

IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LA "BRISA DE MAR Y TIERRA" EN EL RÍO DE LA PLATA

Queirel J. M.^a y Berri G. J.^{ab}

^a Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata,
ARGENTINA

^b Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), ARGENTINA

e-mail: juanma.queirel@hotmail.com

RESUMEN

Se presentan resultados preliminares de un estudio realizado en la región del Río de La Plata para identificar los días en que se desarrolla una circulación local en capas bajas conocida con el nombre de "brisa de mar y tierra", que surge por el contraste térmico entre la superficie del agua y la superficie continental. Para ello se utilizan observaciones meteorológicas horarias correspondientes a las estaciones de Carrasco y Colonia en Uruguay; Aeroparque, La Plata y Punta Indio en Argentina. El período analizado comprende los días entre enero de 2009 y julio de 2017. Para la identificación de los días se emplea un método que tiene en cuenta los cambios a lo largo del día del viento y la temperatura, además de las condiciones regionales y la temperatura del agua. Este estudio arroja como resultado un conjunto de días de brisa en cada estación con un ciclo anual bien marcado, con máximo en el verano y mínimo en el invierno, ya que durante el verano la diferencia térmica entre el agua y la tierra es mayor. Los resultados del método aplicado en las 5 estaciones meteorológicas muestran que la cantidad de días en los cuales se identificó el fenómeno varía entre un total de 124 y 206 en cada estación.

Palabras Clave: Río de La Plata, Brisa de Mar y Tierra, Identificación, Observaciones.

INTRODUCCIÓN

La brisa de mar es una circulación de mesoescala generalmente observada en estaciones meteorológicas cercanas a la costa, debido al ciclo diario del contraste de temperatura superficial entre la tierra y el agua. La diferencia en las capacidades caloríficas entre estas superficies da lugar a la formación de un gradiente de temperatura en niveles bajos que induce la formación de un gradiente de presión perpendicular a la costa. El aumento en la magnitud del gradiente de presión crea una componente del viento que sopla desde el agua hacia la tierra, que prevalece hasta el final de la tarde. Por la noche, la componente del viento local se invierte y se desarrolla la brisa terrestre, aunque normalmente es más débil que la brisa marina (Simpson, 1994).

Dada la geografía del Río de La Plata (ver Fig. 1), resulta interesante estudiar el fenómeno mencionado a lo largo de sus costas, tanto la argentina como la uruguaya. Ya que ambas costas están enfrentadas, el contraste térmico entre el continente y el agua generado durante el día, tiene sentido opuesto en ambos casos. Esto agrega un aspecto interesante a estudiar ya que una misma condición del viento regional estaría generando efectos opuestos para el desarrollo de la brisa en ambas costas.

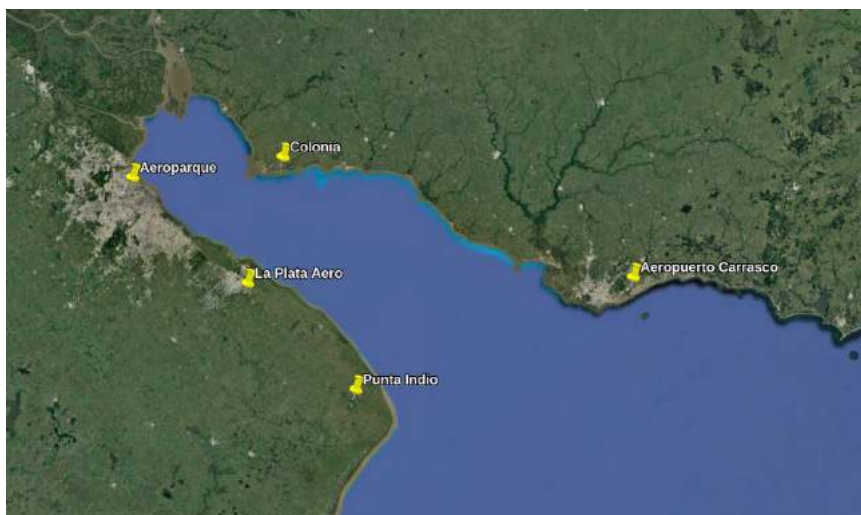


Figura 1. Zona de estudio con la ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas.

Además, las rosas de los vientos de Aeroparque de distintas horas del día, muestran una rotación del viento del sector N-NO por la mañana, al E por la tarde y finalmente al ESE hacia la noche. Este comportamiento sugiere la presencia del fenómeno en la región.

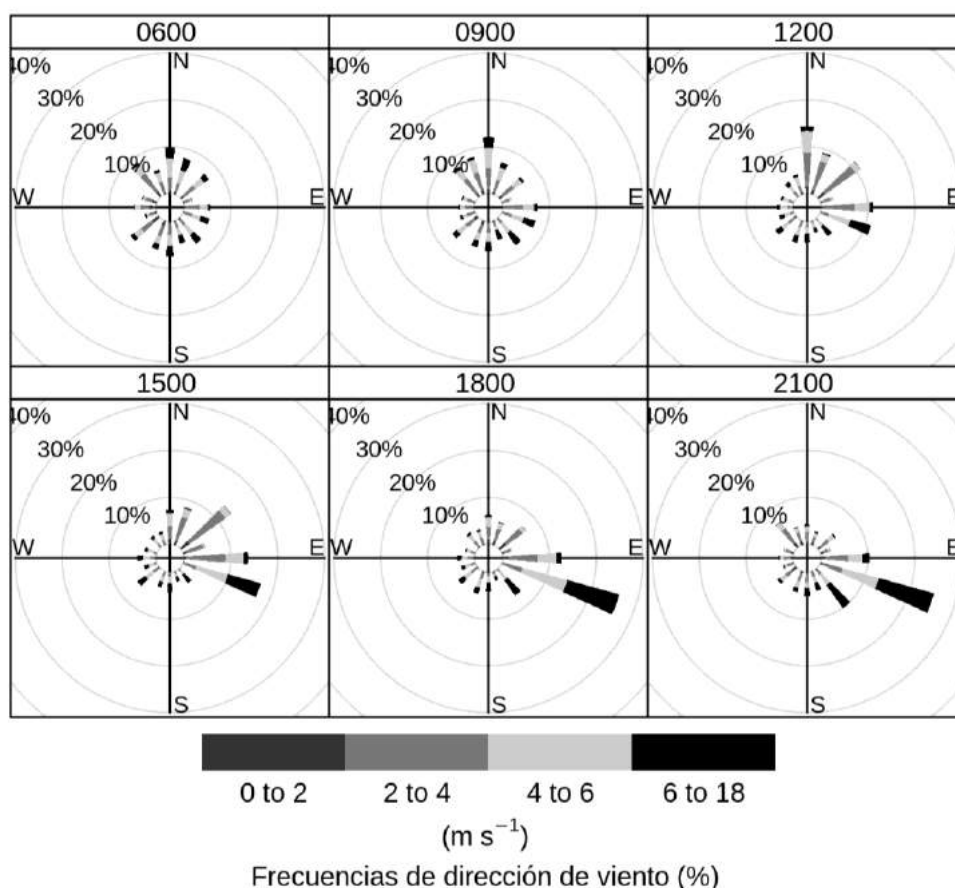


Figura 2. Rosas de los vientos de la estación de Aeroparque para las horas 0600, 0900, 1200, 1500, 1800 y 2100 hs, promedio del período 2009-2017.

MÉTODOS

Para poder identificar los días con desarrollo de la brisa se emplean los datos horarios de 5 estaciones meteorológicas de la región, Aeroparque, La Plata Aero y Punta Indio en Argentina, y Colonia y Carrasco en Uruguay, del período enero 2009 a julio 2017.

Algunas de las estaciones disponen de observaciones durante las 24 horas mientras que otras sólo de las horas diurnas (7 a 21 horas), lo cual es suficiente para poder aplicar los criterios de selección que se describen más adelante.

Por otro lado, a las mismas se les realizó un exhaustivo análisis de calidad de datos, para identificar valores no reales, datos faltantes y demás inconsistencias.

La temperatura del río se define con los datos diarios de temperatura de la superficie del mar de la base de datos NOAA OI SST V2 con resolución de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ (Reynolds et al. 2007). Para definir el viento a escala regional, denominado viento geostrófico, se adopta la observación del nivel de 850hPa del radiosondeo de Ezeiza de las 12 UTC (09 hora local), el cual se considera representativo de toda la zona de estudio. Para el análisis de la presión en superficie a escala regional se emplean los datos diarios de presión a nivel del mar del NCEP/NCAR Reanalysis 2 (Kanamitsu et al. 2002) con resolución de $2.5^\circ \times 2.5^\circ$.

Con el propósito de identificar los días de ocurrencia de la “brisa de mar” en la región, se realizó una búsqueda bibliográfica de los diferentes métodos que se utilizan para tal fin. Como resultado de esa búsqueda se seleccionaron tres métodos que se consideraron apropiados para el estudio. El criterio utilizado para la selección se basó en tres premisas: i) que los datos necesarios estuvieran disponibles en la región de interés; ii) que el método estuviera descrito detalladamente para poder implementarlo en forma apropiada, y iii) que el método haya sido implementado en latitudes similares a las de nuestra región.

El método de Borne et al. (1998) propone las siguientes condiciones que se deben cumplir para identificar un día con desarrollo de brisa:

1. El cambio en la dirección del viento geostrófico en 850 hPa $< 90^\circ$ en 24 horas.
2. El cambio en la intensidad del viento geostrófico en 850 hPa < 6 m/s en 24 horas.
3. La velocidad del viento geostrófico en 850 hPa < 11 m/s.
4. La diferencia entre la temperatura máxima en tierra y la temperatura del río $> 0^\circ\text{C}$.
5. El cambio de la dirección del viento en superficie $> 30^\circ$ en alguna de las horas comprendidas entre el amanecer + 1 hora y el atardecer - 5 horas.
6. El cociente entre el cambio de viento máximo en las horas del punto 5. y el promedio de los cambios de viento en las 5 horas siguientes debe ser > 6 .

El método de Furberg et al. (2002) propone las siguientes condiciones:

1. Más de la mitad de las observaciones horarias del viento en la estación deben ser “offshore”, de tierra hacia el mar, o en calma, en el período entre el amanecer - 6 horas y el amanecer + 2 horas.
2. El viento debe ser “onshore”, del mar hacia la tierra, al menos por dos horas consecutivas en el período entre el amanecer + 2 horas y el atardecer + 2 horas.
3. Más de la mitad de las observaciones horarias en la estación deben ser “offshore”, o en calma, en el período entre el atardecer + 2 horas y el atardecer + 8 horas.

El método de Azorin-Molina et al. (2011) propone las siguientes condiciones:

1. Entre el amanecer + 1 hora y el amanecer + 7.5 horas debe iniciarse el fenómeno con viento “onshore” y velocidad > 1.5 m/s.
2. En la hora previa al inicio, el viento debe ser “offshore” o su velocidad < 1.5 m/s.
3. El fenómeno debe finalizar entre el atardecer - 1 hora y el atardecer + 5 horas, con viento “offshore” o su velocidad < 1.5 m/s.

4. La velocidad del viento debe ser < 13.9 m/s desde el inicio hasta el fin de la brisa.
5. $C_{\text{pres}} - \text{Min}_{\text{pres}} \geq 1$ Hpa, donde C_{pres} es la presión atmosférica al finalizar la brisa y Min_{pres} es la presión mínima entre el inicio y el fin de la brisa.
6. $\text{Atide}_{\text{daily}} - \text{Atide}_{\text{general}} \geq -0.5$, donde $\text{Atide}_{\text{daily}}$ y $\text{Atide}_{\text{general}}$ representan las ondas de presión semidiurnas para el día en cuestión y para el período completo de estudio respectivamente. Cada término se calcula de la siguiente forma: $\text{Atide} = (P10 + P22) - (P04 - P16)$, donde P10, P22, P04 y P16 son las presiones en esas horas del día, las cuales representan los valores máximos y mínimos de la onda de presión atmosférica promedio semidiurna.
7. $\text{AirT}_{10\text{m}} - \text{SST} \geq 0$, donde $\text{AirT}_{10\text{m}}$ es la temperatura máxima diaria en la estación y SST es la temperatura de la superficie del mar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En primer lugar se realizó un análisis exploratorio de resultados aplicando los tres métodos en la estación Aeroparque, la más cercana a la costa. El método de Azorin-Molina et al. (2011) identificó 55 días de brisa de un total de 3100 días con datos disponibles, es decir un 1.77% de casos. Dada la escasa cantidad de casos identificados con este método y la naturaleza de los filtros que impone, que exigen considerar un periodo de 18 horas del día, se considera que el mismo es demasiado restrictivo y por lo tanto inapropiado para la región.

El método de Furberg et al. (2002) identificó 53 casos de brisa de un total de 3116 días con datos, un 1,7% de casos. Este método también se descartó por los motivos que se detallan a continuación, además del reducido número de casos identificados. El máximo número de casos de brisa ocurre en invierno, como se puede apreciar en la Fig. 3.b, en contraste con la bibliografía del tema que indica que el verano es la estación del año más apropiada para el desarrollo de la brisa. Además, el mapa de presión promedio en superficie para el conjunto de días de brisa muestra una situación sinóptica típica post-frontal. Dado que este método exige la existencia de viento offshore previo a la aparición de viento onshore como consecuencia del desarrollo de la brisa, podría estar identificando en particular los días luego del pasaje de un frente frío en la región, situaciones que son más frecuentes en invierno.

Por último, el empleo del método de Borne et al. (1998) permitió identificar 206 casos de brisa en Aeroparque, de un total de 2972 días con datos, es decir un 6.9%, destacando que el total de días con datos es menor que en los casos anteriores debido a la necesidad de utilizar datos de radiosondeo. Además, la distribución del número de días de brisa por mes (ver Fig. 3c) es consistente con lo descrito en la bibliografía del tema ya que el máximo ocurre en verano y el mínimo en invierno. Por otro parte, el mapa medio de presión a nivel de mar (ver Fig. 4.b) y el de viento en 850hPa (no se incluye), muestran condiciones típicas anticiclónicas y vientos débiles “offshore” en 850hPa, lo cual beneficia el desarrollo del sistema de brisa ya que advecta aire cálido en dirección hacia el río, aumentando el gradiente térmico entre el agua y la tierra. Esto tiende a generar un intenso gradiente de presión perpendicular a la costa en capas bajas (Estoque M. A., 1962).

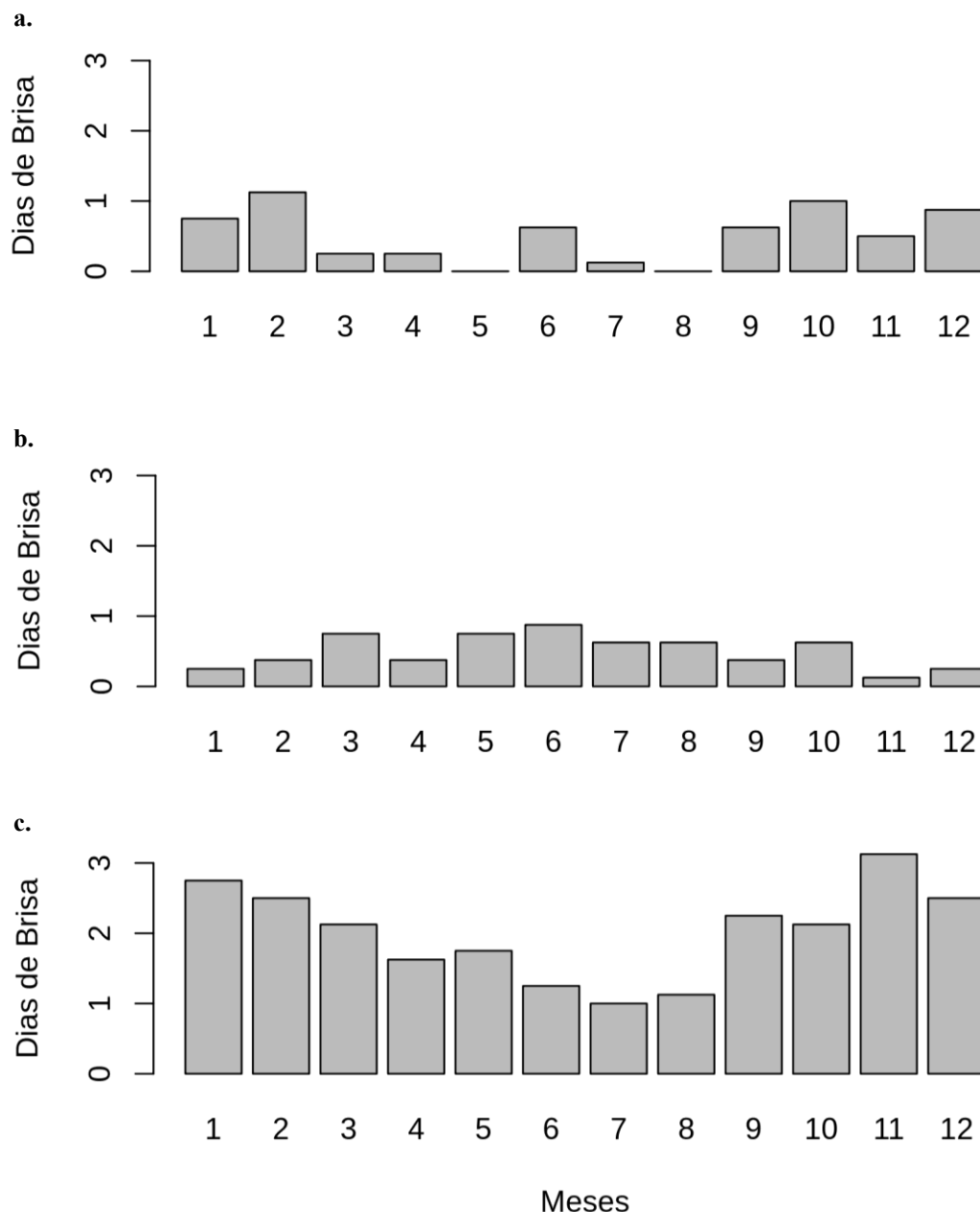


Figura 3 .Histograma de promedio de cantidad de casos de brisa por mes obtenidos en Aeroparque, según el criterio de **a.** Azorin-Molina et al. (2011), **b.** Furberg et al. (2002) y **c.** Borne et al. (1998) durante el período comprendido entre enero de 2009 y diciembre de 2016.

Por último, el empleo del método de Borne et al. (1998) permitió identificar 206 casos de brisa en Aeroparque, de un total de 2972 días con datos, es decir un 6.9%, destacando que el total de días con datos es menor que en los casos anteriores debido a la necesidad de utilizar datos de radiosondeo. Además, la distribución del número de días de brisa por mes (ver Fig. 3c) es consistente con lo descrito en la bibliografía del tema ya que el máximo ocurre en verano y el mínimo en invierno. Por otro parte, el mapa medio de presión a nivel de mar (ver Fig. 4.b) y el de viento en 850hPa (no se incluye), muestran condiciones típicas anticiclónicas y vientos débiles “offshore” en 850hPa, lo cual beneficia el desarrollo del sistema de brisa ya que advecta aire cálido en dirección hacia el río, aumentando el gradiente térmico entre el agua y la tierra. Esto tiende a generar un

intenso gradiente de presión perpendicular a la costa en capas bajas (Estoque M. A., 1962).

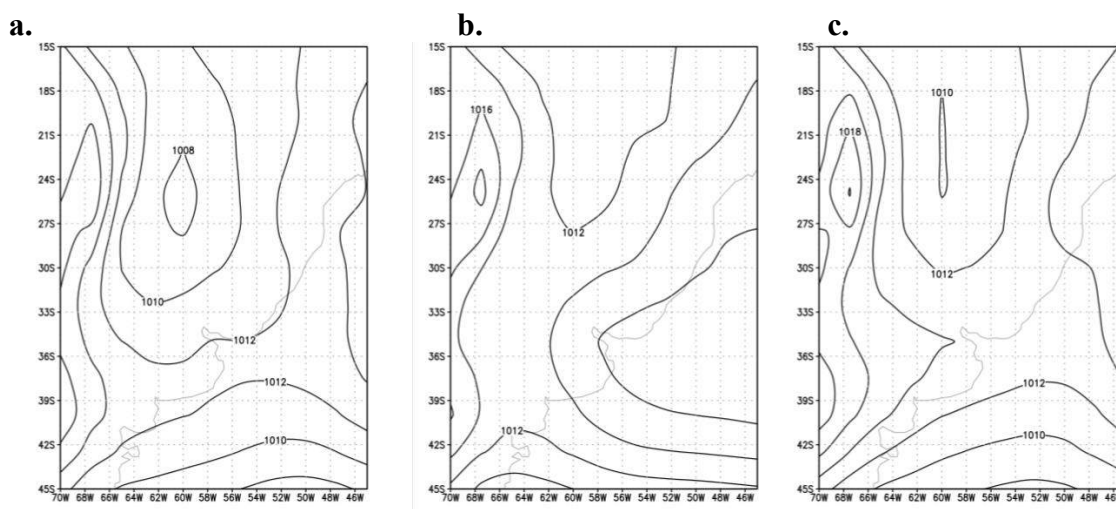


Figura 4. Presión en superficie promedio para el conjunto de días de brisa en Aeroparque identificados durante el período 2009-2017 según el criterio de selección **a.** Azorin-Molina et al. (2011), **b.** Borne et al. (1998) y **c.** Furberg et al. (2002).

En consecuencia, se decidió adoptar el método de Borne et al. (1998) como el más apropiado para la región y se lo empleó en las restantes estaciones meteorológicas. Para ello se definió el viento geostrófico a partir del viento del nivel de 850 hPa del radiosondeo de Ezeiza. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla I. En ella se indica la cantidad de días en los cuales se identificó la presencia de la brisa; la cantidad de días utilizados en ese método el que difiere en cada estación debido a la existencia de datos faltantes que impide la aplicación correcta del método; y finalmente el porcentaje de días de brisa con respecto al total de días analizados.

En la Tabla I se puede apreciar que la presencia de la brisa es mayor en las estaciones uruguayas que en las argentinas. Esto podría ser consecuencia de que la dirección predominante de viento en la región es del NE, es decir offshore en la costa uruguaya, situación que favorece el desarrollo de la brisa según lo indica el reciente estudio de Berri and Dezzutti (2020).

El comportamiento del viento a lo largo del día, como promedio del conjunto de casos de brisa identificados en cada lugar, se presenta en las siguientes figuras. La Fig. 5 muestra el resultado en las estaciones de la costa argentina en donde se puede apreciar que en todas ellas el viento es predominantemente del sector N por la mañana, rotando al E por la tarde (sector del río) y finalmente hacia el ESE. Esto muestra el comportamiento típico del viento en los días en que se desarrolla la brisa, de acuerdo al método implementado.

Tabla I. Resultados del método Borne et al. (1998) en las 5 estaciones meteorológicas utilizadas.

| Estación | Días de Brisa | Días utilizados por el método | Porcentaje de ocurrencia |
|---------------|---------------|-------------------------------|--------------------------|
| Aeroparque | 206 | 2972 | 6.93% |
| La Plata Aero | 157 | 2803 | 5.60% |
| Punta Indio | 124 | 2442 | 5.07% |
| Colonia | 173 | 2151 | 8.04% |
| Carrasco | 206 | 2826 | 7.29% |

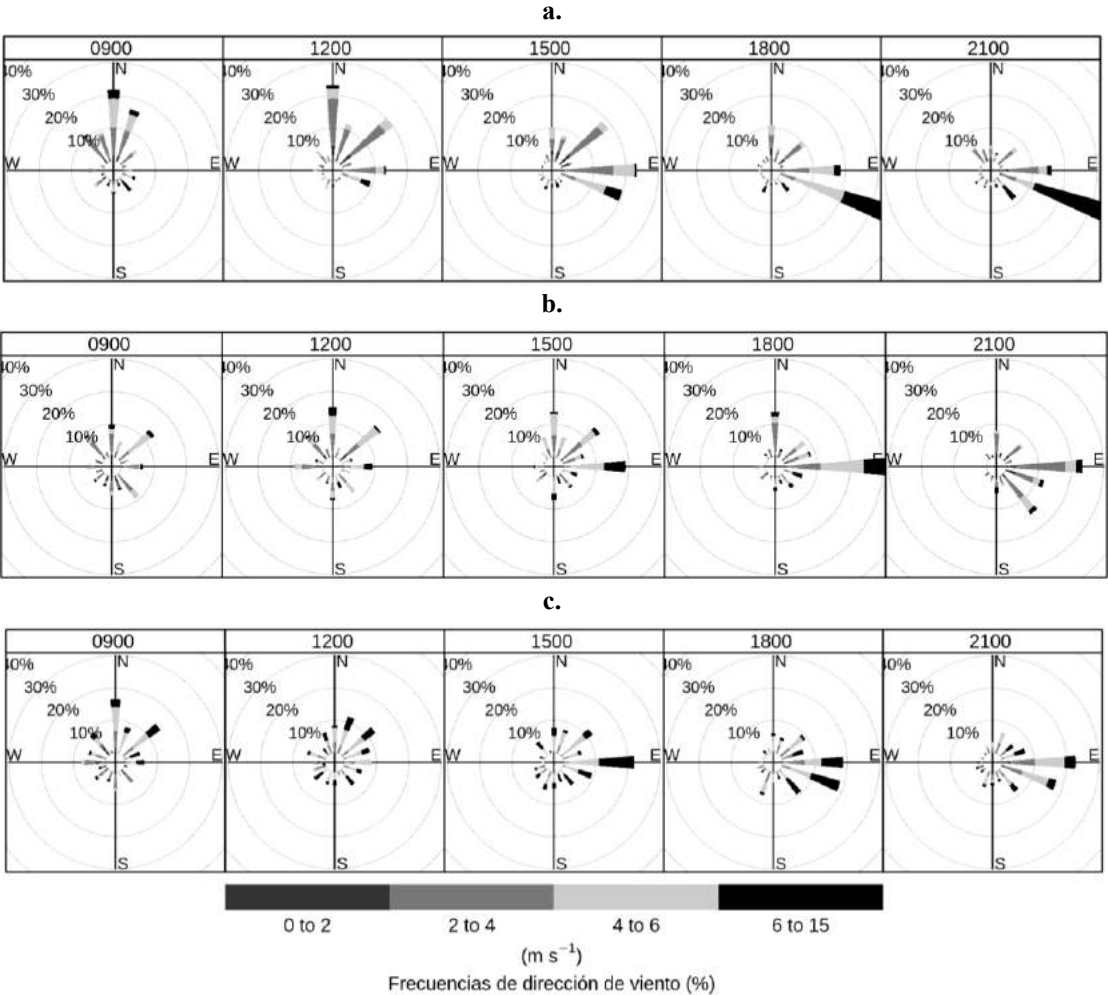
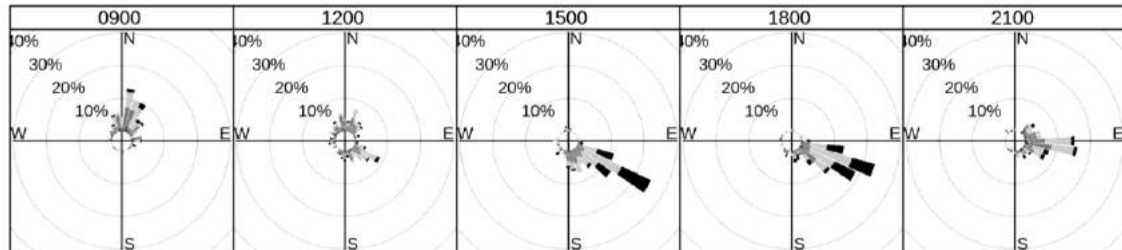


Figura 5. Rosas de vientos cada 3 horas, promedio de los días de brisa seleccionados en el período 2009-2017 por el método de Borne et al. (1998) en **a.** Aeroparque, **b.** La Plata Aero y **c.** Punta Indio.

En el caso de las estaciones uruguayas (Fig. 6), el viento es principalmente del NE por la mañana, al mediodía muestra direcciones variables y por la tarde se establece la brisa con viento del SE.

a.



b.

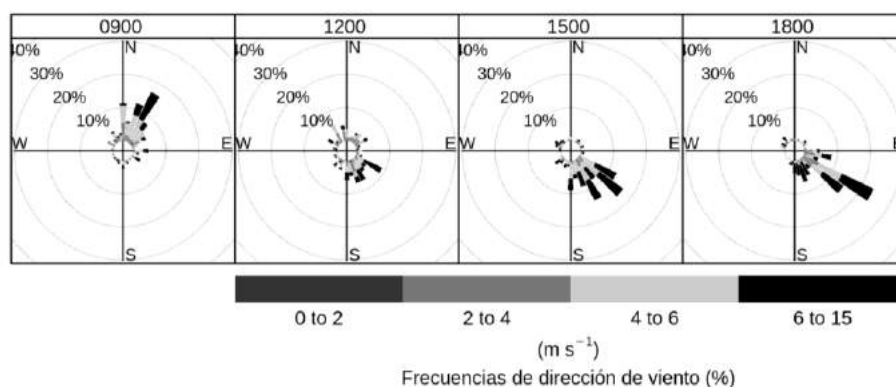


Figura 6. Rosa de los vientos cada 3 horas, promedio de los días de brisa seleccionados en el período 2009-2017 por el método de Borne et al. (1998) en **a.** Carrasco y **b.** Colonia.

Con respecto a la ocurrencia del fenómeno en los distintos meses del año, según el método de Borne et al. (1998), tanto en las estaciones uruguayas como en las argentinas se observa un ciclo anual muy similar al de la Fig 3.c.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos hasta el momento permiten establecer las siguientes conclusiones:

- el resultado obtenido con los diferentes métodos empleados muestra marcados contrastes
- hay mayor ocurrencia del fenómeno en la costa uruguaya, posiblemente debido a los vientos predominantes del NE en la región
- la dirección predominante del viento durante gran parte de los días de brisa es del mismo cuadrante SE en ambas costas, con predominio del E en las estaciones argentinas y del SE en las uruguayas.

REFERENCIAS

Azorin-Molina, C., Sander T., and Deliang C.. "Development of selection algorithms and databases for sea breeze studies." *Theoretical and applied climatology* 106.3-4 (2011): 531-546.

- Berri, G. J., and Dezzutti, M. "A Sea-Breeze Case Study in the La Plata River Region Using Local Observations, Satellite Images, and Model Simulations." *Boundary-Layer Meteorology* 177.1 (2020): 123-147.
- Borne, K., D. Chen, and M. Nunez. "A method for finding sea breeze days under stable synoptic conditions and its application to the Swedish west coast." *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society* 18.8 (1998): 901-914.
- Estoque, M. A. "The sea breeze as a function of the prevailing synoptic situation." *Journal of the Atmospheric Sciences* 19.3 (1962): 244-250.
- Furberg, M., D. G. Steyn, and M. Baldi. "The climatology of sea breezes on Sardinia." *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society* 22.8 (2002): 917-932.
- Kanamitsu, M., et al. "NCEP–DOE AMIP-II Reanalysis (R-2)." *Bulletin of the American Meteorological Society* 83.11 (2002): 1631-1644.
- Reynolds, R. W., et al. "Daily high-resolution-blended analyses for sea surface temperature." *Journal of Climate* 20.22 (2007): 5473-5496.
- Simpson, J. E. *Sea breeze and local winds*. Cambridge University Press, 1994.