

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA BRISA MARINA ESTIVAL EN UN PUNTO DE LA COSTA CATALANA: SANT PERE PESCADOR

Marc J. Prohom Duran
Licenciado en Geografía.
Universitat de Barcelona.

1. Introducción

El fenómeno de la brisa en las áreas costeras, ha sido y es un aspecto de la microclimatología profundamente estudiado. La buena comprensión de su funcionamiento es esencial en episodios de polución atmosférica en grandes áreas urbanas, así como en el estudio de la capa límite atmosférica (*Soler, 1997*).

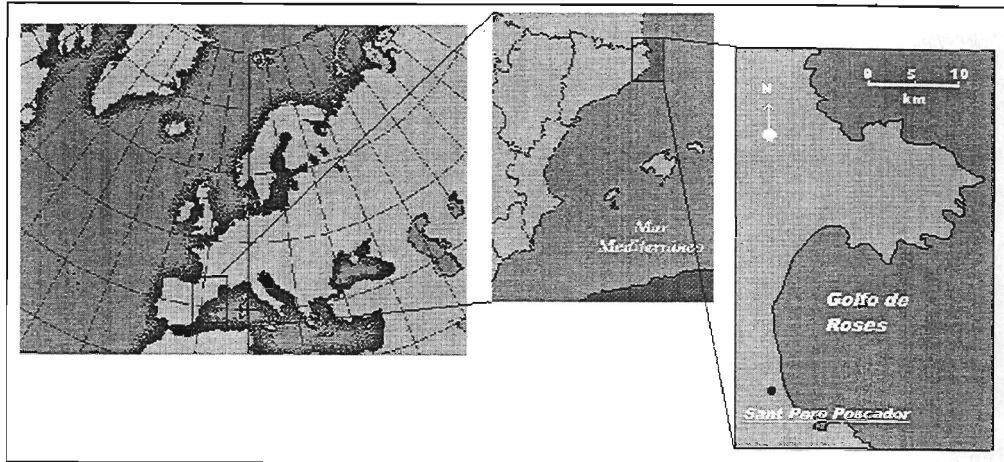
A pesar de la complejidad y la dependencia de este fenómeno con las características locales del medio, es posible afirmar que se origina como respuesta al desigual calentamiento de la tierra y el mar. Este desequilibrio se origina por las diferentes propiedades calóricas de ambos ambientes. Así, la capacidad térmica y la conductividad son mayores sobre agua que sobre tierra y, por tanto, existe un cambio térmico diario inferior sobre el agua que sobre la superficie terrestre.

El área mediterránea ha sido también objeto de estos estudios encaminados a conocer las principales características de este fenómeno (*Fontserè, 1917; Jansà y Torres, 1946; Cruz et al. 1991*). El presente artículo quiere aportar un nuevo grano de arena a la comprensión de la brisa marina, haciendo especial hincapié en el aspecto metodológico. El área de estudio, como veremos, se centra en el norte de la costa catalana, concretamente en la estación de Sant Pere Pescador de la que se han analizado los datos diarios estivales disponibles desde 1990.

2. Metodología

1.1. Área de estudio

El área de estudio escogido para llevar a cabo este análisis, se localiza en la zona del



Golfo de Roses, en el extremo nordeste de la costa catalana (Figura 1).

Figura 1. Localización del área de estudio. **FUENTE:** Enciclopedia Encarta '98. Microsoft

Concretamente, y por motivos de disponibilidad de datos, se han analizado estadísticamente los datos de la estación automática de Sant Pere Pescador, situada a unos 1.500 metros de la línea de costa. La estación posee una localización privilegiada, muy abierta y con total ausencia de obstáculos, ya sea topográficos o artificiales.

La tabla 1, muestra las coordenadas geográficas de la estación así como otra información complementaria.

Tabla 1. Características de la estación objeto de estudio.

Estación	Municipio	Propiedad	UTM(x)	UTM(y)	Z	Variables
St. Pere Pescador	St. Pere Pescador	DGPIA.DARP	508.000	4.668.600	5,0	1-7*

* 1, Precipitación

7, Dirección y velocidad del viento, temperatura, humedad, radiación solar, radiación neta, temp. subsuelo.

FUENTE: Llasat, M.C. (1997) *Meteorología agrícola i forestal a Catalunya*, Dep. Agr.Ram. i Pesca.

1.2. Equipo técnico

En la tabla 2, se muestran detalladamente la localización de los diferentes elementos de medida usados para el estudio. Como se indica, se trata de una estación integrada en la Red Agrometeorológica del Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca (DARP) y, por ello, la velocidad y dirección del viento son medidas a una altura de 2 metros sobre el suelo.

Tabla 2. Características técnicas de la estación de Sant Pere Pescador.
Estación automática Campbell. Modelo CR10.

	Velocidad y dirección del viento	Temperatura Humedad	Radiación solar	Radiación neta	Precipitación
Altura	2,0 m	1,5 m	2,0 m	1,0 m	1,0 m

FUENTE: Llasat, M.C. (1997) *Meteorología agrícola i forestal a Catalunya, Dep. Agr. Ram. i Pesca.*

1.3. Selección de los datos y análisis

Esta estación se alimenta por baterías y está programada para realizar la lectura del viento y de la radiación cada 10 segundos (intervalo exigido por las amplias fluctuaciones que pueden registrar estas variables) y de temperatura, humedad y precipitación cada 10 minutos. Con esta información se calculan promedios horarios, conservando los valores extremos y la hora en que se registraron. Es esta última información la utilizada para este estudio ante la imposibilidad de disponer de los datos con mayor cobertura temporal. Por ese motivo, el intervalo horario fijado para definir el momento de entrada y salida de la brisa diurna (llamada localmente marinada) resulta ligeramente impreciso.

Por la naturaleza de nuestro estudio, se han utilizado las variables velocidad y dirección del viento como variables-base, mientras que las variables temperatura y humedad (componente presión de vapor) se han utilizado como variables complementarias.

Los datos disponibles se remontan a 1989 aunque problemas de ajuste, recomendaron fijar el inicio del estudio en 1990 y el final en 1997. El objeto de estudio es la dinámica y características de la brisa diurna estival. Por ello se han analizado los datos diarios correspondientes al período entre el 15 de junio y el 15 de septiembre de cada año.

En primer lugar, se han descartado aquellos datos erróneos o incompletos para disponer de una serie de datos uniforme. Posteriormente, entre los datos resultantes, se procedió a detectar aquellos días en los que se establecía el sistema de brisas. Para ello, se utilizó la siguiente metodología (Gustavsson, T. et al., 1995):

- Para detectar el momento de inicio de la brisa diurna se utilizó el siguiente criterio:
 - (a) Presencia de un claro y abrupto cambio en la dirección del viento de aproximadamente 120°, desde el sector W-SW al sector E-SE;
 - (b) Incremento en la velocidad del viento que no excede los 3 m s⁻¹;

- (c) Cambio en el desarrollo de la temperatura diurna cuando el aire marítimo alcanza la estación, observándose una clara amortiguación en el incremento o, incluso, un incremento negativo;
 - (d) Incremento en la presión de vapor.
- Igualmente, para detectar el momento en que finaliza la marinada y se establece la brisa nocturna, se utilizó la siguiente metodología:
 - (a) Establecimiento de un evidente y abrupto cambio en la dirección del viento de unos 120° con relación a la brisa diurna;
 - (b) Descenso en la velocidad del viento, pasando a una velocidad media inferior a los 1,5 m s⁻¹;
 - (c) Descenso en la temperatura;
 - (d) Descenso en la presión de vapor.

Como puede observarse, no se han analizado la presencia o no de situaciones sinópticas favorables al establecimiento de este fenómeno. Mediante la mera observación y análisis de los datos, ya era posible detectar aquellos episodios o situaciones zonales con gran claridad.

2. Resultados

2.1. Frecuencia de episodios con brisa diurna

Una vez descartados aquellos registros erróneos o inexistentes, se obtuvo el porcentaje de frecuencia de la brisa marina. Así, durante el periodo de estudio (15 junio a 15 setiembre) se observa que la brisa en este punto es bastante constante, es decir, se presenta con bastante asiduidad. Concretamente, y de media, se presenta en un 83% del total de casos, registrándose la mayor frecuencia durante la 2ª quincena de julio y la 1ª de agosto (con un 91.4% y 86.7%, respectivamente). Por el contrario, la mínima frecuencia se localiza en la 1ª quincena de setiembre con un 78.3%.

Puede apreciarse por tanto, el evidente peso del componente térmico sobre la recurrencia del fenómeno puesto que la mayor frecuencia se registra en el período estadísticamente más cálido del año, la llamada canícula.

2.2. Evolución diaria de la dirección y velocidad del viento, y de la temperatura.

La figura 2 muestra la evolución de las medias horarias de los parámetros dirección y velocidad para el período en su globalidad. Como se observa la dirección del viento empieza a variar entre las 7 y las 8 HSL (Hora Solar Local) que coincidiría con la hora inmediatamente posterior al amanecer. El viento evoluciona desde una dirección media prácticamente constante de 225°-270° (W-SW) durante la madrugada, a una dirección E-SE que se establece entre las 11 y 16 HSL.

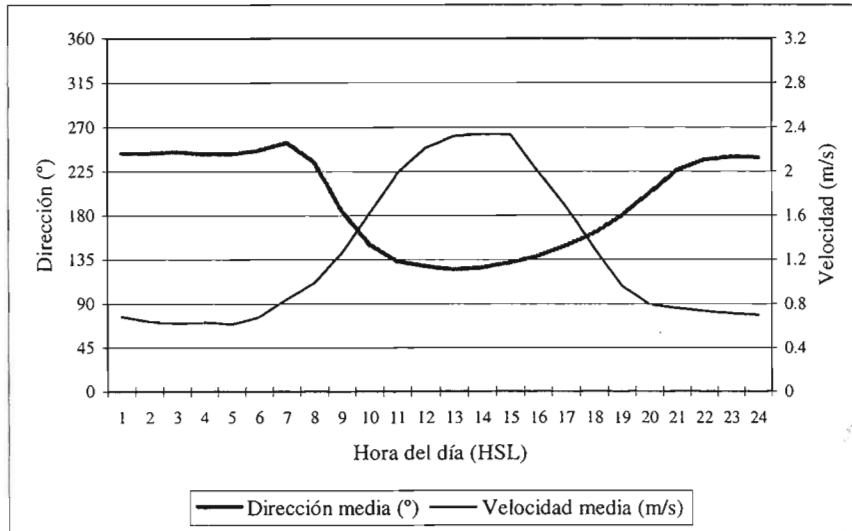


Figura 2. Evolución horaria de la dirección y velocidad del viento

Lo mismo sucede con la velocidad media. Mientras entre las 1 y 6 HSL la velocidad es siempre inferior a los 0.8 m/s, a partir del período 7-8 HSL éste llega a más que triplicarse, situándose en el límite de los 2.4 m/s entre las 13 y 15 HSL. Es precisamente a partir de las 15 HSL cuando se inicia el viaje de retorno en ambos parámetros, restableciéndose el sistema inicial alrededor de las 21 HSL.

A modo de resumen, la figura 3 muestra el resultado de comparar las direcciones y velocidades medias en dos momentos puntuales pero muy significativos: 03 y 15 HSL. En ambos casos se observa claramente la bipolaridad del sistema.

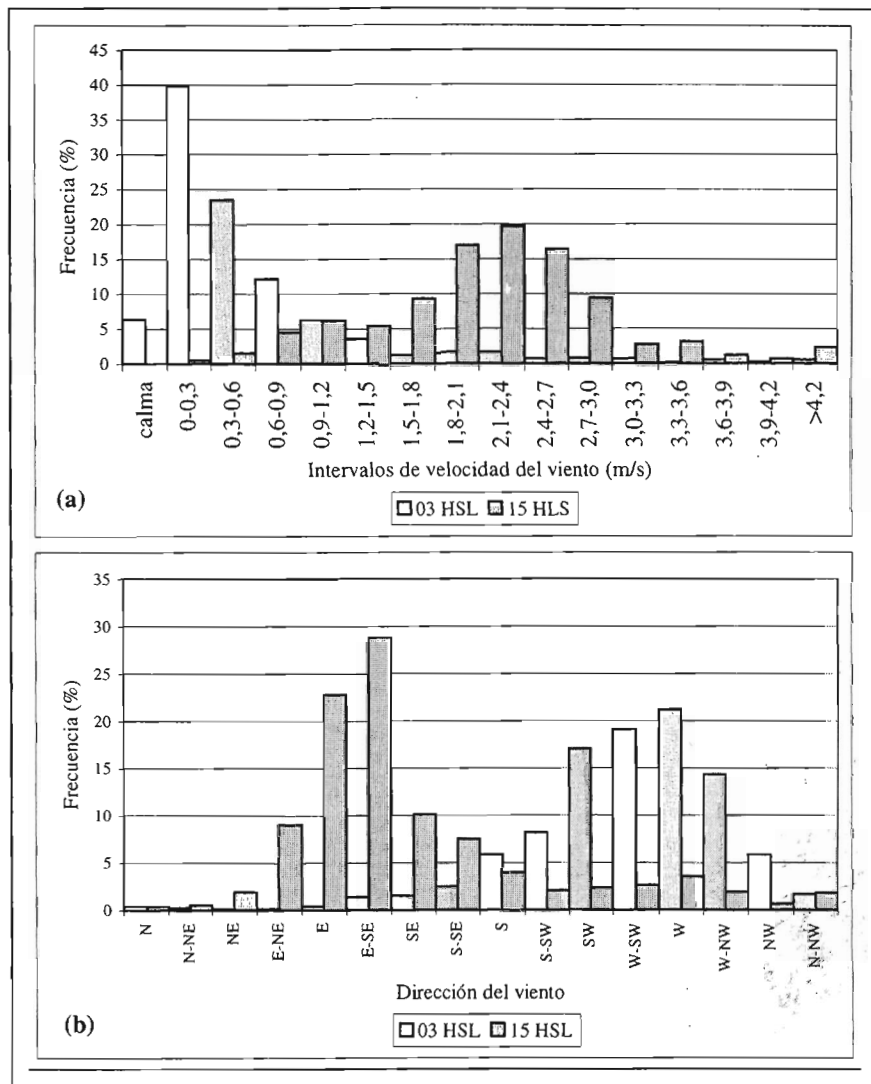


Figura 3. Distribución de las frecuencias velocidad (a) y dirección (b) a las 03 y 15 HSL.

Finalmente, la figura 4 muestra un histograma con la distribución de las velocidades máximas de la marinada. Como se aprecia entre los 4 y 5 m/s es donde se concentra prácticamente la mitad de los registros, apreciándose que la brisa no supera casi nunca los 8 m/s¹.

¹ Cabe recordar que la altura del anemómetro es de 2 m sobre el suelo. Para corregir el valor y trasladarlo a la altura normalizada de 10 m deberían multiplicarse los valores por el factor 1.3 (Llansà, 1982).

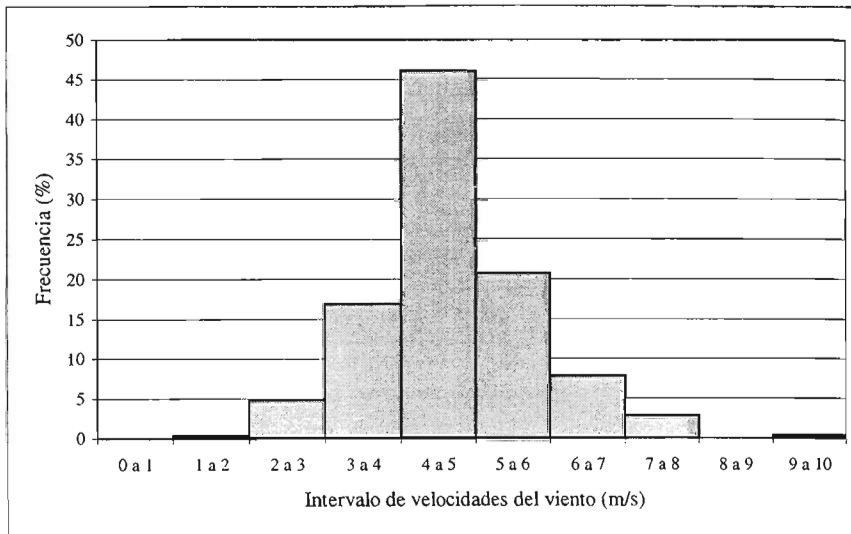


Figura 4. Velocidad máxima de la brisa diurna.

La evolución de la temperatura registra también un ritmo muy similar (figura 5). Como es obvio, la mínima tiene lugar entre las 05 y 06 HSL y a partir de ese momento la temperatura asciende vertiginosamente a una media de unos 2.5°C/hora. Pero este ritmo queda inmediatamente amortiguado entre las 9 y las 10 HSL, momento en que la brisa marina queda definitivamente establecida. Entre las 10 y las 17 HSL la temperatura media se sitúa alrededor de los 25°C descendiendo progresivamente, pero a un ritmo menos acentuado que en el proceso inverso.

Así pues, la respuesta de la temperatura ante el fenómeno de la marinada no es inmediata sino que se manifiesta unas 2 horas después.

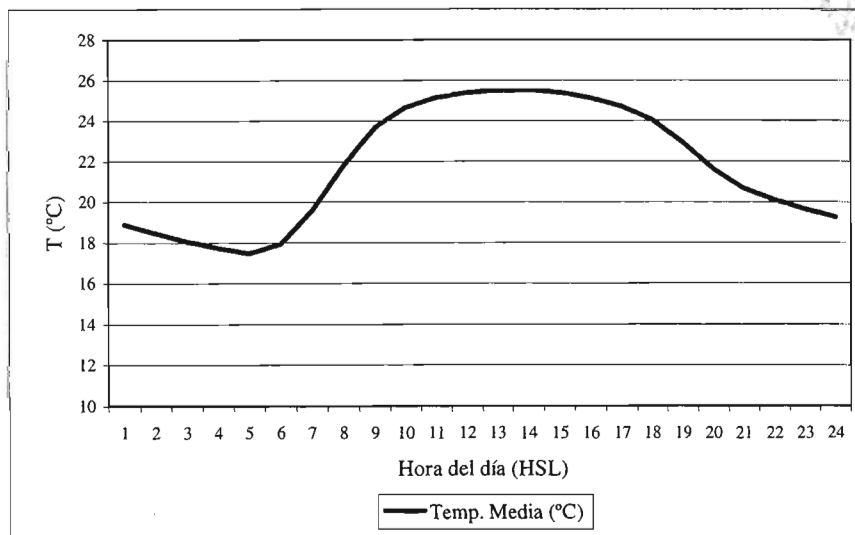


Figura 5. Evolución diaria de la temperatura media para todo el período.

2.3. Inicio, finalización y duración de la brisa diurna.

En el punto anterior hemos apreciado que el sistema de la brisa diurna se inicia entre las 07 y 08 HSL. La figura 6a muestra más detalladamente la distribución de frecuencias a intervalos horarios. Puede comprobarse como, mayoritariamente (en un 37%), la brisa se inicia entre las 8 y las 9 HSL lo que significa unas 2-3 horas posteriores al amanecer (04:30 HSL para el solsticio de verano y 05:45 HSL para el equinoccio de otoño). Puede apreciarse también que la brisa marina se establece en algunos casos más allá del mediodía. En casi todos ellos, se debe a un retraso en la generación del sistema por una situación zonal previa.

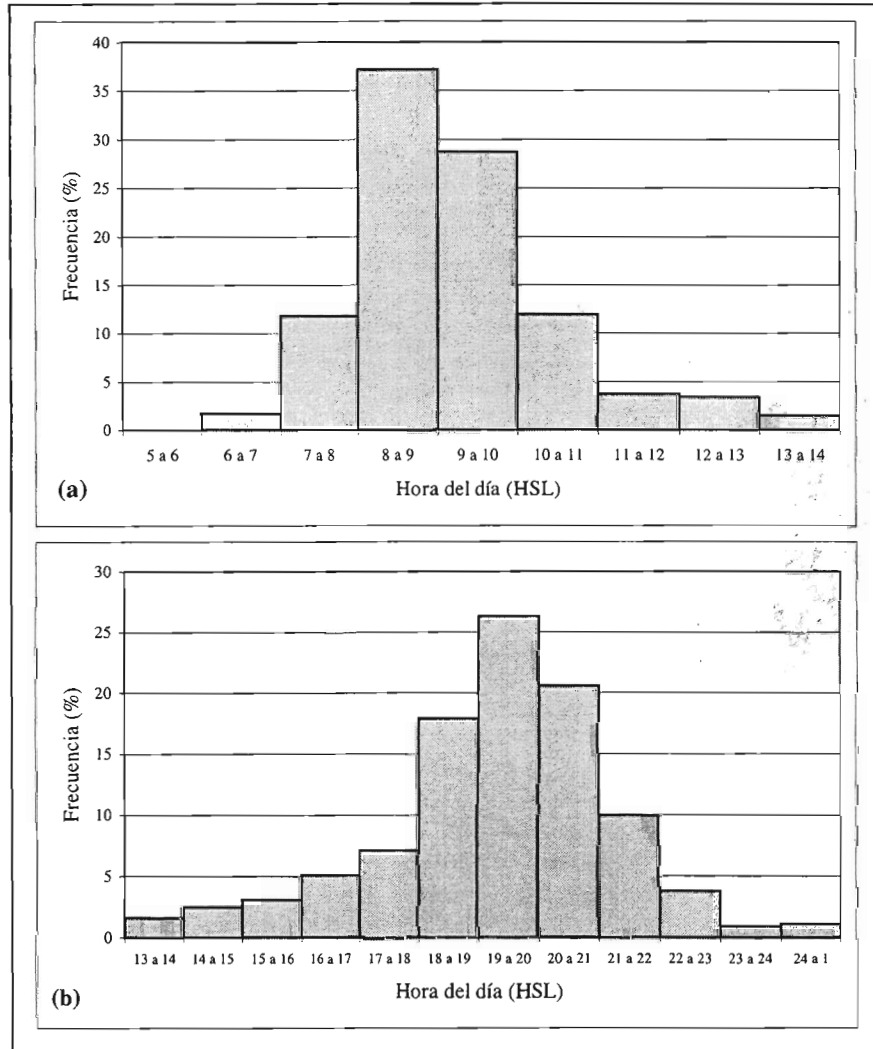


Figura 6. Intervalos horarios de inicio (a) y finalización (b) de la brisa diurna.

Referente a la hora de finalización o cese (figura 6b), ésta presenta una mayor diversidad aunque entre las 19 y 20 HSL es cuando se concentra la mayoría de los

casos (26%) y tal como ocurría en el anterior histograma, los eventos situados entre las 13 y 16 HSL se corresponden con el repentino inicio de una situación zonal.

Respecto a la duración de la brisa, la figura 7 muestra la frecuencia de duraciones de la marinada a lo largo del período. Como se aprecia, el máximo se concentra entre las 10 y las 12 horas de duración. No obstante, esta duración se ve afectada por la propia duración del día astronómico y como veremos en la tabla 3, se va reduciendo paulatinamente a lo largo del período estudiado hasta existir una amplitud de casi 1.5 horas entre los dos extremos.

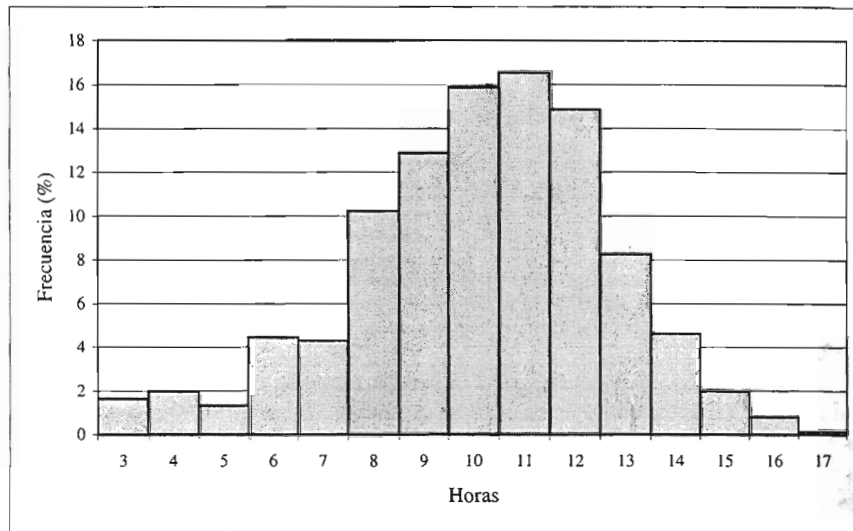


Figura 7. Duración de la brisa diurna.

	Media hora de inicio	Media hora finalización	Media duración
2ª q. Junio	8.77 = 08:46 HSL	19.46 = 19:28 HSL	10.63 = 10:38 h
1ª q. Julio	9.11 = 09:07 HSL	19.28 = 19:17 HSL	10.21 = 10:13 h
2ª q. Julio	8.96 = 08:58 HSL	19.28 = 19:17 HSL	10.25 = 10:25 h
1ª q. Agosto	9.20 = 09:12 HSL	19.46 = 19:28 HSL	10.17 = 10:10 h
2ª q. Agosto	9.51 = 09:31 HSL	19.32 = 19:19 HSL	09.76 = 09:46 h
1ª q. Setiembre	9.63 = 09:38 HSL	18.96 = 18:58 HSL	09.24 = 09:14 h

Tabla 3. Medias de las horas de duración, inicio y finalización de la brisa diurna por quincenas.

3. Previsibilidad de la brisa diurna

Hasta ahora hemos analizado las principales características de la marinada estival en Sant Pere Pescador. En este tercer apartado intentaremos combinar diferentes parámetros estudiados para identificar posibles relaciones que nos indiquen una tendencia. Para ello haremos uso de los gráficos de dispersión a los que se les añadirá una recta de regresión lineal.

De todas las combinaciones posibles realizadas, se pueden destacar las siguientes

- *Velocidad máxima alcanzada vs. Temperatura a las 08h.*

Se consideró interesante apreciar si existía una tendencia relacionando ambos parámetros (la temperatura a las 08 HSL al ser, en media, la hora que precede al establecimiento de la brisa). Efectivamente, existe una tendencia, si bien no muy marcada, donde a mayor temperatura en ese momento, menor intensidad de la brisa.

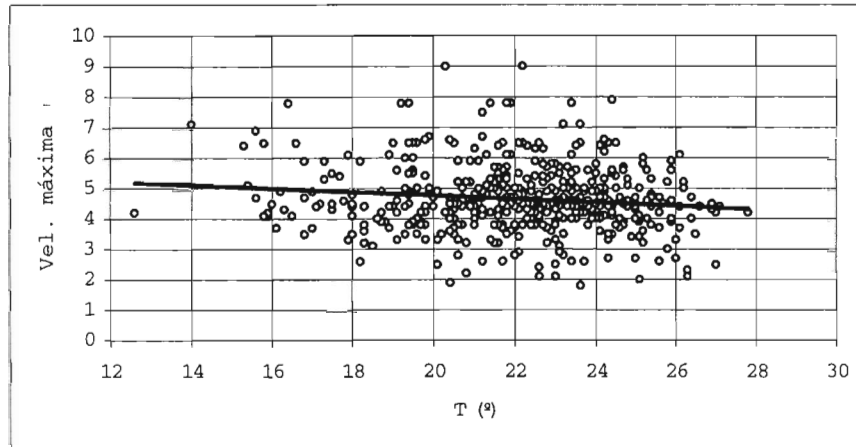


Figura 8. Gráfico de dispersión velocidad máxima vs. Temperatura a las 08 HSL

- *Velocidad máxima del viento vs. Temperatura máxima.*

Esta relación muestra como no existe una clara tendencia entre ambos parámetros. Aún así, y aplicando una recta de medias móviles (con un período de 30 valores), es posible detectar un umbral alrededor de los 25°C. Es decir, con una temperatura máxima inferior a los 25°C, la intensidad de la brisa tiende a ser menor mientras que a partir de los 30°C, la relación es directamente proporcional.

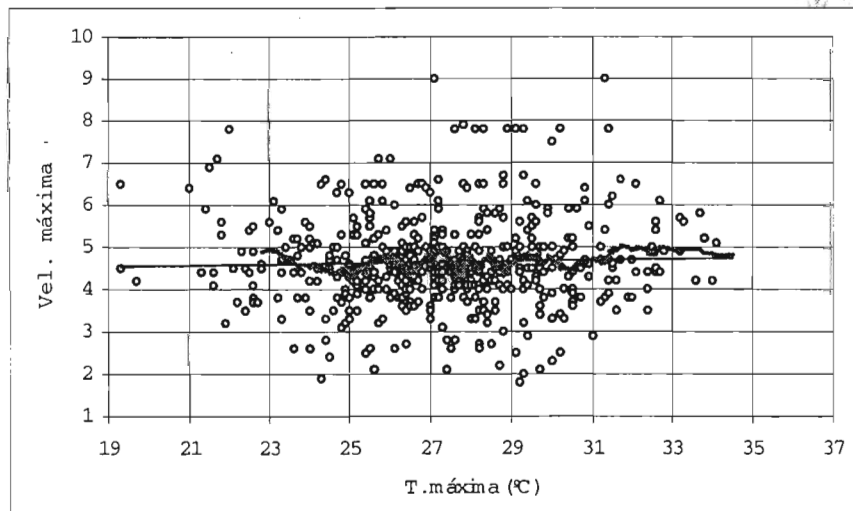


Figura 9. Gráfico de dispersión velocidad máxima vs. Temperatura máxima

- *Duración de la marinada vs. Temperatura mínima.*

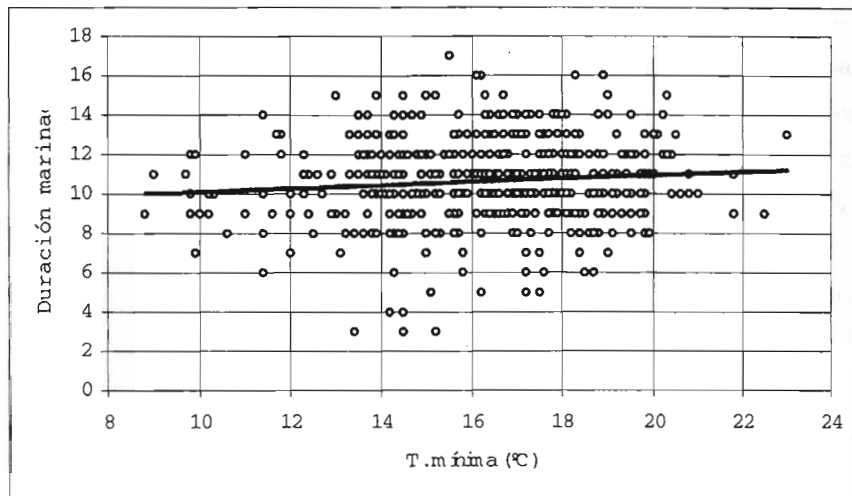


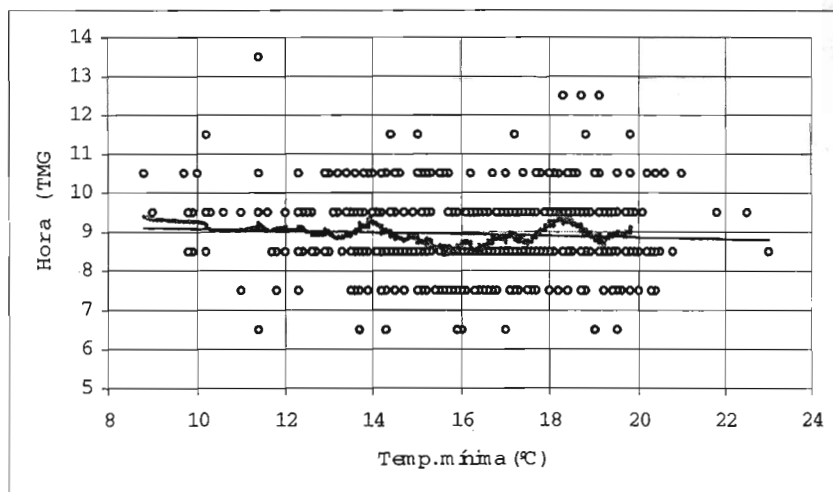
Figura 10. Gráfico de dispersión duración marinada vs. Temperatura mínima

Tal como indica la recta de regresión, existe una relación positiva entre ambos parámetros. Por tanto, a menor temperatura mínima, menor será la duración de la brisa. Esto, juntamente con la visto en la figura 8, corroboraría lo apuntado por Reed (1979), quien postulaba que la duración y la intensidad de la brisa son dos elementos no necesariamente proporcionales.

- *Entrada de la brisa vs. Temperatura mínima*

Finalmente, este gráfico nos muestra una aparente falta de relación tendencial entre ambos elementos. Pero si aplicamos de nuevo la media móvil (de un período de 30 datos), observamos la existencia de un umbral alrededor de los 16°C. Así, si la temperatura mínima es superior a los 16°C el inicio de la brisa tendería a retrasarse y sucedería todo lo contrario cuando la temperatura es inferior a ese valor.

Figura 11. Hora de inicio de la brisa diurna vs. Temperatura mínima



3. Conclusiones y discusiones

Este estudio demuestra claramente el desarrollo de la brisa marina a lo largo del área próxima al Golfo de Roses. La brisa diurna en Sant Pere Pescador es un viento muy frecuente en el período estival situándose con una asiduidad superior al 80%. Su proximidad a la línea de costa, explicaría este elevado porcentaje.

Se aprecia que la brisa diurna es mucho más intensa que la brisa nocturna (de tierra a mar). Mak y Walsh (1976) apuntaban ya en sus estudios este hecho e indicaban que el flujo diurno era superior al nocturno en un factor 3:2. En nuestro caso esta relación es de 3:1 o incluso superior.

La dirección de la brisa varía claramente a lo largo del día, desplazándose del sector W-SW al sector E-SE en pleno desarrollo. El punto horario de arranque de la marinada se sitúa entre las 7 y las 8 HSL aunque no se establece definitivamente hasta la franja horaria posterior. La respuesta térmica ante este proceso tiende a presentarse una hora después, entre las 9 y las 10 HSL, momento en que se aprecia una clara amortiguación térmica. Por otro lado, el cese de la marinada, aunque no de una forma tan evidente, se fijaría entre las 19 y las 20 HSL en la mayoría de los casos.

Por otro lado, la duración de la brisa diurna presenta una clara correlación con la duración de las horas de sol; la duración máxima se centra alrededor del solsticio de verano y poco a poco va disminuyendo a lo largo del período estudiado, hasta registrar el mínimo durante la 1ª quincena de septiembre.

Mediante los gráficos de dispersión y el uso combinado de rectas de regresión lineales y de rectas de medias móviles, ha sido posible describir tendencias que permiten establecer criterios básicos de predicción del fenómeno para este caso. Así, por ejemplo, a menor temperatura en los momentos previos al inicio de la brisa, mayor será, en términos generales, la intensidad de la misma. Mientras que la duración de la brisa será mayor cuánto más alta sea la temperatura mínima. De ello se extrae que los componentes duración e intensidad de la brisa no están relacionados y son independientes el uno del otro.

A modo de conclusión, el conjunto de datos utilizados para el análisis pueden resultar demasiado breves, tanto por su cobertura temporal (8 años, 1990-1997) como por el número de parámetros disponibles. Así, una categorización de la situación sinóptica, una mayor cobertura temporal de los datos y la constatación de la presencia o no de cobertura nubosa, serían aspectos que ayudarían a la depuración de los resultados.

Agradecimientos:

Los datos meteorológicos utilizados para la elaboración de este informe fueron proporcionados por el Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat de Catalunya. Quisiera expresar mi gratitud por la ayuda y apoyo prestado por el Sr. Antoni Gázquez, responsable de la Red de estaciones Agrometeorológicas.

4. Bibliografía

- Cruz, J., Lorente, J. & Redaño, À. (1991): Main Features of the Sea-Breeze in Barcelona. *Meteor. & Atmos. Physics*, **46**, pp. 175-179.
- Fontserè, E. (1917): Sobre els vents estivals de convecció a la costa catalana. *Arxius de l'Institut de Ciències*, V, **3**, pp. 109-167.
- Gustavsson, T., Lindqvist, S., Borne, K. & Bogren, J. (1995): A study of sea and land breezes in an archipelago on the west coast of Sweden. *Int. J. of Climat.*, **15**, pp. 785-800.
- Jansà, A. (1982): Apuntes de meteorología. Ed. Noray. Barcelona.
- Jansà, J.M. y Jaume, E. (1946): El régimen de brisas en la isla de Mallorca. *Revista de Geofísica*, V, **19**, pp.304-317.
- Llasat, M.C. (1997): Meteorologia agrícola i forestal a Catalunya. Dep. d'Agricultura, Ramaderia i Pesca. Generalitat de Catalunya. Barcelona.
- Mak, M.K. & Walsh, J.E. (1976): On the relative intensities of sea and land breezes. *J. Atmos. Sci.*, **33**, pp.242-251.
- Reed, J.W. (1979): Cape Canaveral Sea Breezes. *J. of Applied Met.*, **18**, pp. 231-235.
- Soler, M.R. (1997): La capa fronterera atmosfèrica. Tipus de marinades. *III Jornades de Meteorologia Eduard Fontserè*, pp. 79-86. Barcelona.