

La insolación en la isla de La Palma

Diferencias del comportamiento a escala
espacial y temporal.



Universidad
de La Laguna

Trabajo realizado por: Ainhoa del Pino Pérez Rodríguez
Dirigido por: María Victoria Marzol Jaén

ÍNDICE

	Págs.
1. INTRODUCCIÓN	5
2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS DEL TRABAJO	13
3. ÁREA DE ESTUDIO Y FUENTES UTILIZADAS	13
4. FASES Y METODOLOGÍA DEL TRABAJO	16
5. RESULTADOS	21
5.1. La insolación potencial e insolación real en la isla de La Palma.....	21
5.2. Comportamiento medio de la insolación en La Palma	24
5.3. Características de la insolación en La Palma durante el periodo 2011-2013	28
5.4. La relación de la insolación con otras variables meteorológicas.....	31
5.5. Comportamiento de la insolación en un día típico de alisio (2011-2013).....	34
6. CONCLUSIONES	42
7. POSIBLE APLICACIÓN	44
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
9. CONSULTAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

	Págs.
Tabla 1. Características de las estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio con registros de insolación en La Palma	14
Tabla 2. Disponibilidad de datos diarios de insolación (2011-2013) de seis localidades de La Palma, obtenidos durante el periodo de Prácticas Externas.....	16
Tabla 3. Número medio de horas de sol teóricas mensuales o insolación potencial de diferentes localidades en La Palma, calculadas mediante SIG	21
Tabla 4. Número de las horas de sol reales o insolación real de diferentes localidades en la isla de La Palma.....	22
Tabla 5. Insolación relativa media mensual de diferentes localidades en la isla de La Palma, calculada mediante la relación de las horas teóricas de sol con las horas reales de sol registradas. Expresada en %	23
Tabla 6. Anomalías del número de horas de sol anuales (2011-2013) en cinco localidades con respecto a las medias anuales de diferentes periodos temporales de cada estación.....	29
Tabla 7. Correlación de las horas de sol con otras variables meteorológicas en cuatro localidades de La Palma.....	31
Tabla 8. Correlación entre la radiación y las horas de sol e insolación en tres localidades	33
Tabla 9. Número de días resultantes a partir de los tres métodos utilizados para la elección de días significativos de alisio durante junio y julio (2011-2013).....	34
Tabla 10. Características del viento en los días seleccionados a partir de los criterios aplicados en el viento en el aeropuerto de Mazo en busca de episodios de alisio significativo en los meses de junio y julio (2011-2013).....	38
Tabla 11. Selección de los días de alisio significativo en la isla de La Palma a partir el triple análisis en los meses de junio y julio (2011 - 2013)	39

ÍNDICE DE FIGURAS

	Págs.
Figura 1. Heliógrafo de Campbell – Stokes.....	6
Figura 2. Tipos de bandas del heliógrafo.....	7

Figura 3. Principales formas de relieve en la isla de La Palma que condicionan el comportamiento de las diferentes variables climáticas.....	11
Figura 4. Esquema de los condicionantes de la insolación en La Palma.....	12
Figura 5. Localización de la isla de La Palma	14
Figura 6. Localización de las estaciones meteorológicas que se han utilizado en el análisis de la insolación en La Palma.....	15
Figura 7. Plantilla graduada utilizada en la lectura de bandas del heliógrafo.....	16
Figura 8. Ejemplos de trazos de las quemaduras en los heliogramas.....	17
Figura 9. Plantilla utilizada en el análisis de la localización del anticiclón de las Azores a partir de los mapas del tiempo diarios.....	20
Figura 10. Evolución del nº de horas de sol anual en el aeropuerto de Mazo.....	25
Figura 11. Total de horas de sol anuales en La Palma.....	26
Figura 12. Porcentaje estacional de horas de sol en Las Tricias y en Mazo.....	27
Figura 13. Diferentes comportamientos mensuales de las horas de sol de cuatro localidades de las dos vertientes de la isla.....	28
Figura 14. Anomalías del número de horas de sol mensuales (2011-2013) en cinco localidades con respecto a las medias mensuales de diferentes periodos temporales de cada estación.....	29
Figura 15. Frecuencia de la localización del núcleo del anticiclón de las Azores o la mayor presión a partir del análisis de mapas de superficie de junio y julio 2011-2013.....	35
Figura 16. Frecuencia de las direcciones y velocidad media según las direcciones de viento en el aeropuerto de Mazo en el periodo 1970-2013, y junio y julio de 1970-2013 y de 2011-2013.....	37
Figura 17. Mapas del de reanálisis, mapas de superficie y características del las variables meteorológicas en cinco localidades de la isla de La Palma durante los días 22 de junio de 2011, 2 de julio de 2011 y 23-24 de junio de 2013, representativos de un alisio significativo.....	39

*La Insolación en la isla de La Palma.
Diferencias del comportamiento a escala temporal y espacial.*

RESUMEN

La insolación en la isla de La Palma es una variable meteorológica poco estudiada debido a la deficiencia de estaciones meteorológicas que recojan información de la misma. El objetivo de este trabajo es caracterizar su comportamiento medio espacial y temporal a partir de la información disponible.

Durante el período de prácticas se han extraído los datos diarios de la insolación de cinco localidades de la isla, de los años 2011 a 2013, con la finalidad de analizar las diferencias de ese trienio respecto a los valores medios. Además, se consideró interesante conocer la relación de la insolación con otras variables meteorológicas y con un tipo de tiempo, el régimen de alisio, por ser el más frecuente y característico en Canarias. Para ello, se ha utilizado la combinación de tres metodologías: uso de mapas del tiempo, análisis del viento y de la nubosidad.

Palabras clave: Insolación, horas de sol, relieve, mar de nubes, La Palma.

*Insolation on the island of La Palma.
Behavioral differences to temporal and spatial scale.*

ABSTRACT

The sunshine on La Palma island is a weather variable understudied due to deficiency of weather stations to collect the same information. The objective of this research is to characterize the spatial and temporal behavior using the available information.

During “Prácticas Externas” time, the daily insolation data was taken from five localities of the island for three years, from 2011 to 2013, in order to analyze the differences of the three-year period to the average values. In addition, it was considered interesting to know the relation of the insolation with other meteorological variables and with a kind of weather, the trade wind regime, because this is the most common and characteristic in the Canaries. For this we have used a combination of three methods: analysis of weather maps, of wind and cloud cover.

Key words: Insolation, hours of sunshine, relief, sea of clouds, La Palma.

1. INTRODUCCIÓN

Toda la energía del planeta proviene de forma directa o indirecta del sol. El estudio del sol y el aprovechamiento óptimo de la energía son requisitos indispensables para conservar adecuadamente la Tierra (Bachiller, 2009). Sin embargo, a pesar de la importancia que tiene la llegada de la energía solar a la superficie de la Tierra, tanto la radiación como la insolación son variables meteorológicas con muy poca representatividad en los estudios climáticos, energéticos, agrícolas, turísticos, etc. por diferentes motivos, entre los que destacan la escasez de estaciones meteorológicas que registren este elemento climático, la escasa longitud de las series disponibles, por la subjetividad del registro de la nubosidad (variable que impide la recepción de rayos solares) o porque existe una notable ausencia de metodologías para estudiar la calidad y homogeneidad de las series (Martín Vide *et al*, 2006).

Al empezar el trabajo han surgido numerosas dudas y preguntas que ha sido necesario contestar. Por ejemplo *¿qué es la insolación?, ¿cómo se mide? ¿cuál su importancia?, ¿cuál es su comportamiento general? ¿qué factores influyen para que no sea igual en todas partes?, ¿cuáles son esos factores en el caso de la isla de La Palma? y ¿por qué es necesario un estudio de insolación en la isla de La Palma?*

El término insolación (en inglés *insolation* de *incoming solar radiation*) es definido según la RAE (2001) con cuatro acepciones diferentes que confunden. Las dos con mayor contenido meteorológico difieren puesto que una dice “cantidad de energía recibida por unidad de superficie” y la otra “tiempo que luce el sol sin nubes”. Sin embargo, la cantidad de energía se mide en W/m^2 y es lo que se denomina radiación “Energía procedente del sol en forma de ondas electromagnéticas” (Código Técnico de la Edificación, 2009), mientras que la insolación es, según la World Meteorological Organization (WMO,1997), la suma de intervalos de tiempo (en horas) durante los cuales la radiación solar directa supera el umbral de $120 W/m^2$.

Ahora bien, cabe hacer una diferenciación entre insolación teórica, real y relativa, siendo ésta última la que realmente se denomina insolación.

La insolación teórica o potencial, según Felicísimo (1994) es el tiempo máximo que un lugar puede estar sometido a la radiación solar directa en ausencia de nubosidad, y según Gómez Tagle y Chávez (2004) el número de horas de luz que se puede recibir en un sitio en un periodo de tiempo definido sin tomar en cuenta la nubosidad. En cambio,

la insolación real es el número de horas de luz que recibe un sitio en un periodo definido, teniendo en cuenta la nubosidad (Gómez- Tagle y Chávez, 2004) y la insolación relativa es el cociente entre la duración real de la insolación y la duración astronómicamente posible (WMO,1997). Ésta se expresa en porcentaje y nunca alcanzará el 100% debido a factores geográficos, a ciertas condiciones meteorológicas, a la nubosidad, calima o polvo y a que los rayos llegan más débiles cuando el sol está sobre el horizonte.

Para saber cómo se mide la insolación es necesario acudir al instrumento conocido como heliógrafo. Éste registra el tiempo durante el que se recibe radiación solar directa. Wright (2003), en sus estudios sobre heliofanía, expone que en el momento que existe nubosidad la radiación solar cambia de directa a difusa y, por tanto, la concentración de la misma puede ser insuficiente (menos de 150W/m^2) para que las bandas del heliógrafo se quemen y registren la insolación.

El heliógrafo de Campbell Stokes es el propuesto por la WMO desde 1962 como el instrumento que registra las horas de sol. Al utilizar todos los países el mismo aparato se pueden comparar las mediciones de insolación obtenidas en cada uno de ellos.



Figura 1. Heliógrafo de Campbell – Stokes.

La forma de medir las horas de sol es a partir de la concentración de rayos solares que se produce en la esfera de vidrio del heliógrafo, que actúa a modo de lupa quemando en una banda de papel que se coloca cada día. Las bandas, también conocidas como heliogramas, son tiras de cartulina oscura, no muy sensibles a la

humedad y graduadas con las líneas horarias impresas en blanco. Las bandas deben cambiarse diariamente, después de la puesta del sol, son diferentes en función de la época del año y su colocación en el heliógrafo también varía.

En la figura 2 se representan los tres modelos estacionales de bandas del heliógrafo y el número de horas de sol que se contabiliza en cada caso. En el a) 4.9 horas de sol, en el b) 11.7 horas de sol y en el c) 2.2 horas de sol.

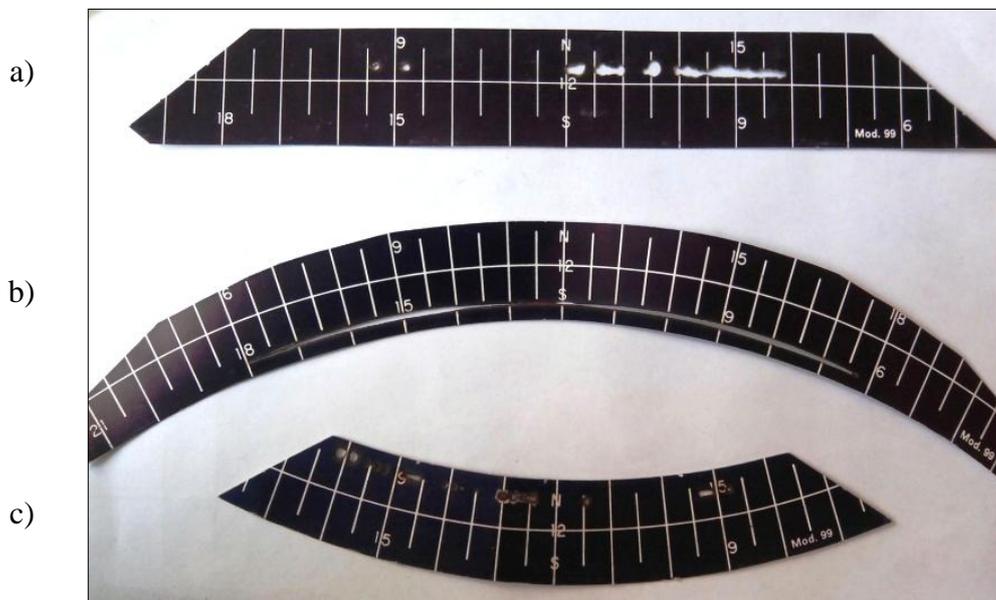


Figura 2. Tipos de bandas del heliógrafo. a) equinoccial, b) de verano y c) de invierno.

-Las bandas equinocciales son rectas y pueden medir hasta 10 horas de sol. Se usan desde el 1 de septiembre hasta el 12 de octubre y del 1 de marzo al 12 de abril.

-Las bandas de verano son largas y curvas, con 12 h, y se utilizan desde el 13 de abril al 31 de agosto en el Hemisferio Norte.

-Las bandas de invierno son cortas y curvas, con sólo 8 h, y comienzan a usarse desde el 13 de octubre hasta el 28-29 de febrero.

De las bandas se obtiene el tiempo que ha brillado el sol y se mide en décimas de horas. Posteriormente, para hallar la insolación se debe poner en relación el número de horas de sol contabilizadas en el heliograma (horas de sol reales) con las que corresponden al lugar en función de su latitud (horas teóricas). Esta relación se expresa en porcentaje y es lo que se denomina insolación relativa.

Para que este registro sea fiable el heliógrafo debe estar ubicado en una zona donde no existan obstáculos a la exposición al sol. Se considera correcta la colocación del heliógrafo y de las bandas cuando la quemadura es paralela y a una distancia de 10 mm de la línea horizontal central de la cartulina, tal como se observa en el heliograma equinoccial (figura 2 a), en cambio la carbonización de la banda de verano es incorrecta (figura 2 b).

Una de las causas de la carencia de datos de insolación es la dificultad que entraña medir esta variable, ya que implica una labor diaria de puesta y cambio de bandas. Además, la lectura de los heliogramas debe hacerse de forma manual y aumentan los errores en su registro. A todo esto hay que añadir los problemas derivados de la mala praxis, en algunas ocasiones, de los responsables del mantenimiento del instrumento, por ejemplo poner varias bandas juntas para no tener que hacer el cambio diario de las mismas o utilizar una misma banda varios días.

El valor, tanto de la radiación como de la insolación, por su importancia climática, biológica y económica, ha sido defendido por numerosos autores (Martín Vide y Moreno, 2001). Los primeros estudios de radiación se remontan al año 1837 y los realizan Claude Poulliet y Perkins Mars debido a su papel para el conocimiento del clima (Gil y Olcina, 1997). También existen estudios sobre la importancia de la insolación para fines energéticos, sobre su relación con incendios forestales, con el ciclo hidrológico, la fotosíntesis de las plantas y cultivos o directamente sobre determinadas variables meteorológicas (Rapp y Lago, 1997).

No hay que olvidar que la radiación solar es la principal fuente de energía del planeta y que tanto ésta, como la insolación, son fundamentales para entender los balances radiativos y energéticos a diferentes escalas. También se han realizado estudios que vinculan la radiación y la insolación con la nubosidad y la oscilación térmica en la península ibérica, comprobando que existe una alta correlación (Martín Vide y Moreno, 2001). Existe, además, relación entre la insolación y la nubosidad con las temperaturas porque cuando hay nubes bajas se produce un forzamiento radiativo negativo por lo que reducen las horas de sol y disminuye la temperatura, sobre todo la máxima, mientras que las nubes altas no son lo suficientemente espesas para impedir la penetración de los rayos solares y producen forzamientos radiativos positivos (Sánchez Lorenzo *et al*, 2008); en este caso, los rayos solares, aunque con poca intensidad, son capaces de quemar la banda de cartulina del heliógrafo (Martín Vide y Olcina, 2001).

Es importante conocer cuáles son los factores que justifican las diferencias tan importantes que hay en la distribución de la insolación en la Tierra. Estos van desde los más generales, como son la constante solar, la fecha, la latitud y del grado de transparencia de la atmósfera, hasta los de carácter astronómico, geográfico, atmosférico y antrópico.

Los factores astronómicos, según Barry (1972), explican la cantidad de energía recibida por la Tierra, que depende de la distancia de ésta al sol, de la altura del sol y de la longitud del día. Así, las variaciones diarias y estacionales de la insolación que recibe la superficie terrestre se deben, en gran parte, a la forma de La Tierra y a los movimientos de rotación y de traslación (Gómez Tagle y Chávez, 2004). En el Hemisferio Norte, durante el solsticio de verano, en torno a junio, los días son más largos porque los rayos del sol inciden de forma más perpendicular, mientras que durante los equinoccios los días y las noches tienen igual duración ya que el sol se encuentra en la vertical del ecuador. Por el contrario, durante el solsticio de invierno, en torno al mes de diciembre, los rayos del sol inciden de forma más oblicua, por lo que los días son más cortos. En ausencia de nubes, las latitudes medias tienen un máximo de horas de sol en un solsticio y un mínimo en el otro solsticio (Cuadrat y Pita, 1997).

El factor geográfico de la latitud determina, a escala global, la insolación. A grandes rasgos, el aumento de latitud reduce la entrada de radiación, y consecuentemente de insolación, porque el acercamiento a los polos supone: a) mayor cantidad de atmósfera que absorbe radiaciones, b) mayor oblicuidad de los rayos y, c) mayor superficie terrestre por la que debe distribuirse la radiación (Quereda, 2005). La latitud explica las diferencias tan significativas de insolación que hay en la península ibérica entre el N, SE el SW, desde el 36% de insolación relativa que tiene Bilbao al 70% de Alicante o el 72% de Cádiz (Sánchez Lorenzo, 2006).

Por otra parte, la disposición y altitud del relieve condicionan la exposición de la superficie terrestre a los rayos solares, encontrándose diferencias entre las solanas y las umbrías. Esta exposición es especialmente importante en regiones montañosas con pendientes importantes y tiene una relación positiva con la latitud puesto que a mayor latitud los contrastes de la insolación por la topografía aumentan (Quereda, 2005).

Además de factores astronómicos, geográficos y atmosféricos, existen los de carácter antrópico que han modificado la evolución temporal de la insolación a escala global. *Global Dimming* es el término que se acuña para referirse a la reducción de la radiación

incidente debido a la abundancia de aerosoles en la atmósfera (Martín Vide *et al*, 2006). Estos actúan como núcleos de condensación favoreciendo la formación de nubes y en consecuencia, reduciendo la insolación y enmascarando parcialmente el calentamiento global (Sánchez Lorenzo *et al*, 2008). La definición temporal de este proceso difiere según los autores. Sánchez Lorenzo *et al*, (2008) indican que el *Global Dimming* comienza desde los años 50 hasta los 80, momento en el que la tendencia se invierte debido a las políticas aplicadas a nivel mundial en busca de la reducción de la emisión de aerosoles (Martín Vide *et al*, 2006) y, por tanto, se produce un aumento de la cantidad de radiación recibida conocido como *Global Brightening*. En este sentido, estudios recientes muestran que la evolución de las temperaturas en España experimentó un descenso desde principios de los años 50 y hasta los 70, con un posterior ascenso hasta la actualidad. Esta tendencia concuerda, a grandes rasgos con las de la nubosidad y la insolación (Sánchez Lorenzo *et al*, 2008).

Al llegar a este punto cabría preguntarse qué se sabe de la insolación en la isla de La Palma y cuáles son los factores que pueden explicar las enormes diferencias espaciales que hay en esta variable climática. Sin lugar a dudas, la latitud determina la elevada insolación que hay en Canarias, en general, y en La Palma en particular. Sin embargo este factor no explica las diferencias espaciales que hay entre el Norte y el Sur de la isla puesto que la variación de la latitud es insignificante. Éstas son explicables por la disposición y altitud del relieve insular en forma de interrogación, constituyendo una alineación dirección Norte-Sur que ocupa casi la totalidad de la isla (figura 3). Las cumbres de La Caldera de Taburiente (2.400 m.s.n.m.), Cumbre Vieja (1.949 m.s.n.m.) y Cumbre Nueva (1.400 m.s.n.m.) determinan que todas las variables climáticas, no sólo la insolación, se comporten de forma diferente en el Este que en el Oeste de ese eje (Bullón, 2006).

En La Palma no se ha estudiado con profundidad el comportamiento de la insolación pero sí el de otras variables, como la precipitación y la temperatura, encontrando diferencias espaciales y temporales impuestas por la disposición y altitud del relieve.

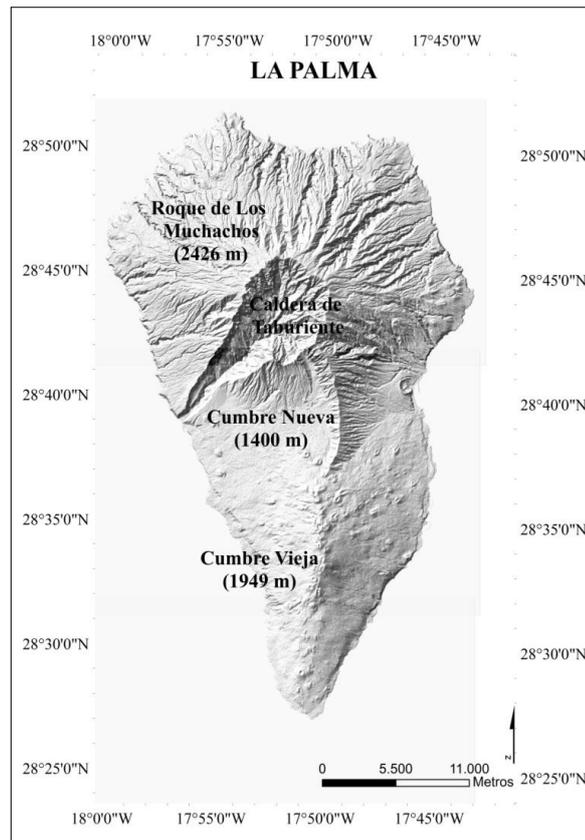


Figura 3. Principales formas de relieve en la isla de La Palma que condicionan el comportamiento de las diferentes variables climáticas.

Fuente: Base topográfica del IGN.

El papel de la nubosidad en la reducción de la insolación es incuestionable. Los alisios son vientos de componentes NNE-ESE, húmedos y frescos por su recorrido sobre el océano, cuya velocidad y dirección se ven modificadas en función de la configuración de las islas; proceden del anticiclón de las Azores y su frecuencia es mayor en verano debido al ascenso latitudinal de este centro de presión. El predominio de situaciones meteorológicas del NE y la existencia de una inversión térmica de subsidencia, fruto de estratificación de la troposfera en dos capas inhiben el desarrollo vertical de la nubosidad (Marzol, 1995; Dorta, 1996) que llega a la vertiente Este de la isla con los vientos alisios y tiene que expandirse horizontalmente formando una capa de estratocúmulos, conocida como mar de nubes.

Los estratocúmulos son nubes de capas bajas, por debajo de los 2.000 metros, cuya frecuencia y altitud es menor a primeras horas del día (Marzol, 1993). Cuando este tipo de nubosidad encuentra un relieve cuya orientación y altitud genera su estancamiento, la radiación solar que llega a la superficie terrestre se reduce, disminuyendo, por tanto, el

umbral de energía suficiente para que se registren valores de insolación, tal y como sucede en la vertiente oriental de la isla de La Palma.

Por otro lado, la sucesión de diferentes tipos de tiempo predominantes en Canarias a lo largo del año, régimen de alisios, tiempo inestable y tiempo sur, explican las diferencias temporales de la insolación (Marzol y Mayer, 2012). Las borrascas del Frente Polar determinan que los meses con mayor nubosidad sean los del invierno y los meses más soleados los del verano. En términos absolutos, la vertiente oriental presenta durante los meses de mayo, junio y julio menor cantidad de horas de sol que en el resto de la isla como consecuencia de la mayor frecuencia del régimen de alisios.

En definitiva, el esquema de la figura 4 muestra la reflexión realizada sobre el nivel de cada uno de los factores que influyen en la insolación de la isla de La Palma y sus interrelaciones más evidentes.

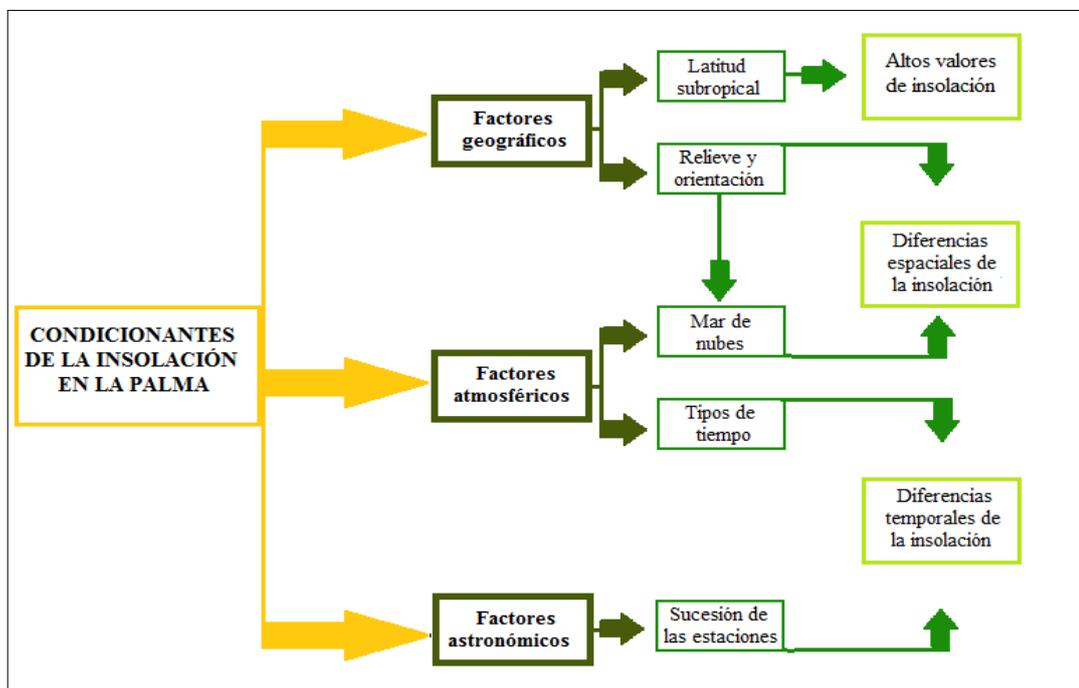


Figura 4. Esquema de los condicionantes de la insolación en La Palma.

Elaboración propia.

En un contexto mundial en el que cada vez toman más protagonismo las energías renovables y en el que se busca la máxima productividad de las actividades económicas se hace necesario conocer la distribución temporal y espacial de esta variable, en busca de la máxima eficiencia para instalar huertos fotovoltaicos, considerar qué tipo de cultivo y en qué zona en función de su fotoperiodo podría ser más rentable, para la

planificación y definición de las áreas turísticas, etc. El interés de centrar el estudio en esta isla radica en que a pesar de no ser una isla de grandes dimensiones, se sabe que existen diferencias considerables en la insolación según la orientación de las vertientes pero es necesario conocer cómo son esas diferencias espaciales y temporales y explicar el papel de los condicionantes que las causan.

2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS DEL TRABAJO

La hipótesis de partida es que la mayor o menor insolación en la isla de La Palma es consecuencia de la disposición del relieve y del mar de nubes.

Este Trabajo de Fin de Grado tiene, a partir del análisis de los datos disponibles de insolación en la isla de La Palma, tres objetivos principales en consonancia con la hipótesis establecida:

1) Conocer cuál es el comportamiento medio de la insolación en la isla de La Palma, a escala espacial y temporal.

2) Conocer cuál ha sido el comportamiento de la insolación en el período 2011-2013 en esa isla y sus relaciones con otras variables como la radiación, la temperatura, la humedad, la nubosidad y la precipitación. Un objetivo secundario será valorar si la insolación en este periodo de tres años ha sido similar o no a los valores medios de años anteriores.

3) En último lugar, conocer cuál es el comportamiento de la insolación en la isla de La Palma en un día típico de alisio. Se elige este tipo de tiempo por ser el más frecuente en el archipiélago canario y para ello se utilizarán diferentes métodos de aproximación.

3. ÁREA DE ESTUDIO Y FUENTES UTILIZADAS

El área de estudio abarca la totalidad de La Palma. Esta isla es la más noroccidental del archipiélago canario que forma parte de la región Macaronésica junto con Azores, Cabo Verde, Madeira e Islas Salvajes. El archipiélago canario se encuentra próximo a las costas africanas y su situación, en torno a una latitud de 27° Norte, va a condicionar de forma muy nítida sus rasgos climáticos. Concretamente, la isla de La Palma está a 28° Norte y 17° Oeste, aproximadamente a unos 400 km de la costa NW de Marruecos y tiene una extensión de 708,22 km² (ISTAC, 2014).

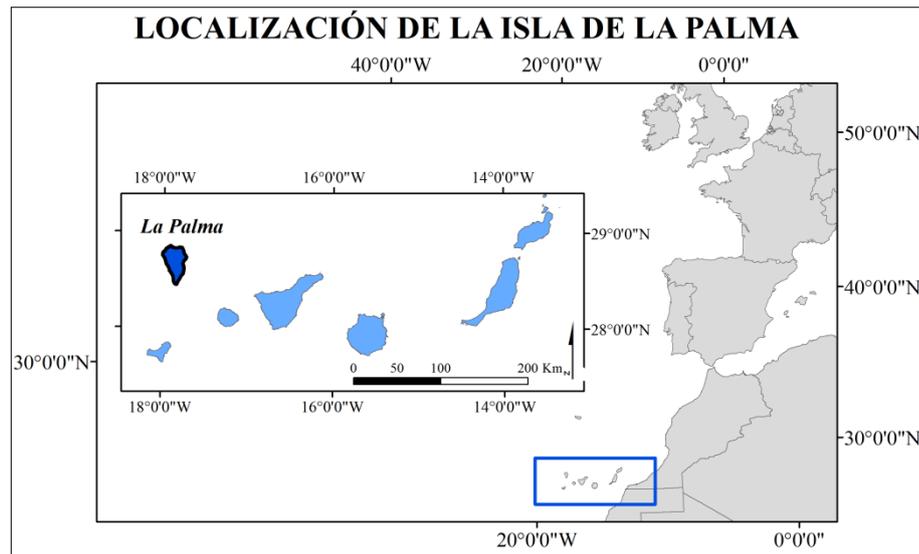


Figura 5: Localización de la isla de La Palma.

La Palma es una isla montañosa, de origen volcánico, con una gran caldera de erosión central, la Caldera de Taburiente, en cuyo borde exterior se alcanza la altitud máxima de la isla (2.423 m.s.n.m.) en el Roque de Los Muchachos (figura 3). La isla presenta importantes diferencias topográficas puesto que su mitad norte se caracteriza por tener profundos valles y altos acantilados a diferencia de la parte sur, que presenta una estrecha alineación montañosa, llamada Cumbre Vieja, en la que todavía hay señas de reciente actividad volcánica (Carracedo *et al*, 2007).

En la figura 6 se localizan las quince estaciones meteorológicas gestionadas por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) que disponen información de la insolación y con el que se elabora el trabajo, y en la tabla 1 se especifican las características de cada una de las series utilizadas.

Tabla 1. Características de las estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio con registros de insolación en La Palma

Estación	Longitud	Latitud	Altitud	Serie	Nº meses con datos	Nº meses sin datos	Nº años con datos	Nº años sin datos
Aeropuerto de Buenavista	28° 40' 20" N	17° 47'042" W	400	1956-1969	147	21	9	5
Aeropuerto de Mazo	28° 37' 59" N	17° 45' 18" W	33	1970-2011	492	12	38	4
Barlovento-Gallegos	28° 49' 23" N	17° 50' 22" W	528	1992-1998	65	19	5	2
Breña Alta	28° 39' 38" N	17° 47' 04" W	325	1988-1998	84	48	5	6
Casa Forestal Barlovento	28° 49' 29" N	17° 48' 17" W	580	1988-1998	118	14	9	2
Casa Forestal El Paso	28° 39' 14" N	17° 51' 12" W	844	1992-1998	70	14	4	3
Casa Forestal Fuencaliente	28° 29' 40" N	17° 50' 35" W	740	1987-1998	125	19	9	3
El Paso	28° 38' 58" N	17° 52' 46" W	620	1986-1998	126	30	6	7
Las Manchas	28° 35' 58" N	17° 52' 47" W	676	1991-1998	71	25	5	3
Las Tricias	28° 46' 54" N	17° 57' 59" W	787	1986-1998	115	41	7	6
Los Llanos de Aridane	28° 39' 32" N	17° 54' 37" W	410	1988-1998	115	17	8	3
Puerto de Naos	28° 35' 37" N	17° 54' 58" W	30	1989-1998	105	15	7	3
San Andrés y Sauces	28° 47' 59" N	17° 46' 19" W	280	1986-1998	127	29	9	4
Tigalate	28° 33' 6" N	17° 48' 5" W	650	1991-1998	66	30	4	4
Tijarafe	28° 42' 34" N	17° 52' 43" W	666	1991-1998	71	25	4	4

Fuente: AEMET. Elaboración propia.

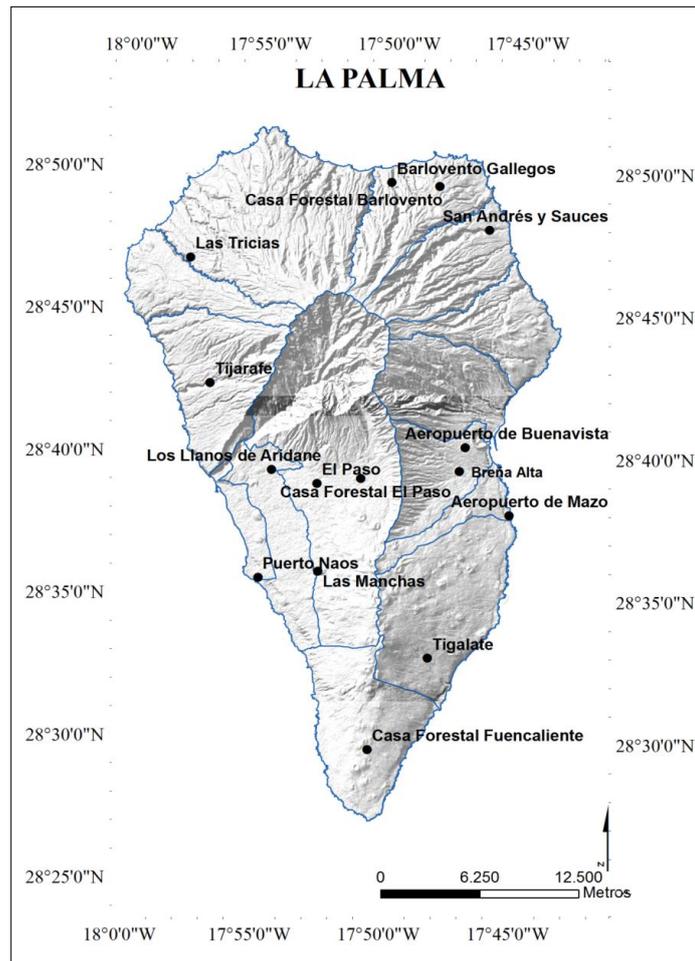


Figura 6. Localización de las estaciones meteorológicas que se han utilizado en el análisis de la insolación en La Palma.

Fuente: IGN y AEMET.

En la actualidad, la AEMET tiene treinta y una estaciones meteorológicas en La Palma. De ellas, sólo seis recogen información sobre la insolación. Esta reducción del número de estaciones con respecto a las de la Tabla 1 indica que en los últimos años ha decrecido notablemente la información de esa variable meteorológica. Para realizar el análisis del comportamiento medio de la insolación insular, el primero de los objetivos propuestos, se han utilizado los valores medios mensuales de las quince estaciones cuyas características figuran en la Tabla 1. Sus periodos temporales son bastante dispares sin embargo, debido a que lo que se pretende es caracterizar cómo es el comportamiento general de esta variable climática en la isla, se ha tomado la decisión de usar todas las series independientemente de su longitud.

Además, durante el periodo de Prácticas Externas una de las tareas realizadas en el Centro Meteorológico ha sido leer los heliogramas del trienio 2011-2013 de cinco

estaciones de La Palma con el fin de contestar al segundo de los objetivos. También se extrajo información de insolación de Mirca pero no se ha usado para el análisis debido a la poca calidad de la serie.

Tabla 2. Disponibilidad de datos diarios de insolación (2011-2013) de seis localidades de La Palma, obtenidos durante el periodo de Prácticas Externas

Estación	Serie	Nº de días del periodo	Nº de días con datos	Horas de sol anuales
Aeropuerto de Mazo	2013	1095	1088	2093
Barlovento - Gallegos	2013	1095	1058	2108
Las Tricias	2013	1095	997	2585
Los Llanos de Aridane	2013	1095	1045	2747
Tijarafe	2013	1095	968	2183

Fuente: AEMET. Elaboración propia.

4. FASES Y METODOLOGÍA DEL TRABAJO

Este estudio se ha llevado a cabo a partir de siete fases diferentes en consonancia con los objetivos establecidos y utilizando diversos métodos de trabajo. Su descripción se realiza siguiendo la temporalidad de las mismas.

1) La obtención de la información de las series recientes de insolación (2011-2013).

Esta fase se ha llevado a cabo mediante la lectura manual de las bandas de cinco localidades y se ha realizado durante el periodo de Prácticas Externas (ver tabla 2).

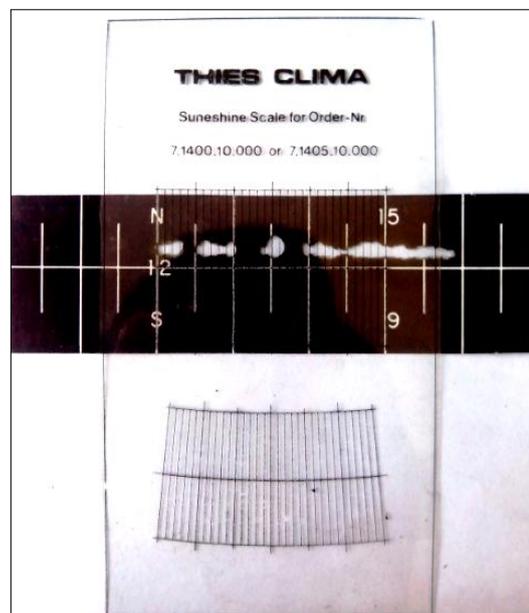


Figura 7. Plantilla graduada utilizada en la lectura de bandas del heliógrafo.

La lectura ha consistido en contabilizar las partes carbonizadas de las bandas. Esta tarea se realiza con la ayuda de una plantilla graduada en décimas de hora (figura 7) en los intervalos de tiempo de 00 a 07 h, de 07 a 13 h, de 13 a 18 h y de 18 a 24 horas, teniendo en cuenta las horas solares y no las locales.

Tras la lectura de cada una de las bandas diarias, se ha efectuado la grabación de datos utilizando el programa informático *SunShine* desarrollado por la Delegación de la AEMET en Santa Cruz de Tenerife y cuyo funcionamiento es muy intuitivo. El fichero que se obtiene contiene información de las horas de sol en cada uno de los intervalos, el total diario, el máximo de insolación teórica y expresada como porcentaje calculado por la relación existente entre la insolación que corresponde por latitud y las horas de sol reales registradas.

La lectura de las bandas ha tenido la dificultad de que la discriminación, suma o no de ciertas quemaduras en las bandas es decisión del lector. En la figura 8 se muestran diferentes tipos de trazos y cuál es su resolución en décima de horas.

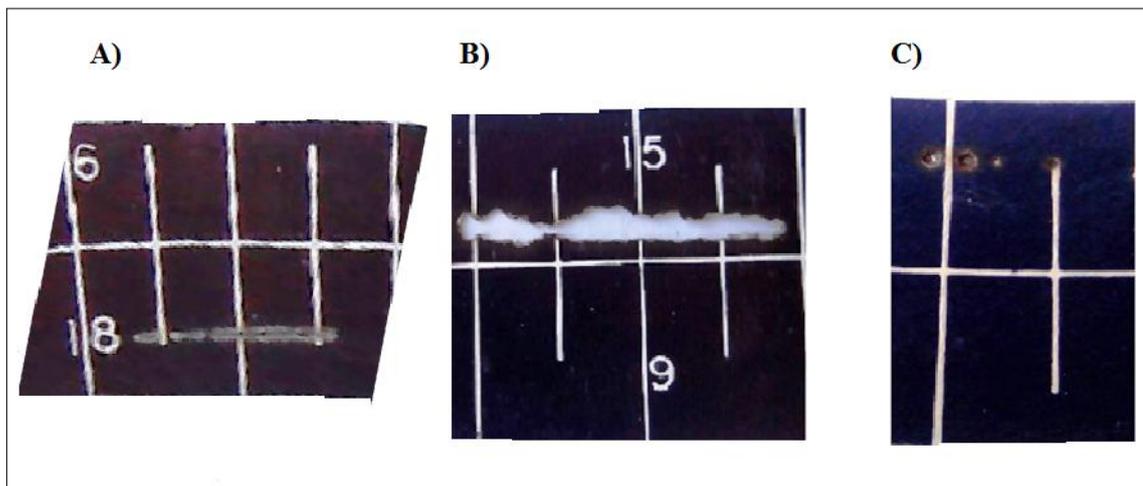


Figura 8. Ejemplos de trazos de las quemaduras en los heliogramas.

a) Línea estrecha: 1.3 horas contabilizadas, b) Trazo ancho y continuo: 2.0 horas contabilizadas y c) Trazos circulares: 0.2 horas contabilizadas.

Para la lectura de los heliogramas se utilizan una serie de recomendaciones que fija el Manual Teórico Práctico del Observador Meteorológico de Superficie, elaborado por la Comisión Nacional del Agua de México (2010). De éstas, se han tenido en cuenta las siguientes:

a) Las horas de sol son resultado de la suma de las décimas de horas en las que la banda está carbonizada.

b) En el caso de que exista más de un trazo circular, se considerarán dos o tres trazos como equivalentes a 0.1 horas, cuatro, cinco o seis trazos como equivalentes a 0.2 horas y así sucesivamente en períodos de 0.1 horas. Hay que tener en cuenta que cada décima de hora corresponde a seis minutos.

c) Cuando el trazo no es más que una línea estrecha, debe medirse la longitud total del trazo aunque la banda de registro esté solo ligeramente descolorida.

2) La recopilación de toda la información existente sobre la insolación en la isla de La Palma para su caracterización.

A partir de los datos medios de quince estaciones se han elaborado los resúmenes anuales, estacionales y mensuales de las horas de sol en cada una de las localidades. Con posterioridad, se ha calculado la insolación y después se caracteriza el comportamiento medio de esta variable a escala temporal y espacial (Objetivo 1).

3) El cálculo de la insolación de las diferentes localidades, entendida como la relación entre las horas de sol teóricas y las horas de sol reales mediante Sistemas Información Geográfica (SIG).

El desarrollo de los SIG, según Gómez Tagle y Chávez (2004), posibilita generar mapas de insolación potencial empleando las relaciones existentes entre el movimiento de rotación y traslación y el relieve de un terreno determinado usando un Modelo Digital Terrestre (MDT), ya que tanto la sombra orográfica como la altitud y la orientación pueden generar grandes diferencias espaciales y temporales.

Los valores resultantes a partir de este método se han puesto en relación con las horas de sol reales de las estaciones meteorológicas de la AEMET y se ha obtenido la insolación relativa. Para comprobar la certeza o no de este método, también se ha realizado el cálculo de la insolación teórica con los datos astronómicos proporcionados en el Calendario Meteorológico de la AEMET. A partir de las correcciones por longitud y latitud respecto a Madrid y teniendo en cuenta las horas del orto y del ocaso se pueden conocer las horas teóricas de sol en cada día del año en cualquier punto del país.

Al comparar ambos métodos de obtención de la insolación teórica se observan diferencias mensuales y anuales. El total anual es inferior si se utiliza el SIG. Por ejemplo, en el aeropuerto de Mazo, estación localizada a menor altitud (33 m.s.n.m.),

las diferencias entre el empleo de uno y otro método son de 248 horas anuales menos usando el relieve, y en el caso de la Casa Forestal de El Paso, a 844 m de altitud, la diferencia es del orden de 323 horas. Habría que analizar con detalle ambos sistemas de obtención de la insolación. En relación a los totales mensuales, el SIG da menor cantidad de horas de sol en febrero que en diciembre, lo que no corresponde con la duración del día. Por ello, finalmente se decide realizar el cálculo de la insolación a partir de las horas teóricas halladas mediante los datos astronómicos de la AEMET.

4) El cálculo de las anomalías de la insolación en el trienio 2011-2013 con respecto a las medias de cada localidad.

La finalidad de este análisis es conocer si se han producido variaciones en el comportamiento de esta variable en los últimos tres años (Objetivo 2).

5) La correlación de la insolación con diferentes variables meteorológicas durante el periodo 2011- 2013, prestando especial interés a los meses del verano.

El interés de centrarse en los meses de junio y julio responde a la certeza de que en ellos es cuando el mar de nubes es más frecuente, y durante el trienio 2011-2013 porque son los años de los que se han leído los heliogramas diarios durante el periodo de Prácticas Externas. Para realizar este análisis comparativo a escala diaria se han utilizado las horas de sol, las temperaturas, la humedad, las precipitaciones y la nubosidad. Se ha puesto, además, en relación la insolación con la radiación, información obtenida del Gobierno de Canarias (GOBCAN), teniendo siempre en cuenta la proximidad de las estaciones de ambos organismos (Objetivo 2).

6) La sexta fase ha consistido en la búsqueda de episodios de alisio representativos en los meses de junio y julio de los años 2011, 2012 y 2013 para conocer cómo se comportó la insolación en la isla durante esos días. En su selección de esos días se han utilizado tres metodologías diferentes:

- a) El análisis de los mapas del tiempo diarios.
- b) El análisis del régimen de vientos en el aeropuerto de Mazo.
- c) El análisis del tipo y cantidad de la nubosidad en el aeropuerto de Mazo.

El uso de las tres metodologías diferentes se justifica porque el nivel de discriminación usándolos de forma individualizada era muy bajo.

Con el *primer método* se buscaba saber cuál es la localización del anticiclón de las Azores en esos días y se ha efectuado a partir del análisis de los mapas diarios del tiempo a nivel del mar, a las 12 horas, de los dos meses estivales –junio y julio- de los tres últimos años. Esto ha supuesto trabajar con un total de 183 días. Esta tarea se ha llevado a cabo mediante la superposición de una plantilla cuadriculada, entre los 25° y 45° Norte y 10° y 30° Oeste, con una extensión de 10° de latitud por 5° de longitud, sobre los mapas diarios del tiempo. Se han elegido como representativos todos aquellos días en los que el núcleo del anticiclón o las mayores presiones, se localizaban sobre la vertical de las Azores o en sus proximidades, es decir en las cuadrículas número 1, 2, 5 y 6 (figura 9). Esta localización implica que la dirección del viento adquiriera la componente típica del alisio.

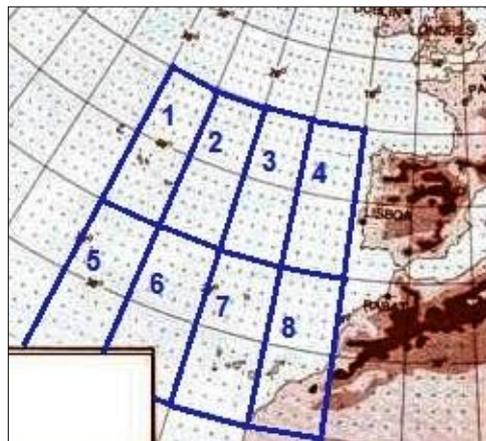


Figura 9. Plantilla utilizada en el análisis de la localización del anticiclón de las Azores a partir de los mapas del tiempo diarios.

El uso de la localización del centro del anticiclón tiene un nivel de discriminación muy bajo por lo que son muchos los días seleccionados como alisio. Por ello ha sido necesario realizar *un segundo método* a partir del análisis de la dirección y velocidad del viento. Para conocer cuál es la dirección y velocidad más frecuentes en los meses y años seleccionados, se realizan tres rosas del viento de 16 rumbos en el aeropuerto de Mazo. Los periodos utilizados en las rosas son:

- 1) Todos los meses de los años del periodo 1970-2013.
- 2) Los meses de junio y julio de los años del periodo 1970-2013.
- 3) Los meses de junio y julio del trienio 2011-2013.

A partir de la comparación de las tres rosas se establecen unos criterios para seleccionar los días de alisio. Estos son que el viento tenga:

- 1) Una dirección entre 0° y 45° (N a NNE).
- 2) Una velocidad superior a los 20 km/h.
- 3) Una frecuencia del primer cuadrante superior a las 18 horas diarias.

En *tercer lugar*, se recaba la información sobre la cantidad (en octas) y el tipo de nubes predominante en el aeropuerto de Mazo en cada uno de esos días. De esa información se seleccionan sólo los días en los que, a las tres horas observadas: 7h, 13h y 18h, existían estratocúmulos (SC) de forma individualizada, porque si se hubiese tomado en cuenta otros tipos de nubes bajas, el número de días hubiese sido muy elevado y tampoco respondería a días de alisio significativo.

7) *La selección de las fechas de estudio.* Tras la fase 6 se cruzan los días resultantes en cada uno de los tres métodos utilizados y se seleccionan las cuatro fechas de las que se analizará el comportamiento de la insolación en la isla (Objetivo 3).

5. RESULTADOS

5.1. La insolación potencial e insolación real en la isla de La Palma

El cálculo de las horas de sol teóricas en cada una de las localidades se ha realizado mediante SIG. La tabla 3 muestra los valores mensuales de las quince localidades, indicando en rojo los meses de mayor insolación y en azul los de menor.

Tabla 3. Número medio de horas de sol teóricas mensuales o insolación potencial de diferentes localidades en La Palma, calculadas mediante SIG

Estaciones	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
Aeropuerto de Buenavista	290	279	333	344	377	369	379	365	341	306	282	287	3952
Aeropuerto de Mazo	294	283	341	353	390	384	392	375	349	312	286	290	4048
Barlovento Gallegos	262	271	334	353	391	393	397	374	343	300	260	247	3925
Breña Alta	288	277	331	342	378	370	380	364	340	304	281	285	3941
Casa Forestal Barlovento	305	296	351	368	408	400	410	392	361	323	299	293	4206
Casa Forestal El Paso	294	278	332	349	380	380	385	367	340	303	286	289	3983
Casa Forestal Fuencaliente	322	304	360	370	400	389	401	388	369	334	312	320	4271
El Paso	306	293	348	362	399	393	401	384	357	321	298	301	4164
Las Manchas	285	273	327	340	376	371	378	362	336	300	278	281	3906
Las Tricias	292	279	335	353	392	386	394	376	346	306	285	289	4032
Los Llanos de Aridane	307	293	345	359	389	382	392	377	352	320	299	301	4117
Puerto Naos	296	281	333	346	380	373	382	367	342	308	288	293	3991
San Andrés y Sauces	291	282	341	358	396	389	399	381	351	310	284	285	4068
Tigalate	294	278	328	335	364	356	365	355	336	304	286	292	3893
Tijarafe	239	249	312	329	363	359	367	348	322	278	238	201	3605

Fuente: AEMET, IGN y Argis 9.3. Elaboración propia.

Los máximos teóricos en todas las localidades se alcanzan en el mes de julio y los mínimos en febrero, exceptuando la Casa Forestal de Barlovento, Barlovento Gallegos y Tijarafe, situadas al Norte, NE y NW de la isla respectivamente y en altitudes similares.

La mayor insolación potencial y real durante los meses de verano respecto a las del invierno es debida al efecto de duración del día asociado a cambios astronómicos (Gómez Tagle y Chávez, 2004). Llama la atención que siendo diciembre el mes con los días más cortos, la menor cantidad de horas de sol teóricas se da en febrero (tabla 3). Este hecho está indicando que el SIG ha utilizado algún parámetro que se escapa a nuestro control, puesto que se ha realizado una comprobación hallando esas horas de sol teóricas a partir de los datos astronómicos de AEMET y el mínimo, al igual que la radiación se registra en diciembre, lo que quiere decir que es necesario realizar una comprobación de detalle que valide esos datos. Debido a esta problemática se ha tomado la decisión de usar posteriormente las horas de sol teóricas del aeropuerto de Mazo, calculadas mediante el otro método para hallar la insolación relativa de la isla, ya que la variación de latitud y de longitud no determina diferencias en la cantidad de horas teóricas con respecto al resto de localidades.

En la tabla 4 se indican las horas de sol reales registradas en los heliógrafos. Sus máximas y mínimas están más desigualmente repartidas, observándose mínimos desde noviembre a febrero y máximos desde junio a agosto. La menor cantidad de insolación real en mayo, junio y julio en la vertiente Este es consecuencia del estancamiento del mar de nubes durante esos meses, ya que la nubosidad constituye una pantalla para la penetración de los rayos solares.

Tabla 4. Número de horas de sol reales o insolación real de diferentes localidades en La Palma

Estaciones	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
Aeropuerto de Buenavista	117	133	164	139	155	146	207	208	147	112	93	99	1719
Aeropuerto de Mazo	142	145	158	159	167	162	182	178	165	158	142	142	1900
Barlovento Gallegos	157	163	167	175	184	177	205	224	222	202	184	171	2231
Breña Alta	133	137	165	146	138	148	214	201	155	119	114	121	1791
Casa Forestal Barlovento	122	129	148	150	166	171	180	207	183	162	129	125	1874
Casa Forestal El Paso	184	201	222	225	190	227	325	289	251	206	199	182	2703
Casa Forestal Fuencaliente	176	181	205	197	173	202	280	259	197	175	176	165	2387
El Paso	188	196	231	220	222	237	309	290	227	194	175	173	2660
Las Manchas	166	180	210	207	192	204	269	241	204	159	161	157	2349
Las Tricias	172	176	197	211	235	256	296	306	273	234	201	180	2735
Los Llanos de Aridane	199	196	208	215	229	230	263	252	260	247	209	193	2700
Puerto Naos	208	213	239	245	243	250	289	284	247	224	215	179	2837
San Andrés y Sauces	114	112	157	153	172	168	159	189	173	151	127	118	1793
Tigalate	166	186	211	192	170	192	284	255	202	149	149	147	2303
Tijarafe	176	207	215	207	207	279	262	208	172	170	169	169	2440

Fuente: AEMET. Elaboración propia.

Se es consciente que algunos valores llaman la atención y se hace necesario un estudio de detalle de la insolación de determinados lugares como es el caso de Tijarafe donde, según los valores obtenidos, hay menor cantidad de horas de sol en junio que en julio (tabla 4), posiblemente sea consecuencia de la calidad de los datos de su serie.

Al poner en relación las horas teóricas de sol del Aeropuerto de Mazo halladas a partir de los datos astronómicos AEMET con las que se han registrado realmente (tabla 4), se obtiene la insolación relativa (tabla 5). Los valores teóricos de horas de sol difícilmente se alcanzan debido a los diferentes condicionantes geográficos y atmosféricos que intervienen (ver esquema de la figura 4).

Tabla 5. Insolación relativa media mensual de diferentes localidades en La Palma, calculada mediante la relación de las horas teóricas de sol (tabla 3) con las horas reales registradas (tabla 4). Expresada en %

Estaciones	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
Aeropuerto de Buenvista	40	46	44	34	37	34	47	50	40	33	33	37	40
Aeropuerto de Mazo	49	50	43	39	40	38	42	43	44	47	50	53	44
Barlovento Gallegos	54	56	45	43	44	42	47	54	60	60	65	64	52
Breña Alta	45	48	45	36	33	35	49	49	42	35	40	45	42
Casa Forestal Barlovento	42	45	40	37	40	40	41	50	49	48	46	47	44
Casa Forestal El Paso	63	70	60	56	45	54	75	70	67	61	70	68	63
Casa Forestal Fuencaliente	60	63	55	49	41	48	64	63	53	52	62	62	55
El Paso	64	68	62	54	53	56	71	70	61	57	62	65	62
Las Manchas	57	62	57	51	46	48	62	58	55	47	57	59	55
Las Tricias	59	61	53	52	56	60	68	74	73	69	71	68	64
Los Llanos de Aridane	68	68	56	53	55	54	60	61	70	73	74	72	63
Puerto Naos	71	74	65	60	58	59	66	69	66	67	76	67	66
San Andrés y Sauces	39	39	43	38	41	40	36	46	47	45	45	44	42
Tigalate	57	64	57	47	41	45	65	62	54	44	53	55	53
Tijarafe	60	72	58	51	49	66	60	50	46	51	60	63	57

Fuente. AEMET. Elaboración propia.

Los valores anuales de insolación son superiores en la vertiente Oeste, alcanzándose hasta el 66% en Puerto Naos. Los máximos mensuales se registran en los meses estivales excepto en cinco localidades, sin seguir un patrón de comportamiento en función de la localización. Sin embargo, todas las estaciones cuyos máximos se dan en verano, alcanzan los valores mínimos durante los meses de abril, mayo y junio, exceptuando Buenavista y Las Manchas. Para explicar esto podemos analizar lo que ocurre en el aeropuerto de Mazo, donde se registran 142 horas de sol reales en diciembre y 162 en junio; al comparar ese valor con las horas de sol teóricas que debería haber en esa localidad por su latitud, 267 y 423 horas respectivamente, la insolación relativa resultante es de 53% en el mes invernal, y del 38% para el mes

estival porque parte de un número de horas de sol teóricas inferior en diciembre que en junio.

Tanto en Mazo como en Barlovento, los máximos de insolación se dan cuando los días tienen menor duración (diciembre) mientras que los mínimos los registran en el mes de los días más largos (junio) debido a que en verano es más frecuente el estancamiento del mar de nubes en esta vertiente. De esta forma, la nubosidad se convierte en el condicionante principal de la diferente distribución de la insolación tanto espacial, al comparar ambas vertientes, como temporal.

5.2. Comportamiento medio de la insolación en La Palma

Con los datos disponibles de la insolación de quince localidades, se realiza la caracterización de esta variable climática en La Palma a escala estacional y mensual. Las series de datos utilizados tienen diferentes periodos de duración temporal, tal como se indica en la tabla 1 y 2 y su localización se detalla en la figura 6. La información más antigua disponible corresponde al aeropuerto de Buenavista, que comienza a mediados de la década de los años 50 y finaliza en 1969, mientras que los datos más recientes son los recopilados durante el periodo de Prácticas Externas de cinco localidades: Mirca, Barlovento- Gallegos, Las Tricias, Los Llanos de Aridane y Tijarafe durante el periodo 2011-2013 (tabla 2). La serie con mayor continuidad temporal es la correspondiente al aeropuerto de Mazo, que comienza con la apertura de dicho aeropuerto en 1970 y continúa en la actualidad.

Como se dijo en la introducción de este trabajo, además de los condicionantes astronómicos, geográficos y atmosféricos, existe otro de tipo antrópico que ha modificado la insolación a nivel global, reduciéndola (*Global Dimming*) y aumentándola (*Global Brightening*). Hemos querido ver si las variaciones de la insolación por estos dos fenómenos ocurren en La Palma y el primer inconveniente es que la serie temporal más larga, la del aeropuerto de Mazo, comienza en 1971 por lo que se desconoce la evolución de esta variable climática previamente.

Se observa que desde 1971 hasta 1977 la tendencia fue ascendente y correspondería al final del período *Global Dimming*. Desde ese año y hasta 1983 hay un descenso continuado, hasta el punto que se registran los menores valores de la serie y entraríamos en el periodo de *Global Brightening* (figura 10). A partir de entonces, tras un brusco

ascenso entre 1984 y 1985, la tendencia de la insolación en este sector de la isla es similar a la observada en la península ibérica y en las islas Baleares. (Sánchez Lorenzo, 2006).

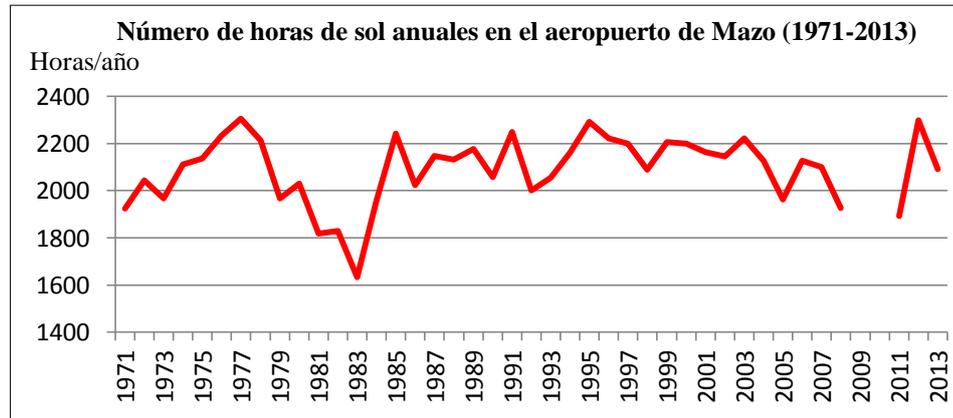


Figura 10. Evolución del número de horas de sol anuales en el aeropuerto de Mazo (1971-2013). La localización de la estación está en la figura 6.

Fuente: AEMET. Elaboración propia.

a) Comportamiento medio anual de la insolación en La Palma

El mayor número de horas de sol anuales está en la vertiente Oeste, en concreto en Puerto Naos, con 2.837 horas al año y el 66% de insolación (tablas 4 y 5). Esos valores son similares a los que se registran en el Oeste y Sur de la península ibérica, por ejemplo en Cáceres con 2.829 h/año y en Málaga, con 2.852 horas (Ministerio de Medio Ambiente, 1997). Por el contrario, el menor número de horas de sol anuales se da en las medianías de la vertiente oriental de la isla, por ser el sector afectado con mayor frecuencia por el mar de nubes. Concretamente en el antiguo aeropuerto de Buenavista se registra sólo el 40% de insolación, lo que corresponde a una media de 1.719 horas al año (tabla 4 y 5), similar a Vitoria con 1.718 horas de sol al año (Ministerio de Medio Ambiente, 1997). Estas diferencias en las horas de sol entre el Este y el Oeste de La Palma son tan significativas como las que existen entre el Norte y el Sur de la península ibérica, con una distancia de casi 700 km entre Vitoria y Málaga, mientras que en el caso de la isla la distancia entre los puntos más septentrional y meridional es de alrededor de 45 km. En general, la vertiente más soleada es la Oeste, seguida de la Noroeste, en el arco que va desde Las Tricias hasta Barlovento- Gallegos, superándose en ambos casos las 2.000 horas de sol al año (figura 11 y tablas 4 y 5).

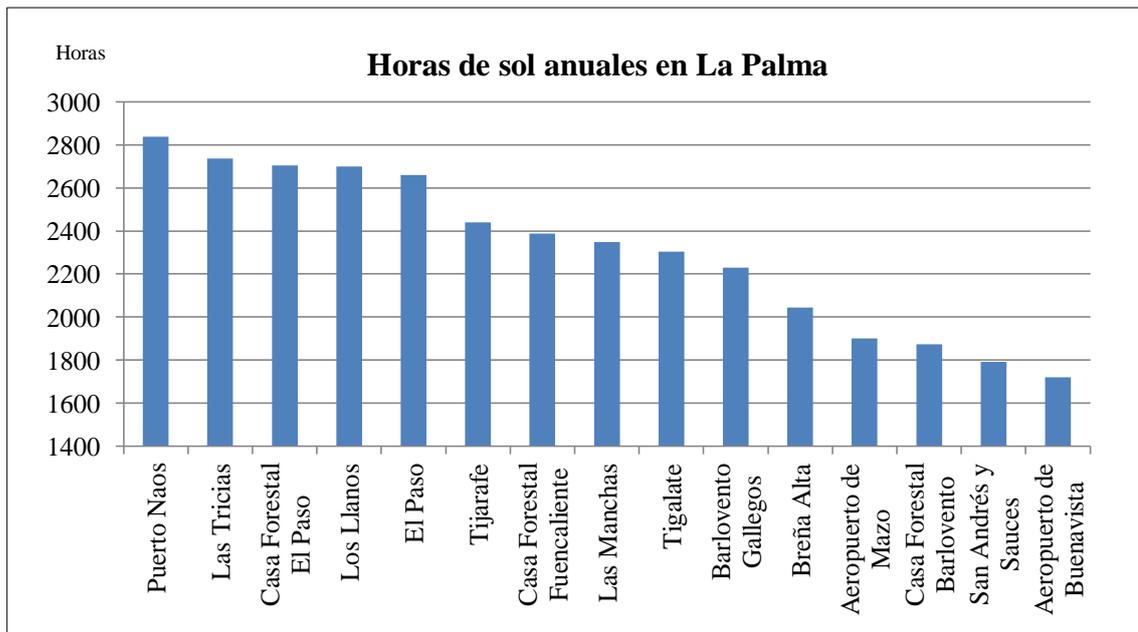


Figura 11. Total de horas de sol anuales en La Palma. La localización de las estaciones está en la figura 6.

Fuente: AEMET. Elaboración propia.

La altitud es otro condicionante claro en la distribución espacial de la insolación. Un ejemplo de ello lo encontramos en la vertiente Oeste si ascendemos desde la costa de Puerto Naos, con más de 2.800 horas de sol al año, hasta los 400 metros y nos encontramos en Los Llanos de Aridane, el número de horas de sol al año se reduce en 100 horas, y si ascendemos otros 200 m y nos situamos en El Paso, la insolación disminuye en 40 horas más (66%, 63% y 62% respectivamente) (tablas 4 y 5). Son variaciones pequeñas pero que indican cambios altitudinales de esta variable climática. En cambio, la vertiente oriental es la menos soleada, destacando el antiguo aeropuerto de Buenavista con 1.719 horas de sol al año (40%), seguido de San Andrés y Sauces con 1.973 horas (42%) Breña Alta con 1791 horas (42%) (tablas 4 y 5). En esta vertiente, los vientos alisios inciden claramente, y junto con la disposición y altitud del relieve impiden que el manto de estratocúmulos sobrepase la cumbre y desborde hacia la vertiente occidental de la isla, manteniéndose sólo en la oriental. Ese manto de estratocúmulos es espeso y constituye una barrera significativa para la penetración de la radiación, convirtiéndose así en el condicionante más importante de esta variable climática.

b) Comportamiento medio estacional de la insolación en La Palma

En la figura 12 se representa el comportamiento medio estacional de las horas de sol en Las Tricias y Mazo. Se eligen estas dos localidades porque representan a las diferencias que podemos encontrar en ambas vertientes. A grandes rasgos, la insolación de ambas es similar; sin embargo, un análisis más detallado muestra que el invierno de Mazo es más soleado que el de Las Tricias mientras que durante el verano ocurre lo contrario como consecuencia del mar de nubes. Además, las desigualdades de insolación entre el invierno y el verano son muy acusadas en la vertiente Oeste, con una diferencia de 329 horas, mientras que en la oriental es sólo de 93 horas entre ambos momentos del año (ver tabla 4).

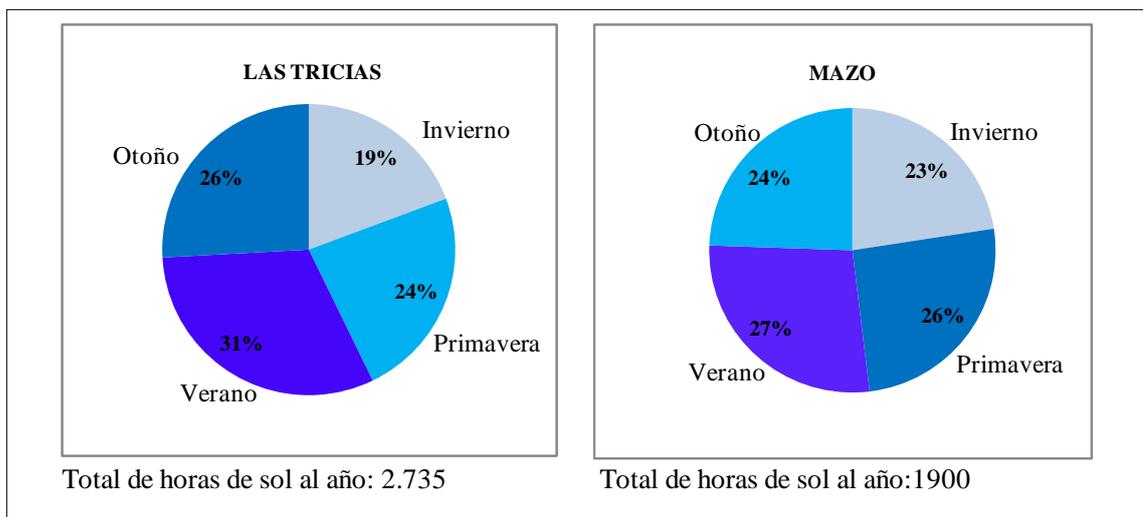


Figura 12. Porcentaje estacional de horas de sol en Las Tricias (vertiente Oeste) y en Mazo (vertiente Este). La localización de las estaciones se indica en la figura 6.

Fuente: AEMET. Elaboración propia.

c) Comportamiento medio mensual de la insolación en La Palma

A escala mensual, las diferencias entre los meses más y menos soleados siguen siendo mayores en el Oeste (143 horas en El Paso entre julio y diciembre) que en el Este (40 horas en el aeropuerto de Mazo entre los mismos meses). A escala global las diferencias temporales derivan de los cambios astronómicos y de las variaciones en la circulación atmosférica general; sin embargo, en la isla de La Palma se explican fundamentalmente por la orientación del relieve y el mar de nubes. Así, el régimen de alisios y la nubosidad estratiforme asociada al mismo ocasionan que el número de horas de sol en el Este de La Palma sea mucho menor que en el Oeste, especialmente durante los meses de junio y julio (ver tabla 4). En el 56% de las localidades el mes más soleado

es julio, seguido de agosto. Por el contrario, diciembre es el más nublado en el 75% de las localidades estudiadas.

De los tres meses del *invierno*, el más soleado es febrero mientras que diciembre es el más nublado en ambas vertientes. Los porcentajes de Puerto de Naos (Oeste) y Buenavista (Este) son un buen ejemplo: en febrero 74% y 46% de insolación respectivamente, frente a diciembre con el 67% y 37% respectivamente. En la *primavera* la cantidad de horas de sol en la costa Oeste casi que duplica a las de la costa oriental. Durante el *verano*, junio es el mes menos soleado de los tres, y en *otoño* septiembre es el que registra la mayor cantidad de horas de sol, sobre todo en Las Tricias con 273 horas (73%), y noviembre el menos soleado en la totalidad de la isla, destacando Buenavista con tan sólo 93 horas de sol y 33% de insolación (ver tablas 4 y 5 y figura 13).

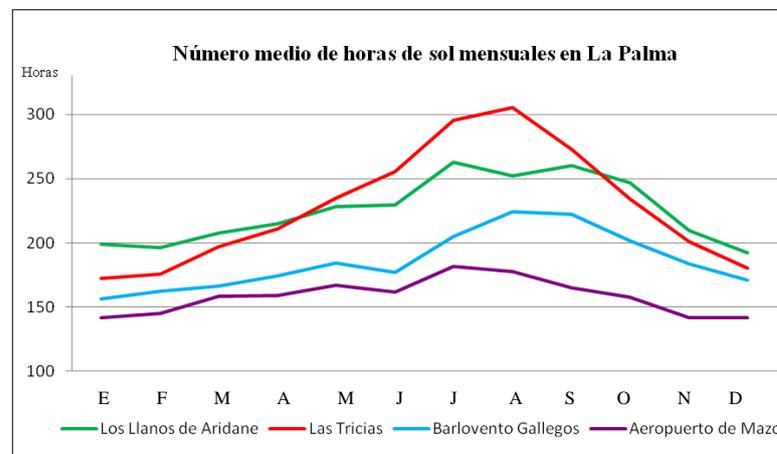


Figura 13. Diferente comportamiento mensual de las horas de sol de cuatro localidades situadas en distintas vertientes de la isla. La localización de cada estación se indica en la figura 6.

Fuente: AEMET. Elaboración propia.

5.3. Características de la insolación en La Palma durante el periodo 2011-2013

Con la información obtenida del análisis de las bandas diarias de tres años (2011-2013) de cinco localidades se pretende conocer cómo fue la insolación durante ese trienio y comprobar si hubo diferencias respecto a la media. La comparación se realiza con el periodo disponible de cada una de las series (1971-2011 en aeropuerto de Mazo, 1991-1998 en Tijarafe, 1988-1998 en Los Llanos de Aridane, 1986-1998 en Las Tricias y 1992-1998 en Barlovento- Gallegos). Los resultados indican notables diferencias a escala anual y mensual.

a) *A escala anual*, de la media de horas de sol de este trienio no se puede extraer una conclusión clara. La insolación fue inferior a la media exceptuando en Barlovento Gallegos (123 horas menos) y sobretodo en Tijarafe (257 horas menos) (tabla 6).

Tabla 6. Anomalías del número de horas de sol anuales (2011-2013) en cinco localidades con respecto a las medias anuales de diferentes periodos temporales de cada estación

Estación	Media	2011-2013	Variación
Aeropuerto de Mazo	1900	2093	193
Barlovento-Gallegos	2231	2108	-123
Las Tricias	2735	2585	-150
Los Llanos de Aridane	2700	2747	47
Tijarafe	2440	2181	-259

Fuente: AEMET. Elaboración propia.

b) *A escala mensual*, la insolación de todas las localidades, indiferentemente de la vertiente en la que se encuentren, se comportaron en el trienio de la misma forma, aunque con variaciones en términos absolutos. Para facilitar el análisis se elabora el gráfico de las anomalías entre ambos periodos (figura 14).

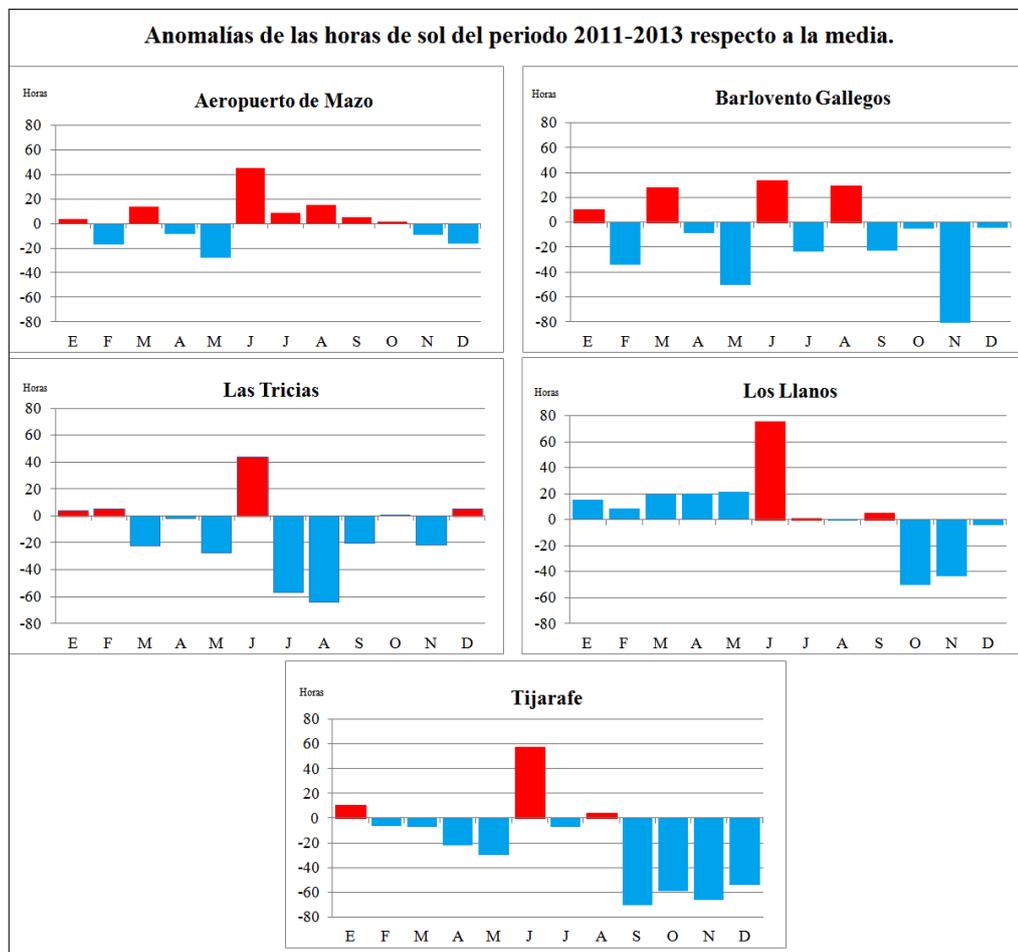


Figura 14. Anomalías del número de horas de sol mensuales (2011-2013) en cinco localidades con respecto a las medias mensuales de diferentes periodos temporales de cada estación.

Fuente: AEMET. Elaboración propia.

Se observa que junio, y en menor medida enero, en los tres últimos años tuvieron en toda la isla una mayor cantidad de horas de sol que las medias respectivas y destacan Los Llanos de Aridane con un 33% más de horas de sol en ese mes. Por el contrario, los meses de septiembre, a diciembre del trienio 2011-2013 fueron menos soleados, especialmente en Tijarafe, con un 39% menos, y en Barlovento Gallegos con un 51% menos de horas de sol en el mes de noviembre.

La explicación de las diferencias más significativas responde, con seguridad, a causas atmosféricas. Por un lado en mayo del periodo 2011-2013 hubo en toda la isla, salvo en Los Llanos de Aridane, una menor cantidad de sol que se explicaría por la mayor frecuencia del mar de nubes durante ese mes. Sin embargo, la mayor insolación de junio hace pensar que en estos tres últimos años ocurrió lo contrario: una menor frecuencia del mar de nubes. Esta explicación hace necesario un estudio de detalle para confirmar las causas. Por el contrario, el descenso de la insolación en los meses de otoño y comienzo del invierno se explica por el aumento de la frecuencia de borrascas del Frente Polar acompañadas por una nubosidad de desarrollo vertical que redujeron notablemente la cantidad de horas de sol.

Para explicar ese descenso acusado de sol en todas las localidades analizadas durante noviembre se consulta el Avance Climatológico elaborado por la Delegación en Canarias de la AEMET. De su análisis se extrae que el descenso de la insolación durante ese mes en el último trienio estuvo causado por el aumento del número de días de precipitaciones y de nubosidad, fundamentalmente en los años 2012 y 2013:

-Noviembre de 2012 fue muy lluvioso tanto en cantidad como en número de días. Las precipitaciones se repartieron en cinco episodios. El primero y segundo, a principios del mes, a consecuencia de una masa de aire subtropical húmedo inestable, las causas del tercer episodio de lluvias fue una vaguada del NW y del último, durante los cinco últimos días del mes, por una DANA.

-Noviembre de 2013 no fue muy lluvioso pero hubo cuatro episodios de fuerte inestabilidad. Uno como consecuencia de una DANA (día 3), dos provocados por alisios fuertes (días 19 y 25) y el cuarto por un sistema frontal que dejó lluvias generalizadas en todo el archipiélago desde finales del mes hasta principios de diciembre. Durante el último mes del año también hubo un número significativo de días lluviosos concentrados en cuatro episodios diferentes. Las causas de éstos fueron una

borrasca tropicalizada, una depresión atlántica al Sur de las Azores, una depresión vaguada atlántica extensa y muy activa, y un frente frío.

5.4. La relación de la insolación con otras variables meteorológicas

A sabiendas de la importancia de la insolación y su influencia sobre algunas variables meteorológicas, se ha querido saber si existe relación entre ellas en el caso de La Palma. Por ello, a partir de los datos diarios de los tres últimos años, se han estudiado las posibles relaciones entre la insolación, la temperatura, la humedad, la precipitación y la nubosidad de cuatro localidades puesto que en el resto no se registran todas las variables. Se ha hallado el coeficiente de correlación (R^2) entre los distintos parámetros para observar si existe dependencia de las horas de sol e insolación con el resto de variables. Los resultados se exponen en la tabla 7.

Tabla 7. Correlación de las horas de sol con otras variables meteorológicas, en cuatro localidades de La Palma (2011-2013)

Correlaciones	Aeropuerto de Mazo	Los Llanos de Aridane	Las Tricias	Barlovento-Gallegos
Temperatura máxima- Horas de sol	0,39	0,22	0,51	0,45
Temperatura máxima- Insolación	0,34	0,18	0,42	0,39
Temperatura mínima- Horas de sol	0,19	0,11	0,31	0,28
Temperatura mínima- Insolación	0,11	0,06	0,21	0,24
Oscilación térmica- Horas de sol	0,42	0,25	0,52	0,47
Oscilación térmica- Insolación	0,46	0,25	0,50	0,41
Humedad máxima- Horas de sol	-0,01	0,14	-0,26	0,06
Humedad máxima- Insolación	-0,06	0,09	-0,26	0,02
Humedad mínima- Horas de sol	-0,11	-0,03	-0,41	-0,21
Humedad mínima- Insolación	-0,17	-0,05	-0,43	-0,23
Precipitaciones- Horas de sol	-0,19	-0,12	-0,31	-0,17
Precipitaciones- Insolación	-0,18	-0,11	-0,33	-0,16
Cantidad de nubes bajas- Horas de sol	-0,67			
Cantidad de nubes bajas- Insolación	-0,66			

Fuente: AEMET. Elaboración propia.

Los coeficientes de correlación obtenidos son poco importantes y en algunos casos insignificantes exceptuando la nubosidad. De las localidades estudiadas es Los Llanos de Aridane en la que las temperaturas y las precipitaciones evolucionan de forma más independiente de la insolación. Las correlaciones diarias de las diferentes variables son superiores al utilizar la cantidad de las horas de sol reales que cuando se usa el porcentaje de insolación. Este hecho es evidente, ya que la insolación relativa se halla en función de un valor teórico, que, como se ha expuesto en el apartado 5.1, no puede alcanzarse por los factores que perturban a esta variable.

a) Correlación de las temperaturas con la insolación.

No hay una relación tan directa como se podría suponer entre temperaturas máximas y horas de sol e insolación. Esto es debido a que los solsticios y los equinoccios marcan los días de mayor o menor insolación potencial, pero como consecuencia de la inercia térmica de la atmósfera y de la circulación oceánica, el clima de cada región tiene un desfase (Cuadrat y Pita, 1997). De este modo, en el Hemisferio Norte, el día más largo del año es el 24 de junio, pero no necesariamente es el de mayor temperatura. Ésta se alcanza aproximadamente un mes más tarde debido a que la masa terrestre y oceánica tarda en calentarse. Sólo en Las Tricias la correlación entre ambas variables supera el 0.50.

La relación de las temperaturas mínimas con las horas de sol es todavía menor mientras que sí parece haber una mayor vinculación de la insolación con la oscilación térmica, sobre todo en las estaciones del Este (Mazo) y del Norte (Las Tricias y Barlovento- Gallegos). Este hecho es debido a un mecanismo de retroalimentación o *feedback* negativo que supone que a menor insolación, y por tanto mayor nubosidad, se reduce la entrada de la radiación solar a la superficie pero al mismo tiempo disminuye la irradiación nocturna al espacio, causando en el primer caso un descenso térmico durante el día y en el segundo un aumento o un descenso no tan pronunciado durante la noche (Cuadrat y Pita, 1997).

b) Correlación de la humedad con la insolación

Las correlaciones entre ambas son negativas, es decir que la humedad está más vinculada a la nubosidad que a la insolación. Sin embargo, los resultados obtenidos, muy próximos a cero, indican que ambas funcionan de forma independiente. Lógicamente, las mayores dependencias se dan con la humedad mínima, concretamente en las localidades del Norte, alcanzándose en Las Tricias correlaciones en torno al valor -0.40. La relación existente entre nubosidad y humedad es que la formación de las nubes necesita de una masa de aire húmeda que llegue a la saturación y se condense. Sin embargo, el hecho de que no haya nubes en el cielo, no significa que no haya humedad puesto que el aire siempre contiene vapor de agua aunque en ocasiones no es suficiente para provocar la formación de nubes.

c) Correlación de las precipitaciones y la nubosidad con la insolación

Las correlaciones de la insolación con las precipitaciones y la nubosidad son inversas. Evidentemente, cuando se producen precipitaciones el cielo está cubierto por lo que la insolación disminuye. Aún así, los valores insignificantes de correlación se explican porque el régimen pluviométrico en Canarias se caracteriza por su irregularidad y su concentración temporal, lo que haría pensar que después de llover el resto del día el cielo permanece descubierto y se registran horas con sol.

En cuanto a la nubosidad, sólo se puede trabajar con la estación de aeropuerto por ser la única que cifra la cantidad de nubes. Es lógico que haya una mayor correlación negativa con la nubosidad puesto que ésta es la variable meteorológica antagónica a la insolación. La bondad de esta correlación da pie a la estimación de un valor aproximado de insolación en función del número de días despejados o cubiertos (Martín Vide y Moreno, 2001).

d) Correlación entre la radiación y la insolación

Debido a la deficiencia de datos de radiación en la isla de La Palma, se relaciona la insolación de las estaciones de la AEMET con las de radiación del GOBCAN. En su elección se ha tenido en cuenta la proximidad y altitud de las localidades.

Tabla 8. Correlación entre la radiación y las horas de sol e insolación en tres localidades (2011-2013)

Estación de insolación (AEMET)	Estación de radiación (GOBCAN)	Horas de sol-Radiación	Insolación-Radiación
Aeropuerto de Mazo	El Socorro	0,79	0,69
Mírca	El Socorro	0,79	0,43
Los Llanos	Los Llanos	0,36	0,20
Barlovento- Gallegos	Barlovento	0,65	0,55

Fuente: AEMET y GOBCAN. Elaboración propia.

Lo cierto es que las zonas de mayor altitud, por tener menor masa de aire, reciben mayor radiación en un día despejado que otras situadas a nivel del mar por lo que, en general, a una misma latitud y en ausencia de nubosidad tendrán mayor cantidad de horas de sol (Barry, 1972). La variable con la que la insolación guarda más relación es la radiación, ya que las horas de sol son el tiempo durante el cual la Tierra está recibiendo radiación sin interferencia de la nubosidad. Obviamente, cuanto más brille el sol, mayor será la cantidad de radiación que reciba la superficie, mientras que una menor cantidad de radiación puede significar menor cantidad de horas de sol, que puede

estar motivada por muchas causas, por la existencia de nubosidad, la inclinación de los rayos solares, la calima, la sombra orográfica, etc.

Las correlaciones son elevadas en el aeropuerto de Mazo y en Barlovento Gallegos pero no en Los Llanos de Aridane. Ello puede responder a la reducción de la radiación sea consecuencia de nubosidad alta, cirros y cirrostratos y que no es suficientemente espesa para dejar quemar las bandas de insolación (Martín Vide y Olcina, 2001).

5.5. Comportamiento de la insolación en un día típico de alisio (2011-2013)

En este apartado queremos saber cuál es la respuesta, fundamentalmente espacial, de la insolación en aquellos días que predomina la situación atmosférica de régimen de alisios. A partir del análisis combinado de a) mapas del tiempo, b) la frecuencia y velocidad del viento y c) la nubosidad en los meses de junio y julio del período 2011-2013, por ser los meses con mayor frecuencia del este tipo de tiempo, se han elegido una serie de días en los que se considera que el alisio fue más potente.

Tabla 9. Número de días resultantes a partir de los tres métodos utilizados para la elección de días significativos de alisio durante junio y julio (2011-2013)

	Análisis de los mapas del tiempo	Análisis del viento en Mazo	Análisis de la nubosidad en Mazo
Total de días de junio y julio con datos (2011-2013)	174	180	183
Total de días que corresponden a los criterios establecidos	114	39	31
Porcentaje de días que corresponden a los criterios establecidos	65,5%	21,7%	16,9%

Fuente: AEMET. Elaboración propia.

Puesto que el anticiclón de las Azores es el responsable de los vientos alisios en Canarias fue necesario conocer cuál era la posición de su núcleo durante esos días. Para ello se analizaron los mapas de superficie. Del total de los días se dispone información de 174. De ellos, 114 tenían el núcleo en las cuadrículas seleccionadas (1, 2, 5 y 6). En la figura 15 se ilustra esa frecuencia de localización en cada una de las cuadrículas. Los porcentajes están hallados teniendo en cuenta que hubo días en los que el núcleo del anticiclón se localizaba simultáneamente en varias cuadrículas, por lo que la suma de las cuadrículas 1, 2, 3 y 4 (ver figura 9) no es la misma que el porcentaje de días que reúnen los criterios establecidos para en análisis de los mapas del tiempo (tabla 9).

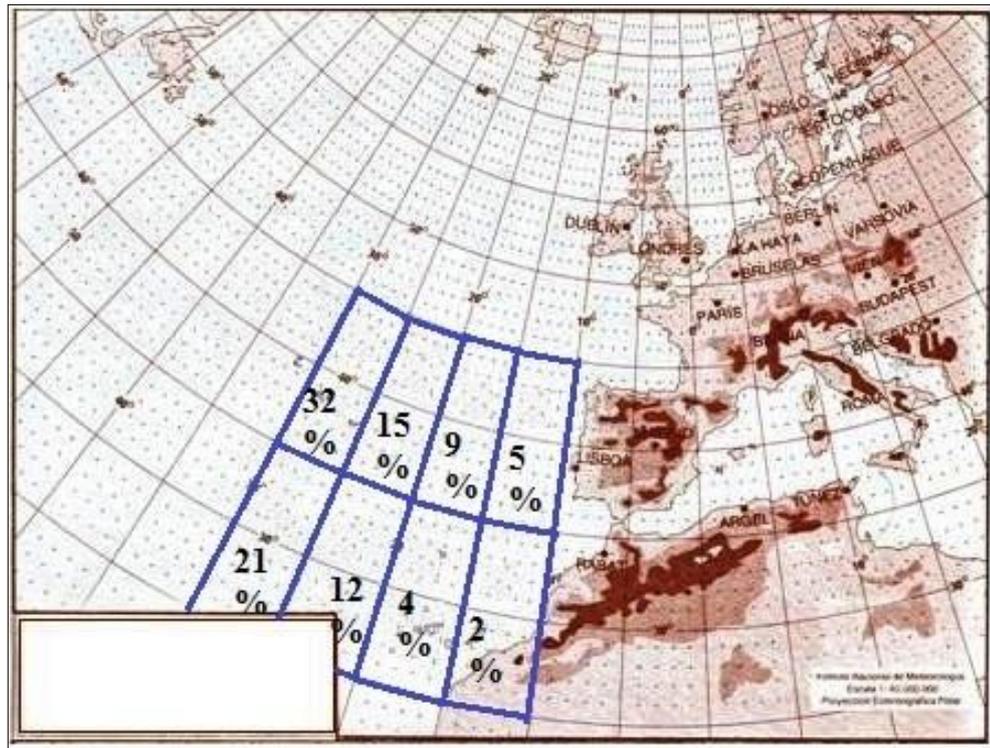


Figura 15. Frecuencia de la localización del núcleo del anticiclón de las Azores o la mayor presión a partir del análisis de mapas de superficie diarios a las 12 horas de los meses de junio y julio 2011-2013.

Fuente AEMET. Elaboración propia.

Este criterio sólo informa que hubo alisio en las islas pero no de su potencia. Para ello habría que tener en cuenta el análisis de los gradientes béricos que serán los que determinen la velocidad del viento. Por ese motivo, se utiliza un segundo método de aproximación, el análisis de la dirección y velocidad del viento en el aeropuerto de Mazo, por ser la única estación de la que se dispone registro de esta variable. Esta tarea tiene la finalidad de detectar la frecuencia de ambos parámetros y establecer umbrales discriminatorios a partir de la elaboración de la rosa del viento media anual, la rosa media de junio y julio, y la de estos mismos meses para el trienio de estudio (2011-2013) (figura 16).

Del análisis de las rosas de la dirección del viento de los tres periodos establecidos se concluye que:

a) En relación a la dirección del viento:

- La dirección más frecuente es el NNE.
- La frecuencia de la dirección NNE aumenta en los meses de verano, 40% frente 28% de la media anual (figura 16 a1 y b1).
- Durante el verano de los tres últimos años, esa dirección comparte frecuencia con vientos del NW (figura 16 c1), debido a que la localización del anticiclón de las Azores durante esos dos meses del año 2012 fue algo diferente a los otros dos del periodo.

b) En relación a la velocidad del viento:

- La mayor velocidad se da con vientos del primer cuadrante, alcanzando 25 km/h, y compartida con los del Sur, algo más débiles (figura 16 a2).
- La velocidad del primer cuadrante se mantiene e incluso es algo más fuerte y clara en verano, puesto que asciende hasta 27 km/h (figura 16 b2).
- En el trienio 2011-2013 la velocidad más elevada es la de los vientos del Norte con 36 km/h, mientras que los del NNE fueron de 29 km/h (figura 16 c2).

Los resultados obtenidos justifican que el filtro a aplicar sea el de los días con vientos entre 0° y 45° y una velocidad media superior a 20 km/h. El tercer filtro empleado ha sido que la frecuencia de vientos del primer cuadrante supere las tres cuartas parte del día, es decir más de 18 horas.

Teniendo en cuenta los tres criterios descritos, se constata que de un total de 180 días con datos, sólo 39 cumplen simultáneamente las exigencias señaladas para el viento, el 22% de los días (tabla 10). Un hecho a destacar es que de los 39 días seleccionados, ninguno corresponde al año 2012, lo que podría ser el motivo de la diferencia de la rosa del viento de junio y julio 2011-2013 con respecto a la de junio y julio de 1970-2013. Ocurría algo similar cuando se analizaron individualmente los mapas del tiempo diarios de los dos meses de estudio para el año 2012.

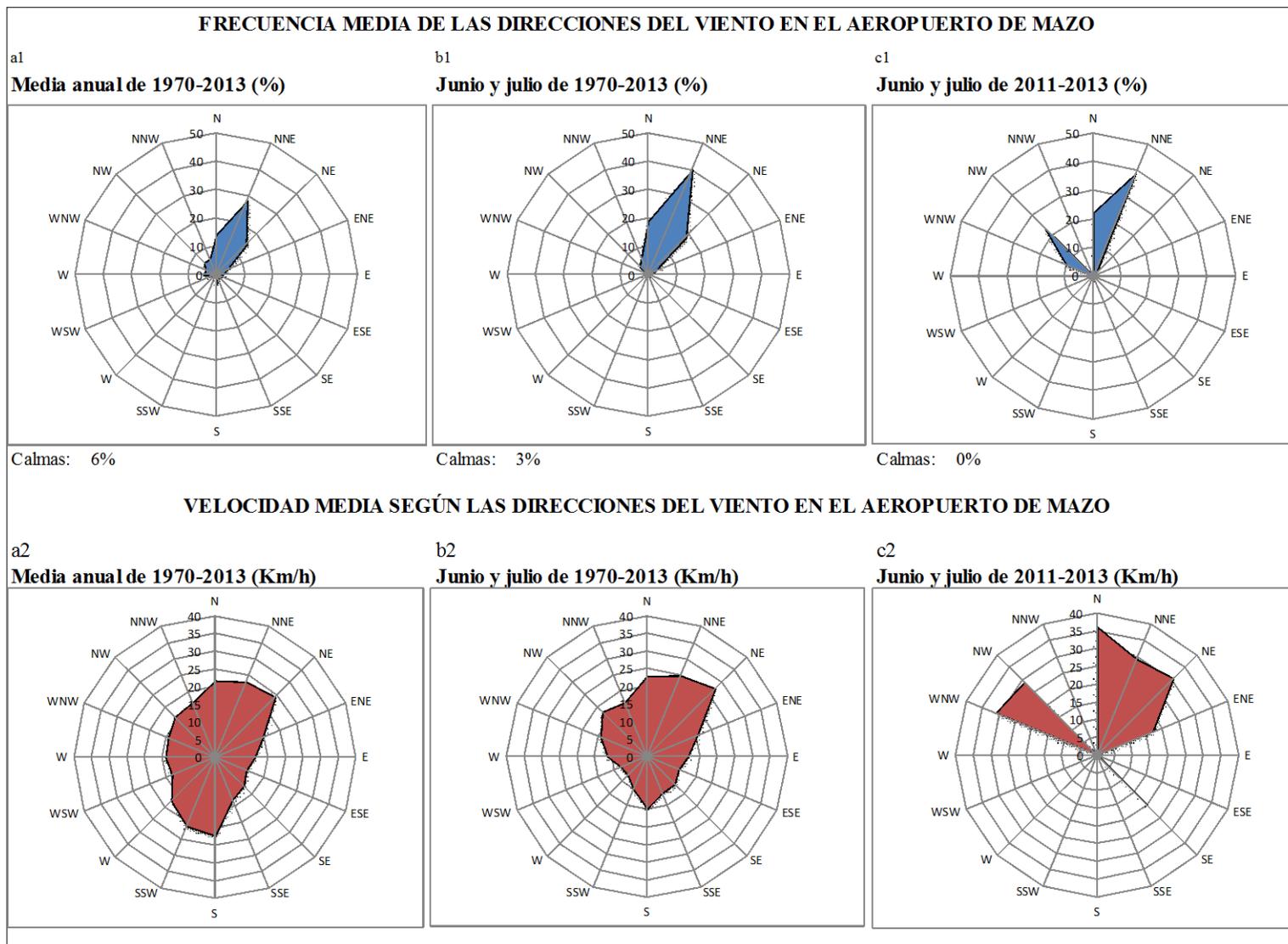


Figura 16. Frecuencia de las direcciones y velocidad media según las direcciones de viento en el aeropuerto de Mazo en el periodo 1970-2013, junio y julio de 1970-2013 y junio y julio de 2011-2013.
Fuente: AEMET. Elaboración propia.

Tabla 10. Características del viento en los días seleccionados a partir de los criterios aplicados en el viento en Mazo en busca de fechas de alisio significativo en los meses de junio y julio (2011-2013)

Fecha	Dirección máxima media del viento (°)	Velocidad máxima media del viento (km/h)	Frecuencia viento del primer cuadrante (h)	Frecuencia viento en calma (h)	Fecha	Dirección máxima media del viento (°)	Velocidad máxima media del viento (km/h)	Frecuencia viento del primer cuadrante (h)	Frecuencia viento en calma (h)
06/07/2011	10	33	18,5	0	18/06/2013	20	37	18,9	0
13/06/2011	30	37	18,6	0	19/06/2013	30	36	18	0
17/06/2011	30	45	22,2	0	20/06/2013	40	40	18,8	0
18/06/2011	30	36	19	0	21/06/2013	30	42	21	0
22/06/2011	40	27	20,5	0,7	22/06/2013	20	39	20,9	0
25/06/2011	30	29	19,4	0,6	24/06/2013	30	36	18,8	0,6
26/06/2011	40	33	18,2	1,3	27/06/2013	30	35	20,8	0
29/06/2011	20	34	18,8	0	05/07/2013	30	30	18,8	1
30/06/2011	20	36	20,4	0	08/07/2013	30	36	19,4	0,8
02/07/2011	30	40	18,7	0	13/07/2013	20	21	19	0
03/07/2011	20	37	18,1	0	15/07/2013	30	32	21,2	0
10/07/2011	20	42	20,8	0	16/07/2013	30	35	19,2	0
11/07/2011	20	42	19,9	0	17/07/2013	30	32	21,1	0
20/07/2011	30	51	21,8	0	19/07/2013	20	42	20,8	0
21/07/2011	30	50	22,6	0	20/07/2013	10	37	19,8	0
25/07/2011	20	37	18,5	0	22/07/2013	30	25	20	0,2
29/07/2011	20	36	18,4	0	26/07/2013	30	26	21,5	0,4
30/07/2011	20	44	21,4	0,1	29/07/2013	40	38	21	0
13/06/2013	20	46	21,3	0	31/07/2013	20	41	22,2	0
16/06/2013	30	38	18,2	0					

Fuente: AEMET. Elaboración propia.

Del análisis del tipo de nubosidad de todos los días del periodo 2011-2013 (un total de 1.097 fechas), sólo 159 es decir un 15% de los días mantienen únicamente estratocúmulos como nubes bajas a las tres horas en las que se realiza la observación. Sin embargo, teniendo en cuenta que se han elegido los meses de junio y julio para localizar los días de alisio significativo, el número de días se reduce a 31, es decir un 17% de los días estudiados durante esos meses.

A partir del triple análisis llevado a cabo (mapas del tiempo, frecuencia y dirección del viento y nubosidad baja) se discriminan los días de alisio. Al ser el criterio de la nubosidad el más restrictivo, se comienza cruzando los 31 días obtenidos por este método con las fechas resultantes del análisis de viento coincidiendo con la totalidad de los días discriminados con el primer criterio. Esos días resultantes se ponen en relación con los seleccionados por el análisis de la localización de anticiclón de las Azores, reduciéndose a 14 días. De ellos, once corresponden al año 2013, sólo tres se producen durante el año 2011 y ninguno en el 2012, por lo que no es aventurado decir que la frecuencia de alisio en el verano de estos tres años fue muy desigual (tabla 11).

Tabla 11. Selección de días de alisio significativo en la isla de La Palma a partir del triple análisis en los meses de junio y julio (2011-2013)

Fecha	Análisis de nubosidad en el aeropuerto de Mazo			Análisis de viento en el aeropuerto de Mazo		Análisis de mapas de superficie a las 12 horas	
	Total de SC a las 7 horas (octas)	Total de SC a las 13 horas (octas)	Total de SC a las 18 horas (octas)	Dirección media (°)	Velocidad media (km/h)	Mayor presión a nivel del mar (hPa)	Localización del anticiclón en cuadrícula
22/06/2011	2	1	4	40	27	1028	2
25/06/2011	1	3	1	30	29	1023	1-5-6
02/07/2011	6	4	5	30	40	1025	5
03/06/2013	5	1	3	40	31	1023	2
12/06/2013	7	2	2	30	37	1024	1
23/06/2013	2	1	3	30	30	1035	1-2-3
24/06/2013	7	5	3	30	36	1033	1-2
05/07/2013	7	6	7	30	30	1024	1-2-3-4
07/07/2013	7	6	7	30	40	1024	1-5
08/07/2013	5	6	1	30	36	1024	1-5
10/07/2013	5	1	1	40	22	1022	1
15/07/2013	5	2	4	30	32	1024	1-2-3-5-6
16/07/2013	3	3	1	30	35	1025	5
20/07/2013	5	3	2	10	37	1020	1-5-6

Fuente: AEMET. Elaboración propia.

De las fechas seleccionadas se eligen para hacer un análisis de detalle del comportamiento de la insolación en este tipo de tiempo los episodios del *22 de junio de 2011*, *2 de julio de 2011*, y *23 y 24 de junio de 2013*. Para caracterizar con más argumento el comportamiento de la insolación durante esos días se han usado, además, otras variables meteorológicas: temperaturas máximas y mínimas, la oscilación térmica, la humedad máxima y mínima, el viento y la nubosidad.

En ninguno de los episodios estudiados se registraron precipitaciones, por lo que la menor insolación en la vertiente Este se explicará sólo por la nubosidad estratiforme. En la figura 17 se ilustran las características de todos los días estudiados y los resultados obtenidos confirman que las diferencias de la insolación son notables en función de la orientación de las vertientes de la isla.

Los mapas del reanálisis (figura 17 a1, b1, c1 y d1) muestran pequeñas diferencias en la localización del anticiclón de las Azores en los días seleccionados. A partir de esos mapas y con el apoyo de los mapas de superficie de la AEMET se observa que la dirección del viento fue de 30° a 40° es decir del NNE a NE (figura 17 a1, a2 y a3

CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS DE LOS CUATRO DÍAS CONSIDERADOS COMO REPRESENTATIVOS DE UN ALISIO SIGNIFICATIVO DURANTE LOS MESES DE JUNIO Y JULIO DEL PERIODO 2011-2013

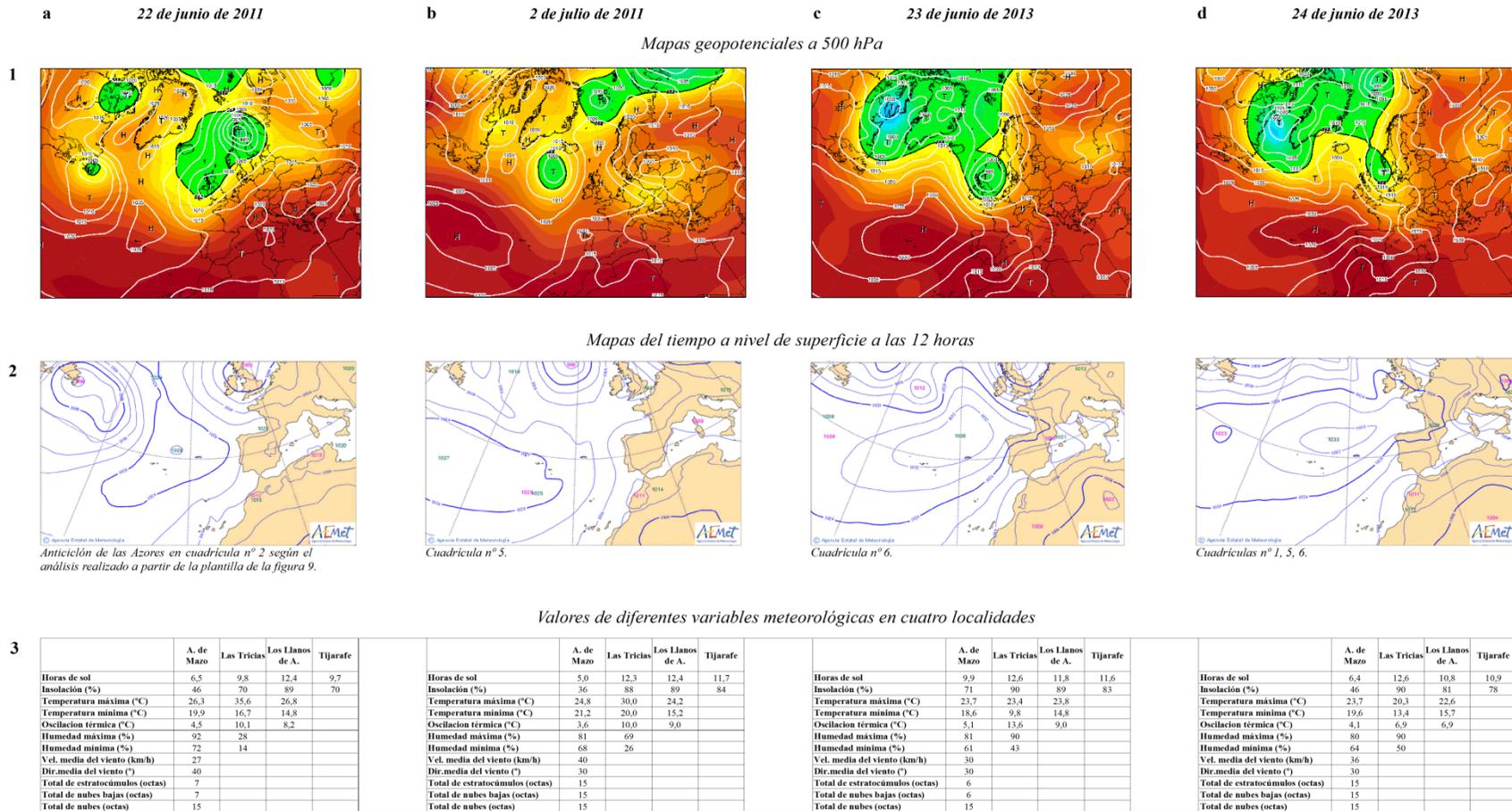


Figura 17. Mapas del tiempo de reanálisis, mapas del tiempo de superficie y características de diferentes variables meteorológicas en cinco localidades de la isla de La Palma durante los días 22 de junio de 2011, 2 de julio de 2011 y 23-24 de junio de 2013, considerados representativos de un alisio significativo.

Fuente: AEMET y Wetterzentrale.

Durante las cuatro fechas analizadas, la velocidad del viento osciló entre 27 km/h del día *22 de junio de 2011* y 40 km/h del día *2 de julio de 2011*. Éstas velocidades según la escala Beaufort se califican como bonacibles o moderados, fresquitos o frescos (Cuadrat y Pita, 1997). Se contempla que el gradiente bórico durante el *22 de junio de 2011* (figura 17 a1 y a2) es inferior al del resto de días, lo que explica esa menor velocidad media del viento en el aeropuerto de Mazo, que es el lugar del que se dispone de información de esta variable.

Durante el primero de los episodios, el *22 de junio de 2011*, la presencia de estratocúmulos en la costa oriental de la isla fue alta, de 7 octas (figura 17 a3). Ese valor sólo representa el total de nubes bajas pero si se tiene en cuenta el total de nubes, medias, altas y bajas, la cantidad asciende a 15 octas, lo que se considera un día nuboso al tener entre 5 y 19 octas (Martín Vide y Moreno, 2001). El análisis horario de la cantidad de estratocúmulos indica que la nubosidad estuvo repartida de forma desigual a lo largo del día porque a las 7 horas era de 2 octas, a las 13 horas de 1 octa y a las 18 horas de 4 octas. Este hecho se explica porque el mar de nubes es menos frecuente al mediodía y está más presente a partir del ocaso (Marzol, 1993). Sin lugar a dudas la nubosidad explica la diferencia de insolación entre el Norte y Oeste: 6.5 horas en Mazo y 12.4 horas en Los Llanos de Aridane.

Durante el *2 de julio de 2011* la cantidad de nubes bajas es muy superior a las del episodio anterior, de 15 octas, todas ellas por estratocúmulos, y el cielo estuvo cubierto durante todo el día en Mazo. En este caso, el mar de nubes es el condicionante explicativo de la reducción de la insolación en la vertiente Este (36%) respecto al resto de la isla donde se superó el 84% de insolación (figura 17 b1, b2 y b3).

Los días *23 y 24 de junio de 2013* constituyen un único episodio con tiempo de alisios. La cantidad de horas de sol difieren significativamente de un día a otro en el Sureste de la isla mientras que en el resto de localidades no fue así. El primer día en Mazo se registraron 9.9 horas de sol y al día siguiente tan sólo 6.4, mientras que los registros de las localidades de Las Tricias, Los Llanos de Aridane y Tijarafe superan las 10.8 horas y las variaciones entre la primera y la segunda fecha no alcanzan una hora.

La nubosidad, por su relación inversa con la insolación, explica las diferencias espaciales del soleamiento insular durante los días de alisio. Aunque en la tabla 7 las correlaciones entre la insolación con la temperatura y la humedad no son demasiado significativas se pueden extraer algunas consideraciones:

Durante el *22 de junio de 2011* el aumento de la insolación de Este a Oeste lleva aparejado un aumento de las temperaturas máximas, sobre todo en Las Tricias (figura 17 a3). En cambio, las temperaturas mínimas fueron superiores en el Este, lo que explica la menor oscilación térmica en esta vertiente. Es decir, en el Oeste hizo calor y mucho sol durante el día refrescando bastante en la noche mientras que en el Este estuvo nublado e hizo menos calor durante el día pero la noche fue más templada. Todo ello fruto de la persistencia del mar de nubes estancado en la vertiente oriental. Los valores de humedad superiores en el Este confirman esa pérdida de sol. Lo mismo ocurre durante el *2 de julio de 2011*, si se compara el comportamiento de la insolación en las vertientes Norte y Oeste de la isla con la del Sureste, que fue dos veces y media menor, la oscilación térmica más baja y la humedad superior (figura 17 b3).

6. CONCLUSIONES

La insolación en la isla de La Palma, a diferencia de otras variables meteorológicas, ha sido poco estudiada. Este Trabajo de Fin de Grado pretendía realizar una aproximación a su conocimiento y a la comprensión del papel tan importante que tiene el mar de nubes y la disposición del relieve insular en el comportamiento de esta variable en la isla. Llegados a este punto se es consciente que este Trabajo de Fin de Grado es una aproximación y que es necesario continuar estudiando esto para poder responder algunas preguntas sin resolver.

Mientras que los factores astronómicos del movimiento de rotación y traslación determinan que haya más sol durante los meses estivales y menos en los invernales como consecuencia de la diferente duración de los días, el factor geográfico de la latitud condiciona una elevada cantidad de horas de sol teóricas que debe tener la isla de La Palma ($28^{\circ}\text{N} = 4.300$ horas en el aeropuerto de Mazo).

Ahora bien, existe otro factor geográfico, a escala local, como es la disposición y altitud del relieve insular que, aliado con un condicionante de carácter atmosférico, como es el mar de nubes, impiden que las horas reales de sol se aproximen a esas horas teóricas y, además, causan que las diferencias de unas vertientes a otras sean muy acusadas en esta isla. Cabría preguntarse cuál de los dos es más importante, pero pensamos que no es posible separar a ambos. En primer lugar, en el caso de que no existiera un relieve capaz de provocar el estancamiento de la nubosidad, ésta alcanzaría

ambas vertientes, y la totalidad de la isla, tendría valores de insolación inferiores, pero sin diferencias locales significativas; en segundo lugar, si no existiese el mar de nubes, capaz de reducir la insolación, las diferencias espaciales de la insolación estarían determinadas por las sombras que pudiera generar el relieve.

La sucesión de los diferentes tipos de tiempo causa variaciones de la insolación insular a lo largo del año desde el momento que hay un predominio estival del régimen de alisios e invernal de las barracas del Frente Polar. El primero es más frecuente durante los meses de junio y julio, y trae asociado un tipo de nubosidad estratiforme baja, conocida como mar de nubes, que queda estancada en la vertiente oriental como consecuencia de la altitud y disposición norte-sur del relieve insular, no pudiendo alcanzar el Oeste. Ello conlleva una disminución considerable de la cantidad de horas de sol en el sector oriental de la isla, con respecto al occidental, similar a la que se da entre el Norte y Sur de la península ibérica. En cambio, el tipo de tiempo inestable se acerca a La Palma acompañado de una nubosidad de gran desarrollo vertical pero aislada que será la causa de la disminución puntual de la insolación dependiendo la dirección de los frentes. En este caso explica la pérdida de nubosidad de los meses invernales en la totalidad de la isla.

En relación al *primero de los objetivos propuestos*, se verifica que la costa occidental alcanza la mayor cantidad de horas de sol anuales mientras que las medianías orientales registran la menor cantidad de sol, con casi 1.000 horas de diferencia entre ambas. La máxima insolación se da durante los meses estivales y los mínimos en invierno. Sin embargo, como consecuencia del mar de nubes la insolación en los meses estivales es notablemente inferior en el Este que en el Oeste de la isla.

En cuanto al *segundo de los objetivos*, las posibles anomalías de la insolación durante los últimos tres años con respecto a su comportamiento medio, podemos afirmar que, en líneas generales, se ha producido un aumento de la insolación en el mes de junio y una disminución de la insolación en las localidades más orientales durante los meses de mayo, fruto de la mayor frecuencia del mar de nubes, y que el invierno, ha sido más nuboso en todas las localidades, respecto a la media. Este hecho responde a la elevada frecuencia de borrascas del Frente Polar durante estos dos meses en el último trienio.

La hipótesis previa de que la cantidad de insolación está relacionada con otras variables climáticas como la temperatura, la humedad o la nubosidad motivó que se hicieran correlaciones entre todas ellas pero los resultados obtenidos indican que sólo la

nubosidad, y en menor medida la oscilación térmica, muestran relación con la insolación, la primera en sentido negativo y la segunda en positivo.

El *tercer objetivo* era conocer cómo respondía la insolación insular en un día típico de alisio y para ello se utilizaron diferentes métodos de selección resultando el de la frecuencia y tipo de la nubosidad el más restrictivo. El resultado de esta fase del trabajo indica que durante estos días es la vertiente oriental la que sufre la mayor pérdida de horas de sol como consecuencia del estancamiento del mar de nubes por el relieve insular.

En definitiva, el estancamiento del mar de nubes en la vertiente Este, debido a la disposición (norte-sur) y altitud del relieve en la isla de La Palma, provoca diferencias del comportamiento de la insolación tanto a escala espacial como temporal.

7. POSIBLE APLICACIÓN

El conocimiento del comportamiento de las diferentes variables climáticas es necesario ya que inciden en la vida y condicionan las actividades económicas, modelan el relieve, determinan la distribución de los biomas, etc. La insolación no iba a ser menos. Tener en cuenta el comportamiento espacial y temporal de esta variable en la isla de La Palma puede tener diversas aplicaciones. Las que se exponen a continuación son algunas, pero no son las únicas.

a) En relación a los cultivos. La radiación solar es la fuente de energía que utilizan las plantas en el proceso de fotosíntesis para sintetizar la materia orgánica. Las necesidades de insolación difieren entre unas y otras. En el caso de los cultivos agrícolas, diversos estudios científicos han comprobado que la radiación solar es menos importante que la insolación, y en función de ésta las plantas se clasifican en plantas de fotoperiodo largo, corto o indiferentes (Torres, 1983). En ausencia de factores limitantes, la buena correlación entre la radiación y la fotosíntesis neta y entre la radiación total y el rendimiento de un cultivo que permita un buen aprovechamiento de la luz, se adelanta la floración (Torres, 1983). En el caso de frutas como el melón, la sandía o la calabaza, la deficiencia de luz y calor implica un menor contenido en azúcar al igual que ciertos tubérculos como la patata que disminuye su rendimiento con las sombras. Así, la elevada insolación de la vertiente Oeste de La Palma, unida a otros condicionantes edáficos, pluviométricos, térmicos, etc., explica que el Valle de Aridane, Tazacorte y Tijarafe sean localidades donde predomina el cultivo de plataneras y

frutales subtropicales. Esteban Rodríguez, agricultor de Tijarafe señala que “en el caso de las plataneras, el peso de la piña varía en función de la altitud, siendo mayor cuanto más cerca estemos de la costa. En la costa de Tijarafe, a unos 200 metros de altitud, el peso medio de una piña oscila entre los 35 y 40 kilos, mientras que dentro de un invernadero en el mismo lugar, el peso varía entre los 43 y 45 kilos porque altas temperaturas y poca oscilación térmica son beneficiosas, pero al ascender en altitud, el peso de las piñas disminuye. También hay diferencias que no responden a la altitud, en Puerto Naos, por ejemplo, el peso de una piña es alrededor de 45-47 kg, peso superior al de las de Tijarafe porque las piñas, y las frutas en general son de mayor tamaño cuando reciben más cantidad de sol. Si se compara el tamaño de las frutas de las medianías de Los Sauces y Barlovento con las de Tijarafe, se ve que estas últimas son mayores”. Del mismo modo, Sergio Esteban añade que “las horas de sol no influyen en la calidad, pero sí en la productividad. Así, en Las Hoyas, Puerto de Naos o Fuencaliente, una fanega puede dar perfectamente 35.000 kg/año porque la cantidad de sol es mayor que en Tijarafe, donde el rendimiento de la misma superficie es de unos 30.000 kg/año aproximadamente”.

b) En relación al turismo, una mayor cantidad de horas de sol condiciona el tipo de actividad turística. Especialmente, la costa occidental palmera es la de mayor cantidad de horas de sol, sin embargo el ISTAC (2014) no señala ninguna localidad del Oeste de la isla como “turística” y sí áreas en el Este y Sur como Breña Baja (Los Cancajos), Santa Cruz de La Palma o Fuencaliente. Este hecho indica que el turismo en la isla de La Palma no es fundamentalmente de “sol y playa”, y que si pretendiera serlo la localización de dichas áreas debería ser en la costa occidental de la isla, costa de Puerto Naos y Tzacorte, donde, en primer lugar, existe playa y, en segundo lugar, la cantidad de horas de sol es muy superior a la de las localidades orientales.

c) En relación a la construcción no cabe duda que si los edificios se construyeran pensando en el aprovechamiento de la energía solar, al menos la mitad de los combustibles fósiles consumidos en calefacción y agua caliente serían ahorrados. En esta línea, el Código Técnico de la Edificación (2009) establece, entre otras cosas, determinaciones en relación a la eficiencia energética de las instalaciones de iluminación y la contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica en función de unas zonas climáticas para la totalidad de España. Para ello se tiene en cuenta umbrales de radiación que en el caso de la costa oriental de La Palma es más de 5.0 Kw/h/m²

mientras que en las medianías desciende hasta valores próximos a los que se registran en Asturias o País Vasco (inferiores 3.8 Kw/h/m^2).

d) *En relación a la energía*, las posibilidades de obtención de energía solar en España son bastante altas mientras que el consumo de combustibles fósiles cada vez es más limitado (Martínez, 1984). Este país es uno de los líderes mundiales en la generación de energía eléctrica a partir de paneles solares fotovoltaicos, tanto por capacidad productiva (abastece el 30% del mercado europeo y el 8% del mundial) como por potencia instalada. En el caso de La Palma, tan sólo 4.5 mW de potencia son de origen fotovoltaico, muy lejos de lo que ocurre en Tenerife, que alcanza hasta los 5.4 mW en 2013 (CEAE La Palma, 2014).

Si se pretendiese dar mayor cabida al uso de la energía solar para la generación de electricidad, el elevado número de horas de sol en la vertiente occidental de la isla de La Palma, la convierten en el espacio idóneo para la instalación de huertos fotovoltaicos. En líneas generales lo que se tiene en cuenta para la instalación de los mismos, es la cantidad de radiación recibida. La eficiencia y productividad será mayor cuanto mayor sea la radiación recibida por la superficie, por lo que una mayor cantidad de horas de sol favorecería a dicha variable. Por este motivo, una planta fotovoltaica en Los Llanos de Aridane tendrá una productividad muy superior a una instalada en el aeropuerto de Mazo, ya que los valores medios de insolación diaria son del 62% y el 47% respectivamente, y los de radiación media diaria también son superiores al Oeste de la isla ($13.8 \text{ W/m}^2/\text{h}$ en Los Llanos) que en el Norte ($8.3 \text{ W/m}^2/\text{h}$ en Barlovento).

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BACHILLER, R. (2009). *El sol, nuestra estrella, nuestra energía*. Observatorio Astronómico Nacional. Ministerio de Fomento. Madrid.
- BARRY, R. G. (1972). *Atmósfera, tiempo y clima*. Omega. Barcelona.
- BULLÓN, F. (2006). *Meteorología del Aeropuerto de La Palma*. Disponible en http://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/aeronautica/meteo_lapalma.pdf. Consultado el 3 de abril de 2014.
- CARRACEDO, J.C.; PÉREZ, F.J. y HANSEN, A. (2007). El relieve de las islas Canarias. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. Vol. 15, nº2, 196-205.
- CEAELAPALMA (2014). *Estadística de energías renovables*. Disponible en: <http://ceaelapalma.pbworks.com/w/page/50005135/Estadisticas%20Renovables%20La%20Palma>. Fecha de consulta: 9 de junio de 2014.
- CLIMATEDATA (2014). *Clima de La Palma*. Disponible en: <http://www.climatedata.eu/climate.php?loc=spxx0207&lang=>. Consultado el 25 de marzo de 2014.
- CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN, (2009). Orden VIV/984/2009 de 15 de abril, por la que se modifican determinados documentos básicos del Código Técnico de la Edificación aprobados por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, y el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre. (*BOE 23-abril-2009*). Gobierno de España. Madrid.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (2010). *Manual teórico práctico del observador meteorológico de superficie*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F.
- CUADRAT, J.M. y PITA, M.F. (1997). *Climatología. Cátedra*. Madrid.
- DORTA, P. (1996). Las inversiones térmicas en Canarias. *Investigaciones Geográficas*, nº 15, 109-124.
- FELICÍSIMO, A. M. (1994). *Modelo Digitales del Terreno*. Penfalta. Oviedo.
- GEVIC (2014). *Fisiografía de Canarias*. Disponible en: http://www.gevic.net/info/contenidos/mostrar_contenidos.php?idcat=36&idcap=58&idcon=336. Fecha de consulta: 25 de marzo de 2014.
- GIL, A. y OLCINA, J. (1997). *Climatología general*. Ariel Geografía. Barcelona.

- GÓMEZ TAGLE, A. y CHÁVEZ Y. (2004). Cálculo de la distribución espacial de la insolación. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*. UNAM, nº 55, 7-22.
- ISTAC(2014)*Superficie por islas*. Disponible [http://www.gobiernodecanarias.org/istac/jaxiistac/ tabla.do?uripx=urn:uuid:6f44cafe-1292-400c-8bcb-840744680460&uripub=urn:u uid:fbc0bdc8-cacb-43b8-a5cb93f745 dcff6](http://www.gobiernodecanarias.org/istac/jaxiistac/tabla.do?uripx=urn:uuid:6f44cafe-1292-400c-8bcb-840744680460&uripub=urn:uuid:fbc0bdc8-cacb-43b8-a5cb93f745-dcff6). Fecha de consulta: 25 de marzo de 2014.
- ISTAC (2014) *Instituto de estadística de Canarias. Demanda turística. Turistas y pasajeros*. Disponible en http://www.gobiernodecanarias.org/istac/temas_estadisticos/sectorservicios/hosteleriyturismo/demanda/. Fecha de consulta: 17 de mayo de 2014.
- MARTÍN VIDE, J. y MORENO C. (2001). Determinación de la insolación a partir del número de días de cielo despejado y de cielo cubierto en España. En Manero, F. (Coord.) *Espacio natural y dinámicas territoriales*. Universidad de Valladolid, 265-274. Valladolid.
- MARTÍN VIDE, J.; CALBÓ, J. y SÁNCHEZ-LORENZO, A. (2006). *Tendencias recientes de la insolación en la España peninsular y Baleares (1971-2000) Recent trends of sunshine duration in the peninsular Spain and Balearic islands (1971-2000)*. Universidad de Sevilla.
- MARTÍNEZ, I. (1984). *Radiación solar y agricultura*. Sección de publicaciones del Instituto Nacional de Meteorología. Madrid.
- MARTÍN VIDE, J. y OLCINA, J. (2001). *Climas y tiempo de España*. Editorial Alianza. Madrid.
- MARZOL, M^a V. (1993). Los factores atmosféricos y geográficos que definen el clima del archipiélago canario. *En Aportaciones en Homenaje al profesor Luis Miguel Albentosa*. Diputación provincial de Tarragona. Tarragona. 151-176.
- MARZOL, M^a V. (1995). Características de la tropopausa en la región de Canarias (1982-1993). *Revista de Geografía Norte Grande*, nº 22, 59-66.
- MARZOL, M^a V. y MÁYER, P. (2012). Algunas reflexiones sobre el clima de las islas Canarias. *Nimbus*, nº29-30, 399-416.
- METEONAVARRA (2014). *Insolación*. Disponible en <http://meteo.navarra.es/definiciones/insolacion.cfm>. Fecha de consulta: 27 de enero de 2014.

- MINISTERIO DE MEDIOAMBIENTE (1997). *Guía resumida del clima en España, 1961-1990*. Centro de publicaciones de la Secretaría Técnica de Medioambiente. Madrid.
- MINISTERIO DE MEDIOAMBIENTE (2001). *Calendario Meteorológico 2007*. Centro de publicaciones de la Secretaría Técnica del Ministerio de Medioambiente. Madrid.
- MUÑOZ, M. y MOLINA, J. (1997). Anotaciones geográficas acerca de la insolación en España. *Papeles de Geografía*, nº25, 17-30.
- OLCINA, J. y CANTOS, J. (1997). *Climatología general*. Ariel geografía. Barcelona.
- QUEREDA, J. (2005). *Curso de climatología general*. Universitas. Castellón de la Plana.
- REAL ACADEMIA DE LA LENGUA ESPAÑOLA, RAE-RA. (2001). Entrada para el término 'Insolación'. Fecha de consulta: 13 de febrero de 2014.
- RAPP, J. y LAGO, J. (1997). *Uso de un sistema de información geográfica para la obtención de un mapa digital de un indicador de la insolación*. Departamento de Ciencias Agroforestales de la Universidad de Huelva. Palos de la Frontera.
- SÁNCHEZ LORENZO, A. (2006). *Spatial and temporal analysis of sunshine duration variability over the Iberian Peninsula (1951-2004)*. Diploma Thesis, University of Barcelona, 187 p.
- SÁNCHEZ LORENZO, A.; SIGRO, J.; CALBÓ, J.; MARTÍN VIDE, J.; BRUNET, M.; AGUILAR, E. y BRUNETTI, M. (2008). Efectos de la nubosidad e insolación en las temperaturas recientes de España. En Sigró, J., Brunet, M. and Aguilar, E. (Coord). *Cambio Climático Regional y sus Impactos*, Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, Serie A, nº 6, 273-283.
- SOL. ARQ. (2014). *Soluciones arquitectónicas sustentables. Radiación Solar*. Disponible en: <http://www.sol-arq.com/index.php/radiacion-solar/radiacion-tierra>. Fecha de consulta: 17 de marzo de 2014.
- TORRES, E. (1983). *Agrometeorología*. Diana. México.
- WRIGHT, J. (2003). Estudio de la variabilidad espacial y temporal. *Top. Meteor. Oceanog*, nº 10, 20-30.
- WMO (1997). *Measurement of sunshine duration. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*, 6th ed., World Meteorological Organization. Ginebra.

9. CONSULTAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEMET (2012). *Atlas climático de los archipiélagos de Canarias, Madeira y Azores*. Centro de publicaciones del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid.
- AEMET (2013). *Informe Climatológico Mensual*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Delegación Territorial de la AEMET en Santa Cruz de Tenerife.
- ALEMANY, J. C. (1989). *Diccionario de meteorología*. Madrid. Alhambra.
- ELÍAS, F. Y CASTELLVI, F. (1996). *Agrometeorología*. Mundiprensa. Madrid.
- ESLAVA, J. (1989). Características de la Insolación (Brillo Solar) en la cuenca del Cauca superior. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, XVII (64), 87-118.
- FONT TULLOT, I. (1983). *Climatología de España y Portugal*. Ediciones de la Universidad de Salamanca
- GRAHAM, E. (2007). *Temperature and Precipitation Changes at La Palma, Canary Islands (1971-2000)*. European Southern Observatory. ESPAS Site Summary Series Report. Fribourg.
- GUIJARRO, J. (2007). Cambios en la medida de las horas de insolación: Análisis de su impacto en dos observatorios de las Islas Baleares (España). *Revista de climatología*. Vol. 7, 27-32.
- PULIDO, A.; JIMÉNEZ, J.; ROMERO, J.; ANGULO, N.; GONZÁLEZ, P. y QUINTANA, J. (2007). *Irradiación solar en las Islas Canarias*. Departamento de Energía Eléctrica. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- ROSADO, N. F. (2005). Estudio de la insolación en la península de Zapata. *Revista Avanzada Científica*. Vol. 7, nº1, 104-113