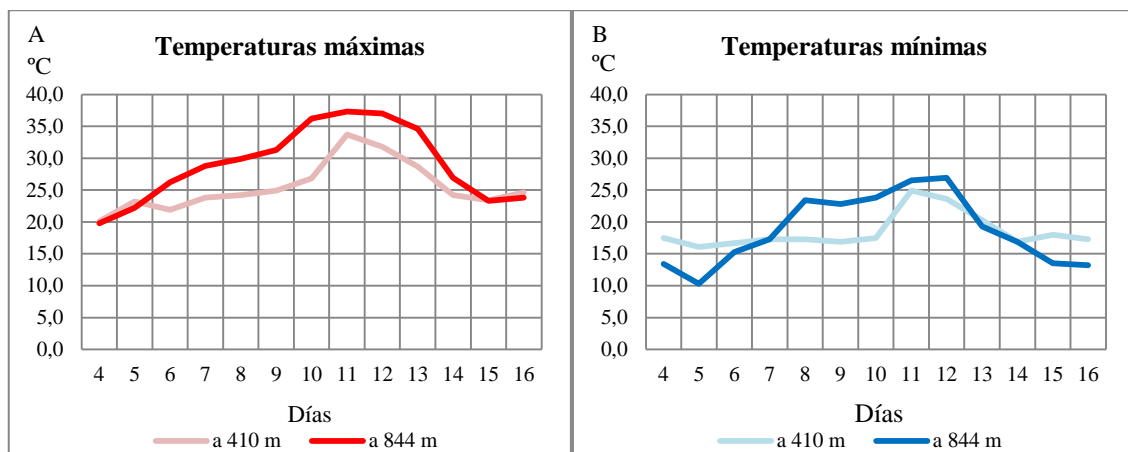
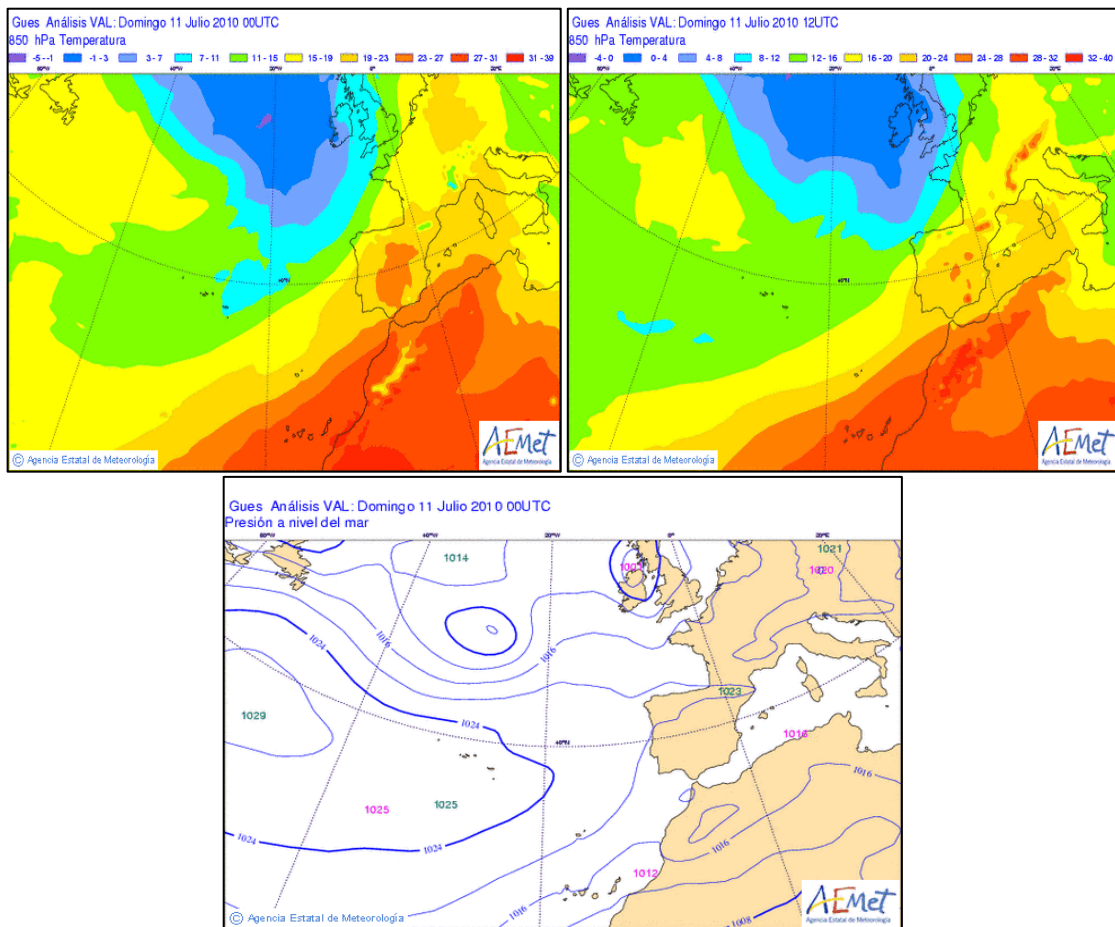


Figura 18. Evolución de las temperaturas en el episodio del 6 al 14 de julio de 2010 en la vertiente Oeste. Fuente: AEMET. Elaboración propia.

Las noches también fueron más cálidas a 844 m que a 410 m a partir del día 7 y hasta el 12 (figura 18B).

La entrada de calor fue muy brusca tanto durante el día como la noche, con un aumento térmico de más de 17°C entre los días 4 y 11 de julio. Si hizo calor en las medianías durante el día, más de 37°C, también lo hubo por la noche con 26°C.

Los mapas geopotenciales que se presentan a continuación corresponden al 11 de julio, día en el que se alcanzaron los valores máximos de temperatura del episodio.



**Figura 19.** Mapas de reanálisis a 850 hPa y mapa del tiempo a nivel de superficie del día 11 de julio de 2010. Fuente: AEMET.

Las Islas Canarias se ven influenciadas por el centro de bajas presiones situadas al Este (figura 19C). También es visible la presencia de una lengua cálida procedente del continente africano que es causante del aumento térmico que se produjo en el episodio (figura 19A y B).

En la tabla 10 se indican los datos del sondeo termodinámico de ese día hasta 1.376 metros de altitud.

A 100 m, la temperatura es de 28,4°C y la humedad de 33%. Conforme se asciende en la vertical éstas van disminuyendo y aumentando respectivamente hasta llegar a los 364 m, donde se produce la primera inversión térmica. Posteriormente el gradiente se recupera y la temperatura vuelve a descender hasta una cota de 730 m, donde se produce la segunda inversión térmica y ya a 860 m la temperatura llega a ser 3°C mayor con una humedad relativa de más de un 20% menor con respecto al inicio del sondeo (tabla 10).

**Tabla 10. Sondeo termodinámico de Gúimar del día 11 de julio de 2010 a las 12 horas.**

Presión	Altura	Temp.	Humedad	Dirección	Velocidad
hPa	m	°C	%	deg	km/h
1002.0	105	28,4	33	60	18,5
1000.0	124	26,0	30	65	13,0
979.0	310	25,0	36	43	18,5
973.0	364	26,8	24	36	20,4
972.0	374	26,8	24	35	20,4
954.0	538	27,0	21	45	18,5
935.0	715	25,6	26	19	16,7
933.0	734	28,2	20	16	16,7
932.0	744	30,8	14	15	14,8
925.0	811	31,8	7	5	14,8
920.0	860	31,6	6	12	14,8
899.0	1065	29,9	6	40	18,5
888.0	1175	29,0	6	60	29,6
883.0	1225	28,6	6	56	31,5
868.0	1376	28,4	8	45	33,3

Las inversiones térmicas se indican en color rojo.

Fuente: University of Wyoming

En este caso se puede ver cómo la temperatura el día 11 experimentó dos inversiones térmicas: la primera en torno a 400 m y la segunda alrededor de los 800 m. Si relacionamos esos datos con los obtenidos en las medianías de la vertiente occidental, se puede ver que el mayor aumento térmico se produce justamente a esa cota (figura 18A).

## 6. APLICABILIDAD DE SU CONOCIMIENTO

El estudio de cualquier variable climática es necesario para el desarrollo de las diferentes actividades del ser humano. Algunos de los resultados obtenidos en este Trabajo de Fin de Grado pueden ser útiles:

a) *Para la prevención ante el riesgo de incendios forestales.* Se ha comprobado que las medianías altas y cumbres, entre 400 y 850 m en el Oeste y entre 300 y 1350 m en el Este, son las zonas con un mayor número de días con inversiones térmicas, es decir hace más calor “arriba” que “abajo”, sobre todo en verano. El comportamiento anómalo de la temperatura, además se acompaña de una disminución de la humedad ambiental, lo que supone el ambiente idóneo para que se produzcan los incendios.

b) Conocer cómo varía la temperatura con la altitud también es útil para *explicar la diversidad del paisaje agroclimático.* Según García Rodríguez (1992) la singularidad climática que determina la desaparición del mar de nubes y por tanto, la presencia de temperaturas más cálidas hacen posible la existencia de cultivos de plátanos en la vertiente a sotavento del alisio, a la cota de 500 m. Sin embargo, la sucesión de fenómenos como el efecto foehn puede tener consecuencias negativas, como los daños que, en ocasiones, se generan en los cultivos de plátanos y almendros del valle de Aridane debido al desecamiento del aire que desciende por la ladera (García Rodríguez, 1992; Máyer 2005). Es por ello que conociendo el comportamiento de las variaciones térmicas e hídricas en las diferentes altitudes se puede aplicar con mayor exactitud los lugares idóneos para implantar los cultivos que precisen de unos umbrales térmicos determinados, que en el caso del plátano son los 13°C.

## 8. CONCLUSIONES

La temperatura es un elemento climático que difiere notablemente, en cualquier territorio, en función de su altitud y orientación, y el momento del día. Esas variaciones altitudinales se estudian a través del cálculo de los gradientes térmicos verticales y en este Trabajo de Fin de Grado se ha realizado una aproximación a sus rasgos en las vertientes Este y Oeste de la isla de La Palma, analizando el diferente comportamiento a escala mensual y anual.

En primer lugar, el ambiente térmico en las dos vertientes es diferente, la ladera occidental es más cálida que la oriental. La razón de esa diferencia se debe a la acumulación de nubosidad asociada al alisio en la del Este, que propicia unas temperaturas más suaves que en la del Oeste.

En relación a la pregunta *¿cómo es el gradiente en el Este y Oeste de La Palma?* hay que señalar que el comportamiento del gradiente medio es diferente en ambas vertientes, siendo más rápido en la Oeste, alrededor de  $0,75^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ , que en la Este con  $0,68^{\circ}\text{C}$  cada 100 m. La explicación de ese comportamiento desigual se debe nuevamente al papel atemperador del mar de nubes en la segunda vertiente. Esas diferencias también son visibles con la altitud, ya que en las costas, el gradiente térmico disminuye más rápidamente, mientras que en las medianías y cumbres su comportamiento se ralentiza.

A la pregunta *¿cómo varía el gradiente a lo largo del año?* se ha podido comprobar que existen importantes variaciones del gradiente entre el invierno y el verano, y que son más notables en medianías que en costas. En la vertiente Oeste, entre 410 y 844 m, el gradiente medio en el mes de julio es inferior a cero grados,  $-0,02^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ , lo que quiere decir que la temperatura aumenta con la altitud. El motivo de ese comportamiento anómalo de la temperatura son las inversiones térmicas que se producen en las medianías y cumbres. La intensidad de este fenómeno es más marcada en verano lo que propicia un descenso del gradiente térmico vertical medio de esos meses. Este argumento responde a la pregunta *¿qué causa la ralentización del gradiente térmico?*

Las inversiones térmicas también muestran una frecuencia y duración diferentes en las dos vertientes estudiadas. En el caso de las medianías orientales, los días con inversión térmica suponen el 8,3% de los días del año, mientras que en las occidentales ese valor se incrementa hasta el 13% de los días.

Llegados a este punto, la pregunta que habría que formularse es *¿cómo son los episodios en los que se produce una inversión del gradiente?* Los episodios con gradiente térmico negativo poseen diferencias temporales y espaciales. En cuanto a la primera, se ha comprobado que los eventos con inversión del gradiente tienen distintas duraciones, de uno a tres días en la mayoría de los casos. En cuanto a la segunda, en la vertiente Este son más frecuentes los episodios de un día de duración, mientras que en



la Oeste no son extraños los eventos de más de siete días seguidos, ya que esos episodios suponen un 20% de los casos.

Finalmente, sobre el *interés y relevancia que puede tener el análisis del gradiente térmico*, pienso que conocer cómo es y cómo varía la temperatura en estas dos vertientes de la isla de La Palma puede ser útil en la prevención de incendios forestales durante el verano o para explicar la diversidad del paisaje agroclimático.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARMENTA, G. E. (2013). Análisis detallado del efecto foehn generado por la Cordillera Oriental en el alto Magdalena (Huila y Tolima). Trabajo de fin de grado. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia.
- BULLÓN, F. (2006). *Meteorología del Aeropuerto de La Palma*. Disponible en [http://www.aemet.es/documentos/es/conocerlas/aeronautica/meteo\\_lapalma.pdf](http://www.aemet.es/documentos/es/conocerlas/aeronautica/meteo_lapalma.pdf). Consultado el 17 de marzo de 2015.
- CAMPOS, M. y CASTRO, V. (1992). El clima a sotavento de las montañas de Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos*, nº 2, 1-21.
- CRIADO, C. y DORTA, P. (2003). An unusual “blood rain” over the Canary Islands. The Storm of January 1999. *Journal of Arid Environments*, nº 55, 765-783.
- CUADRAT, J. M. y PELLICER, F. (1983). Aproximación al estudio del clima y su incidencia en el modelado morfoclimático actual en las Sierras Ibéricas entre el Jalón y el Moncayo. *Turismo IV*. Tarazona. nº 4, 237-254.
- CUADRAT, J.M. y PITA, M.F. (1997). *Climatología*. Cátedra. Madrid.
- DEL VALLE, J. y SAN ROMÁN, J. (1994). Gradiente pluviométrico en el macizo del Moncayo (Zaragoza y Soria). *Geographicalia*, nº 31, 71-81.
- DODSON, R. and MARKS, D. (1997). Daily air temperature interpolated at high spatial resolution over a large mountainous region. *Climate Research*, nº 8, 1-20.
- DORTA, P. (1996). Las inversiones térmicas en Canarias. *Investigaciones Geográficas*, nº 15, 109-124.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. (1995). *Manual de Climatología aplicada. Clima, medio ambiente, planificación*. Síntesis, Madrid.
- FERNÁNDEZ, F. y RASILLA, D. (1992). El viento en la cornisa cantábrica: Avance de un estudio sobre los temporales del Sur. *Cuadernos de Sección. Historia*, nº 20, 271-295.
- FONT TULLOT, I. (1959). El clima de las Islas Canarias. *Anuario de Estudios Atlánticos*, nº 5, 57-104.

GARCÍA RODRÍGUEZ, J. L. (1992). *Emigración y agricultura en la isla de La Palma*. Consejería de Agricultura y Cabildo insular de La Palma. Santa Cruz de Tenerife.

HUFTY, A. (1975). Gradients verticaux de température et combinaisons des éléments du temps. *Annales de Géographie*, n° 465, 526-542.

LINARES, J. C.; VIÑEGLA, B.; CARREIRA, J. A. (2007). Factores climáticos determinantes de la dinámica poblacional en *Abies pinsapo*. *Iniciación a la investigación*, n° A6, 1-9.

LÓPEZ GÓMEZ, A. (1975). Inversión de temperatura entre Madrid y la sierra de Guadarrama con advección cálida superior. *Estudios Geográficos*, n° 138-139, 567-604.

MARTÍN, J. M. (1995). Propuesta metodológica para la obtención de gradientes termohídricos anuales. *Lurrualde*, n° 18, 137-154.

MARTÍN VIDE, J. (1991). *Fundamentos de Climatología analítica*. Síntesis, Madrid.

MARZOL, M<sup>a</sup> V. (1990). Los factores atmosféricos y geográficos que definen el clima del archipiélago canario. *Aportaciones en Homenaje al profesor Luis Miguel Albentosa*. Tarragona. Diputación provincial de Tarragona, 151-176.

MARZOL, M<sup>a</sup> V. (1993). Tipificación de las tres situaciones atmosféricas más importantes en las Islas Canarias. En *Strenae Emmanuetae Marrero Oblatae* (Díaz Padilla, G. y González, F., eds.). La Laguna. Universidad de La Laguna, 79-95.

MARZOL, M<sup>a</sup> V. y MÁYER, P. (2012). Algunas reflexiones sobre el clima de las islas Canarias. *Nimbus*, n° 29-30, 399-416.

MARZOL, M<sup>a</sup> V. y MÁYER, P. (2013). Análisis de la pluviosidad en las Islas Canarias mediante la elaboración de gradientes. En *XIII Coloquio de Geografía*, AGE, Tomo I, 1-11. Palma de Mallorca.

MAYER, P. (2005). El clima de la isla de La Palma. Tomo 1, 49-60.

MELENDO J.; ARBONÉS N.; CANCER L.; MAZA P.; y LAMPRE F. (2002). *Manual de técnicas de montaña e interpretación de la naturaleza*. Editorial Paidotribo. Barcelona.

PICAZO, M. (2000). *Los grillos son un termómetro: curso práctico de meteorología*. Martínez Roca. Madrid.

PÉREZ, A. (2014). La insolación en la isla de La Palma. Trabajo de fin de grado. Facultad de Geografía e Historia. Universidad de La Laguna.

RASO NADAL, J.M. (1981). Precipitación y altitud en el Mediterráneo Occidental: el caso de la cordillera de Tramuntana. En *VII Coloquio de Geografía*, AGE, Tomo I, 155-158. Pamplona.

SÁNCHEZ, J. (1995). Propuesta metodológica para la obtención de gradientes termohídricos anuales. *Lurralde*, nº 18, 137-154.

SANZ PÉREZ, E. (1987). *El Karst del sur y oeste del Moncayo*. Servicio Geológico, Centro de Publicaciones del MOPU. Madrid.

## 9. CONSULTAS BIBLIOGRÁFICAS

AEMET (2015). *Informe Climatológico Mensual*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Delegación Territorial de la AEMET en Santa Cruz de Tenerife.

AUFFRAY, A.; BRISSON, A.; TAMBURINI, A.; DZIAK, V. MALOISEL, V. et MARTINONI-LAPIERRE, S. (2010). *Climat de la région Rhône-Alpes*, Météo-France Centre-Est, Division Développements-Etudes-Climatologie.

BAPTISTA, P.; HERNÁNDEZ, R.; FERNÁNDEZ, C (1991). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill Interamericana. Primera Edición. México, D.F.

DE LAS CASAS, P. J. (2006). *Geografía universal y geografía particular de la isla de San Miguel de La Palma*. Ediciones “Rayas” (Museo de Historia de Educación – La Palma). Cabildo Insular de La Palma.

MORALES, G. y PÉREZ, R. (2000). *Gran Atlas Temático de Canarias*. Editorial Interinsular Canaria. Santa Cruz de Tenerife.

MORENO, M<sup>a</sup> C. y MARTÍN VIDE, J. (2007). Dos ejemplos de gradientes térmicos elevados en superficies naturales y artificiales en verano. *Nimbus*, nº 19-20, 181-190.

ROLLAND, C. (2003). Spatial and Seasonal Variations of Air Temperature Lapse Rates in Alpine Regions. *J. Climate*, nº 16, 1032–1046.