



Material Suplementario 1

Análisis del viento de Levante y su impacto en reclutamiento de coquina *Donax trunculus* durante la última década

Project FEMP 04

Instituto Español de Oceanografía, Cádiz

*Mauricio Mardones
Marina Delgado
Ricardo Sánchez*

Fecha
August, 2025

Contents

Contexto	2
Metodología	3
Datos de viento	3
Datos de variables poblacionales de coquina	6
Resultados	7
Series temporales del monitoreo poblacional de coquina	12
Modelos de correlación entre Reclutamiento y Viento de Levante	13
Modelos semestrales con interacción	15
Trabajo futuro	16
Material Suplementario	17
Referencias	18

Contexto

Análisis de los vientos de Levante y su relación con el reclutamiento de la coquina (*Donax trunculus*). Este estudio realiza un análisis detallado de los patrones de viento de Levante y Poniente a partir de datos meteorológicos recopilados entre 2013 y 2025. Se caracterizan aspectos clave como la frecuencia, duración e intensidad de estos eventos atmosféricos, con el objetivo de evaluar su posible influencia sobre variables poblacionales de la coquina *Donax trunculus*, una especie bivalva de importancia ecológica y pesquera en el litoral suratlántico español.

El objetivo principal de este trabajo es identificar y cuantificar los patrones de viento dominantes y analizar su relación con parámetros poblacionales de *Donax trunculus*. Para ello, se emplean datos de monitoreo biológico y pesquero obtenidos por el Instituto Español de Oceanografía (IEO-CSIC) en el marco del proyecto FEMP 04, con énfasis en las dinámicas de reclutamiento observadas en el Golfo de Cádiz.

Metodología

```
paquetes <- c(  
  "readr", "dplyr", "lubridate", "stringr", "purrr",  
  "ggplot2", "tidyverse", "gridExtra", "viridis", "scales",  
  "formatR", "ggpubr", "ggthemes", "kableExtra", "sjPlot",  
  "broom", "kableExtra"  
)  
  
purrr::walk(paquetes, library, character.only = TRUE)
```

Datos de viento

El acceso al servicio de descargas de **Puertos del Estado** se hace desde la página web de oceanografía de **Puertos del Estado**

Selección de estaciones y variables

- En el sistema **DescargaPortus**, se suele seleccionar entre varias estaciones meteorológicas costeras.
- Elegimos **cuatro puntos** ubicados frente a la costa del Parque de Doñana en la provincia de Cádiz (Figure 1).
- Seleccionamos datos de **viento**, en particular **velocidad y dirección**.

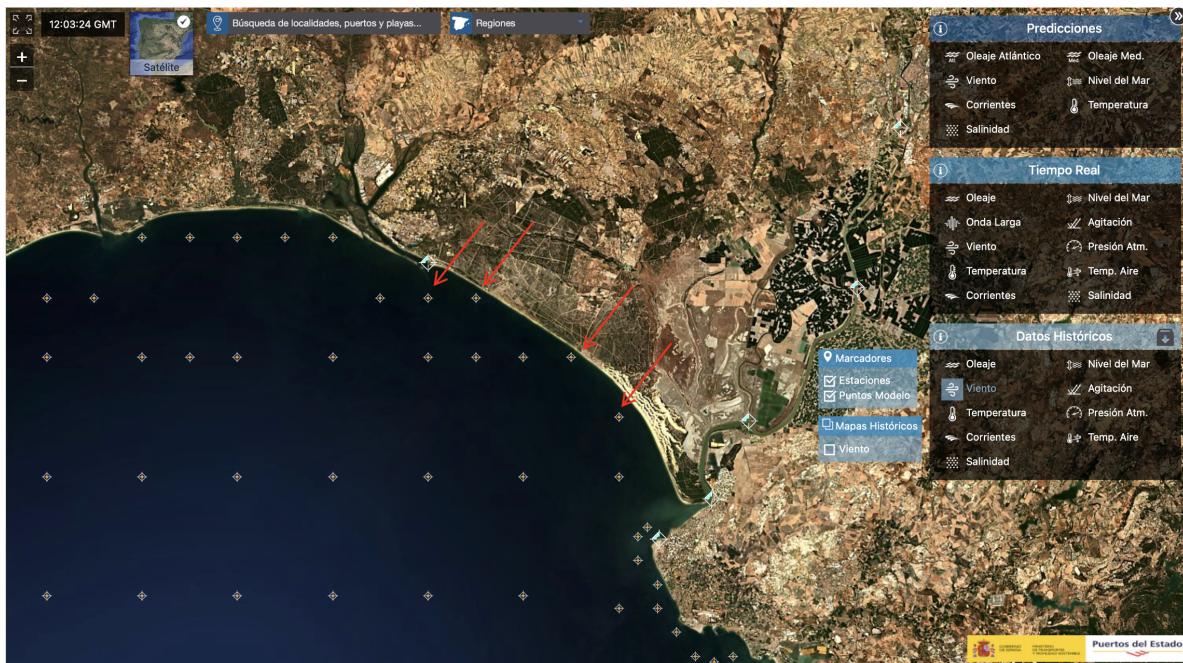


Figure 1: Puntos seleccionados con la variable viento desde Puertos del Estado

Período y frecuencia de datos

- Un **rango temporal** (por ejemplo 2013-2025).
- Desechar valores nulos (ej. -999.9) siguiendo las recomendaciones de limpieza del manual.

Formato de descarga

- .csv en formato tabular con columnas como:
- Fecha (GMT)
- Velocidad del viento (m/s)

- Dirección del viento (grados meteorológicos)

Calidad de datos

- Aplicamos filtros para descartar datos erróneos, como aquellos con velocidad negativa o direcciones fuera del rango 0–360°.

Procesamiento en R

- Finalmente, se importan en R usando funciones tipo `readr`, limpieza con `dplyr`, conversión de fechas con `lubridate`, etc.

Flujo de trabajo

Etapa	Acción realizada
Selección de estaciones	Cuatro puntos frente a Doñana (Cádiz)
Variables	Viento: velocidad y dirección
Periodo de interés	Desde 2013 hasta el presente
Formato de descarga	CSV / delimitado con primer registro meta
Limpieza de datos	Eliminación de “-999.9” y NA
Conversión de formatos	Fecha GMT a <code>POSIXct</code> o <code>Date</code>

```

directorio <- "~/IEO/wind-recruitment-Dtrunculus/data"
archivos <- c(
  "21405_40638_5028023_WIND_20130101124124_20250723114124.csv",
  "21405_40639_5027023_WIND_20130101124130_20250723114130.csv",
  "21405_40640_5029023_WIND_20130101124134_20250723114134.csv",
  "21405_40641_5030023_WIND_20130101124138_20250723114138.csv"
)
rutas_completas <- file.path(directorio, archivos)

#Funcion para leer todos los archivos.
leer_archivo_viento <- function(archivo) {
  readr::read_tsv(archivo, skip = 1,
    col_names = c("fecha_raw",
      "velocidad_viento",
      "direccion_grados"),
    show_col_types = FALSE) %>%
  mutate(
    fecha_raw = stringr::str_trim(fecha_raw),
    fecha = lubridate::parse_date_time(fecha_raw, orders = "Y m d H", tz = "UTC"),
    velocidad_viento = as.numeric(velocidad_viento),
    direccion_grados = as.numeric(direccion_grados)
  ) %>%
  dplyr::select(fecha, velocidad_viento, direccion_grados)
}

datos_viento <- purrr::map_dfr(rutas_completas,
  leer_archivo_viento)

```

Los registros de viento fueron clasificados en tres categorías: **Levante**, **Poniente** u **Otro**, en base a la siguiente regla propuesta por Bartolomé López-Somoza (1998):

$$\text{tipo_viento} = \begin{cases} \text{"Levante"} & \text{si } 4 \leq V < 40 \text{ y } 67.5^\circ \leq D \leq 157.5^\circ \\ \text{"Poniente"} & \text{si } 8 \leq V < 40 \text{ y } 247.5^\circ \leq D \leq 292.5^\circ \\ \text{"Otro"} & \text{en cualquier otro caso} \end{cases}$$

Donde:

- V es la **velocidad del viento** en m/s.
- D es la **dirección del viento** en grados meteorológicos.

Esta clasificación se implementó en R con `case_when()` para etiquetar automáticamente cada observación horaria.

```
# Clasificar los datos de viento
datos_clasificados <- datos_limpios %>%
  mutate(
    tipo_viento = case_when(
      velocidad_viento >= 4 & velocidad_viento <= 40 &
        direccion_grados >= 67.5 & direccion_grados <= 157.5 ~ "Levante",
      velocidad_viento >= 8 & velocidad_viento <= 40 &
        direccion_grados >= 247.5 & direccion_grados <= 292.5 ~ "Poniente",
      TRUE ~ "Otro"
    )
  )
```

En términos direccionales, la rosa de los vientos queda clasificada de la siguiente forma:

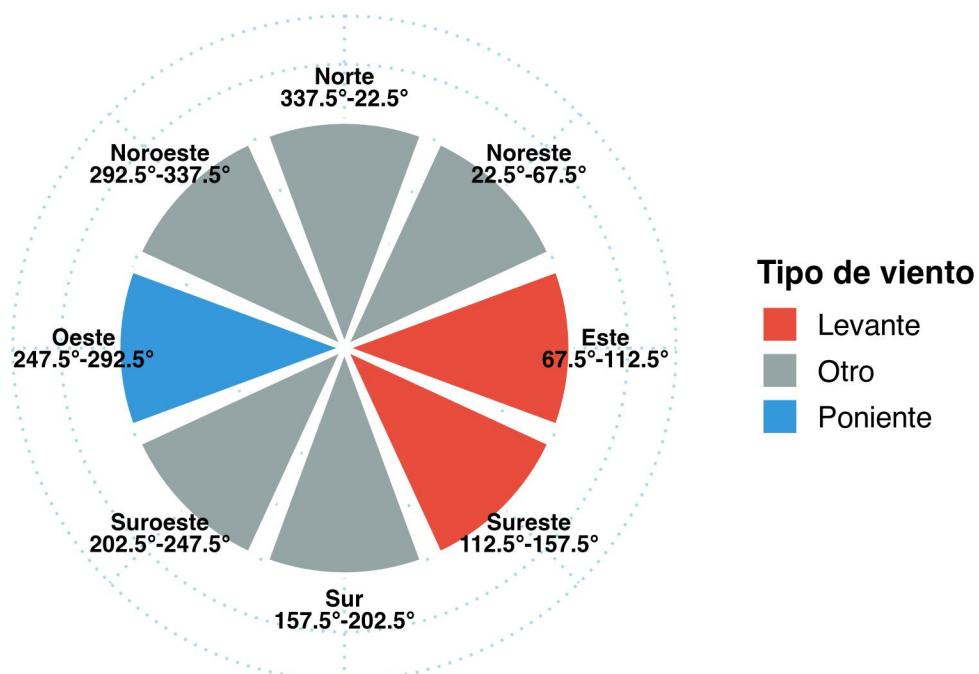


Figure 2: Rosa de vientos mostrando la clasificación de sectores para Levante y Poniente

Datos de variables poblacionales de coquina

Utilizaremos el indice de reclutamiento que provien e de las tallas , calculado como la proporcion de individuos < 15 mm.

Resultados

Analizamos la frecuencia de eventos de levante y poniente en la Figura 3.

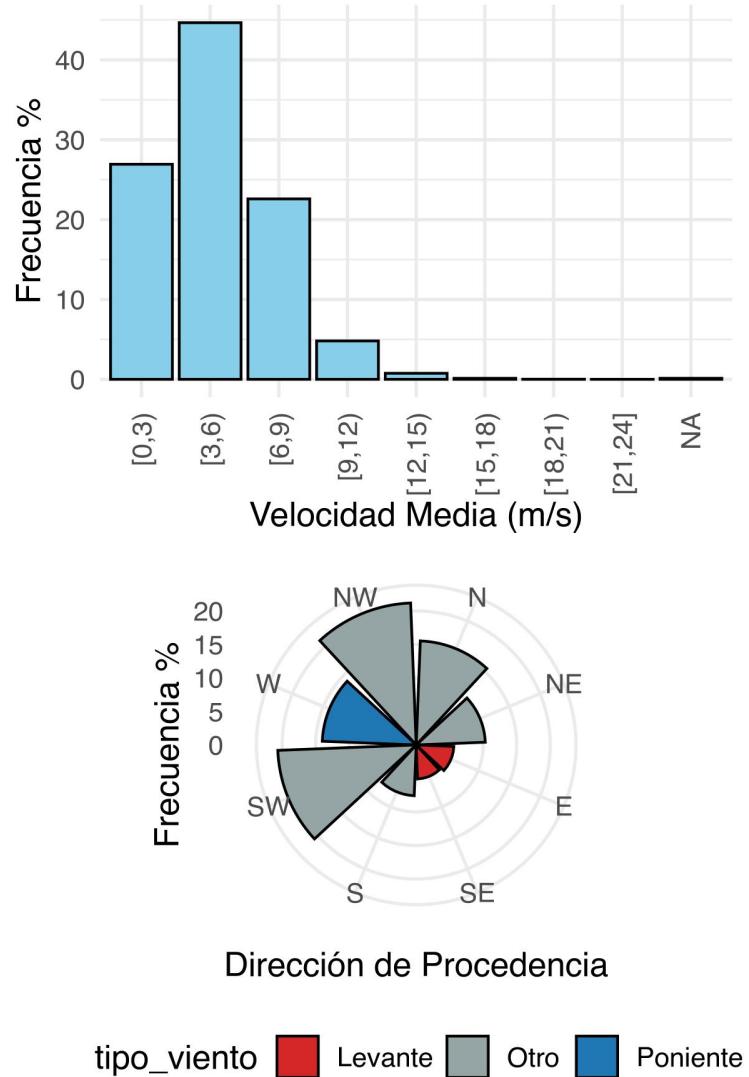


Figure 3: Distribución de velocidades del viento y frecuencia por dirección cardinal

También visualizamos la relación entre intensidad y días con levante y poniente en la Figura 4

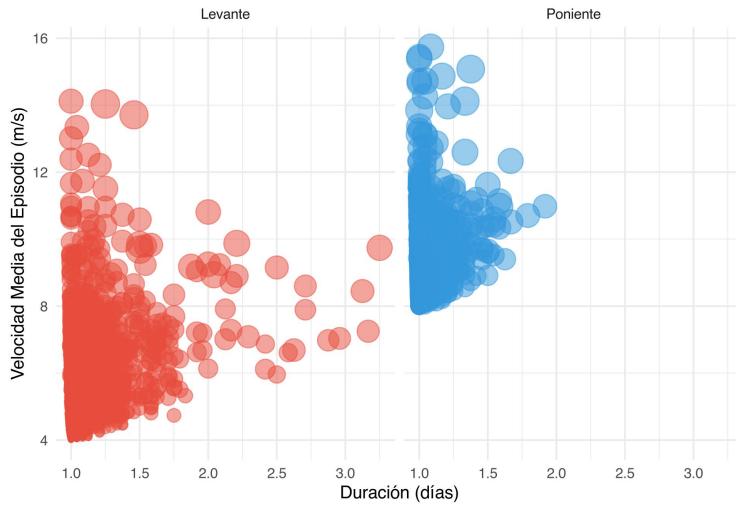


Figure 4: Relación entre intensidad y días con levante y poniente

Promedio por mes de los días con levante y poniente a través de los meses en la Figura 5.

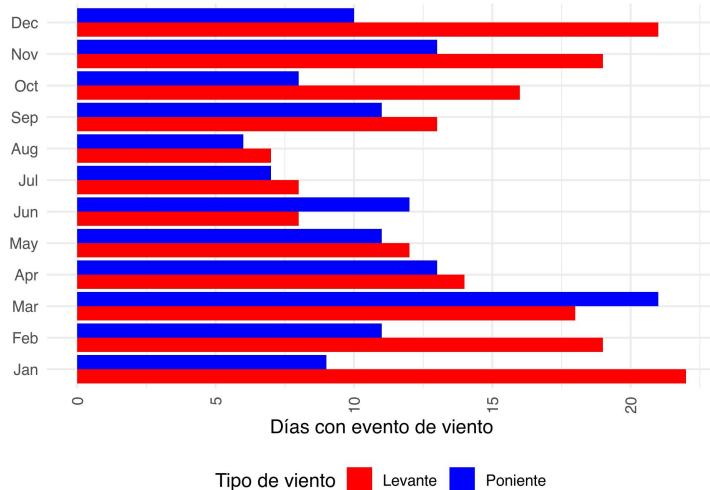
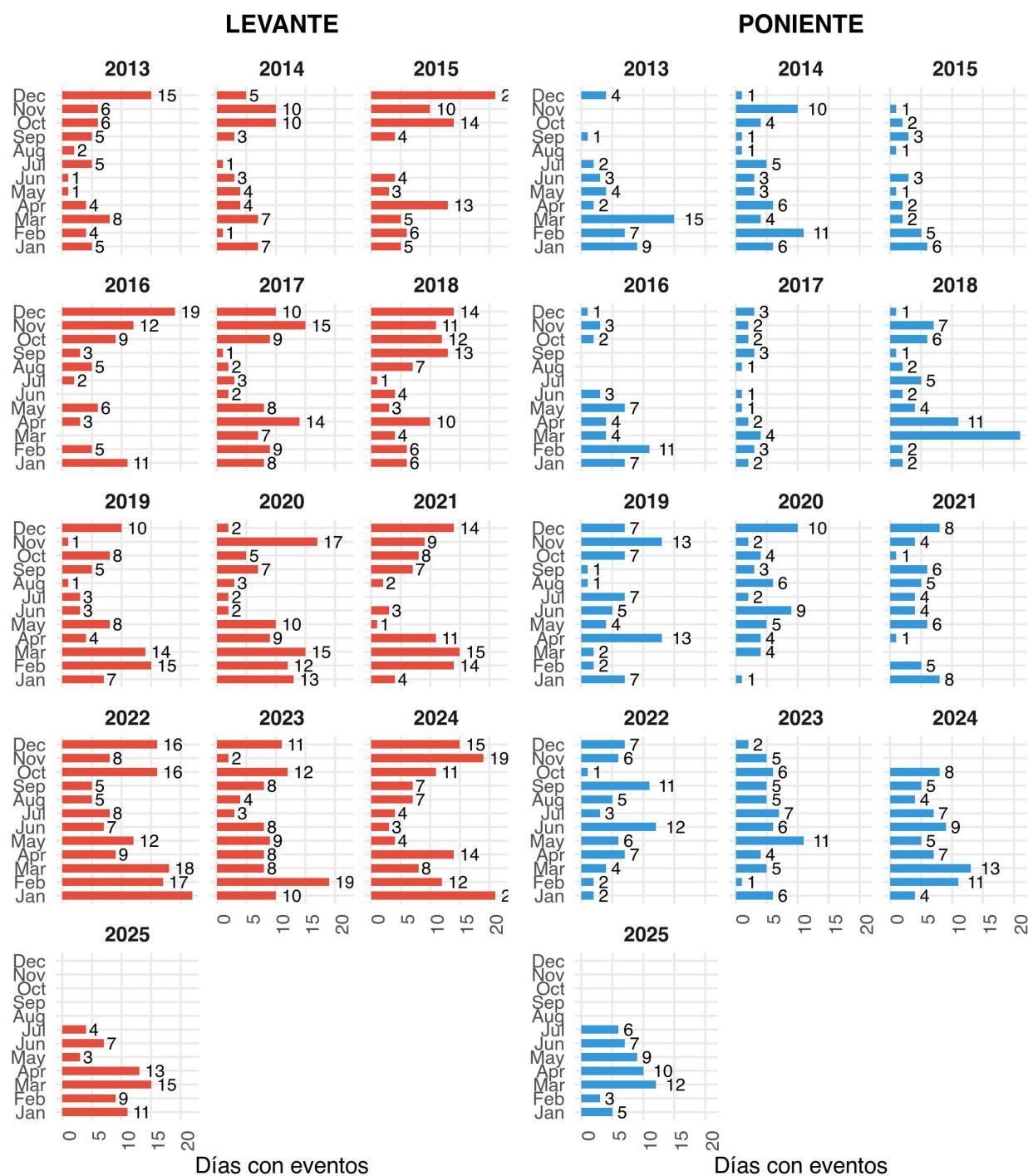
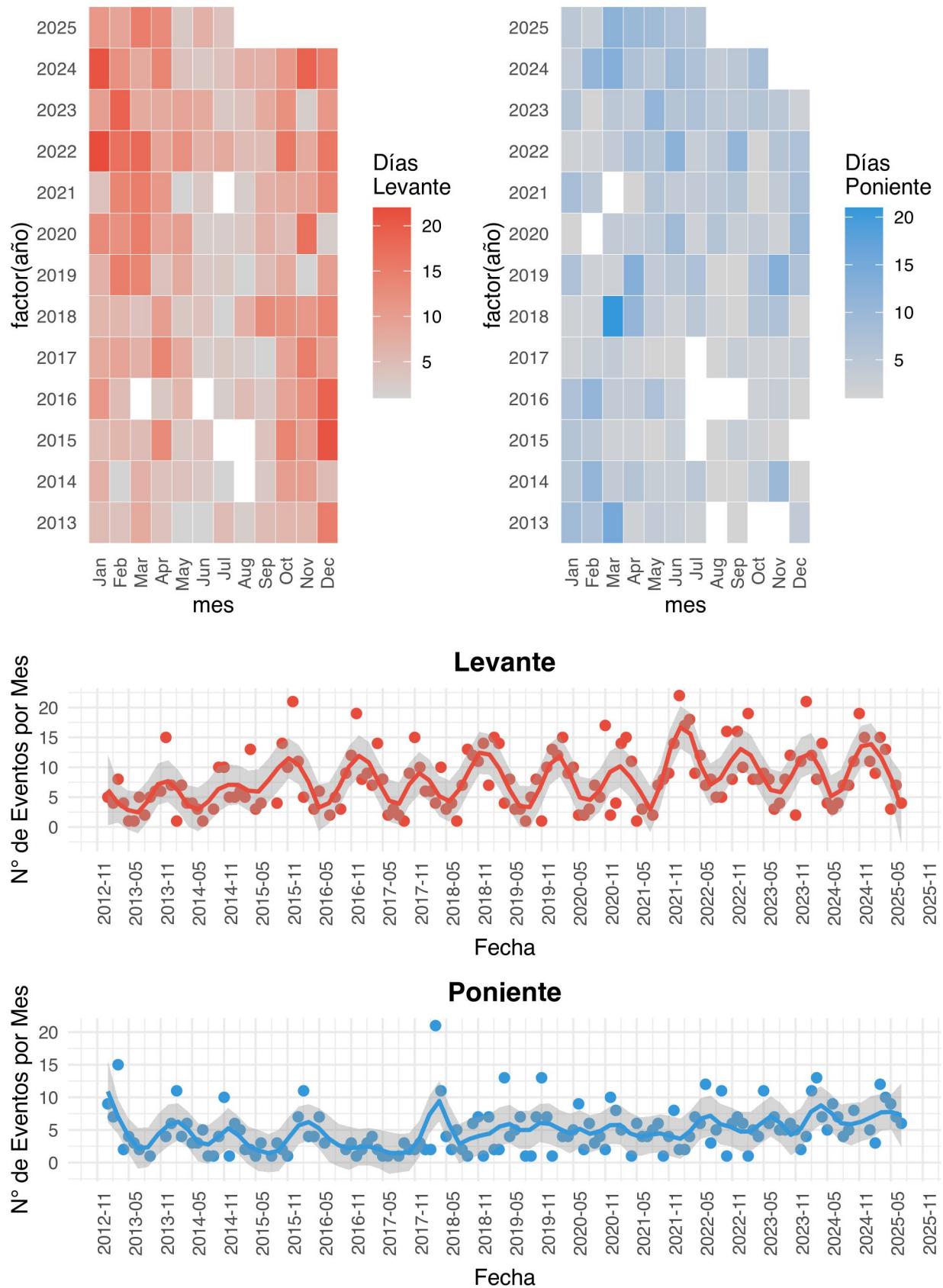
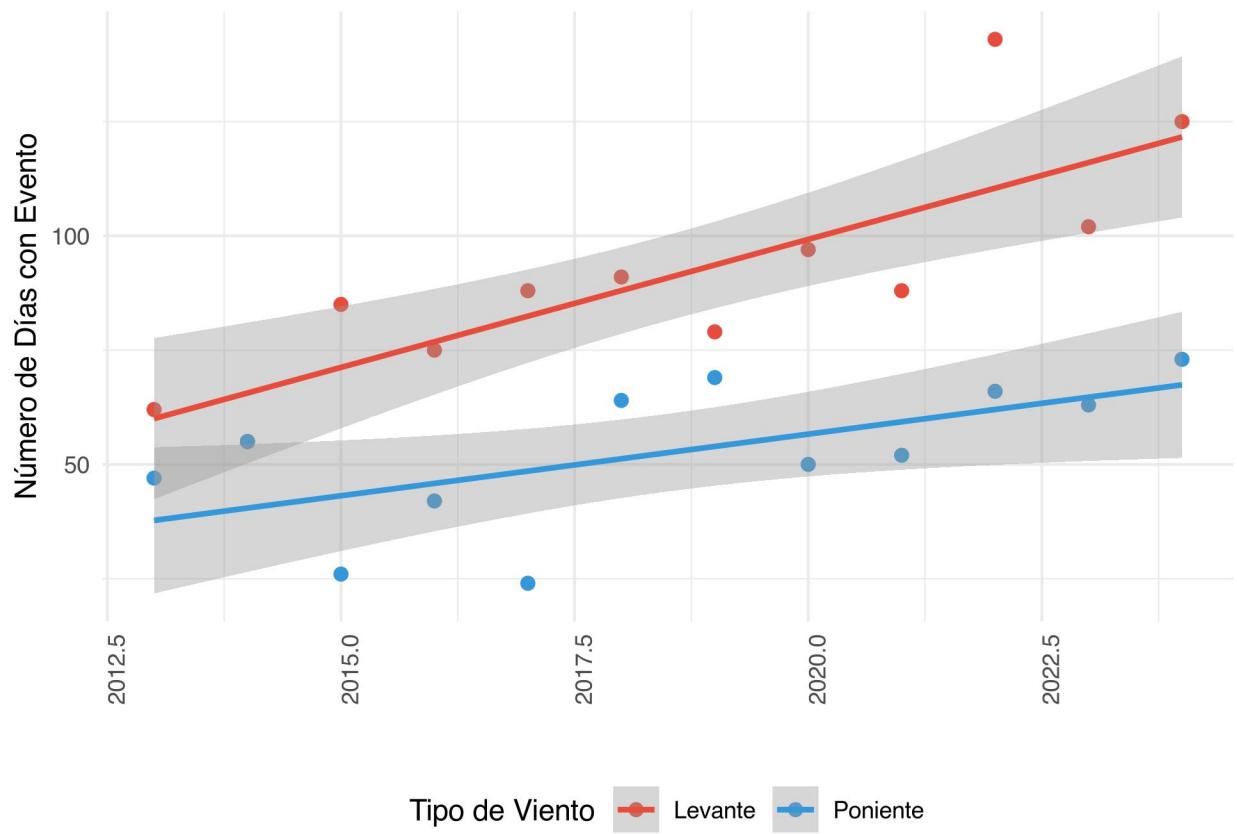


Figure 5: Relación entre intensidad y días con levante y poniente

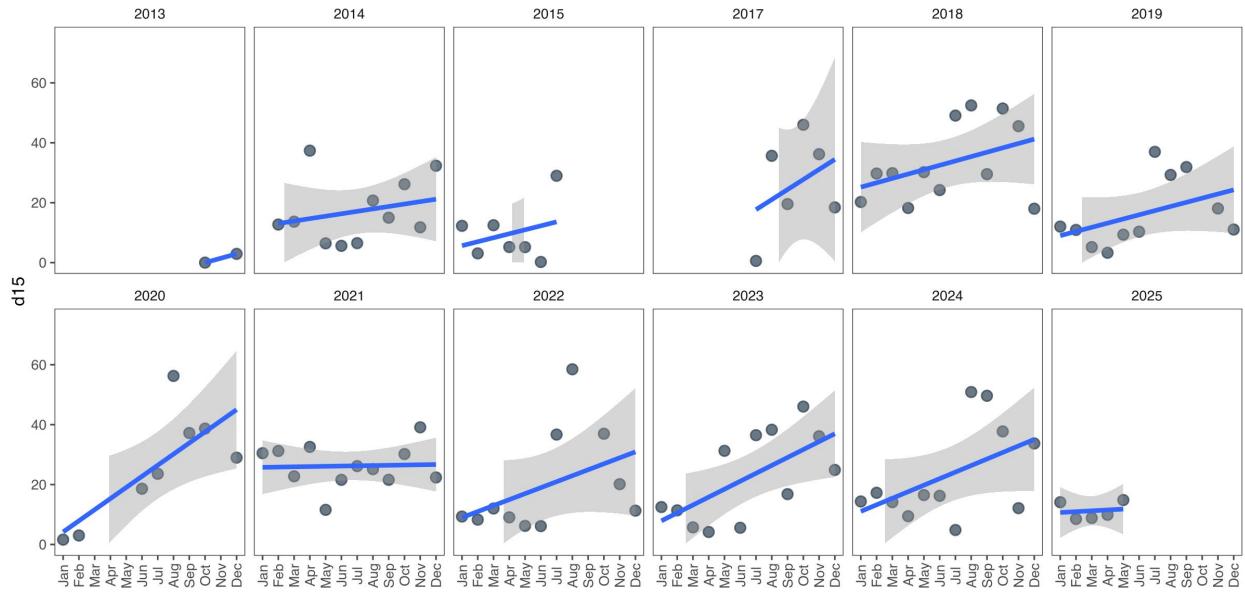
Ahora por año y por mes







Series temporales del monitoreo poblacional de coquina



El plot muestra una marcada estacionalidad de los reclutamientos, con un pulso posterior a los meses estivales como lo indica Delgado & Silva (2018) en la Figura 6.

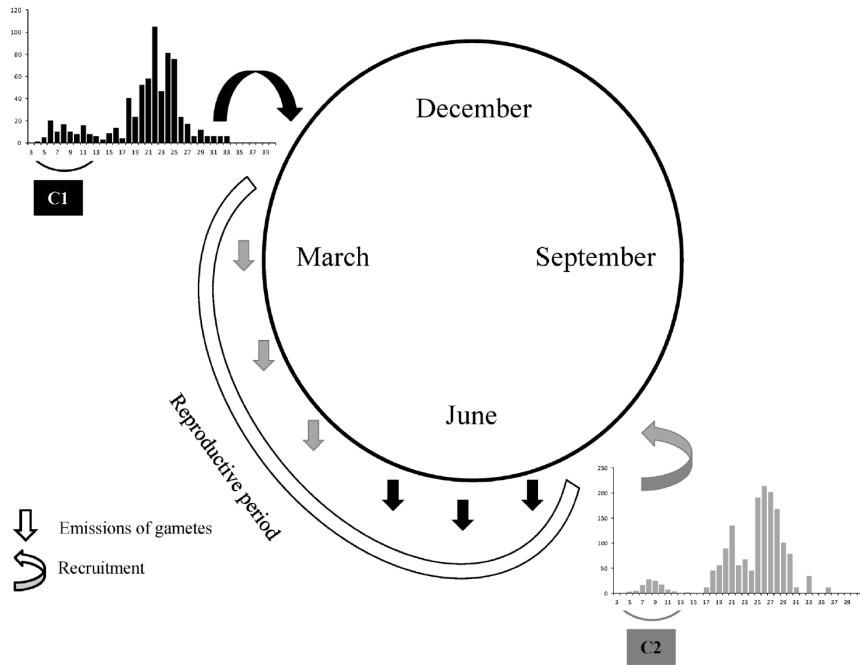


Figure 6: Schematic representation of the reproductive cycle, periods of emission of gametes and related recruitment events in populations of *D. trunculus* from SW Spain. Black symbols represent the C1 cohort (from February-March) and grey symbols represent the C2 cohort (from July)

Modelos de correlacion entre Reclutamiento y Viento de Levante

Uno las bases que estan en los objetos `serie_levante` y `datos`

```
## Rows: 145
## Columns: 6
## $ año          <dbl> 2013, 2013, 2013, 2013, 2013, 2013, 2013, 2013, ~
## $ mes          <ord> Jan, Feb, Mar, Apr, May, Jun, Jul, Aug, Sep, Oct, Nov, ~
## $ tipo_viento  <chr> "Levante", "Levante", "Levante", "Levante", "Levante", ~
## $ dias_con_evento <int> 5, 4, 8, 4, 1, 1, 5, 2, 5, 6, 6, 15, 7, 1, 7, 4, 4, 3, ~
## $ mes_num       <int> 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 1, 2, 3, 4, 5, ~
## $ año_mes      <date> 2013-01-01, 2013-02-01, 2013-03-01, 2013-04-01, 2013-~
## 
## Rows: 109
## Columns: 3
## Groups: ANO [12]
## $ ANO          <dbl> 2013, 2013, 2014, 2014, 2014, 2014, 2014, 2014, 2014, 20~
## $ mes_num      <dbl> 10, 12, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 1, 2, 3, 4, 5, 6, ~
## $ meand15     <dbl> 0.0000000, 2.9239766, 12.7121216, 13.6718750, 37.3687894, 6.43~
```

Histogram of datos_unidos\$dias_con_evento

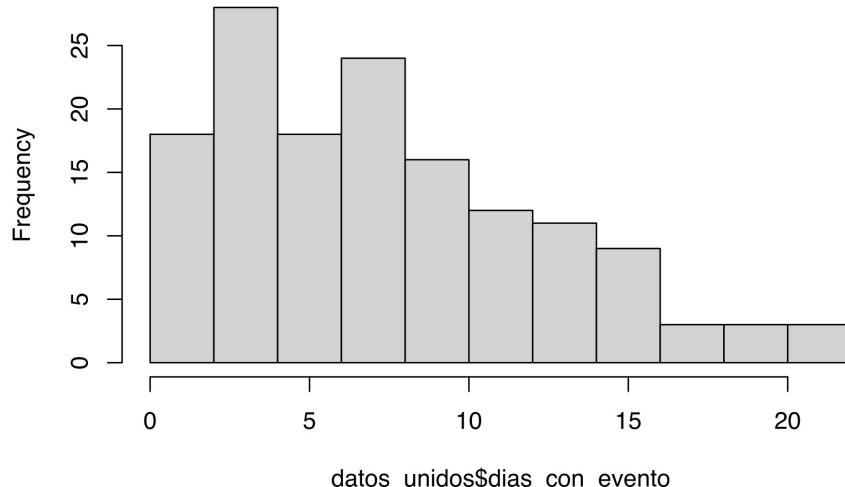


Figure 7: Distribución de variables objetivo para el análisis de correlación

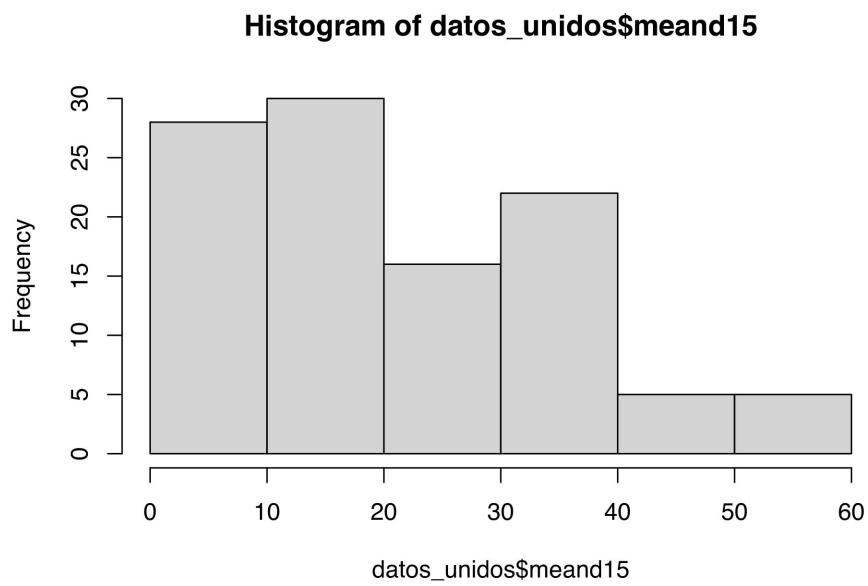
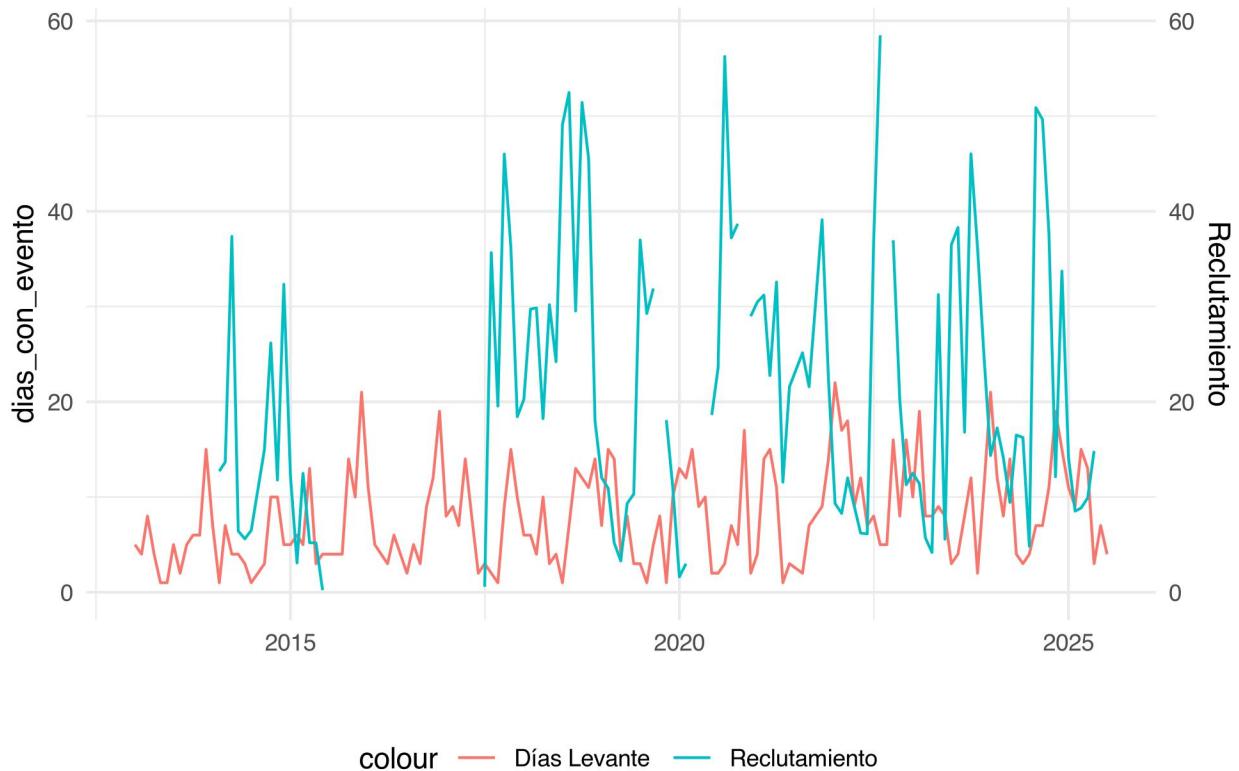


Figure 8: Distribución de variables objetivo para el análisis de correlación



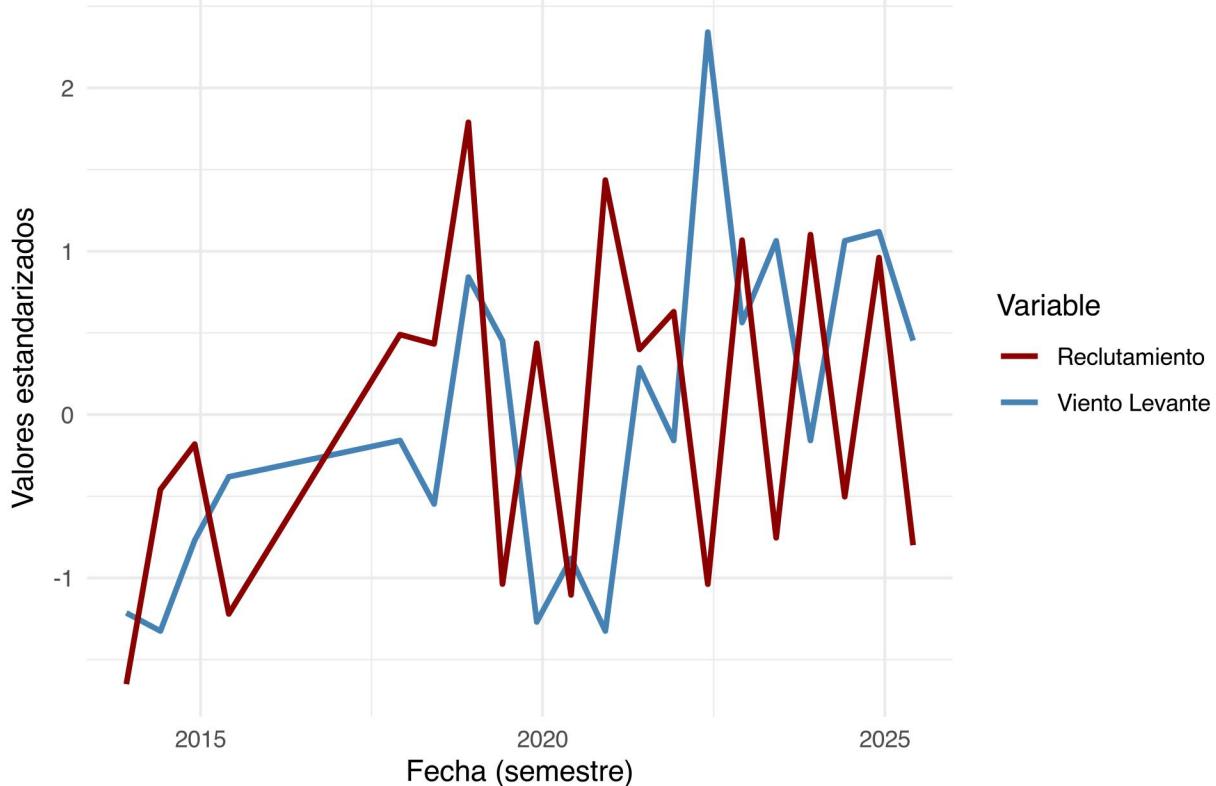
En primera instancia, no se observa una correlación lineal significativa entre el viento de levante y el reclutamiento, con un coeficiente de determinación muy bajo ($R^2 = 0.021$), indicando escaso poder explicativo.

Table 2: Modelo lineal simple de reclutamiento de coquina y viento de levante

Término	Coeficiente	Error estándar	Estadístico t	Valor p	IC inferior 95%	IC superior 95%
(Intercept)	24.657	2.644	9.323810	0.000	19.413	29.901
dias_con_evento	-0.418	0.277	-1.508633	0.134	-0.967	0.131

A continuación, se procede a analizar la relación entre estas variables en una escala temporal diferente, específicamente a nivel semestral, evaluando la posible influencia del viento de levante sobre el reclutamiento de coquina.

Series temporales semestrales (estandarizadas)



```
## [1] "\n==== CORRELACIÓN POR SEMESTRE ==="
```

semestre	correlacion	n_semestres
1	-0.1966243	10
2	0.5225889	10

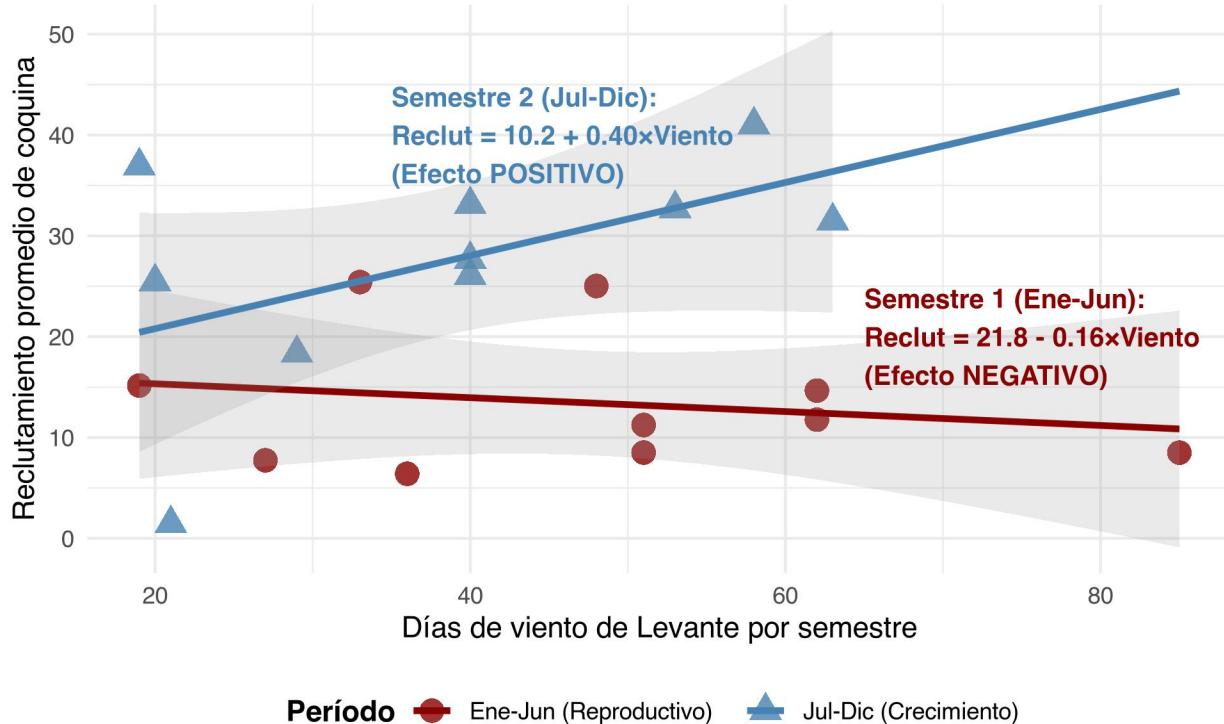
Modelos semestrales con interacción

	Modelo	R2_ajustado	AIC	p_value
Lineal	Lineal	-0.0554818	159.4193	0.9720995
Cuadrático	Cuadrático	-0.0469758	160.1143	0.5739469
Con semestre	Con semestre	0.3456430	150.7142	0.0105642
Interacción	Interacción	0.4262550	148.8723	0.0074818

Figura ??

Efectos opuestos del viento de Levante según el período del año

$R^2 = 41\% \mid p < 0.01 \mid$ Interacción $p = 0.075$



El gráfico muestra que la influencia del viento de Levante sobre el reclutamiento de coquina (*Donax trunculus*) varía significativamente según el semestre del año, revelando una interacción estacional. Durante el primer semestre (enero a junio), que corresponde al periodo reproductivo, se observa un efecto negativo, es decir, a mayor número de días con viento de Levante, menor es el reclutamiento promedio. Esto sugiere que estos vientos podrían interferir con el éxito reproductivo, afectando la dispersión larval o la retención costera, o generando condiciones ambientales desfavorables en el hábitat de asentamiento, como cambios en temperatura, salinidad o estructura del sedimento. En cambio, en el segundo semestre (julio a diciembre), el efecto es positivo: un mayor número de días con viento se asocia con un mayor reclutamiento, lo que podría deberse a que estos vientos favorecen la acumulación de materia orgánica o sedimentos en las playas, mejorando las condiciones de crecimiento y refugio para los juveniles ya asentados. Esta inversión del efecto sugiere que el mismo factor ambiental puede tener consecuencias opuestas según el momento del ciclo de vida en que actúa, lo que subraya la importancia de considerar la estacionalidad en la evaluación del reclutamiento y en la gestión pesquera de esta especie.

Trabajo futuro

Incorporar otras variables predictoras como temperatura, clorofila, entre otras...

Material Suplementario

El código fuente para el análisis exploratorio y manipulación de datos de viento y reclutamiento de coquina se encuentran disponibles en el repositorio de GitHub: [wind_recruit_Dtrunculus](#).

Referencias

- Bartolomé López-Somoza, E. (1998). *El viento de levante en el puerto*. Ayuntamiento de El Puerto de Santa María.
- Delgado, M., & Silva, L. (2018). Timing variations and effects of size on the reproductive output of the wedge clam *Donax trunculus* (L. 1758) in the littoral of Huelva (SW Spain). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 98(2), 341–350. <https://doi.org/10.1017/S0025315416001429>