

ESTUDIO DEL RÉGIMEN DE VIENTOS EN EL ENTORNO DE LOS RODEOS (2000 - 2012)

Trabajo realizado por: Víctor Manuel Romeo Jiménez

Trabajo dirigido por: María Victoria Marzol Jaén

GRADO EN GEOGRAFÍA Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO

Julio de 2013

ÍNDICE

Resumen – Abstract	1
1. Introducción	2
2. Objetivos	5
3. Hipótesis	5
4. Metodología y fuentes	5
5. Área de estudio	8
6. Resultados y discusión	11
6.1. Caracterización del régimen de vientos en los Rodeos (2000 - 2012)	11
6.1.1. Dirección media anual del viento	11
6.1.2. Velocidad media anual del viento	12
6.1.3. La frecuencia de la dirección y velocidad media anuales	13
6.1.4. Las calmas del viento en Los Rodeos	14
6.1.5. Las direcciones medias estacionales del viento	16
6.1.6. Las velocidades medias estacionales del viento	18
6.1.7. La frecuencia de la dirección y velocidad media a las 13 horas	20
6.1.8. Dualidad del viento en el pasillo de Los Rodeos	22
6.2. Comparación de los rasgos del viento en ambos periodos	25
6.2.1. Frecuencia y velocidad media anual	25
6.2.2. Rachas máximas	27
6.2.3. Frecuencia de los días de niebla en Los Rodeos	28
6.3. Estudio del viento mediante el grado de deformación de la vegetación	30
7. Posible aplicación	33
8. Conclusión	34
9. Bibliografía	

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Mapas sinópticos de superficie. Posición habitual del anticiclón en invierno y verano	2
2. Rosa de vientos de 16 rumbos	5
3. Escala Beaufort según OMM	6
4. Grado de deformación en la vegetación por acción del viento según Yoshino y Barsch	7
5. Ficha inventario elaborada en la que se incluye la información de campo obtenida.	7
6. Pasillo de Los Rodeos visto desde Anaga	8
7. Pasillo de Los Rodeos visto desde Santa Cruz	9
8. Anemocinemógrafos Munro y Vaisala	9
9. Distintas localizaciones del instrumental meteorológico del observatorio que Aemet tiene en el aeropuerto de Los Rodeos	10
10. Localización de los cuatro cuadrantes	11
11. Frecuencia de la dirección (%) y velocidad media del viento (km/h) en Los Rodeos a las 00, 07, 13 y 18 horas en el período 2000 - 2012	13
12. Distribución media horaria de las calmas en cada uno de los meses en Los Rodeos (2000-2012)	15
13. Frecuencia media mensual de la dirección del viento a cuatro horas del día en Los Rodeos (2000-2012)	17
14. Velocidad media mensual del viento a cuatro horas del día en Los Rodeos (2000-2012)	19
15. Frecuencia (%) y velocidad media (km/h) del viento a las 13 horas en Los Rodeos (2000-2012)	21
16. Evolución de la humedad relativa y la temperatura horaria desde el día 18 al 28 de abril de 2013 en Los Rodeos	22
17. Frecuencias medias de la dirección del viento los días 18 y 20 de abril de 2013 en Los Rodeos	23
18. Mapas sinópticos de la presión en superficie (hPa), a las 00 horas los días 18 y 20 de abril de 2013	24
19. Mapas de la temperatura a 850 hPa, a las 00 horas los días 18 y 20 de abril de 2013	24
20. Frecuencia y velocidad media anual del viento en Los Rodeos, según su dirección a las 00, 07, 13 y 18 horas, para las series 1961-1990 y 2000-2012	26
21. Imágenes de la niebla en Los Rodeos	29
22. Mapa de síntesis de los vientos dominantes en el entorno de Los Rodeos	31

23. Noticia sobre la incidencia de la niebla en el aeropuerto. Periódico el Día 14/06/2013	33
---	----

ÍNDICE DE TABLAS

1. Frecuencia (%) media de la dirección del viento en Los Rodeos, a las 00, 07, 13, y 18 horas (2000 - 2012)	11
2. Frecuencia relativa y absoluta del viento en Los Rodeos, a las 00, 07, 13, y 18 horas (2000 - 2012)	12
3. Frecuencia de la dirección (%) y velocidad media (km/h) anual del viento en Los Rodeos, según su dirección a las 00, 07, 13, y 18 horas, en las series 1961-1990 y 2000-2012	25
4. Rachas máximas medias y mensuales a cuatro horas (00, 07. 13. y 18), para las series 1961-1991 y 2000-2012	27
5. Media mensual y anual de los días de niebla en el pasillo de Los Rodeos, para las series 1961-1990 y 2000-2012	28

RESUMEN

Este trabajo analiza las características más significativas del viento, en lo que se refiere a su dirección y velocidad, en el pasillo de los Rodeos (Tenerife) en los últimos 13 años (2000-2012), y se comparan con las del periodo normal 1961-1990 para comprobar si se han producido cambios significativos en esa variable climática en este sector de la isla de Tenerife. En segundo lugar se explora la posibilidad de trabajar la dirección del viento en áreas donde no hay información meteorológica, y si se puede utilizar como fuente de información el grado de deformación de la vegetación por la acción del viento. Los datos analizados son las observaciones a cuatro horas del día (00:00, 07:00, 13:00 y 18:00 horas) del observatorio meteorológico del aeropuerto Tenerife Norte - Los Rodeos.

Los resultados obtenidos ratifican el predominio de las dos direcciones del viento dominantes en ese lugar (NW y SE), aunque con variaciones diarias y mensuales significativas. En la comparación de ambos períodos se han hallado cambios en el comportamiento del viento, sobre todo en lo referente a su dirección.

ABSTRACT

This paper analyzes the most significant characteristics of the wind, in regard to its direction and speed, in the corridor of Los Rodeos (Tenerife) in the last 13 years (2000-2012), and compared with those of normal period 1961-1990 to check if there have been significant changes in the variable climate in this part of the island of Tenerife. Second we explore the possibility of working wind direction in areas where there is no weather information, and if you can use as a source of information, the degree of deformation of the vegetation by the wind. The data analyzed are the observations to four hours a day (00:00, 7:00, 13:00 and 18:00) meteorological observatory Tenerife North airport – Los Rodeos.

The results confirm the dominance of the two wind and dominant there (NW and SE), although with significant monthly and daily variations. In comparing the two periods were found changes in wind behavior.

1.- INTRODUCCIÓN

El clima de las Islas Canarias se explica por la influencia de dos tipos de factores, los estrictamente geográficos como la corriente fría de Canarias, la proximidad al continente africano, el ser territorio insular y el relieve, y por factores derivados de la dinámica general de la atmósfera de esta región, como son el anticiclón de las Azores, la inversión térmica de subsidencia, la circulación del Oeste y los vientos alisios. Al estar situadas en una zona de transición entre el mundo templado y el tropical, se ven afectadas tanto por la circulación del Oeste de las zonas templadas como por las altas presiones subtropicales, con una circulación de los alisios Norte y Nordeste, a niveles superficiales. La influencia de tantos factores permite definir al clima de Canarias como singular, aunque como destaca MARZOL (1993a), en las islas existe una extraordinaria y rica variedad climática consecuencia, fundamentalmente, de los contrastes orográficos. Por ello es imposible incluir en un solo clima a todo su territorio.

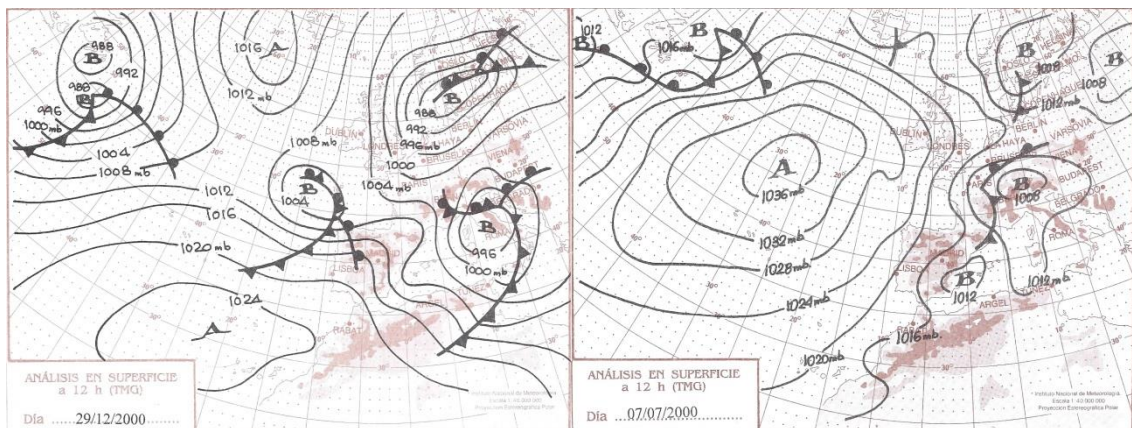


Fig. 1- Mapas sinópticos de superficie. Posición habitual del anticiclón en invierno y verano. Fuente: Aemet

De todos los factores que interactúan conjuntamente para dar forma al clima del archipiélago, el que sin duda tiene más relevancia, es la influencia del anticiclón de las Azores, porque de él salen las masas de aire que dan origen al régimen de vientos predominante en las islas. Si bien, no es el objeto de este trabajo analizar la estructura del anticiclón, estudios como el de LEROUX (2001), la definen como bastante compleja, ya que en ella intervienen factores dinámicos y en menor medida térmicos. Este centro de altas presiones subtropicales casi permanente, varía tanto su posición como su potencia en función de los ascensos y descensos en latitud de la circulación atmosférica general (MAZOL, 1993b; DORTA *et al.*, 1993), desplazándose hacia el S y

SW en invierno, lo que facilita la entrada de borrascas atlánticas (Figura 1). Por el contrario, en verano asciende hacia latitudes más septentrionales, viéndose Canarias afectada de lleno por la acción de los vientos alisios, pero a su vez, como explican FONT TULLOT (1950) y DORTA (1990, 1999), también permite las invasiones de aire caliente africano.

La atmosfera en la región de Canarias presenta dos capas, una inferior hasta alrededor de los 1.500 metros de altitud, marcada por el régimen de vientos alisios de dirección Nordeste (FONT TULLOT, 1951; MARZOL, 1993b; DORTA, 1996; VALLADARES, 1996), frescos y húmedos debido a la influencia de la corriente oceánica fría de Canarias. Y otra capa superior, por encima de los 2.000 metros de altitud, generada por la circulación general del Oeste, con vientos secos. Durante los periodos en los que domina el régimen de alisios, esa estratificación de la atmósfera en dos capas se manifiesta, además, por la presencia de una inversión térmica de subsidencia. Este fenómeno, como Dorta (1996) lo define, no es más que un cambio en la tendencia normal del aire a enfriarse con la altitud, lo que se traduce en que la temperatura del aire aumenta, en lugar de disminuir, por encima de los alisios de la capa inferior. El origen de esa inversión, más frecuente desde mediados de primavera hasta finales del verano, es doble, térmica en su sustrato inferior por enfriamiento y dinámica por la subsidencia del aire superior. Eso provoca que la nubosidad, al no poder desarrollarse verticalmente, lo haga de forma horizontal dando lugar a grandes formaciones de estratocúmulos, conocidas como “mar de nubes”. La incidencia de esas barreras de nubosidad impulsadas por los vientos alisios, significan un aporte casi continuo de humedad a las vertientes septentrionales, por lo que se considera este fenómeno como el principal responsable de los grandes contrastes de paisaje existentes entre las diferentes fachadas de cada isla (AROZENA, 1991; MARZOL, 2003).

Caracterizar el régimen de vientos de una región tiene una gran importancia a nivel climático; sin embargo son muy pocos los estudios publicados sobre esta variable si se compara con otras, como pueden ser la temperatura y la precipitación, de las que existen muchos análisis. Hay dos grandes problemas a la hora de trabajar con el viento, por un lado el escaso número de estaciones que lo miden, y por otro, la imposibilidad de generalizar datos a amplios territorios como consecuencia de los contrastes orográficos, muy significativos en el caso de Canarias. La red de puntos de medición de la dirección y velocidad del viento en la isla de Tenerife no es muy numerosa. La Agencia Estatal de

Meteorología (Aemet), posee cuatro observatorios de primera categoría (Santa Cruz de Tenerife, Izaña, y los aeropuertos del Norte y Sur de la isla), y alrededor de 26 estaciones meteorológicas autómatas repartidas por diferentes lugares de la isla que también miden la dirección y velocidad del viento.

Antecedentes relacionados con el análisis del viento en Canarias son los del Atlas Climático de España publicado en 1983 por el INM, donde se incluyen las rosas de viento medias estacionales de las dos capitales de provincia, y el Atlas Nacional de España (1991), que contiene dos rosas de la velocidad media del viento para Canarias, aunque no se indica de qué localidades se trata.

En 1969, HUETZ de LEMPS en su libro sobre el clima de Canarias, compara el viento en los meses de enero y julio en Los Rodeos y deja claro el predominio de los vientos del NW frente a los de la dirección opuesta. Con posterioridad, en las publicaciones de la Aemet de los observatorios meteorológicos, la referida a la estación de Los Rodeos, curiosamente, no aportan ninguna información de este elemento climático. Se han encontrado referencias al viento en este sector de la isla de Tenerife en el Plan Director del Aeropuerto de Los Rodeos (2001) y en el Mapa Estratégico de Ruido (2007) que incluyen un análisis sobre la frecuencia, dirección y velocidad media del viento, en los periodos 1988-1998 y 1996-2005, respectivamente. En definitiva, es bien conocida la dinámica del viento en el pasillo de Los Rodeos y sin embargo son muy pocas las publicaciones al respecto.

El trabajo que se presenta busca demostrar con datos lo que ya se conoce del viento en ese lugar. La topografía tan particular del pasillo de Los Rodeos hace que los cambios de tiempo – de alisio a tiempo sur y viceversa-, se perciban con claridad y rapidez en ese observatorio, de ahí la importancia de conocer cuál es su dinámica. El trabajo se estructura en tres partes, en la primera se analizan las características del viento en los últimos trece años, en la segunda parte se comparan los resultados obtenidos con los del período 1961-1990, y en la tercera se hace una propuesta para estudiar el viento en un lugar sin información meteorológica de esa variable.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es la caracterización del régimen de vientos en la zona de Los Rodeos durante los últimos trece años (2000-2012), y comprobar si se han producido cambios significativos en esta variable climática con respecto al periodo normal 1961-1990. Se comparan los resultados obtenidos con ese período de treinta años porque es el utilizado en los análisis del calentamiento global. Como objetivo secundario se busca verificar si es posible caracterizar el viento en esta zona de la isla utilizando como único indicador la deformación de los árboles producida por la acción del viento, es decir, ver si es viable conocer el régimen de vientos de un sector sin contar con la información meteorológica de esta variable.

3. HIPÓTESIS

La hipótesis de partida es que en los últimos años la frecuencia e intensidad del viento alisio en el pasillo de los Rodeos ha disminuido y, en consecuencia, también lo ha hecho el número de días de niebla. Numerosas observaciones empíricas en este sector de la isla apoyan la propuesta de verificar si se está produciendo un cambio en el régimen de vientos en la actualidad y asistimos a una tendencia descendente de este viento tan característico en la región del archipiélago canario.

4. METODOLOGÍA Y FUENTES

El estudio de las características del viento en el pasillo natural de Los Rodeos se realiza desde dos perspectivas. La primera ha consistido en el análisis estadístico de las dos variables que se analizan en el viento: dirección y velocidad. En lo que respecta a la dirección se utiliza la rosa de vientos de 16 rumbos (Figura 2), y en el caso de la velocidad se emplea la escala Beaufort. El uso de esta escala genera cierta controversia, puesto que al consultar diferentes autores se observa una variedad de criterio a la hora de establecer los umbrales de los rangos de velocidad, sobre todo en lo que se refiere

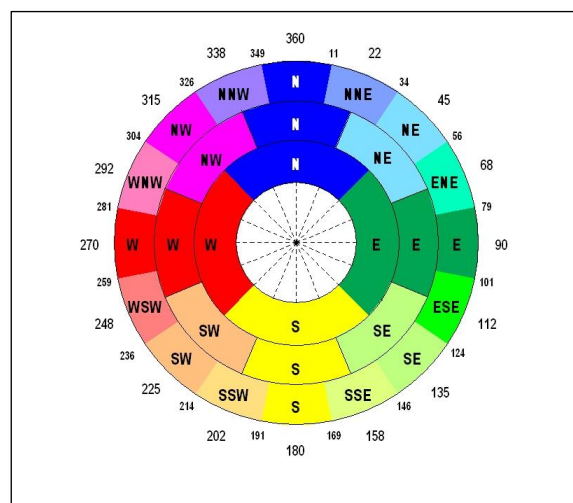


Fig. 2.- Rosa de vientos de 16 rumbos. Fuente: Aemet

a la clasificación de las calmas. Por ejemplo, AHRENS (1998) considera calma cuando hay un viento inferior a 2 km/h, sin embargo CUADRAT y PITA (1997) ese umbral lo aumentan hasta los 3 km/h y FERNÁNDEZ (1996) lo reduce hasta 1 km/h. En nuestro caso se opta por aplicar la escala Beaufort según los umbrales que establece la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en la Guía del Sistema Mundial de Observación de 2010, actualizada en 2012 (OMM - nº 488), en la que se considera calma a un viento inferior a 1 km/h (Figura 3). Siguiendo esta condición se han catalogado como calmas en el periodo analizado 360 registros, lo que representa el 1,9% del total de las observaciones.

Los datos del viento analizados proceden de la Agencia Estatal de Meteorología (Aemet) y corresponden a la estación meteorológica del Aeropuerto Tenerife Norte – Los Rodeos (16°19’62’’N, 28°28’39’’O, 632 m.s.n.m.). El período temporal estudiado es de 13 años (2000-2012) y se trabajan las observaciones a cuatro horas del día (00:00, 07:00, 13:00 y 18:00), por ser las horas a nivel internacional que se utilizan para realizar las climatologías diarias. En total, se contabilizan 4.749 días con 18.996 registros, de los que se descartan 46 (el 0,2%), 39 de ellos porque la dirección del viento presenta una componente variable y 7 registros por la ausencia de datos. En definitiva, la base de datos analizada es de 18.950 registros.

La metodología seguida en la elaboración de un mapa que refleje el régimen local del viento y las modificaciones que genera la orografía, utilizando como indicador la dirección y el grado de deformación de la vegetación por efecto del viento, es la empleada por numerosos autores (YOSHINO, 1973; IBARRA, 1989; ALCOFORADO, 1984, 1994) en áreas en las que no hay información de esta variable climática por ausencia de instrumental específico (anemocinémógrafos). Los pasos seguidos en esta parte del trabajo son:

Escala Beaufort de viento		
Grado	Término	Velocidad (km/h)
0	Calma	< 1
1	Ventolina	1 - 5
2	Flojito (brisa muy débil)	6 - 11
3	Flojo (brisa débil)	12 - 19
4	Bonancible (brisa moderada)	20 - 28
5	Fresquito (brisa fresca)	29 - 38
6	Fresco (brisa fuerte)	39 - 49
7	Frescachón (viento fuerte)	50 - 61
8	Temporal	62 - 74
9	Temporal fuerte	75 - 88
10	Temporal duro	89 - 102
11	Temporal muy duro (borrasca)	103 - 117
12	Temporal huracanado (huracán)	118 o más

Fig. 3.- Escala Beaufort según OMM

1. En una primera salida de campo se delimita un área del pasillo de Los Rodeos donde realizar el trabajo y se seleccionan cinco especies: pino canario (*Pinus canariensis*), pino de monterrey (*Pinus radiata*), Eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*) palmera canaria (*Phoenix canariensis*) y palmera en abanico (*Washingtonia robusta*), por ser las más frecuentes en ese área y porque su exposición al viento dominante permite identificar importantes alteraciones en sus copas y troncos.
2. Utilizando los índices de deformación de BARSCH y WEISCHER, (1963) y YOSHINO (1975), se diferencia el grado de deformación de los árboles elegidos. Ambos autores emplean escalas de seis niveles de deformación, sin embargo en el trabajo sólo se utilizan los cinco primeros porque no existen ejemplares tan afectados por el viento (Figura 4).
3. Se diseña una ficha inventario con la que se trabaja sobre el terreno (Figura 5).
4. En total, se realizan ocho salidas de campo en las que, con ayuda de un GPS, se georreferencian los árboles analizados y se rellenan las fichas.
5. Finalmente se elabora el mapa con la dirección e intensidad del viento en el área estudiada.



Fig. 4. – Grado de deformación en la vegetación por acción del viento según Yoshino y Barsch .

DATOS DE IDENTIFICACIÓN						
CÓDIGO:	01-20/04/2013-18h-652m			UTM:	28R 0368105 3151286	
LOCALIZACIÓN:	Crta. La Esperanza TF-24					
CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS						
FORMA DEL RELIEVE:	<input checked="" type="checkbox"/>	LLANO	<input type="checkbox"/>	ELEVACIÓN	<input type="checkbox"/>	OTRO ⁽¹⁾
DIRECCIÓN DEL VIENTO Y SITUACIÓN RESPECTO AL VIENTO DOMINANTE:						
	<input type="checkbox"/>	NW - NNW	<input type="checkbox"/>	ABIERTO	<input type="checkbox"/>	PROTEGIDO
	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	OTRO ⁽²⁾
CARACTERÍSTICAS FISIONÓMICAS DE LA VEGETACIÓN						
ESPECIE VEGETAL:	<i>Pinus radiata</i> - pino de monterrey			ALTURA:	5m – 7m	
DIRECCIÓN DE LA INCLINACIÓN:	SE - SSE			ÁNGULO:	3° - 5°	
GRADO DE DEFORMACIÓN:						
OBSERVACIONES:	⁽²⁾ Relativamente protegido por las construcciones situadas al otro lado de la carretera					



Fig.5- Ficha inventario elaborada en la que se incluye la información de campo obtenida.

La cartografía empleada en el trabajo ha sido facilitada por el Servicio de Información Geográfica del Cabildo de Tenerife y para la elaboración de los mapas temáticos y el tratamiento de la información se utilizan las aplicaciones informáticas ArcGis 9.3. y Excel 2010.

Además, con el fin de conocer los cambios de ubicación e instrumentación y las condiciones de observación en Los Rodeos, se realizan dos visitas a las instalaciones que la Aemet posee en la cabecera 30 del aeropuerto, en las que se entrevista al personal encargado de la observación meteorológica.

5. ÁREA DE ESTUDIO

En el Nordeste de la isla de Tenerife, en torno a los 600 metros de altitud se localiza una de las escasas zonas relativamente llanas de la isla, los llanos de los Rodeos. Estos terrenos, de pendientes suaves, con un marcado uso agrario debido a la fertilidad de los suelos, se ubican próximos a los dos núcleos de población más importantes, Santa Cruz de Tenerife y San Cristóbal de La Laguna. La llanura central se encuentra flanqueada al Este por los montes del macizo de Anaga y al Oeste por las estribaciones de la Dorsal de Pedro Gil. Tanto hacia el Norte como al Sur, la pendiente desciende de forma continua y pronunciada hasta el océano, sin accidentes geográficos que corten la homogeneidad del paisaje. Esto unido a las elevaciones situadas a ambos lados, hacen que esta zona adquiera la forma de un pasillo alargado, más que la de un valle (Figuras 6 y 7).

La canalización de los vientos alisios por ese pasillo genera una particularidad en esa zona de la isla, ya que la orografía modifica su dirección habitual del primer cuadrante (Nordeste), para convertirlos en vientos del cuarto cuadrante (Noroeste).

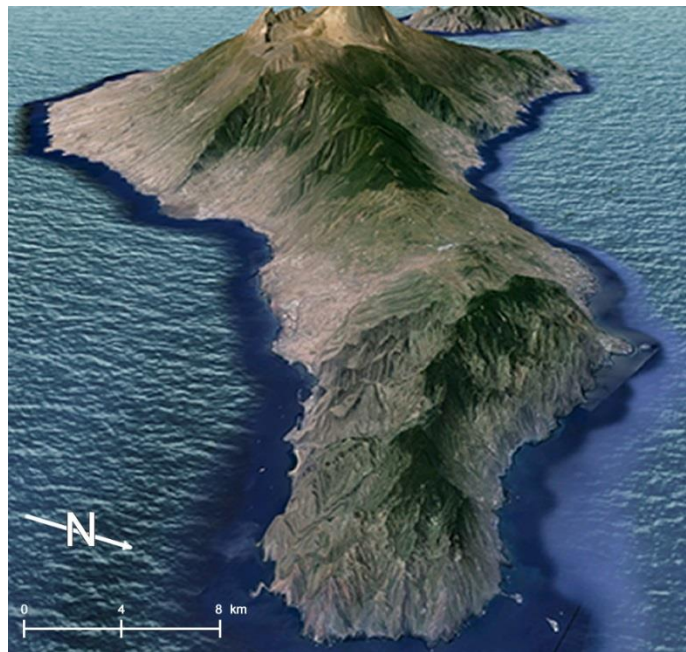


Fig. 6- Pasillo de Los Rodeos visto desde Anaga. Fuente: Grafcan

La cercanía a la capital y la suave topografía, junto con la coincidencia de la orientación del pasillo y los vientos dominantes, propiciaron la elección de esta zona para la construcción de un aeropuerto (actualmente aeropuerto Tenerife Norte).



Fig. 7- Pasillo de Los Rodeos visto desde Santa Cruz. Fuente: Grafcan

El observatorio meteorológico del que proceden los datos de este estudio se crea en 1938, y aunque en la actualidad se encuentra ubicado en la cabecera 30 de la pista del aeropuerto, tanto el observatorio como su instrumental han ido variando su localización a lo largo de los años. Además de los cambios de ubicación, se producen cambios en los dispositivos que miden el viento, al sustituirse los antiguos anemocinémógrafos Munro por los actuales Vaisala. La estación meteorológica del aeropuerto de Los Rodeos proporciona datos a partir de 1944, y hasta 1970 se sitúa en la sala (nº 1 de la Figura 9). En 1971 se trasladan los instrumentos a la pista (nº 2), y a partir de 1975 todos los dispositivos con los que se hacen las climatologías de esta estación se reubican en la



Fig. 8- Anemocinémógrafos Munro y Vaisala

cabecera 30 (nº 3). El instrumental meteorológico situado en la cabecera 12 y en la Fuerza Aeromóvil del Ejército de Tierra (FAMET), tienen un uso exclusivamente aeronáutico y no climatológico (nº 4 y 5).



Fig. 9- Distintas localizaciones del instrumental meteorológico del observatorio que Aemet tiene en el aeropuerto de Los Rodeos. Fuente: Grafcan

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Caracterización del régimen de vientos en los Rodeos (2000 - 2012)

6.1.1. Dirección media anual del viento

En la tabla 1 se muestra la frecuencia relativa de cada dirección del viento, utilizando para ello todas las observaciones del periodo analizado. Es importante indicar la dificultad que entraña utilizar 16 rumbos en lugar de 8, no sólo porque se trabaja con una cantidad elevada de datos, sino también porque complica la interpretación de los resultados, si bien favorece una mayor precisión.

FRECUENCIA MEDIA DE LA DIRECCIÓN DEL VIENTO EN LOS RODEOS (2000-2012)																
N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	CALMAS
3,9	0,9	0,4	0,5	2,3	6,0	6,4	5,2	2,9	0,5	0,4	1,2	11,9	21,4	23,1	11,2	1,9

Tabla 1- Frecuencia (%) media de la dirección del viento en Los Rodeos, a las 00, 07, 13, y 18 horas (2000-2012). Fuente: Aemet. *Elaboración propia.*

Al analizar los resultados por cuadrantes (Figura 10), se aprecia un dominio absoluto de los vientos del cuarto cuadrante, representando casi el 70% del total de las observaciones. A mucha distancia se encuentran los vientos del segundo cuadrante cuya frecuencia se mueve en torno al 20%.

Los vientos del primer y tercer cuadrante tienen una incidencia muy escasa ya que la suma de todas sus direcciones apenas alcanza una frecuencia del 10%.

Si el análisis se hace atendiendo a la frecuencia de cada uno de los 16 rumbos, las direcciones con mayor frecuencia son la del NW y WNW con el 23,1% y 21,4% respectivamente, lo que representa casi la mitad de las observaciones de la serie. En segundo

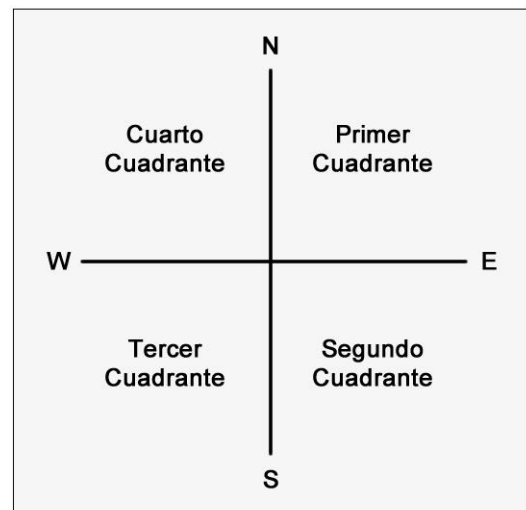


Fig. 10- Localización de los cuatro cuadrantes

lugar alcanzan una frecuencia notable los vientos procedentes de W (11,9%) y NNW (11,1%). Las direcciones con una frecuencia media y baja son las del SE (6,4%), ESE (6,0%) y SSE (5,2%), N (3,9%), S (2,9%) y E (2,3%), y por último, el resto de las

direcciones, cuyas frecuencias son casi nulas o inferior al 1% (NNE, NE, ENE, SSW, SW y WSW).

En resumen, a tenor de los resultados obtenidos el viento dominante en esta zona durante los últimos trece años, ha sido del cuatro cuadrante, más concretamente de componente NW y WNW.

6.1.2. Velocidad media anual del viento

En la tabla 2 se incluyen las frecuencias absolutas y relativas de la velocidad del viento, utilizando los umbrales de la escala de Beaufort. Los porcentajes se refieren al total de los datos a cuatro horas para toda la serie (2000-2012). Se observa que el 78%

de los vientos tienen un grado Beaufort inferior a 4, lo que supone que no se superan los 28 km/h. Si se le suman los vientos de grado 5, lo que eleva el umbral de la velocidad hasta los 38 km/h, se puede decir que el 95% de los vientos en el pasillo de Los Rodeos tienen velocidades moderadas. Las frecuencias más altas son las de los grados 3 y 4 (de 12 a 28 km/h), con casi el 54% del total de las observaciones, y que corresponden a la velocidad habitual de los

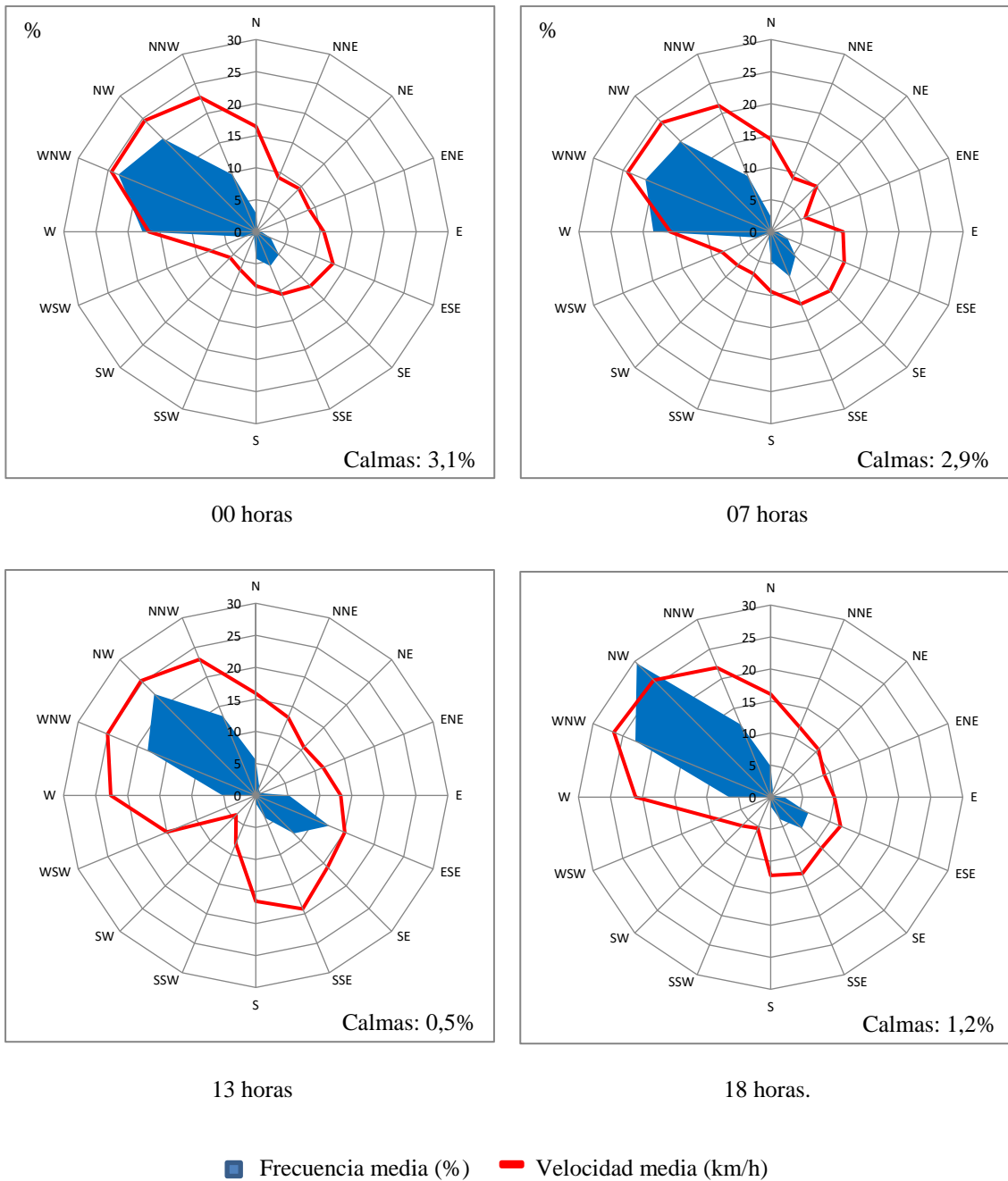
vientos alisios. En cuatro ocasiones el viento ha superado el grado 8 de la escala de Beaufort, catalogado como temporal (02/04/2000, 09/04/2002, 10/04/2002 y 29/11/2005). Los periodos de calmas son relativamente escasos con sólo 360 registros, lo que representa el 1,9% de la serie.

ESCALA BEAUFORT			FRECUENCIA	
Grado	Término	km/h	N	%
10	Temporal Duro	89 - 102	1	0,0
9	Temporal Fuerte	75 - 88	0	0,0
8	Temporal	62 - 74	3	0,0
7	Frescachón (viento fuerte)	50 - 61	48	0,3
6	Fresco (brisa fuerte)	39 - 49	596	3,1
5	Fresquito (brisa fresca)	29 - 38	3198	16,9
4	Bonancible (brisa moderada)	20 - 28	5213	27,5
3	Flojo (brisa débil)	12 - 19	4978	26,3
2	Flojito (brisa débil)	6 - 11	3291	17,4
1	Ventolina	2 - 5	1262	6,7
0	Calma	0 - 1	360	1,9
Total			18950	100

Tabla 2- Frecuencia relativa y absoluta del viento en Los Rodeos, a las 00, 07, 13, y 18 horas (2000 - 2012). Fuente: Aemet. *Elaboración propia.*

6.1.3. La frecuencia de la dirección y velocidad medias anuales

Al comparar las rosas de la dirección y velocidad del viento medias anuales a cada hora (Figura 11), se extrae una idea aproximada de cómo varía el viento a lo largo del día.



Fuente: Aemet. *Elaboración propia.*

Fig. 11- Frecuencia de la dirección (%) y velocidad media del viento (km/h) en Los Rodeos a las 00, 07, 13 y 18 horas en el período 2000-2012

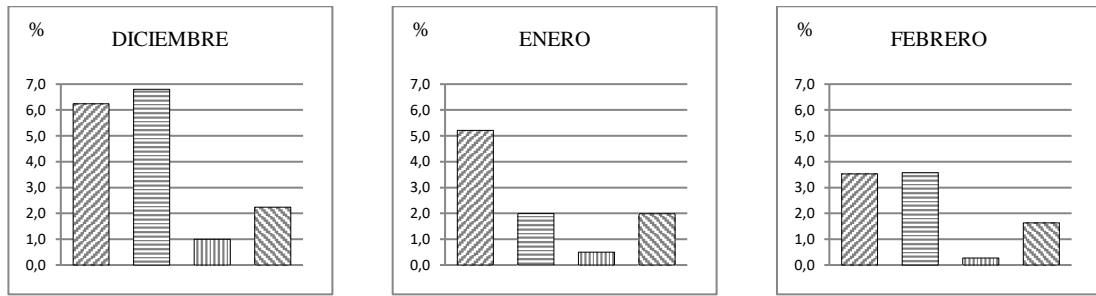
Por la noche, hay un predominio claro de vientos del WNW, con una velocidad media que se acerca a los 25 km/h. Al amanecer, el alisio reduce ligeramente su frecuencia y velocidad media, mientras que los vientos del SSE aumentan sobre todo en frecuencia. En el mediodía los del WNW rolan al NW y los SSE al ESE, incrementándose la velocidad de ambos con respecto a lo que ocurre a las 7 de la mañana. Finalmente, al atardecer la tendencia se invierte y son los vientos del NW los más frecuentes, ya que casi el 30% de los días tienen esa dirección.

6.1.4. *Las calmas del viento en Los Rodeos*

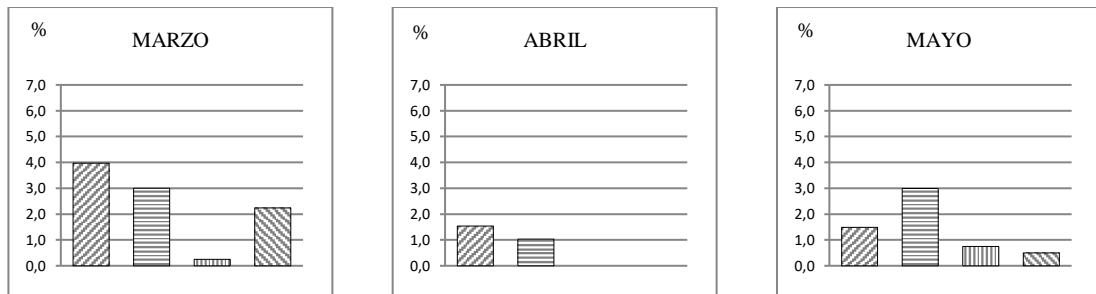
Las calmas tienen muy poca importancia en el pasillo de Los Rodeos, han supuesto durante estos trece años menos del 2%. La figura 12, muestra la distribución media horaria de las calmas de cada mes del año. Los porcentajes de cada hora se calculan sobre el total de calmas de cada mes. Al analizar lo que ocurre a lo largo del año y en las cuatro horas del día, queda patente que las calmas:

- Son más frecuentes durante la noche que a primeras horas del día.
- Son más frecuentes en otoño e invierno y casi inexistentes en primavera y verano, coincidiendo con el mayor predominio de los alisios.
- Julio es el mes con el porcentaje de calmas menor de todo el año.

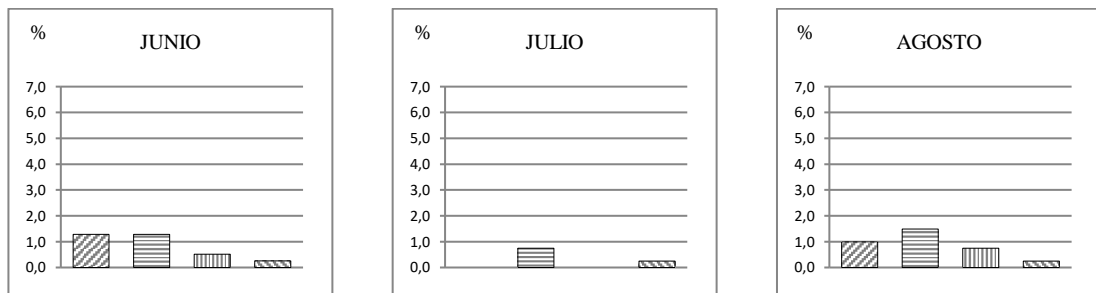
INVIERNO



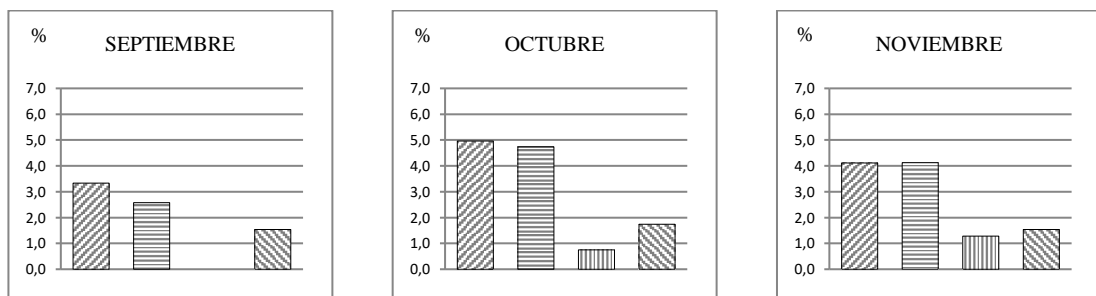
PRIMAVERA



VERANO



OTOÑO



00 horas
 07 horas
 13 horas
 18 horas

Fuente: Aemet. *Elaboración propia.*

Fig. 12- Distribución media horaria de las calmas en cada uno de los meses en Los Rodeos (2000-2012)

6.1.5. Las direcciones medias estacionales del viento

Para conocer cuál es la distribución de las frecuencias a lo largo del año, se analizan los datos de la dirección y velocidad del viento en cada uno de los meses y a las cuatro horas (00, 07, 13, y 18 horas). En la figura 13 se representan las frecuencias mensuales, halladas sobre el total de las observaciones de cada hora en ese mes para la serie 2000-2012, mientras que en el caso de las frecuencias medias anuales, los porcentajes se calculan sobre el total de las observaciones de cada hora para la serie 2000-2012.

Los resultados obtenidos indican que a lo largo del año hay dos comportamientos del viento perfectamente diferenciados. Durante seis meses, -de abril a septiembre-, el viento del NW es dominante, mientras que en los otros seis meses, esa dirección se comparte, en muchas ocasiones casi al 50%, con los vientos del SE. Estacionalmente, en invierno hay una clara dualidad en la dirección del viento, con frecuencias similares de ambos cuadrantes, segundo y cuarto. Ese comportamiento se mantiene a lo largo de todo el día, como lo demuestra lo parecidas que son las curvas de las cuatro horas analizadas. A partir de abril y hasta septiembre, es decir desde mediados de primavera hasta comienzos del otoño, los vientos del SE van perdiendo relevancia en favor de los del NW, que se convierte en el viento más importante con diferencia. Esta dirección llega a alcanzar picos del 40 y 43% de los días en mayo y junio al atardecer, porque a esta hora es cuando se alcanza la mayor frecuencia (ver línea roja en la figura 13). Con la llegada del otoño se empieza a producir un cambio en el comportamiento, y a partir de septiembre, de nuevo, los vientos de componente SE comienzan a ser significativos hasta hacerse igual de frecuentes que los del NW a comienzos de año.

Si en el caso de los vientos del NW son más habituales al atardecer, ahora los del SE lo son en las horas del mediodía en todos los meses del año, pero sobre todo en otoño.

En el gráfico de frecuencias media anual de la figura 13 se ratifica, por una lado, el dominio de los vientos del cuarto cuadrante a lo largo de todo el año, que alcanzan su pico máximo de frecuencia a las seis de la tarde; y por otro, los vientos del segundo cuadrante como la segunda componente dominante. El resto de las direcciones son muy infrecuentes en este lugar.

Archivo adjunto - Figura 13

6.1.6. *Las velocidades medias estacionales del viento*

Para estudiar la velocidad media mensual del viento a cuatro horas, se ha procedido de igual modo que en la dirección. Se elaboran los gráficos de la figura 14 para facilitar el análisis de esta variable del viento.

Los vientos del cuarto cuadrante (de Oeste a Norte) poseen una velocidad en torno a 25 km/h durante todo el año. En el caso de vientos del segundo cuadrante (de Este a Sur) su velocidad es de 10 a 15 km/h y es al mediodía cuando esta dirección alcanza la mayor intensidad.

Si utilizamos el umbral de intensidad de 20 km/h (aparece resaltado en la figura 14) se observa que a principios del invierno (diciembre) el viento del NW posee una velocidad media en torno a los 20 km/h, en enero empieza a aumentar hasta situarse entre 20 y 25 km/h en marzo. Durante abril y mayo es de 25 km/h, incrementándose por encima de ese valor de junio a agosto, incluso de los 30 km/h en julio, siendo este mes el más ventoso (Figura 14). A partir de ese mes comienza a descender paulatinamente la velocidad del viento del NW hasta llegar a ser de 20 km/h en noviembre.

No existe una clara diferencia cuando se compara lo que ocurre a las cuatro horas del día, aunque en verano la máxima velocidad se alcanza al atardecer.

En resumen, el gráfico de la velocidad media anual muestra claramente que las velocidades medias más elevadas se corresponden siempre con las componentes del cuarto cuadrante. En cuanto a los vientos del segundo cuadrante mantienen durante todo el año una velocidad de 10 a 15 km/h y cabe destacar que es al mediodía cuando alcanza la mayor intensidad.

Archivo adjunto - Figura 14

6.1.7. *La frecuencia de la dirección y velocidad media del viento a las 13 horas*

De las cuatro horas con las que se han trabajado en este estudio, la del mediodía es la que mejor refleja la dualidad de direcciones y los cambios a lo largo del año, que van a caracterizan los tiempos más frecuentes en esta zona. Por ello, se opta por un análisis más detallado de lo que ocurre a esa hora y se elaboran las rosas de viento medias mensuales, tanto de la dirección como de la velocidad (Figura 15).

En ellas se aprecia claramente que las dos direcciones predominantes del viento en Los Rodeos, a las 13:00 horas, son las del NW y SE, y que hay una evolución mensual más importante en la dirección que en la velocidad. Se puede decir que durante la mitad del año, de abril a septiembre, hay un predominio claro del viento del NW y que en los meses restantes esa dirección alterna con la del SE, siendo irrelevantes los vientos del primer y tercer cuadrante.

De mayo a agosto hay un patrón similar en la dirección y velocidad, con un predominio claro de los alisios y una velocidad media que aumenta proporcionalmente a la frecuencia. En esos meses la existencia de vientos de otras direcciones es mínima, únicamente hay cierta presencia de los del SE y SSE, con velocidades de 10 a 15 km/h. Al comparar lo que ocurre en mayo y junio con respecto a los otros dos meses del verano (julio y agosto), se observa que el viento del NW rola a WNW, dirección que coincide con la orientación de la pista del aeropuerto de Los Rodeos.

En el primer mes del otoño la pauta es muy similar a la de los meses de verano, si bien, la frecuencia del viento del NW disminuye notablemente. En cambio en octubre y noviembre la tendencia se invierte, los alisios reducen su frecuencia e intensidad para aumentar los del segundo cuadrante, tanto en frecuencia como en intensidad. Esta situación se mantendrá durante todo el invierno y mitad de la primavera, cuando los alisios empiezan a recobrar intensidad y presencia. Tanto en los últimos meses del otoño como a lo largo de todo el invierno, la frecuencia de vientos de uno y otro cuadrante es muy similar, llegando incluso a ser superior la del SE en diciembre y enero.

Archivo adjunto - Figura 15

6.1.8. Ejemplo de la dualidad del viento en Los Rodeos: lo ocurrido durante la segunda quincena de abril de 2013.

Como ya se ha replicado, en el pasillo de Los Rodeos existe un régimen de vientos en el que se alternan, de forma casi exclusiva, dos componentes, el NW y el SE. El predominio de una u otra componente, va a marcar el tipo de tiempo dominante, no sólo en esta parte, sino en toda la isla. El régimen de alisos se caracteriza por una humedad relativa elevada, una temperatura suave y una considerable nubosidad; por el contrario bajo la influencia del tiempo sur, la humedad relativa es baja, la temperatura alta o muy alta y el número de horas de sol al día suele ser muy elevado.

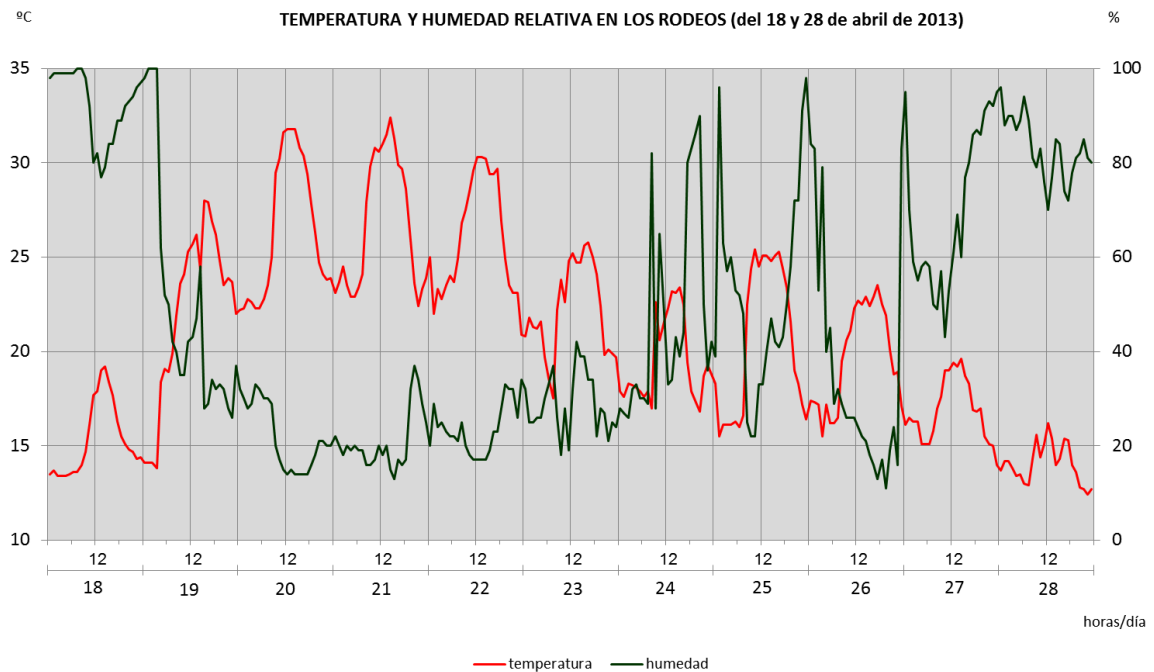


Fig. 16- Evolución de la humedad relativa y la temperatura horaria desde el día 18 al 28 de abril de 2013 en Los Rodeos. Fuente: Aemet. *Elaboración propia.*

Como se aprecia en la figura 16, durante la segunda quincena del mes de abril de 2013 se produjeron sucesivos episodios que alternaron entre los vientos del NW y del SE. Desde nuestro punto de vista es un magnífico ejemplo para poder explicar los dos tipos de tiempo más comunes en las islas, y cómo cambian las condiciones atmosféricas en Los Rodeos. Como se aprecia en el gráfico el día 18 el tiempo estaba marcado por la influencia del régimen de los alisos con temperaturas suaves que no rebasaban los 20°C en las horas centrales del día y una humedad relativa, del 100% en las horas del

atardecer. A partir del 19 se produce un cambio radical en las condiciones. Los vientos húmedos y frescos del NW son sustituidos por otros cálidos y secos del SE. Así la temperatura se eleva hasta los 28°C durante el mediodía y la humedad relativa desciende por debajo del 40%. En los siguientes días se mantiene esta situación de temperaturas muy altas que superan los 30° en las horas centrales del día y humedad muy baja, típica de los días de tiempo sur. A partir del 27 y sobre todo, el día 28, el régimen de los alisios vuelve a “entrar” como se puede ver por los valores de temperatura y humedad relativa alcanzados (Figura 16). En medio de estas dos condiciones atmosféricas opuestas, encontramos los días que van del 23 al 27, que representan la transición de uno a otro tipo de tiempo, reuniendo rasgos de ambos.

Con el fin de corroborar lo dicho, se elabora la rosa del viento de los días 18 y 20 de abril (Figura 17). El resultado confirma que el día 18 había régimen de alisios con un dominio absoluto de la componente WNW, casi en el 80% de las horas del día el viento tuvo esa dirección; por el contrario, el día 20 la dirección dominante a lo largo de toda la jornada fue del SSE.

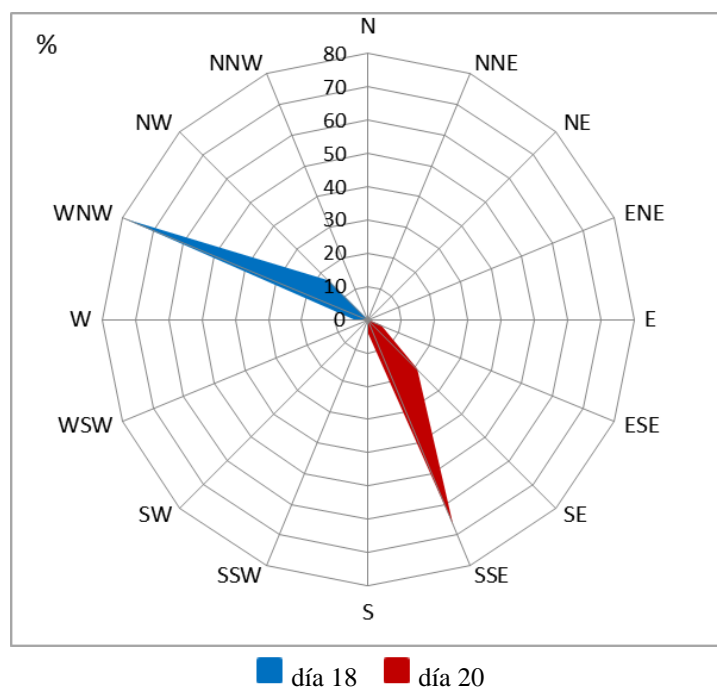


Fig. 17- Frecuencias medias de la dirección del viento los días 18 y 20 de abril de 2013 en Los Rodeos. Fuente: Aemet. *Elaboración propia.*

Lo ocurrido en estos dos días es un ejemplo claro de la dualidad que existe entre los alisios y el tiempo sur en el pasillo de Los Rodeos.

Otros rasgos que reflejan el predominio de un tiempo u otro, es el grado de la insolación y los mapas del tiempo. En el primer caso, en los días de alisio la insolación suele ser menor que en los de tiempo sur, debido a la aparición del manto de estratocúmulos que cubre la vertiente norte de las islas; así, el 18 de abril, bajo influencia de vientos del NW, el porcentaje de insolación fue del 52%, muy inferior al 88% que se alcanzó el día 20 cuando predominaban los vientos del SE. En los mapas

del tiempo (Figura 18), se observa que el día 18 el anticiclón de las Azores se encuentra en torno a los 40° de latitud Norte, predominando los vientos del NE sobre Canarias; en cambio la situación del día 20, muestra un centro de bajas presiones muy próximo al archipiélago, que propicia la entrada de los vientos del SE.

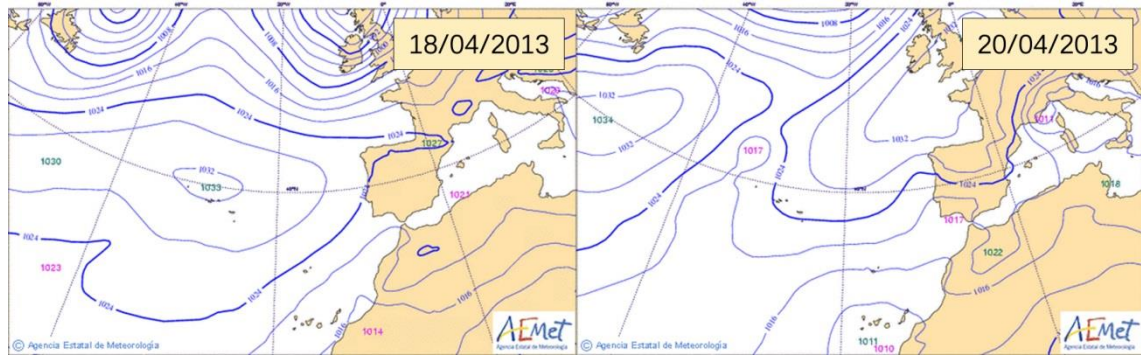


Fig. 18- Mapas sinópticos de la presión en superficie (hPa), a las 00 horas los día 18 y 20 de abril de 2013. Fuente: Aemet.

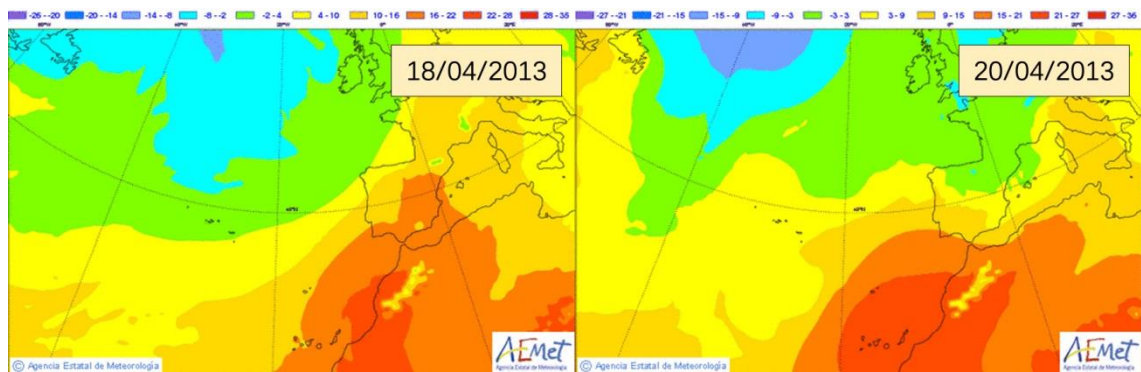


Fig. 19- Mapas de la temperatura a 850 hPa, a las 00 horas los día 18 y 20 de abril de 2013. Fuente: Aemet.

6.2. Comparación de los rasgos del viento en el periodo 2000-2012 con los valores normales 1961-1990

6.2.1. Frecuencia y velocidad media anual

Al comparar los valores de ambos periodos (Tabla 3), no existen diferencias significativas puesto que el predominio de los vientos del cuarto cuadrante frente a los del segundo cuadrante es absoluto en ambos períodos, repitiéndose una presencia prácticamente nula de los procedentes de los otros dos cuadrantes.

FRECUENCIA (%) Y VELOCIDAD MEDIA (km/h), SERIE 1961-1990																
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
(%)	11,1	0,8	1,4	0,3	1,4	2,4	7,0	3,0	4,6	0,2	0,4	0,3	8,8	7,6	29,7	9,7
(km/h)	18,5	15,3	12,6	12,2	12,2	15,4	16,2	15,6	17,0	12,6	12,9	12,3	17,4	22,3	21,8	23,1
VELOCIDAD MEDIA DE TODA LA SERIE							16,1		PORCENTAJE DE CALMAS					11,2		
FRECUENCIA (%) Y VELOCIDAD MEDIA (km/h), SERIE 2000 - 2012																
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
(%)	3,9	0,9	0,4	0,5	2,3	6,0	6,4	5,2	2,9	0,5	0,4	1,2	11,9	21,4	23,1	11,2
(km/h)	15,8	11,6	10,4	10,0	12,0	13,7	13,3	13,1	10,2	6,9	6,3	8,4	17,6	25,0	25,0	22,3
VELOCIDAD MEDIA DE TODA LA SERIE							13,9		PORCENTAJE DE CALMAS					1,9		

Tabla 3- Frecuencia de la dirección (%) y velocidad media (km/h) anual del viento en Los Rodeos, según su dirección a las 00, 07, 13, y 18 horas, en las series 1961-1990 y 2000-2012. Fuente: Aemet.

Ahora bien, al profundizar en el análisis sí existen diferencias:

1. El alisio, con vientos del N al W, en el periodo analizado ha sido más frecuente que en la serie de 1961-1990, el 64% frente al 57% respectivamente.
2. Los vientos del segundo cuadrante, del E al S, también han sido más frecuentes en los últimos trece años, el 20% frente al 15% respectivamente. Por tanto, la incidencia de las dos direcciones dominantes del viento en Los Rodeos ha aumentado en los últimos años, si se compara con el periodo oficial 1961-1990.
3. La frecuencia de las calmas se ha reducido drásticamente del 11%, en el treintenio oficial, al 2% en los años transcurridos en este siglo. De ello no sólo se extrae la conclusión de que el régimen de vientos en el pasillo de Los Rodeos, es cada vez más marcado por las direcciones ya mencionadas que, unido al

descenso de las calmas, se puede interpretar como que cada vez hay más episodios de viento y menos periodos de calma.

4. También se ha producido un cambio significativo de dirección durante los días con régimen de alisios, ya que en la serie normal se aprecia un frecuencia altísima, en torno al 30% del viento del NW, mientras que en la serie 2000-2012 esa dirección reduce su frecuencia un 7%; igualmente, las del W y NNW aumentan notablemente (Figura 20). En definitiva parece que el alisio durante los últimos años ha rolado al WNW.

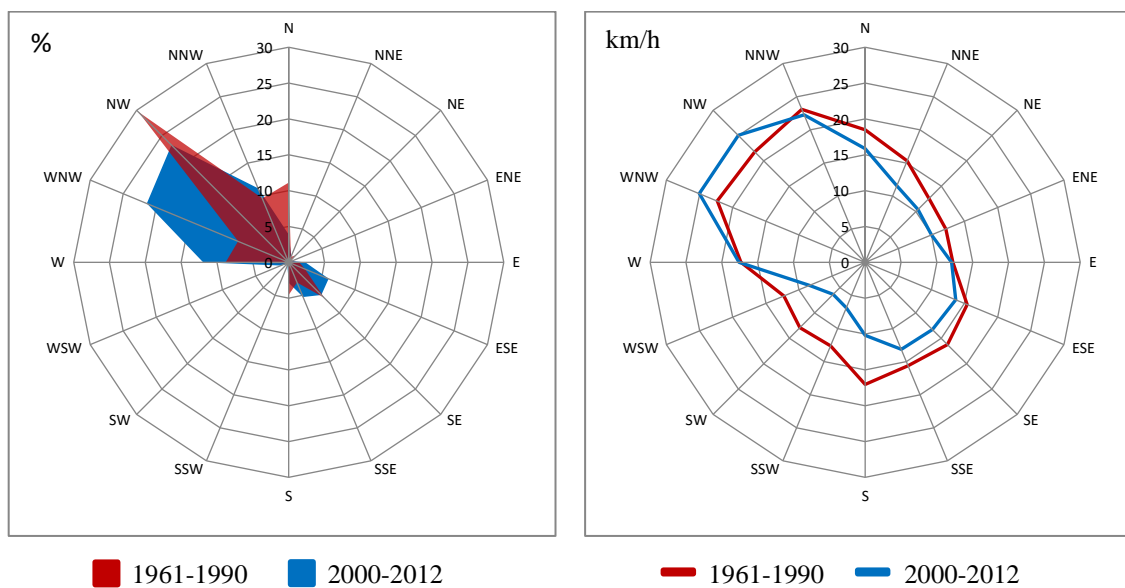


Fig. 20- Frecuencia y velocidad media anual del viento en Los Rodeos, según su dirección a las 00, 07, 13 y 18 horas, para las series 1961-1990 y 2000-2012- Fuente: Aemet. *Elaboración propia.*

En cuanto a las velocidades medias se aprecia que no varían en exceso entre las dos series. Lo único destacable es que en el periodo 2000-2012 la velocidad de los vientos del cuarto cuadrante aumenta respecto a la de 1961-1990.

Estas diferencias pueden tener diversas explicaciones que exigen un análisis más detallado. El aumento de la velocidad del periodo reciente puede explicarse por el cambio del instrumental ya que gran parte de los registros del periodo normal se hicieron con anemocinémógrafos Munro, menos precisos que los Vaisala actuales. Ahora bien, esa mayor precisión explicaría el aumento de la velocidad en todas las direcciones y, sin embargo, como se aprecia en la figura 20, no ocurre así puesto que en un cuadrante incrementa la velocidad en los últimos trece años mientras que en el otro

disminuye. Otra posible razón que justifique las variaciones obtenidas entre las dos series, se encuentra en los cambios de ubicación que ha tenido el instrumental de este observatorio desde su creación (ver figura 9).

Finalmente, tampoco se puede excluir que se haya o se esté produciendo un cambio en el régimen de vientos en este lugar, fruto de una variación en los patrones de la circulación atmosférica regional. Todas estas posibles explicaciones a esas diferencias del viento entre ambos periodos temporales necesitan un análisis más pormenorizado.

6.2.2. Rachas máximas

En la tabla 4, se muestran las medias y máximas mensuales de las rachas máximas del viento en las dos series.

Al comparar un periodo y otro, lo primero que destaca es que la media mensual de las rachas máximas de viento aumenta en diez de los doce meses del año en la serie hemos trabajado con respecto a la serie normal. Es, sobre todo, en los meses de primavera y verano donde las diferencias son más elevadas. Si tenemos en cuenta que en esas dos estaciones es cuando el régimen de alisios es más frecuente y en el punto anterior quedó claramente plasmado el aumento de la frecuencia y velocidad media del alisio en la serie 2000-2012, se puede considerar estos resultados como lógicos.

Finalmente, cuatro de las efemérides mensuales se encuentran

en el período de los últimos trece años. Entre ellas se encuentra el valor máximo de 147 km/h, alcanzado en noviembre de 2005 por los efectos de la tormenta tropical Delta.

	RACHAS MÁXIMAS DE VIENTO EN LOS RODEOS			
	1961 - 1990 (km/hora)		2000 - 2012 (km/hora)	
	MEDIA	MÁXIMO	MEDIA	MÁXIMO
ENE	69,6	119	69,5	87
FEB	75,8	133	79,1	130
MAR	72,4	119	68,5	91
ABR	66,1	104	73,7	106
MAY	60,3	76	65,0	87
JUN	58,2	75	67,5	76
JUL	56,5	78	65,5	72
AGO	57,2	80	64,3	76
SEP	53,6	78	62,2	71
OCT	58,9	90	62,9	85
NOV	62,6	93	83,0	147
DIC	72,3	139	73,0	91
AÑO	92,5	139	97,4	147

Tabla 4 – Rachas máximas medias y mensuales a cuatro horas (00, 07. 13. y 18), para las series 1961-1991 y 2000-2012. Fuente: Aemet. *Elaboración propia.*

6.2.3. Frecuencia de los días de niebla en Los Rodeos

En los días en los que el régimen de los alisios es el dominante, es muy frecuente que las fachadas de las islas abiertas al Norte se vean cubiertas por un manto de nubes. En el caso del pasillo de Los Rodeos estas nubes avanzan a ras de la pista de aterrizaje y se convierten en nieblas de advección, llegando a ser tan densas que en ocasiones provoca el cierre del aeropuerto para falta de visibilidad. Al ser un fenómeno asociado a los vientos del NW es interesante ver su evolución en ambos periodos, para comprobar si existen diferencias y si éstas son coherentes con los resultados obtenidos anteriormente de una mayor frecuencia de los alisios en la serie 2000-2012 con respecto a la de 1961-1990. Es lógico pensar que los días de niebla también han aumentado. En la tabla 5 se incluyen las medias mensual y anual de los días de niebla en ambos periodos.

MEDIAS MENSUAL Y ANUAL DE DÍAS CON NIEBLA EN EL PASILLO DE LOS RODEOS													
	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D	Anual
1961-1990	5	5	6	5	8	10	12	9	6	5	4	5	80
2000-2012	6	4	6	7	8	12	11	11	7	6	8	7	93

Tabla 5- Media mensual y anual de los días de niebla en el pasillo de Los Rodeos, para las series 1961-1990 y 2000-2012. Fuente: Aemet. *Elaboración propia.*

El primer aspecto destacable que se aprecia en la tabla 5, es que la media anual de días de niebla ha aumentado significativamente en nuestro periodo de estudio. Ahora bien, hay una particularidad bastante importante en este incremento y es que las mayores diferencias mensuales las encontramos en los meses de otoño e invierno, justamente cuando el régimen de alisios es menos frecuente. Es importante matizar que la niebla no entra siempre por el NW, sino que en algunas ocasiones lo hace bajo la influencia de tiempo sur, o asociada a un temporal del oeste. Por este motivo y aunque en un porcentaje altísimo los días de niebla coinciden con los días de alisios, hay que tener en cuenta que en algunos de esos datos la niebla aparece por otro tipo de tiempo.



Fig 21- Imagen superior: aproximación al aeropuerto Tenerife Norte – Los Rodeos con niebla en la mitad de la pista. Autor: Manuel Luis Ramos García. Imagen inferior izquierda: mar de nubes. Autor: Guillermo Hernández. Imagen inferior derecha: niebla descendiendo desde la montaña del Púlpito hacia el aeropuerto. Autor: Fernando Bullón.

6.3. Estudio del viento mediante el grado de deformación de la vegetación.

En las zonas en las que existe un régimen de vientos más o menos constante a lo largo del año, la vida vegetal va a estar condicionada por la acción de esa variable climática. Su frecuencia e intensidad quedarán reflejadas en el sustrato arbóreo a modo de cambios en su morfología. La deformación de las copas, la inclinación del tronco o la rotura de ramas, son algunas de las consecuencias más visibles que se pueden apreciar en la vegetación por los efectos mecánicos del viento. Una intensidad elevada del viento puede originar daños importantes en los árboles, incluso puede hasta provocar su caída; sin embargo, una frecuencia alta de una dirección concreta causa deformaciones que se pueden utilizar para caracterizar el viento de una región.

El pasillo de Los Rodeos presenta los elementos necesarios para poder intentar hacer un estudio de esas características, ya que, por un lado tiene vientos constantes de cierta intensidad durante casi todo el año y, por otro, hay abundante vegetación arbórea que muestra los efectos de ello.

La selección del tipo de árboles o arbustos que se van a emplear en cada estudio, depende del tipo de vegetación existente en esa zona. En nuestro caso, lo primero que se ha buscado son especies con un determinado tamaño, expuestas a los vientos y cuyo número permita obtener los suficientes puntos de información repartidos por la zona de estudio, para quedar reflejado en un mapa. Ante la imposibilidad de trabajar con una sola especie, se ha optado por ampliar hasta cinco el número, con el único fin de obtener una información más rica de toda el área seleccionada. Las especies son el pino canario (*Pinus canariensis*), pino de monterrey (*Pinus radiata*), eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*), palmera canaria (*Phoenix canariensis*) y la palmera en abanico (*Washingtonia robusta*).

Con la información recogida en las ocho salidas de campo realizadas, se crea un mapa en el que se muestran los lugares en los que se ha observado la deformación (Figura 22). Si bien, se es consciente que la resistencia de cada una de las especies, al efecto del viento, es diferente y que habría que optar por trabajar con un solo tipo de árbol o arbusto.

Archivo adjunto - Figura 22

Como se puede apreciar en la figura 22, la deformación de la vegetación coincide claramente con el régimen de vientos dominante descrito en este trabajo en la zona de Los Rodeos. Casi todos los puntos escogidos para la observación de la deformación de un árbol, muestran la misma dirección que la pista del aeropuerto (300°-120°).

Los mayores grados de deformación se encuentran en las zonas elevadas y abiertas al NW, como puede ser la montaña del Pulpito (770 m.s.n.m.), donde se han medido grados de deformación de nivel 4 y 5, posiblemente porque el viento se canaliza entre las montañas que rodean la zona del Portezuelo y aumenta su velocidad por el efecto Venturi.

En la zona del Ortigal, los grados de inclinación de los árboles son relativamente bajos, predominando los del tipo 2 y 3. Aunque es una zona completamente abierta a los vientos dominantes, la existencia de numerosos obstáculos, sobre todo viviendas, reduce la incidencia del viento en la escasa vegetación arbórea existente.

En la montaña del Aire y el Lomo del Aire, apenas se han encontrado árboles, debido al predominio de cultivos y praderas.

Tal vez la zona que proporciona más información para realizar este tipo de estudio, es la que se localiza en torno a la montaña de los Marreros (756 m.s.n.m.). La vegetación reinante allí está totalmente abierta al viento del NW, de ahí que predominen los árboles con grados de deformación 3 y 4. En esta zona es la única parte donde se puede ver la dualidad del régimen de vientos del pasillo de Los Rodeos, ya que al haber pequeñas elevaciones montañosas (alrededor de 750 m.s.n.m.), la vegetación que crece a sotavento se encuentra refugiada del viento dominante (NW), pero no así de los vientos del SE, por lo que la deformación que se aprecia en esos árboles es a favor de esta dirección.

En definitiva, se puede extraer la idea de que es posible estudiar el viento sin necesidad de tener datos numéricos de él, siempre y cuando se cuente con especies de porte arbóreo.

7. POSIBLE APLICACIÓN

La ubicación de un aeropuerto en esta zona, hace que quede de sobra justificado cualquier estudio, análisis o investigación que tenga como tema principal el viento en ese entorno.

El Plan Director del Aeropuerto de Los Rodeos de 2001 y el Mapa Estratégico de Ruido de los Grandes Aeropuertos (2007) incluyen en sus memorias análisis del régimen del viento similares a los que se han realizado en este trabajo. La actualización de las normativas del nuevo Plan Director del Aeropuerto, en fase aún de aprobación, exigen realizar estudios de este tipo con series de datos actualizados.

Otros estudios, como el realizado por AENA (Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea) en el que se valora el impacto acústico de las operaciones del aeropuerto en las viviendas cercanas, ponen en valor la necesidad de conocer el comportamiento de esta variable climática puesto que la dirección del viento influye en la propagación del sonido.

Asimismo, es importante conocer la frecuencia del viento dominante y sus variaciones en este lugar por su relación con un meteoro -la niebla- que es de vital importancia para las actividades aeroportuarias de Los Rodeos y para la conducción en las carreteras de los alrededores, ya que se reduce notablemente la visibilidad. A este respecto, se publicó una noticia en el periódico El Día (14/06/2013) en la que los controladores aéreos piden activar medios en Los Rodeos para evitar los retrasos en los vuelos que se genera por la niebla (Figura 23).

The image shows a screenshot of a news article from the website 'El Día'. The article is dated 'Viernes, 14 de junio de 2013' and is titled 'AEROPUERTO NIEBLA: Los controladores piden activar medios en Los Rodeos para evitar los retrasos por niebla'. The article text states: 'Santa Cruz de Tenerife, EFE La Asociación Profesional de Controladores de Tránsito Aéreo (Aprocta) ha reclama hoy al ente público Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea (AENA) que reactive los dispositivos con los que cuenta el aeropuerto Los Rodeos para evitar que se produzcan retrasos y desvíos por la niebla.' The article has 3 comments and 35 votes.

Fig. 23- Noticia sobre la incidencia de la niebla en el aeropuerto. Periódico El Día 14/06/2013

8. CONCLUSIÓN

A tenor de los resultados obtenidos en el periodo analizado, queda claro que hay dos rasgos principales que definen el régimen de vientos en la zona del pasillo de Los Rodeos. El primero de ellos es la influencia durante casi todo el año de los vientos alisios del NE, que en este sector de la isla se canalizan y se convierten en vientos del NW. Dominantes en la mayoría de los meses, alcanzan sus picos máximos de frecuencia y velocidad en los meses de primavera y verano.

El segundo rasgo definitorio, es la dualidad existente entre los vientos del cuarto y segundo cuadrante, y la casi nula presencia de vientos de los otros cuadrantes. Los meses en los que desciende la presencia de los alisios son los vientos del SE los que ganan relevancia, llegando incluso a sobrepasar en frecuencia e intensidad a los vientos del NW en determinados momentos del año.

Al comparar la serie 2000-2012 con el periodo 1961-1990, se concluye que ha habido cierta variación en el comportamiento del viento. Quizá lo más llamativo sea que la frecuencia del alisio ha aumentado en estos trece años con respecto a la serie normal, y que la dirección predominante del NW ha rolado al WNW. En el caso de los vientos del SE, ocurre algo similar pero a una escala menor ya que las modificaciones son menos acusadas.

Al plantearse la posibilidad de estudiar el régimen de vientos sin tener información sobre esta variable climática, no se tenía la certeza de que los resultados fuesen a compensar el tiempo empleado en esta labor. Al final, ha quedado demostrado que se pueden analizar los vientos de una zona de manera distinta al análisis estadístico de los valores numéricos de este elemento climático. El predominio del viento de una dirección en el entorno de Los Rodeos ha permitido que este segundo análisis haya resultado válido.

Confirmar que la frecuencia de los alisios no sólo se mantiene sino que aumenta, puede ser cuando menos un motivo de satisfacción, aunque se concluya que la hipótesis inicial del trabajo era errónea, puesto que el clima, y sobre todo esos vientos, forman parte de la vida de las islas en muchos aspectos.

BIBLIOGRAFÍA

- AHRENS, C. (1998): *Essentials of Meteorology - an invitation to the atmosphere*. Wadsworth Publishing Company, New York.
- ALCOFORADO, M. J. (1984): Representação cartográfica das árvores deformadas. Ventos dominantes em torno da Serra de Sintra. Finisterra. *Revista Portuguesa de Geografia*, Vol. XIX, nº 38, pp. 137-169.
- ALCOFORADO, M. J. (1992): O clima da regioo de Lisboa. Contrastes e ritmos térmicos. *Memorias do Centros de Estudos Geográficos*, nº 15.
- ARLÉRY, R.; GRISOLLET, H. y GUILMET, B. (1973): *Climatologie-Méthodes et pratiques*. Gauthier-Villars, París.
- AROZENA, M. E. (1991): *Los paisajes naturales de La Gomera*. Cabildo Insular de La Gomera. Santa Cruz de Tenerife.
- BRAMWELL, D. (1998): *Flora de las Islas Canarias*. Rueda, Madrid.
- BRAMWELL, D. y BRAMWELL, Z. (2001): *Flores silvestres de las Islas Canarias*. Rueda, Madrid.
- BARSCHE, D. y WEISCHET, W. (1963): *Studien zum probleme der deformation von baumkronen druch wind*. Freiburger Geographische Hefte 1. Berlín.
- CUADRAT, J. M.; PITA, M. F. (1997): *Climatología*. Cátedra, Madrid.
- DORTA ANTEQUERA, P. (1990): Estado de la atmósfera en las olas de calor estivales en canarias. *Ería*, nº 23, pp. 205-211.
- DORTA, P.; MARZOL, M. V.; VALLADARES, P. (1993): Localisation et frequences des cellules de pression dans L'Atlantique Nord, L'Europe Occidentale et Le Nord de L'África (1983-1992). *Association internationale de climatologie*, vol 6, pp. 452-466.
- DORTA, P. (1996): Las inversiones térmicas en Canarias». *Investigaciones Geográficas*, vol. 15, pp. 109-124.
- DORTA, P. (1999): *Las invasiones de aire sahariano en Canarias*. Caja Rural de Tenerife, Santa Cruz de Tenerife.
- ESTRELLA, J. M.; MILLÁN, M. (1994): *Manual práctico de introducción a la Meteorología*. CEAM (Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo), Valencia.
- FERNÁNDEZ, F. (1996): *Manual de Climatología aplicada*. Síntesis, Madrid.
- FONT TULLOT, I. (1949): El régimen de vientos superiores en Tenerife». *Revista de Geofísica*, vol. 8, nº 32, pp.486-506.
- FONT TULLOT, I. (1949): *El Clima del África occidental española*. S.M.N. Serie A (memorias nº 21), Madrid.
- FONT TULLOT, I. (1950): Las invasiones de aire caliente africano en el Archipiélago Canario. *Revista de Geofísica*, vol. 9, nº 36, pp. 334-349.

- FONT TULLOT, I. (1951): El espesor de la capa superficial de aire marítimo en la región de las Islas Canarias. *Revista de Geofísica*, vol. 10, nº 40, pp.281-291.
- FONT TULLOT, I. (1952): La corriente aérea superior del NW en Tenerife. *Revista de Geofísica*, vol. XI, nº 42, pp.157-172.
- FONT TULLOT, I. (1955): Factores que gobiernan el clima de las Islas Canarias. *Estudios Geográficos*, nº 58; pp. 5-21.
- FONT TULLOT, I. (1956): El tiempo atmosférico en las Islas Canarias. S.N.M. Serie A (memorias nº 26), Madrid.
- FONT TULLOT, I. (1983): Climatología de España y Portugal. I.N.M. Madrid.
- GRACIA, F. (1946): ¿Cuál es la dirección del alisio en las Islas Canarias? El Museo Canario, *Separata* nº 17; pp. 33-41.
- HUETZ DE LEMPS, A. (1969): Le Climat des Îles Canaries. S.E.D.E.S. París.
- IBARRA, P. (1989): La influencia de los vientos del Estrecho de Gibraltar en la vegetación arbórea. *Cuaderno de Geografía*, nº 1; pp. 61-85.
- INM. (1997): Valores normales y estadísticos de estaciones principales (1961-1990): Observatorio Meteorológico de Santa Cruz de Tenerife. Madrid
- INM. (1997): Valores normales y estadísticos de estaciones principales (1961-1990): Observatorio Meteorológico de Los Rodeos. Madrid
- INM. (1983): Atlas Climático de España. Madrid.
- INM. (1991): Atlas Nacional de España. Madrid.
- LEROUX, M. (2001): Le climat de L'Afrique Tropicale. Champion, París.
- MARTÍN, J. (1991): Fundamentos de Climatología analítica. Síntesis, Madrid.
- MARZOL, M.V. (1993a): Los factores atmosféricos y geográficos que definen el clima del archipiélago canario. Diputación provincial de Tarragona. En Aportaciones en Homenaje al profesor Luis M. Albentosa, Tarragona, pp. 151-176
- MARZOL, M.V. (1993b): Tipificación de las tres situaciones atmosféricas más importantes de las Islas Canarias. *Revista de Historia Canaria*. Homenaje a la Dra. Marrero, La Laguna, pp. 79-95.
- MARZOL, M.V. (1993): El clima: rasgos generales. Geografía de Canarias. Tomo I, cap. 7, pp. 101-116. Prensa Ibérica S.A., Las Palmas de Gran Canaria.
- MARZOL, M.V. (2003): La captación del agua de la niebla en la isla de Tenerife. CajaCanarias, Santa Cruz de Tenerife.
- MINISTERIO DE FOMENTO, AENA: (2001). Plan Director del Aeropuerto de Tenerife Norte, Madrid.

MINISTERIO DE FOMENTO, AENA: (2007). Mapas estratégicos de ruido de los grandes aeropuertos. Aeropuerto de Tenerife Norte, Madrid.

OMM. (2010): Guía del Sistema Mundial de Observación. OMM-Nº 488, Ginebra.

OMM. (2011): Manual del Sistema Mundial de Observación. OMM-Nº 544, Ginebra.

PALACIOS, C. J., TRUJILLO, D. (2009): Árboles y arboledas singulares de Canarias. Gobierno de Canarias. Islas Canarias.

PESSON, P. (1978): Ecología forestal. Mundi-Prensa, Madrid.

SOUSA, R. (1985): Notas para una Climatología de Santander. Instituto Nacional de Meteorología, Madrid.

TAPIA, J. (1984): Energía utilizable de la atmósfera. Instituto Nacional de Meteorología, Madrid.

VALLADARES, P. (1996): Propuesta Metodológica para el estudio del mar de nubes: El caso del año 1989 en el Norte de Tenerife. Investigaciones Geográficas, vol. 15, pp. 99-108.

YOSHINO, M. (1973): Studies on wind-shapes trees: Their classification, distribution and significance as a climatic indicator. Climatological Notes Hosei Univ 12.

YOSHINO, M. (1975): Climate in a small area. University of Tokyo Press, Tokyo.