



**2015 – 2016**

**ANÁLISIS DEL VIENTO EN EL  
PUERTO DE GRANADILLA (TENERIFE)**



# ANÁLISIS DEL VIENTO EN EL PUERTO DE GRANADILLA (TENERIFE): 2015-2016



Santa Cruz de Tenerife, Enero 2017  
**OBSERVATORIO AMBIENTAL GRANADILLA**

Citar como:

González Carballo, M. (2017)

**Análisis del viento en el puerto de Granadilla (Tenerife): 2015-2016**

S/C de Tenerife: Observatorio Ambiental Granadilla, 25 pp.

*[Estudio no publicado]*

## Introducción

En julio de 2011 se iniciaron oficialmente las obras del nuevo puerto industrial de Granadilla en la costa sudoriental de la isla de Tenerife, y desde entonces el OAG<sup>1</sup> se viene ocupando de su vigilancia ambiental. Entre las varias medidas de seguimiento que se realizan de forma regular, figura el registro del viento en la costa y en el mar. Y dado que la velocidad del viento es relevante para las maniobras de atraque y las propias operaciones portuarias, la Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife ha manifestado su interés por conocer los resultados obtenidos a lo largo de estos años.

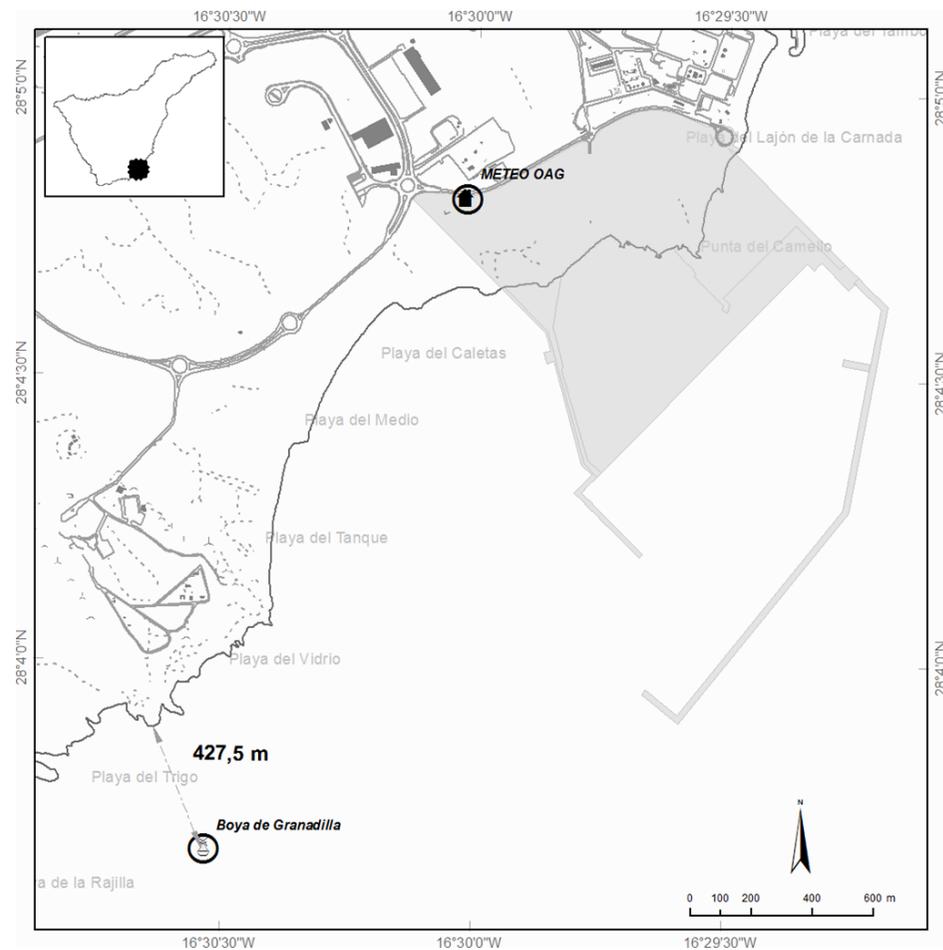
El objeto del presente documento es complementar la información aportada en el informe anterior, que abarcaba el periodo 2012-2014.

## Las estaciones meteorológicas

El OAG ha instalado dos estaciones meteorológicas en Granadilla, una junto a la estación ecológica de la Fundación ubicada dentro del recinto de las obras del puerto, y otra en una boya oceanográfica fondeada a 15 m de profundidad, a 427,5 m de la costa (ver mapa), al SW del puerto.

- a) Estación de tierra (UTM 352580, 3107003, Zona 28N), equipada con anemómetro GILL WindSonic2D, que toma datos minutales de velocidad del viento (m/s) y dirección (grados), a una altura de 6 metros.
- b) Estación de mar (UTM 351714, 3104898, Zona 28N) en lo alto de la boya, a 3 m, con un sensor de viento Airmar LB150, que registra la velocidad del viento (km/h) y la dirección (grados) cada hora (programable).

<sup>1</sup> El Observatorio Ambiental Granadilla (OAG) es una fundación pública e independiente creada por el Gobierno Español a instancias de un dictamen de la Comisión Europea relacionado con la autorización del proyecto del puerto de Granadilla.



Mapa 1. Ubicación de las estaciones meteorológicas del OAG, y plana del nuevo puerto industrial de Granadilla en construcción (en gris).

## Las series de datos

Los datos disponibles para el análisis comparado parten del 1 de enero de 2015 y abarcan hasta el 30/11/2016. Faltan los datos de febrero y marzo de 2016, por inoperatividad de la estación de la boya, así como datos sueltos a lo largo de todos los meses, debido a no coincidencia horaria entre ambas estaciones, es decir, para este pequeño análisis hemos utilizado solo aquellos datos que coincidieran exactamente en fecha y hora en las dos estaciones, quedando bastantes datos fuera, pero contando aun así con una serie de 21561 datos de velocidad del viento para cada estación, y los mismos para la dirección del viento.

Además, durante el proceso de control calidad de los datos, se han eliminado aquellos valores excesivamente altos que atribuimos a errores de lectura. El límite superior de los datos considerados buenos se establece en 190 km/h, teniendo en cuenta que los valores máximos registrados en Canarias son de 140 km/h (tormenta tropical delta). Finalmente, el valor más alto de viento que hemos encontrado es de 126.35 km/h.

Periodo	Datos analizados
<b>Año 2015</b>	11.692 de velocidad x 2 + 11.692 de dirección x 2
<b>Año 2016</b>	10.869 de velocidad x 2 + 10.869 de dirección x 2
<b>Total</b>	22.561 de velocidad + 22.561 de dirección = <b>45.122</b>

Tabla 1: Número de datos analizados

Hemos transformado los datos de la estación de tierra de metros por segundo a kilómetros por hora, para poderlos comparar con los datos de la boya.

En los estudios meteorológicos formales se asume que el viento es medido a 10 metros de altura para así poder comparar datos de diferentes localizaciones evitando el efecto de la orografía del terreno. Hemos extrapolado a 10 metros los datos de Granadilla registrados a 6 m en tierra y a 3 m en el mar, utilizando la siguiente formula:

$$V_z = V_{zr} \times C_z / C_{zr}$$

$V_z$  = velocidad del viento en el lugar seleccionado a una altura z.

$V_{zr}$  = velocidad del viento en el sitio de referencia con un anemómetro ubicado a una altura  $z_r$ .

$C_z$  = coeficiente en el sitio seleccionado con una altura z.

$C_{zr}$  = coeficiente en el sitio de referencia a una altura  $z_r$ .

## Análisis de la velocidad y dirección del viento

Para el análisis matemático y graficado de los datos se ha empleado el software estadístico R.

En los gráficos de sectores los datos se muestran en grupos según el estado de fuerza Beaufort que presenten. En los gráficos se ha destacado el nivel de 50 km/h de velocidad (=fuerza 7) como un referente. Aunque depende de las condiciones locales, de las dimensiones del barco y de los medios disponibles en un puerto, se suele considerar que maniobrar una embarcación con fuerza 7 o superior entraña peligro potencial de accidente.

Los resultados se muestran a continuación como representaciones gráficas agrupadas por tema:

1. Resultados generales
2. Velocidad del viento
3. Vientos fuertes
4. Dirección del viento

Número de Beaufort	Velocidad del viento (km/h)	Nudos (millas náuticas/h)	Denominación
0	0 a 1	< 1	Calma
1	2 a 5	1 a 3	Ventolina
2	6 a 11	4 a 6	Flojito (Brisa muy débil)
3	12 a 19	7 a 10	Flojo (Brisa Ligera)
4	20 a 28	11 a 16	Bonancible (Brisa moderada)
5	29 a 38	17 a 21	Fresquito (Brisa fresca)
6	39 a 49	22 a 27	Fresco (Brisa fuerte)
7	50 a 61	28 a 33	Frescachón (Viento fuerte)
8	62 a 74	34 a 40	Temporal (Viento duro)
9	75 a 88	41 a 47	Temporal fuerte (Muy duro)
10	89 a 102	48 a 55	Temporal duro (Temporal)
11	103 a 117	56 a 63	Temporal muy duro (Borrasca)
12	+ 118	+64	Temporal huracanado (Huracán)

Tabla 2: Escala de Beaufort

# 1. RESULTADOS GENERALES

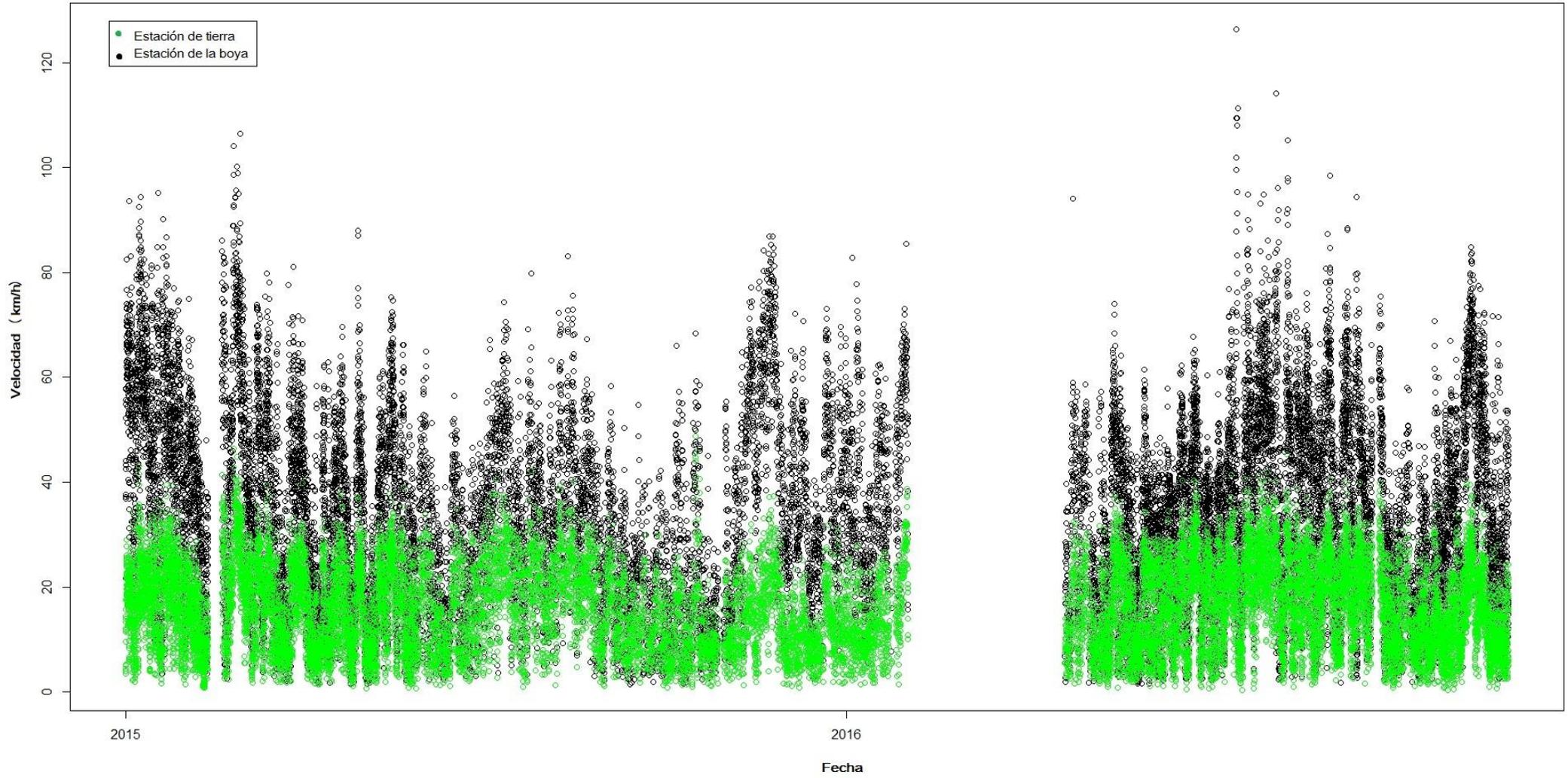
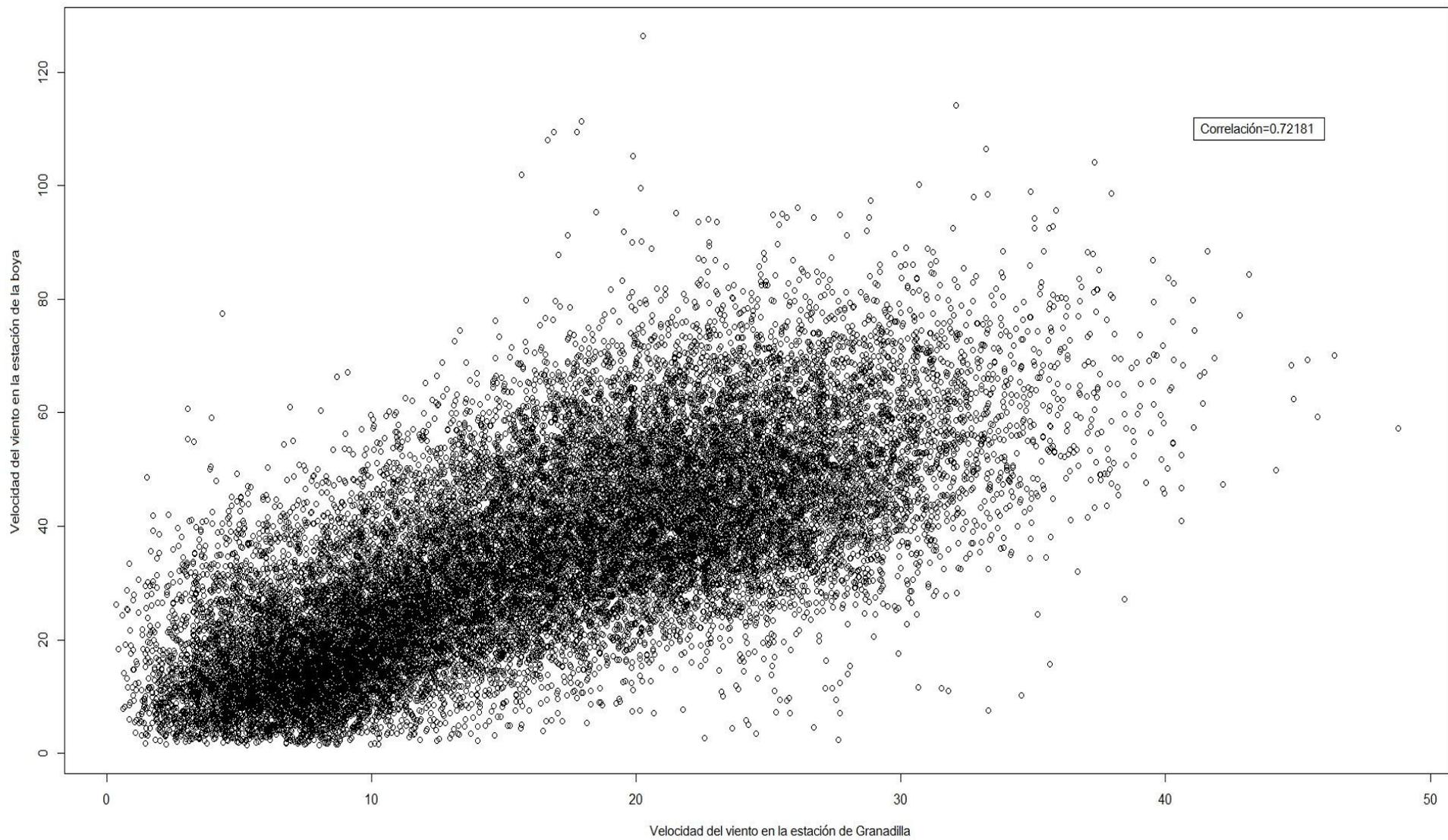


Ilustración 1: Comparativa de la velocidad del viento en las dos estaciones de muestreo (Boya y Granadilla) a lo largo de los dos años de estudio



**Ilustración 2: Correlación entre los datos de las dos estaciones (2015-2016)**

El estado de la mar y la fuerza del viento afectan a un buque en tres aspectos fundamentales: habitabilidad, operatividad y supervivencia (2). Es por ello que se considera de vital importancia conocer las condiciones de viento en la costa de Granadilla, dónde se ubicará el futuro puerto y por lo tanto dónde habrá un tráfico marítimo importante.

En la primera figura se representa los datos de velocidad del viento, expresados en km/h, tomados por las estaciones de mar y tierra durante el periodo 2015 – 2016. Los datos de la boya se muestran en color negro y los de la estación de tierra en verde. A simple vista se aprecia como en el mar se alcanzan picos de mayor intensidad que en tierra, algo esperable ya que en el mar el viento no encuentra obstáculos que le frenen.

La media de velocidad del viento en la estación de tierra es de 16.3 km/h y en la boya es de 34.7 km/h, para el intervalo de tiempo analizado. Teniendo en cuenta estas cifras, se puede considerar que la velocidad del viento en el mar es aproximadamente el doble que en tierra.

Aún así, esto no siempre se cumple, ya que al calcular la correlación entre los datos de una y otra estación (Ilustración 2) se obtiene un valor de 0.72181, que indica que existe cierta correlación (valores mayores de 0.7 se consideran aceptables), pero en ningún caso una correlación fiable. El viento en el mar será el doble que en tierra en un 72% de los casos.

---

<sup>2</sup> Aláez Zazurca, J.A. (1995). *Comportamiento del buque en la mar*. <http://ruc.udc.es/bitstream/2183/8921/1/CC20art2ocr.pdf>

## 2. VELOCIDAD DEL VIENTO

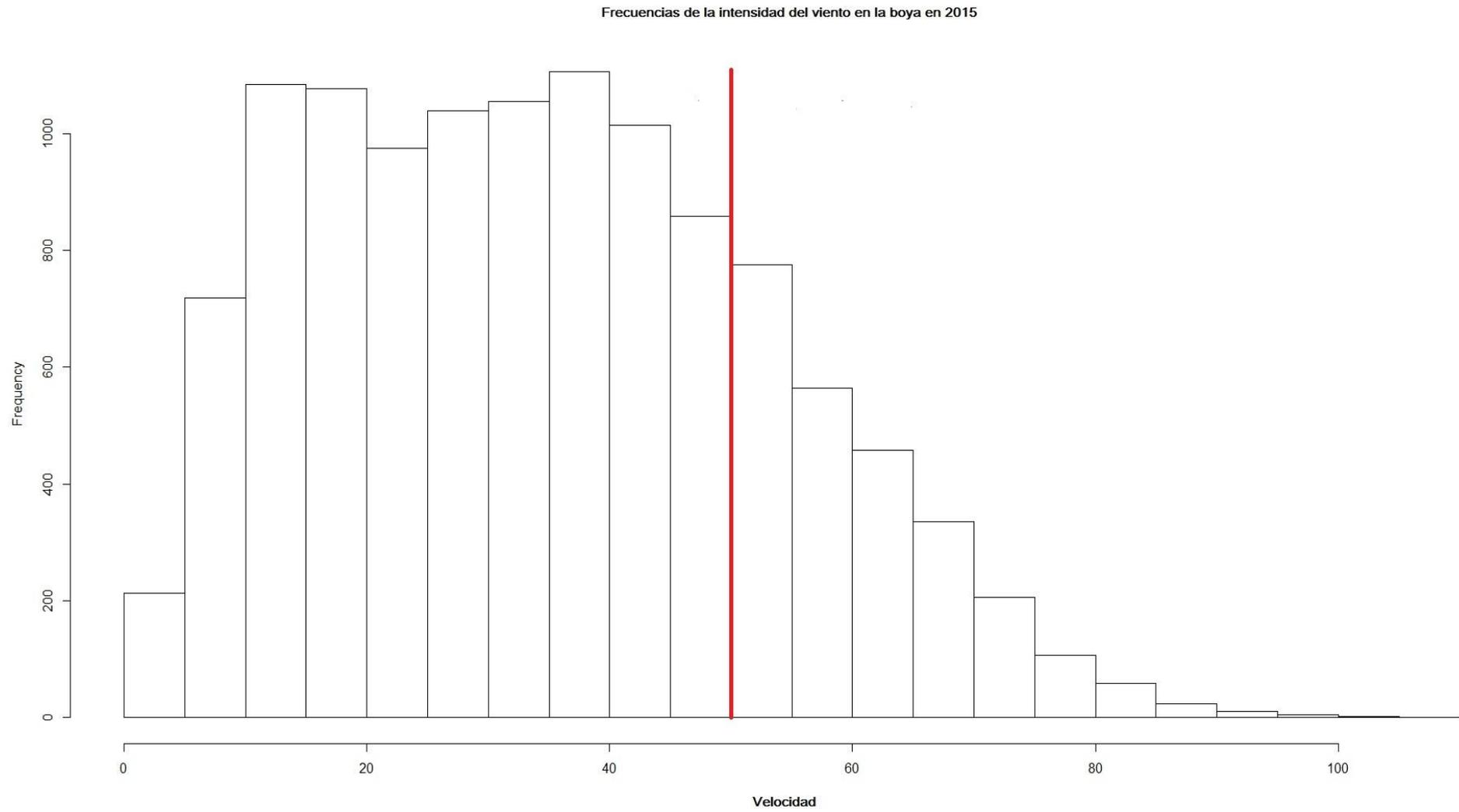


Ilustración 3: Frecuencias de la velocidad del viento en la boya en 2015

Frecuencias de la intensidad del viento en la estación de Granadilla en 2015

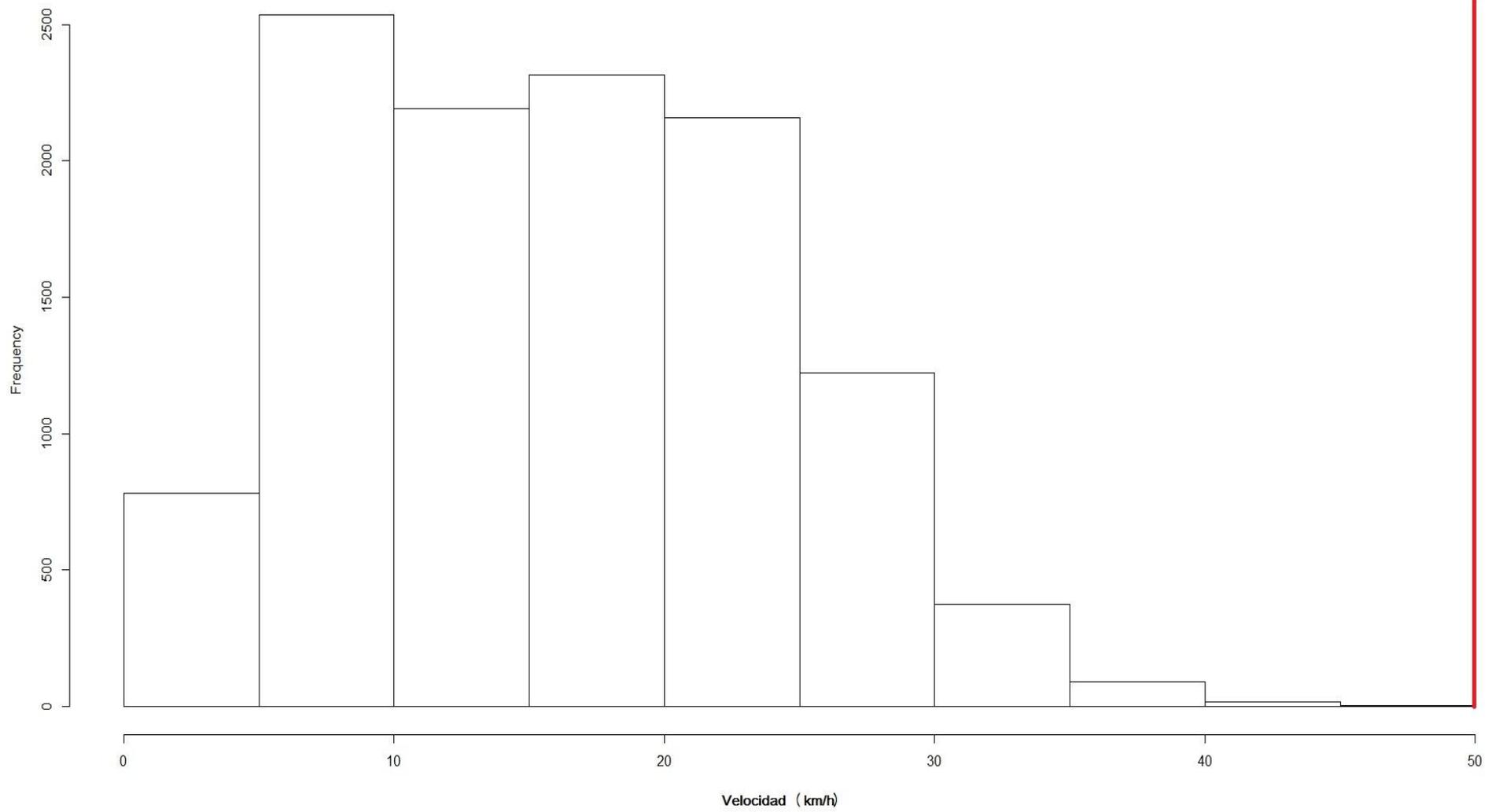
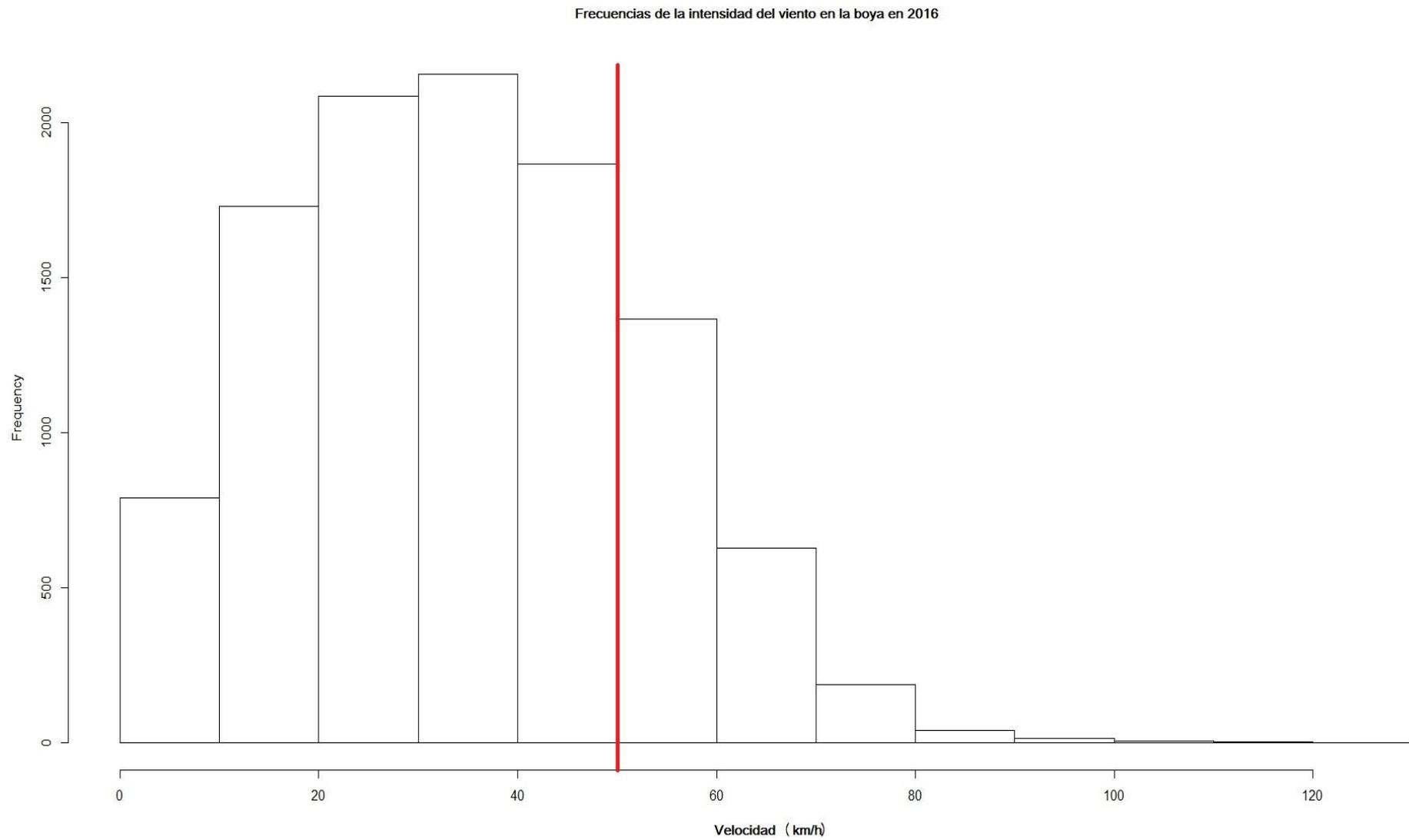


Ilustración 4: Frecuencias de la velocidad del viento en la estación de tierra de Granadilla en 2015



**Ilustración 5: Frecuencias de la velocidad del viento en la estación de la boya de Granadilla en 2016**

Frecuencias de la intensidad del viento en Granadilla en 2016

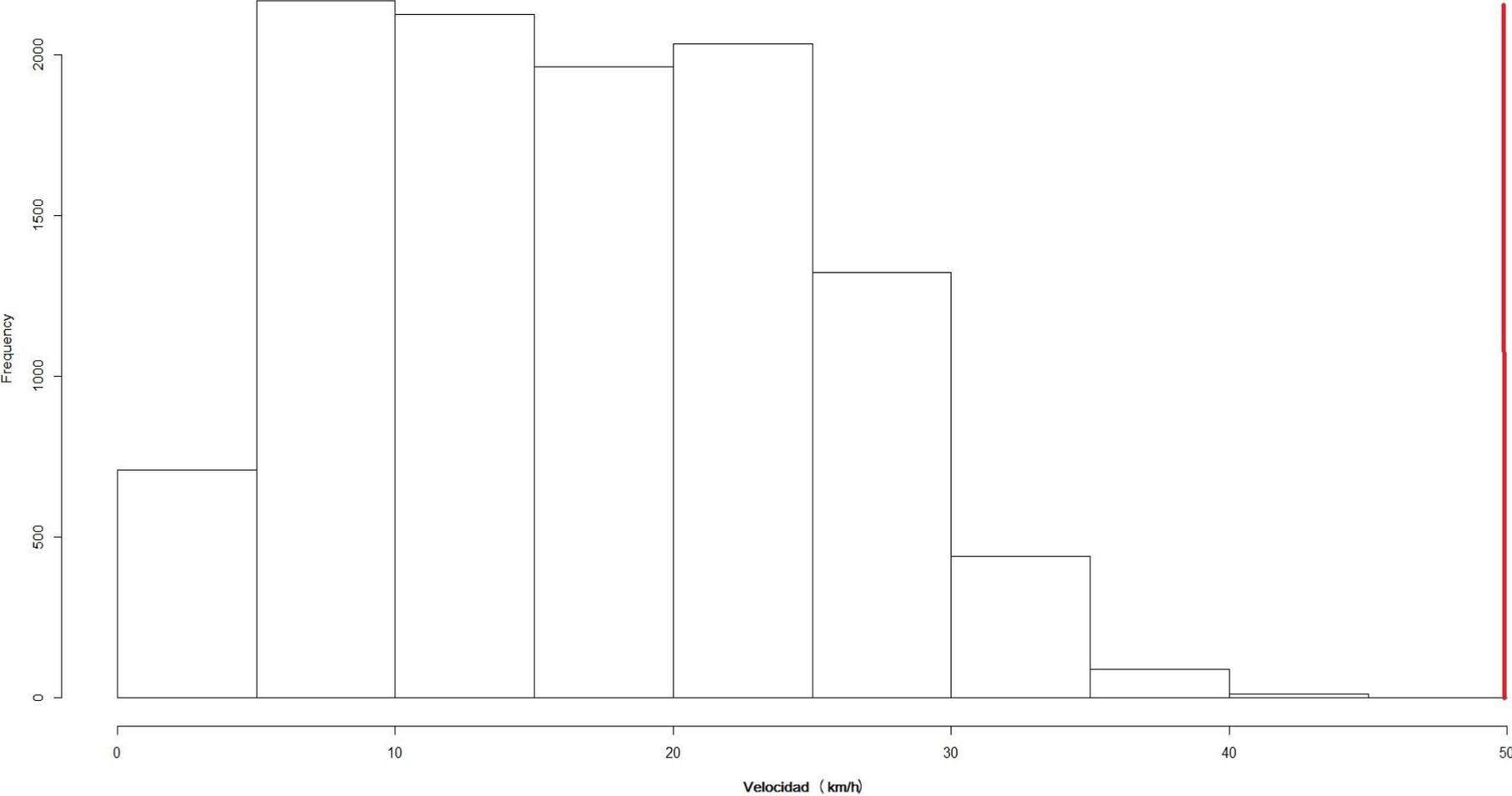


Ilustración 6: Frecuencias de la velocidad del viento en la estación de tierra de Granadilla en 2016

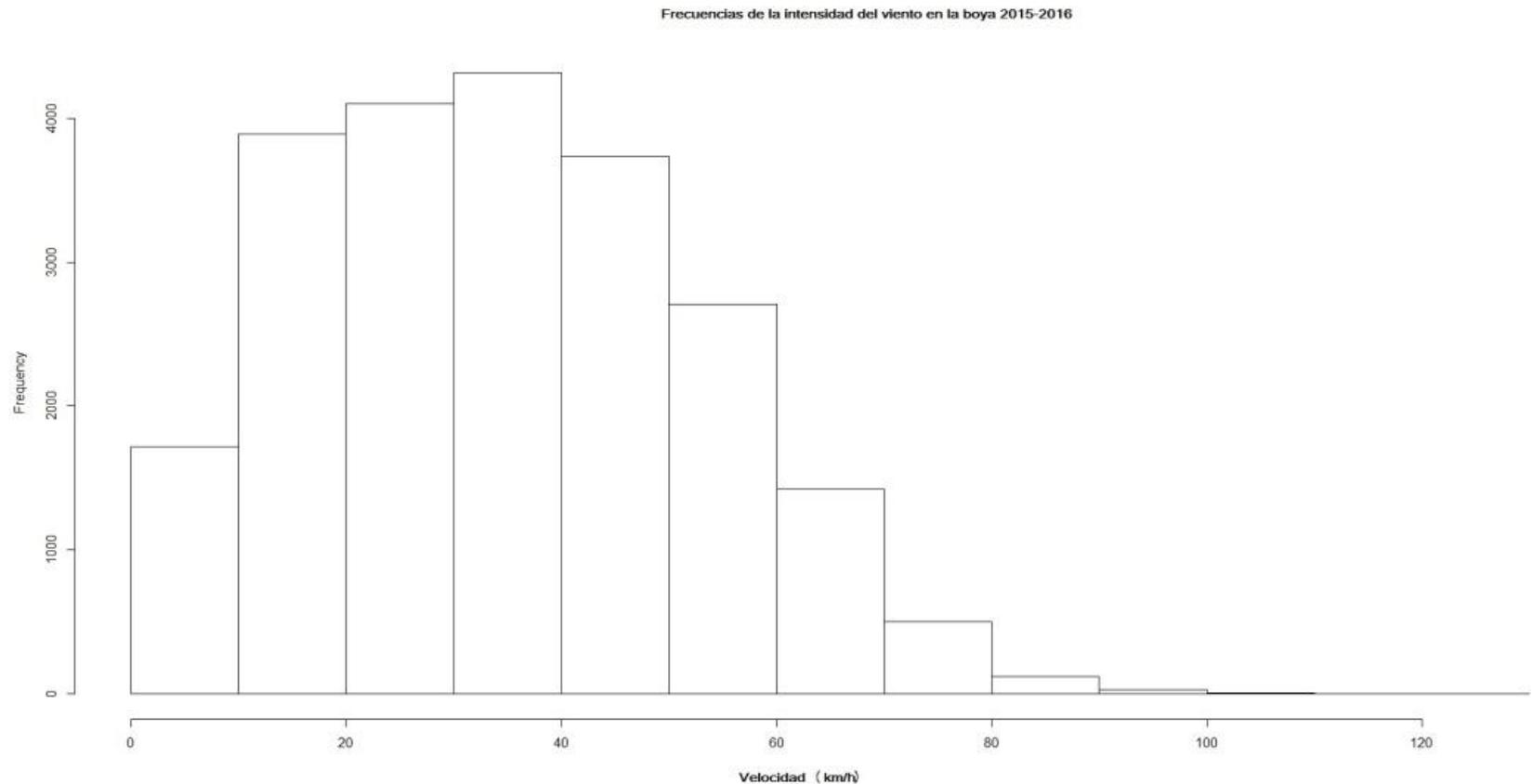
Los datos de la velocidad del viento se representan en histogramas de frecuencia, donde la anchura de las barras corresponde a un intervalo de 10 km/h y la altura con la frecuencia absoluta de esa velocidad. La línea roja señala el punto donde la velocidad alcanza los 50 km/h.

En 2015, el valor máximo medido en la boya fue de 106.4 km/h, mientras que en la estación de tierra fue de 48.8 km/h; es decir, que los picos son un poco más del doble de fuertes en tierra que en mar, como vimos al hablar de la correlación entre los datos de las dos estaciones. Además, en el mar se detectan muchos más datos por encima de 50 km/h (viento fuerte), aunque la mayoría de los valores se encuentran por debajo de este nivel, de hecho, en la estación de tierra no se alcanzaron los 50 km/h en ningún momento del año.

En 2016 el patrón es muy similar, con máximos de 126.3 km/h para el caso de la boya y 45.4 km/h para el caso de la estación de tierra, de nuevo algo más del doble para el mar. Los datos que están por encima de 50 km/h siguen siendo minoría.

Durante 2016 se alcanzó el máximo valor de velocidad del viento medido en los 2 años de estudio. Se trata de un pico de 126.3 km/h registrado en la boya. En la estación de tierra, el máximo es de 48.8 km/h. Los datos siguen patrones muy parecidos durante los dos años de estudio.

En la boya se aprecia una tendencia hacia la distribución normal, más marcada en unos casos que en otros. Dicha tendencia se mantiene si se reúnen los datos de los dos años en un único histograma, como se muestra en la siguiente figura:



En la estación de Granadilla, los datos tienden hacia la distribución bimodal, ocurriendo en los dos años de estudio. Sin embargo, si representamos los dos años juntos, los datos parecen tender más hacia una distribución normal:

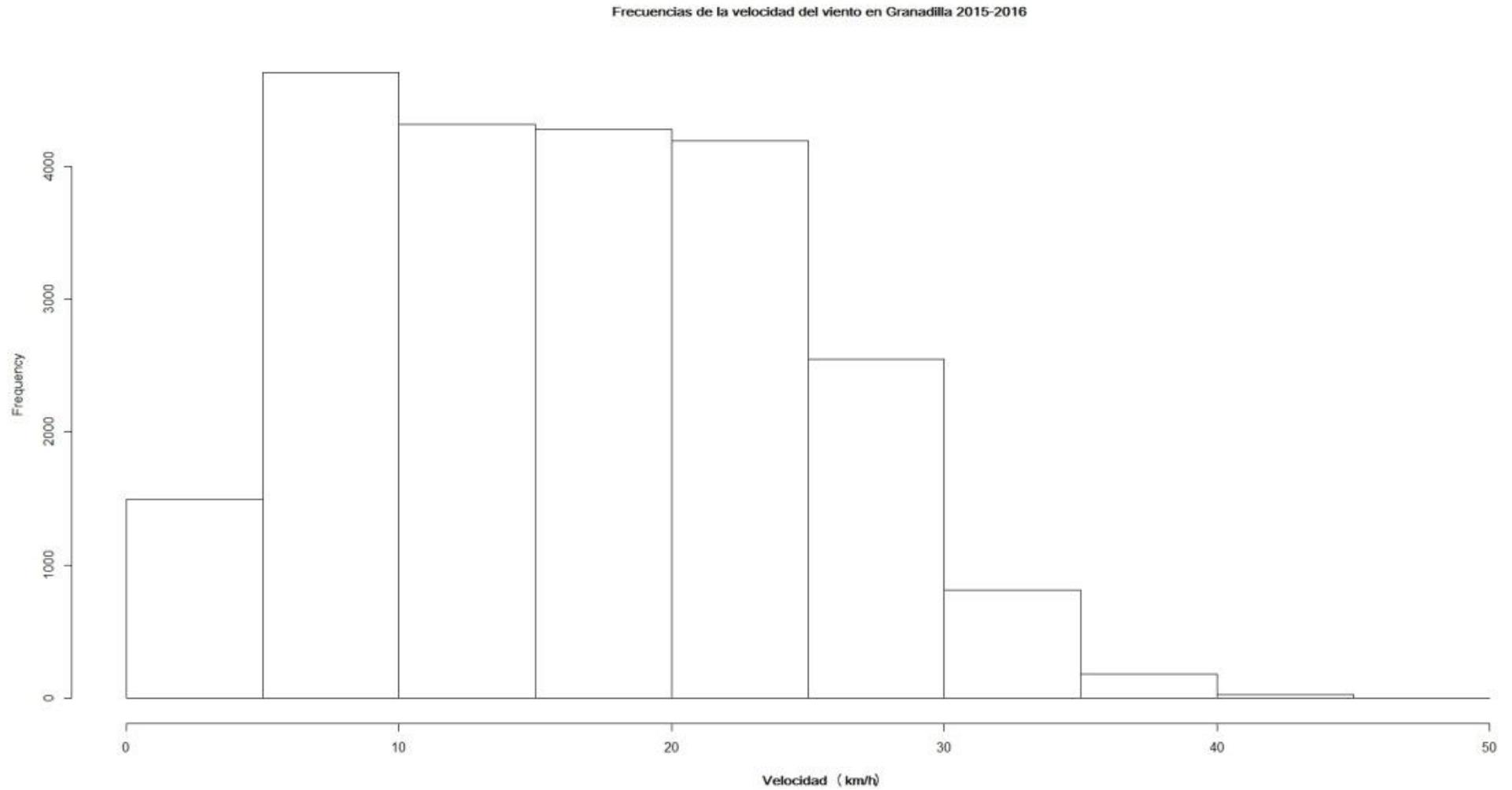


Ilustración 8: Histograma de frecuencias de la velocidad del viento durante 2015-2016 en la estación de Granadilla

### 3. VIENTOS FUERTES

La escala de Beaufort es empírica y ofrece indicadores para la intensidad del viento, basada principalmente en el estado del mar, de sus olas y la fuerza del viento. Según esta escala se considera “viento fuerte” aquel que supera los 50 km/h, o lo que es lo mismo, el viento superior a fuerza 7. La tabla adjunta muestra el porcentaje de datos registrados para las diferentes fuerzas definidas según Beaufort.

En las páginas que siguen se representa la velocidad del viento en los tres años y en las dos estaciones de muestreo, señalando con un círculo rojo los momentos en que el viento supera la velocidad de 50 km/h. En todos los casos la mayoría de los datos se encuentra por debajo de los 50 km/h, y un 21,71% supera este nivel en 2015 en la boya y un 20,66% en 2016. En la estación de Granadilla en ningún caso a lo largo de los dos años de estudio el viento alcanzó esa velocidad.

PORCENTAJES	Año 2015		Año 2016	
	Boya	Granadilla	Boya	Granadilla
Fuerza 0	0.10	0.68	0.09	0.54
Fuerza 1	2.59	9.44	2.78	7.22
Fuerza 2	8.81	26.27	7.41	21.31
Fuerza 3	14.96	30.54	12.88	24.31
Fuerza 4	15.35	27.45	16.87	24.38
Fuerza 5	18.62	5.35	20.18	5.36
Fuerza 6	17.77	0.26	19.14	0.15
Fuerza 7	13.17	0.00	13.91	0.00
Fuerza 8	6.84	0.00	5.60	0.00
Fuerza 9	1.61	0.00	0.90	0.00
Fuerza 10	0.15	0.00	0.17	0.00
Fuerza 11	0.02	0.00	0.06	0.00
Fuerza 12	0.00	0.00	0.01	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Tabla 3: Porcentaje de los datos distribuidos en las diferentes fuerzas de la escala de Beaufort

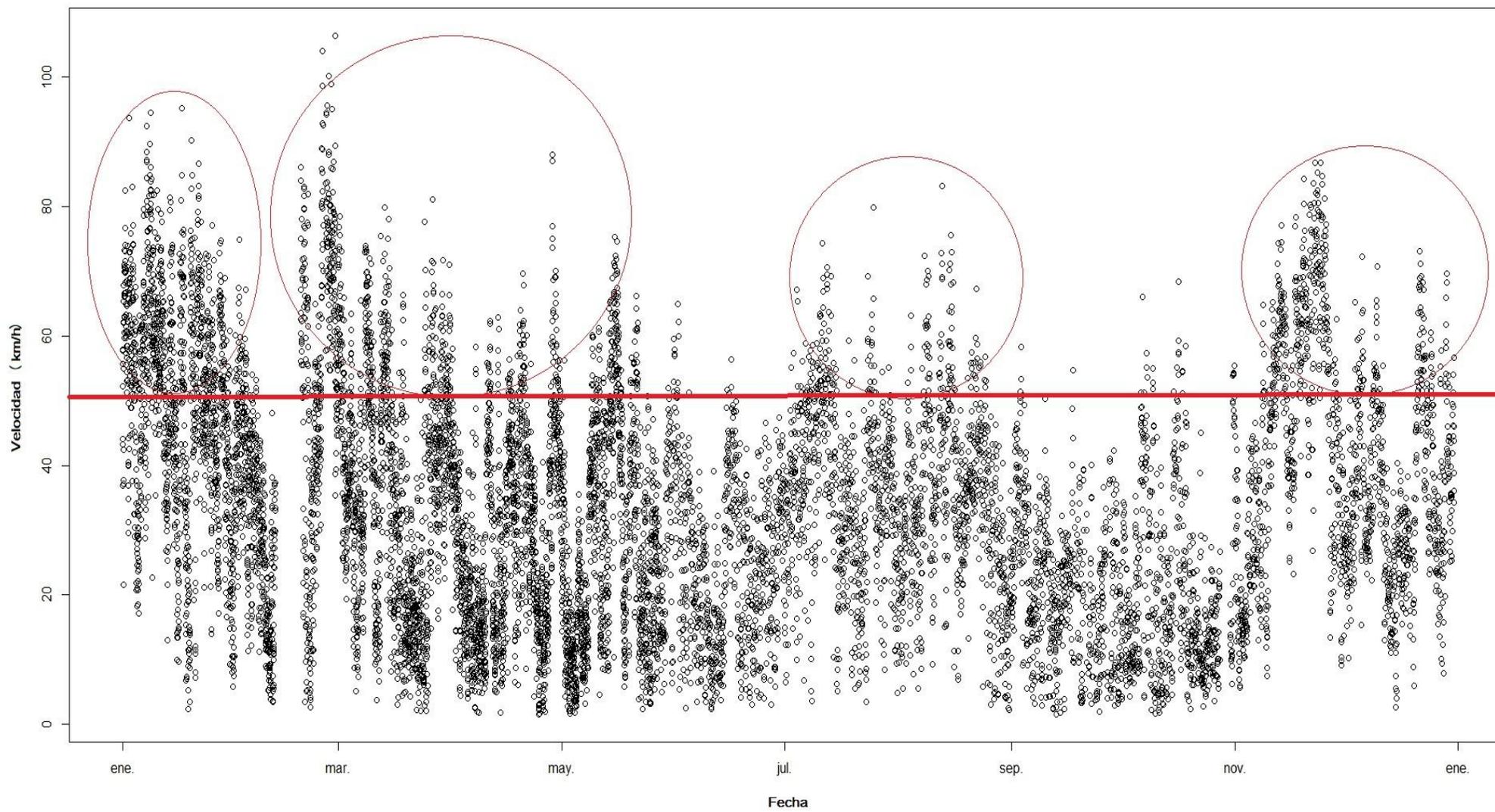


Ilustración 9: Vientos superiores a 50 km/h en la boya de Granadilla en 2015

GRANADILLA 2015

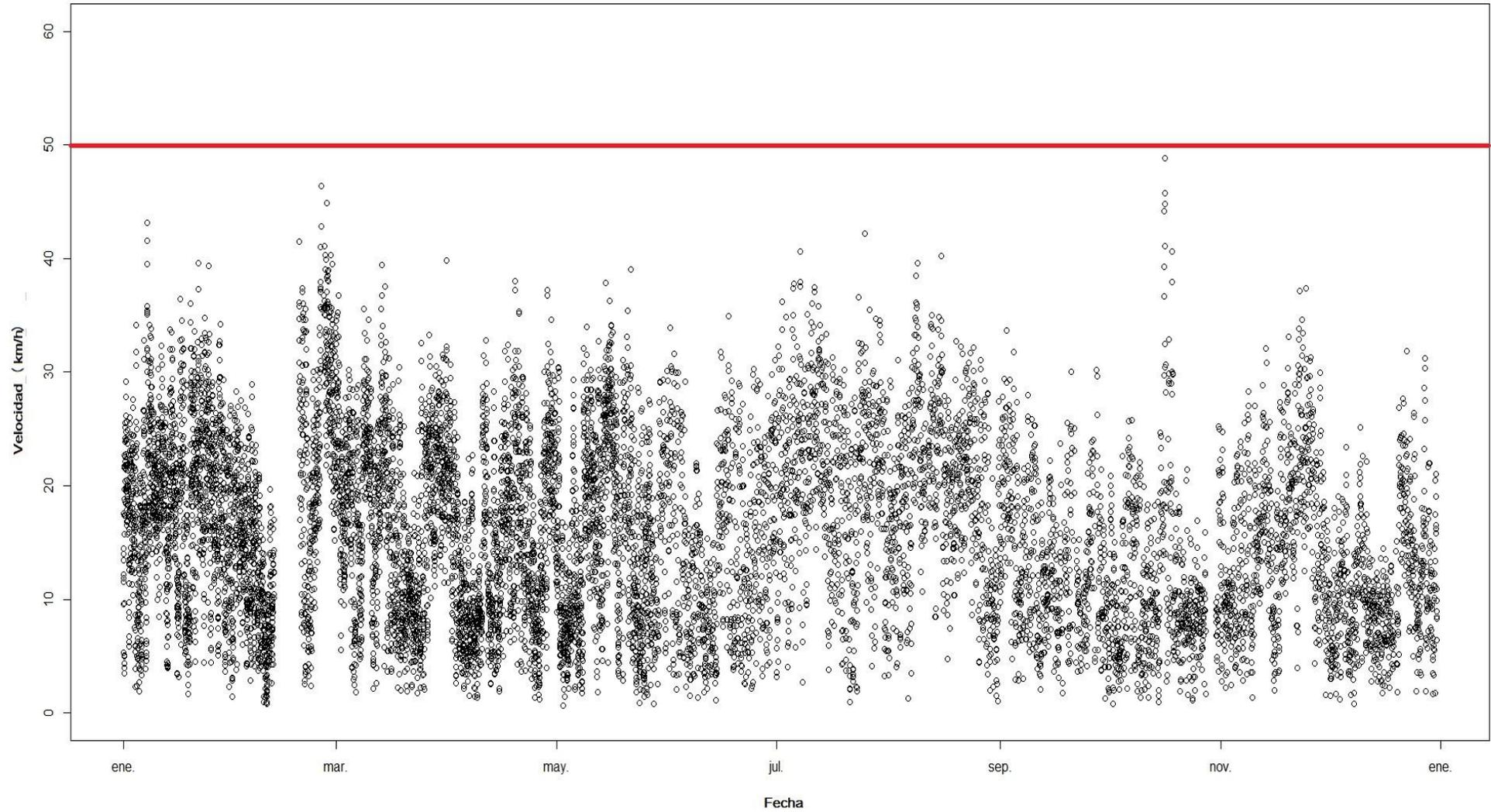


Ilustración 10: Vientos superiores a 50 km/h en la estación de Granadilla en 2015

BOYA 2016

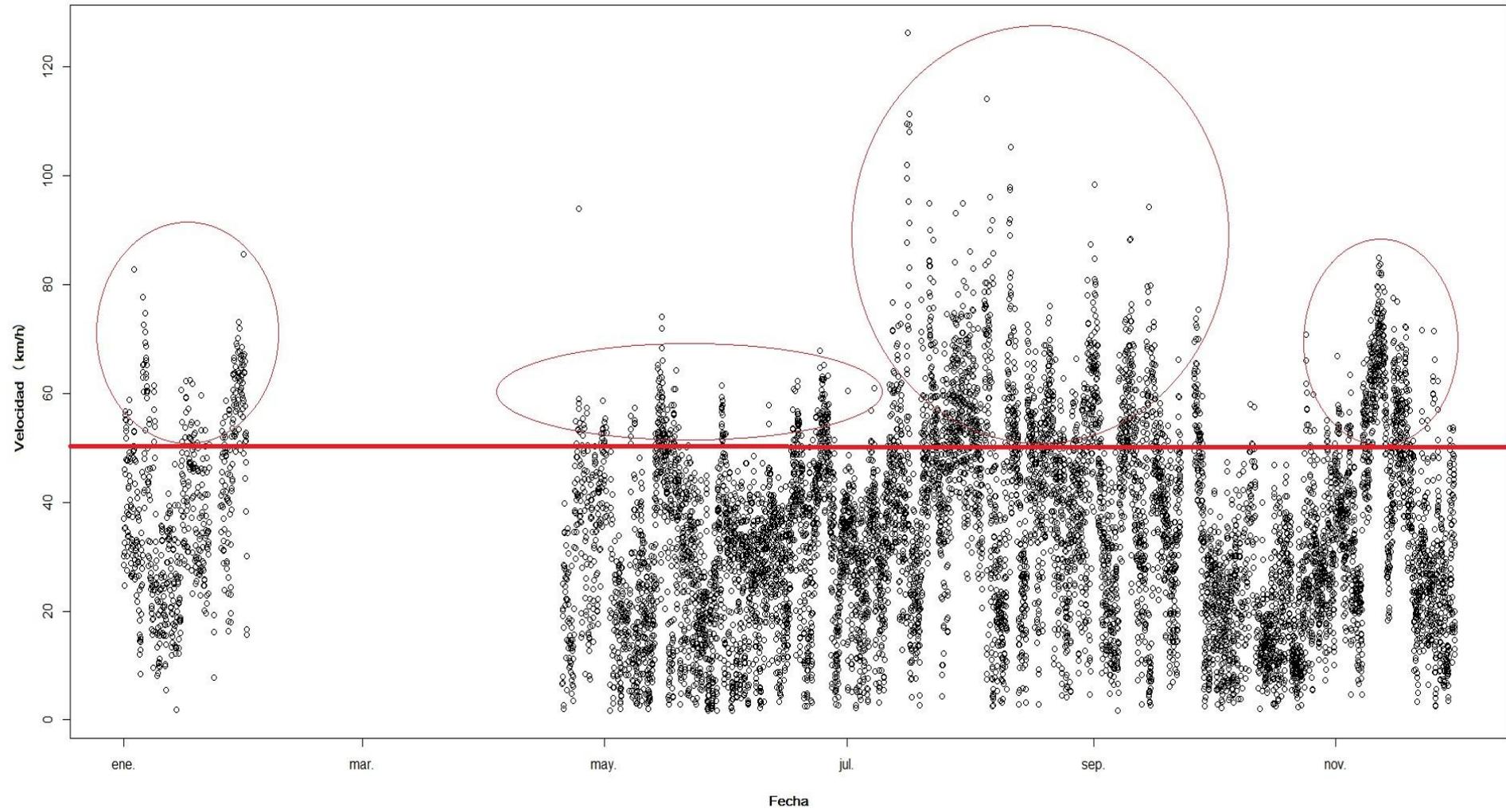


Ilustración 11: Vientos superiores a 50 km/h en la estación de la boya de Granadilla en 2016

GRANADILLA 2016

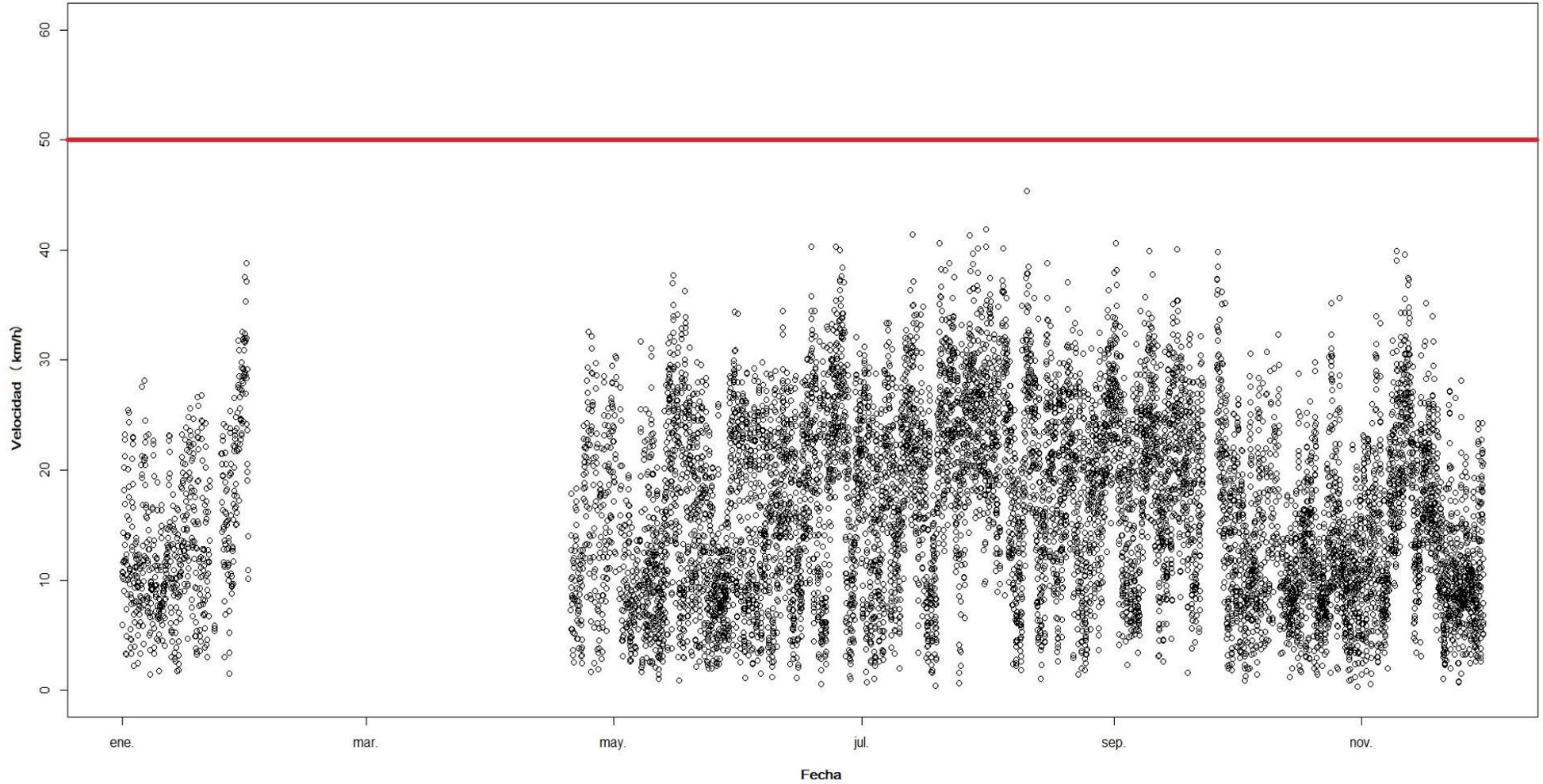


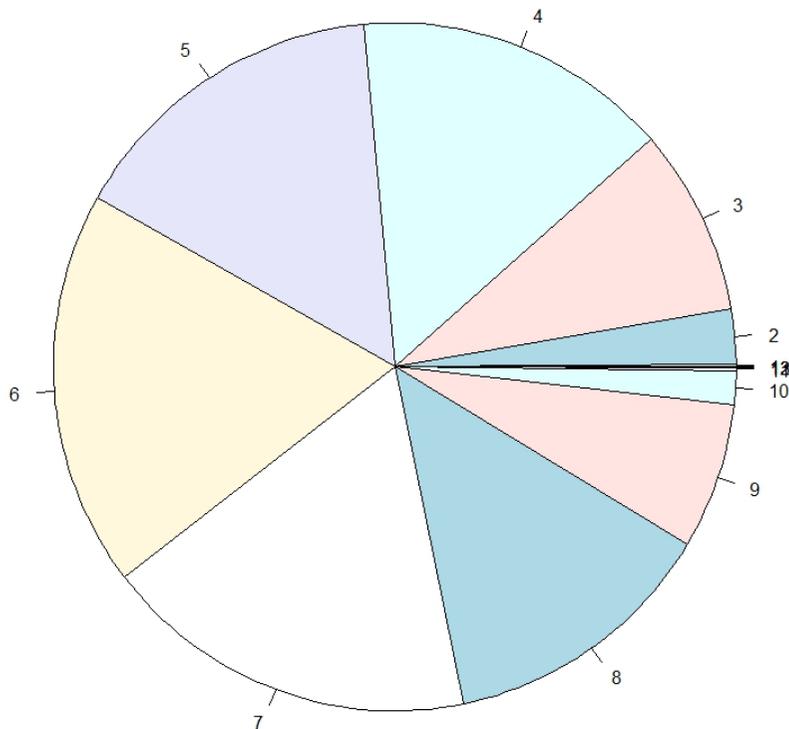
Ilustración 12: Vientos superiores a 50 km/h en la estación de Granadilla en 2016

Los vientos fuertes ocurren en la boya a finales de la primavera y a finales del otoño. Lo habitual, es tener un patrón del estilo del que apreciamos en el año 2015, con épocas de calma a finales del verano, debido presumiblemente al movimiento del anticiclón de las Azores que disminuye los gradientes de presión, de manera que el viento afloja y se producen las épocas de calma típicas de estos meses. Durante este año 2016, sin embargo, esta época de calma no ha tenido lugar. En la tabla 3, en la estación de tierra, nunca se alcanzan valores de viento fuerte.

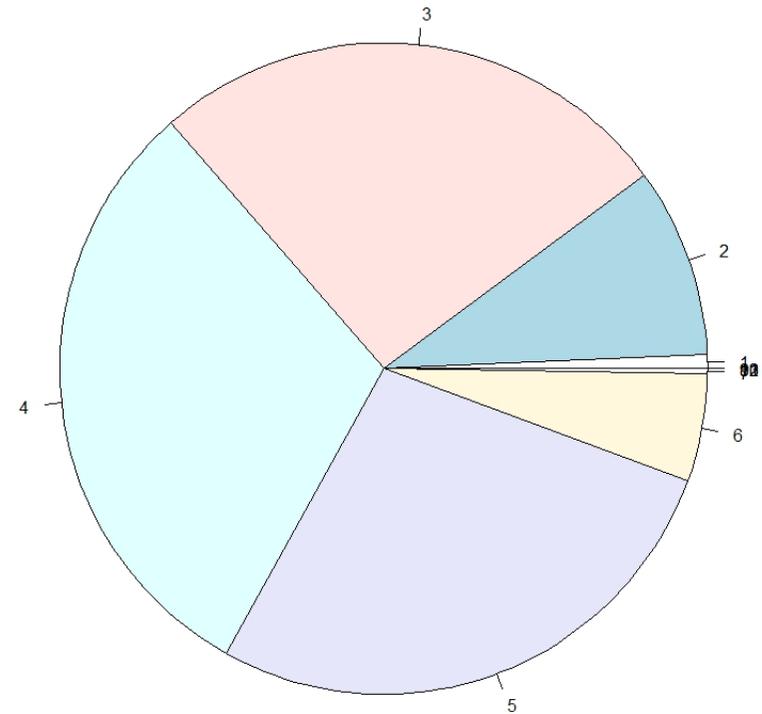
Al analizar los dos años de estudio para ambas estaciones, se aprecia que la mayoría de los datos corresponden a valores de viento aceptables para la maniobrabilidad de un buque (por debajo de fuerza 7) y que el 21,22% de los datos iguala o supera este referente en la boya, un valor algo superior al encontrado para los años 2012-2014, pero igualmente bajo y aceptable. En la estación de tierra, como ya se ha comentado, no se alcanzan vientos de esta magnitud (vientos fuertes) en ningún momento a lo largo de los dos últimos años.

A continuación se muestran cuatro gráficos de sectores, uno por estación y año, dónde se representan la cantidad de días con el viento soplando según la fuerza de la escala de Beaufort:

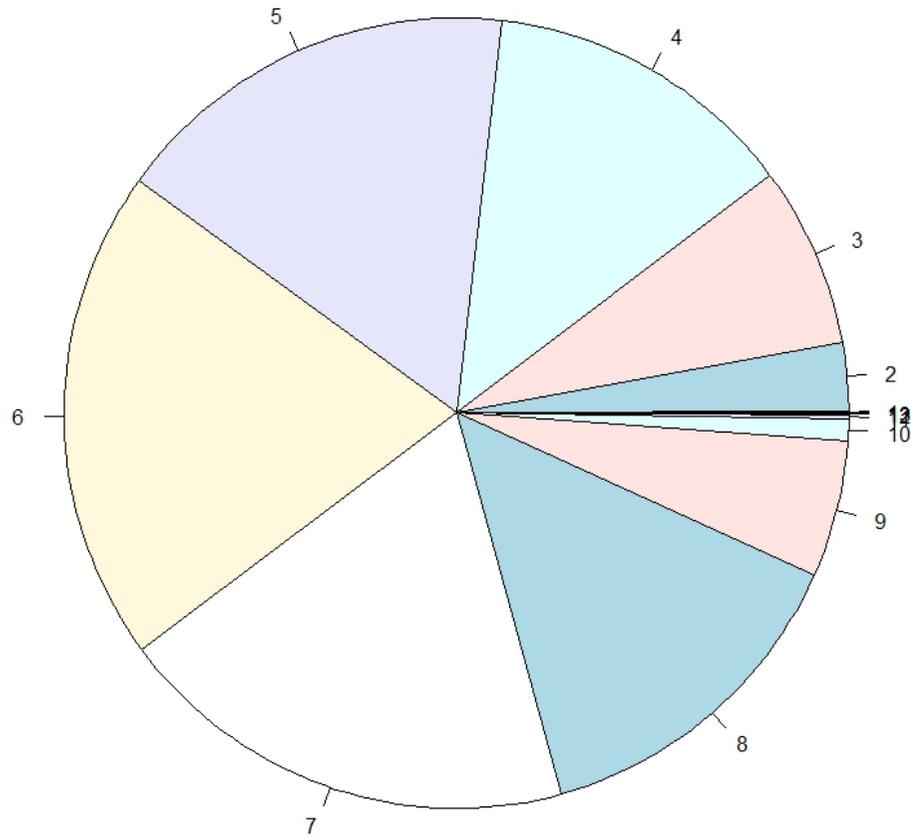
### BOYA 2015



### GRANADILLA 2015



# BOYA 2016



# GRANADILLA 2016

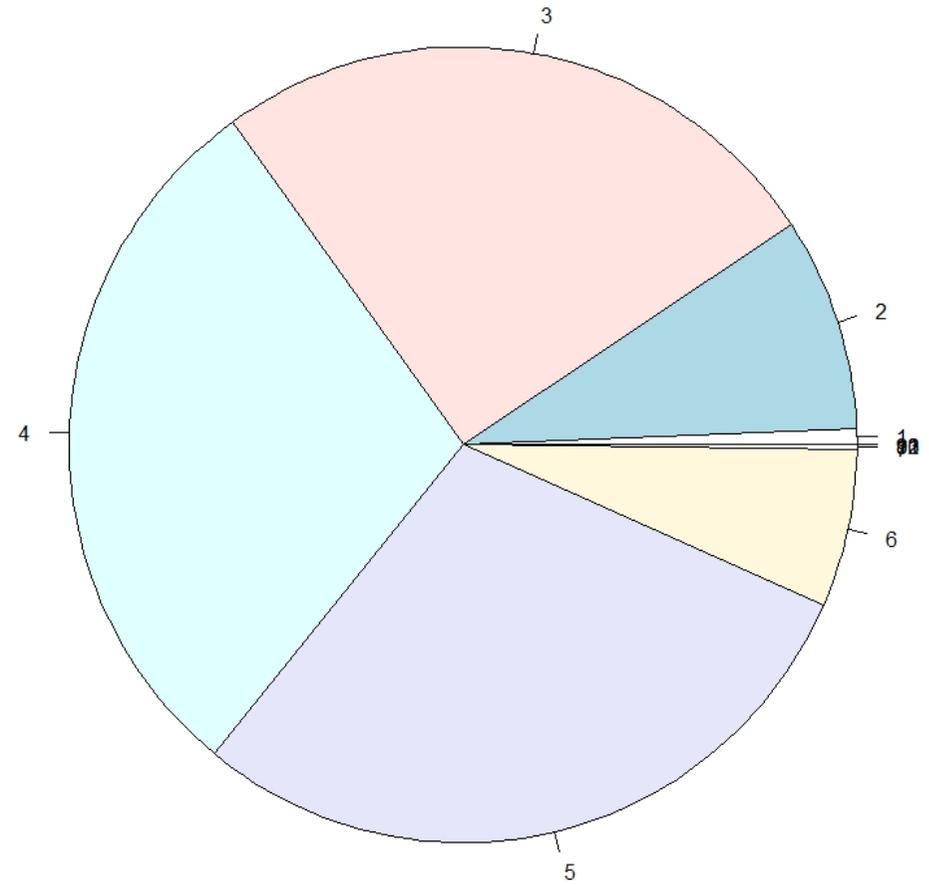


Ilustración 14: Incidencia de vientos de diferentes fuerzas en las dos estaciones de muestreo durante 2016 en las dos estaciones

## CONCLUSIONES

La costa del municipio de Granadilla está considerado popularmente cómo un lugar ventoso, y así es. Sin embargo, los vientos que pueden condicionar negativamente la navegación y maniobras portuarias son los vientos fuertes (> 50 km/h) y, según la configuración del puerto, también la dirección que traigan.

El análisis de los datos de viento registrados en estaciones ubicadas en el ámbito del nuevo puerto de Granadilla, tanto en tierra como en el mar (boya oceanográfica) cubren un periodo de dos años (2015-2016), con algunas lagunas. Dentro de las limitaciones que impone esta serie temporal, se observa que en tierra no hay eventos de viento fuerte durante este periodo. En la boya, sin embargo, la frecuencia de viento fuerte aumenta aunque en ningún año alcanzó el 25%. Se registraron algunos picos con velocidades muy altas a las que sería difícil maniobrar para un buque, pero se trata de eventos puntuales que afectan por lo común a grandes sectores de la isla, sino a toda ella.

Año	Velocidad media (km/h)	Velocidad máxima (km/h)	Velocidad mínima (km/h)
	Boya / Granadilla	Boya / Granadilla	Boya / Granadilla
2012	30.85 / 16.05	99.31 / 48.10	0.82 / 0.40
2013	31.34 / 15.42	106.36 / 53.83	0.83 / 0.20
2014	33.18 / 15.13	122.52 / 54.48	1.55 / 0.49
2015	34.65 / 16.05	106.42 / 48.81	1.52 / 0.65
2016	34.75 / 16.53	126.35 / 45.37	1.69 / 0.35

Tabla 2: Estadísticos descriptivos de los datos de velocidad del viento durante los 5 años de estudio

En la tabla superior se muestran las velocidades medias, máximas y mínimas durante los 5 años de estudio en las dos estaciones. La media en la boya parece haber ido aumentando progresivamente, pero bastante poco, estando todavía bastante por debajo del punto crítico de los 50 km/h. En la estación de Granadilla se mantiene en valores muy parecidos a los años anteriores. En cuanto a los picos máximos, se detecta la mayor velocidad en la boya en este año 2016, pero con un valor muy cercano a otros encontrados años anteriores, mientras que en la estación de tierra se mantiene la velocidad dentro de los rangos encontrados los años anteriores.

Con la información disponible parece que, en principio, el viento no limitará la operatividad del puerto industrial de Granadilla en la mayor parte del año, pero este es un tema que corresponde evaluar a los técnicos portuarios.

