

Variabilidad climática temporal y sus efectos: aportes al ordenamiento territorial de la costa norte del estuario de Bahía Blanca (Argentina)

Federico Ferrelli*
María Luján Bustos**
María Cintia Piccolo***

Resumen

El objetivo de este trabajo fue caracterizar la variabilidad climática temporal de la costa norte del estuario de Bahía Blanca (Argentina) para orientar las políticas de ordenamiento territorial destinadas a mejorar la calidad de vida de la población. Para ello, se analizaron datos climáticos en distintas escalas temporales para el período 1960-2014. Se aplicó una Transformada Rápida de Fourier, el Índice Estandarizado de Precipitación y técnicas estadísticas estándar. Como resultado se obtuvo que la temperatura media del aire se incrementó 0,9 °C, la humedad relativa y las precipitaciones presentaron ciclos húmedos y secos relacionados con la ocurrencia de eventos El Niño y La Niña, respectivamente y la velocidad media máxima del viento se redujo 7,5 km h⁻¹ durante el período 1986-2010. Las consecuencias de la variabilidad climática sobre la región permitieron establecer las bases para la formulación de un plan de manejo sustentable del territorio.

Palabras clave: Variabilidad climática temporal, Ordenamiento territorial, Costa norte del estuario de Bahía Blanca, Fourier, Índice Estandarizado de Precipitación.

Temporal Climate variability and its effects: Land-use-planning contributions to the northern coast of Bahia Blanca estuary (Argentina)

Abstract

The aim of this work was to characterize the climate variability of the northern coast of Bahia Blanca estuary (Argentina) in order to develop land use policies to improve the

* Becario doctoral del Instituto Argentino de Oceanografía. (CONICET) CC 840 - B8000FWB. Bahía Blanca. Argentina, federicoferrelli@gmail.com

** Docente del Departamento de Geografía y Turismo. Universidad Nacional del Sur. 12 de octubre y San Juan 4° piso, Bahía Blanca (8000), Buenos Aires, Argentina, lujan.bustos@uns.edu.ar

*** Docente del Departamento de Geografía y Turismo. Universidad Nacional del Sur. 12 de octubre y San Juan 4° piso, Bahía Blanca (8000), Buenos Aires, Argentina. Investigadora Superior del Instituto Argentino de Oceanografía (CONICET) CC 840 - B8000FWB. Bahía Blanca. Argentina, ofpiccol@criba.edu.ar

quality of life of the inhabitants. Climatic data in different time-scales for the 1960-2014 period was analyzed. Likewise, the Fast Fourier Transform, the Standardized Precipitation Index and standard statistical techniques were applied. As a result, the air temperature increased 0.9 °C, the relative humidity and rainfall presented wet and dry periods related to El Niño and La Niña events respectively. Maximum wind direction decreased 7.5 km h⁻¹ in the 1986-2010 period. Finally, the effects of the climate variability in the region allowed outlining the guidelines for a sustainable land management plan.

Key words: Temporal climate variability, Land use planning, Northern coast of Bahía Blanca estuary, Fourier, Standard Precipitation Index.

Introducción

El conocimiento de la variabilidad climática de un área es uno de los elementos clave para comprender el funcionamiento de los sistemas naturales y de las actividades humanas (Houghton, 2002). Sus efectos sobre las actividades agropecuarias generan cambios en el uso de la tierra e impactan sobre su rendimiento (Magrin *et al.*, 2005). Las inundaciones o sequías periódicas afectan las zonas sembradas, la hacienda y las viviendas. Esto causa graves consecuencias socioeconómicas. Entre los efectos sobre la población, se destacan la disminución de la accesibilidad al agua potable y la provisión de energía, el acceso a plantas medicinales, el desplazamiento y la desaparición de animales y a los recursos pesqueros, entre otros (Houghton, 1993; Ferrelli *et al.*, 2011). Asimismo, los cambios en el uso del suelo de un territorio también pueden intensificar las consecuencias de esta variabilidad. El ejemplo más habitual es el de la deforestación la que, con fines meramente económicos, persigue beneficios que prevalecen por sobre los impactos ambientales que generan (Ferrelli *et al.*, 2011).

La costa norte del estuario de Bahía Blanca se caracteriza por tener un constante aumento poblacional y una expansión urbana importante que ha generado una sobreexplotación de los recursos naturales (Ferrelli *et al.*, 2015). El clima de esta zona ha sido extensamente estudiado en escalas decádicas, interanuales y anuales de forma local, micro-local y regional con métodos estadísticos estándar (Piccolo y Capelli de Steffens, 1985; 1987; Capelli de Steffens y Campo de Ferreras, 1994; Capelli de Steffens *et al.*, 2005; Zapperi, 2014; Ferrelli *et al.*, 2016; entre otros). Sin embargo, se desconocen los efectos de estas variaciones del clima para sugerir políticas de ordenamiento territorial. Por ello, el objetivo de este estudio fue analizar la variabilidad climática en diferentes escalas temporales y registrar los problemas ambientales y sociales derivados de la misma.

Área de estudio

La costa norte del estuario de Bahía Blanca se localiza en el suroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. El estuario está conformado por una serie de canales de marea con orientación general noroeste-sureste. Hacia el este, la costa se continúa en playas de arena y pasa a estar dominada por médanos costeros que ocasionalmente superan los 15 m de altura. En la playa frontal es común observar afloramientos rocosos (de hasta 12.000 años de antigüedad) en los cuales se pueden observar huellas fósiles de la fauna descrita por Darwin e incluso pisadas humanas (Aramayo *et al.*, 2002). Este sector ha sido declarado Reserva Paleontológica y Arqueológica, pero además se encuentra en la etapa final de selección para ser declarado Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO (Perillo *et al.*, 2014). Por lo tanto, establecer estrategias para su preservación es un foco esencial dentro del ordenamiento territorial. El área de estudio engloba cinco ciudades. En orden, de oeste a este, se encuentran: Ingeniero White, Bahía Blanca, Villa del Mar, Pehuen

Co y Monte Hermoso. La localidad de mayor importancia es Bahía Blanca [301.531 habitantes (INDEC, 2010)], la cual alberga un parque industrial y el segundo centro portuario más importante de la Argentina. Villa del Mar e Ingeniero White son los espacios en donde la pesca artesanal representa una actividad importante para la población. En cambio, Pehuen Co y Monte Hermoso son dos ciudades costeras que se emplazan sobre playas de arena. Ambas poseen gran actividad turístico-recreativa y también pesca artesanal. Hacia el interior del continente predominan los cultivos mayoritariamente de secano (Fig. 1).

El clima de la región se caracteriza por la alternancia de períodos húmedos y secos. Las precipitaciones se concentran en primavera-verano, decrecen en otoño, haciéndose mínimas en invierno. Los vientos predominantes son del N y NO, soplando con mayor intensidad en los meses de primavera y verano, con velocidades medias de 24 km h^{-1} . Sin embargo, las mayores velocidades provienen de los cuadrantes S y SO. En la zona externa del estuario los eventos de vientos superiores a 40 km h^{-1} que perduraron por más de 6 horas continuas fueron mayores en primavera y otoño (Bustos *et al.*, 2011).

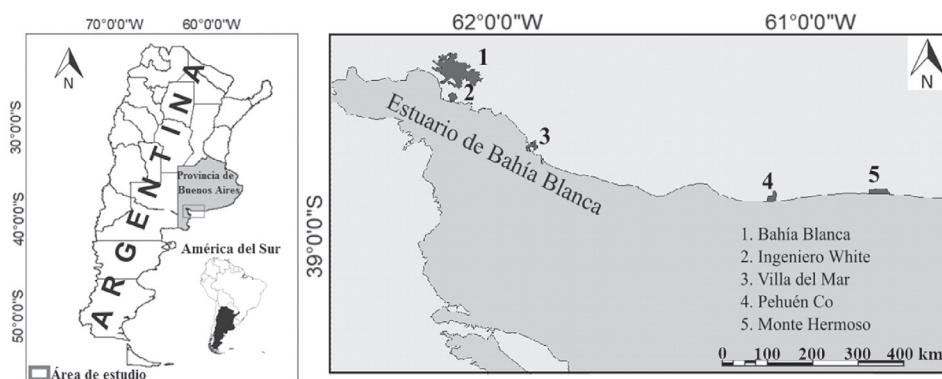


Figura 1. Localización del área de estudio.

Fuente: elaborado por Ferrelli, Bustos y Piccolo.

Antecedentes

Un posible escenario futuro de calentamiento global (IPCC, 2007) podría afectar la zona del estuario de Bahía Blanca por el incremento del nivel del mar (Diez, 2007). Las modificaciones que el hombre realiza sobre estos ambientes podría aumentar la vulnerabilidad de estos ecosistemas a la erosión eólica y marina. Las urbanizaciones sobre las costas, junto con la pérdida de sedimentos, producto del aumento de las edificaciones, cambian la morfología costera y, con ello, aumenta la vulnerabilidad de esas áreas (Bustos & Piccolo, 2011).

Las tormentas de viento se caracterizan por generar ráfagas fuertes que provocan el aumento en la energía de las olas y, con ello, su altura y posterior impacto sobre

las costas. Estos eventos generan cambios en los perfiles de la playa, en el volumen del sedimento, en la posible desaparición de las bermas y en la formación de barras y canales (Bustos & Piccolo, 2011). Los ambientes que mayores modificaciones antrópicas presentan son los más vulnerables ante los efectos de las tormentas. Los efectos de las lluvias torrenciales y los períodos extremadamente húmedos aumentan la cantidad de agua, las zonas de anegamiento y generan posibles inundaciones localizadas en las zonas bajas.

Dentro de las actividades económicas de la región, la pesquera es una de las más representativas para los habitantes (Zilio *et al.*, 2013). El aumento en la temperatura media del aire adquiere importancia al momento de analizar esta actividad, dado que ocasiona el aumento de la temperatura del mar –por los procesos de interacción entre el agua y el aire– y por la migración de especies de la cadena trófica. La abundancia ictícola está relacionada con las condiciones climáticas. La disponibilidad de peces no solo se debe a factores ambientales, sino que también se relaciona con factores sociales como la sobreexplotación de los recursos y la contaminación costera (Delgado, 2013). Las leyes de protección de este recurso son importantes al momento de preservarlo, por ejemplo mediante vedas y limitaciones en los permisos de pesca. Las zonas de veda se incrementan cuando es necesaria la protección de la reproducción de las especies con el objetivo de proteger el recurso (Piccolo *et al.*, 2009).

Las fluctuaciones en las precipitaciones son los procesos naturales que mayores impactos generan sobre las actividades agropecuarias de la región de estudio. Durante un evento de sequía se puede reducir notablemente la cobertura de cultivos y pasturas y aumentar la de suelos al descubierto. La erosión eólica puede causar afecciones respiratorias a la población por la voladura de suelos (Ferrelli *et al.*, 2012). Además, durante eventos extremos como sequías e inundaciones, se generan problemas económicos, como la disminución de la demanda de mano de obra en los establecimientos rurales, la mortandad de ganado, la disminución de la disponibilidad de agua para riego, la salinización de suelos, entre otras. En contraposición, el aumento de las precipitaciones puede generar una mayor extensión del área cultivada y un aumento del agua potable para los habitantes. Los eventos extremos de períodos húmedos también pueden ocasionar inundaciones de áreas cultivadas, afecciones respiratorias y cutáneas a causa del aumento de humedad, el crecimiento rápido del caudal de ríos y arroyos, el aumento en la aparición de insectos, etc. (Ferrelli *et al.*, 2011).

Las condiciones de sitio y el crecimiento desigual de la ciudad de Bahía Blanca son el resultado de las diferentes densidades edilicias (Ferrelli *et al.*, 2015). Además, los espacios verdes dentro de la ciudad son escasos (Ferrelli *et al.*, 2015). Estas características impactan no solo en las condiciones atmosféricas locales, sino que generan pérdida de suelos de alto valor productivo, pérdida de la capacidad de infiltración del acuífero, pérdida de biodiversidad, incremento de las presiones sobre

áreas de interés ecológico y paisajístico y saturación de las vías de comunicación (Capelli de Steffens *et al.*, 2005; Luber & McGeehing, 2008). Todo ello modifica la calidad de vida de la población.

El viento es fundamental para el bienestar térmico y las condiciones bioclimáticas de la población (García, 2005). La morfología urbana de Bahía Blanca produce barreras que modifican este parámetro. El centro de la ciudad presenta una velocidad del viento menor que su periferia debido a la gran cantidad de obstáculos y barreras que debe atravesar (Piccolo *et al.*, 1994). Asimismo, la forma y orientación de los edificios modifica la velocidad del viento, originando vórtices y torbellinos en ciertos sectores del centro (Capelli de Steffens *et al.*, 2005).

Método de trabajo

Si bien el área de estudio engloba distintos ambientes, la investigación se realizó analizando la variabilidad climática temporal con datos de la estación meteorológica localizada en la ciudad de Bahía Blanca debido a que es la única fuente de información con registros superiores a 50 años. Se estudiaron datos diarios, mensuales y anuales de la estación de Bahía Blanca perteneciente al Servicio Meteorológico Nacional (SMN, Argentina) utilizando análisis estadísticos estándar. En la tabla I se muestran los parámetros climáticos y la frecuencia de los datos para el período 1960-2014. Solo en el caso del viento medio máximo el período considerado fue 1963-2010.

Parámetro meteorológico	Frecuencia	Valores medios				
		Total	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
Temperatura (°C)	D	15,3	22,3	12,9	9,5	17,5
Precipitación (mm)	D	644,6	206,2	138,1	96,3	198,4
Viento máximo (km h ⁻¹)	D	50,3	51,2	44,7	46,5	49,4
Humedad relativa (%)	A	63,7	S/D	S/D	S/D	S/D

Tabla I. Frecuencia de los datos y valores medios y estacionales de los parámetros climáticos analizados para la ciudad de Bahía Blanca para el período 1960-2014. D = diario, A = anual y S/D = sin datos.

Fuente: elaborado por Ferrelli, Bustos y Piccolo sobre los datos del SMN.

La calidad de los registros se evaluó considerando la metodología expuesta por Rusticucci y Barrucand (2002) empleada en el estudio de Aliaga *et al.* (2016) y Ferrelli *et al.* (2016). Se efectuó un análisis de las diferentes escalas de la variabilidad climática (estacional, anual, interanual y decádica) de los diferentes parámetros climáticos que deben ser tenidos en cuenta para el planeamiento de las actividades

que dependen del clima, como la agricultura, el turismo y la pesca (Piccolo, 2013). Se utilizó la Transformada Rápida de Fourier (TRF) para el cálculo de la densidad espectral (aplicado también en Beigt & Piccolo, 2009) y así conocer las frecuencias de mayor variabilidad y energía.

Se calculó el Índice Estandarizado de Precipitación (IEP) para analizar las precipitaciones utilizando la serie histórica del período 1960-2014 (procedimiento descrito en Aliaga *et al.*, 2016 y Ferrelli y Aliaga, 2015). La serie fue ajustada a la distribución teórica de probabilidad y se transformó en una distribución normal de manera tal que el valor 0 se correspondió con los valores medios. Una vez calculado el índice se caracterizaron los eventos pluviométricos teniendo en cuenta los criterios de Edwards y McKee (1997) mencionados en la tabla II.

IEP	Caracterización del período
> 2	Extremadamente Húmedo
Entre 1,5 y 2	Muy Húmedo
Entre 1 y 1,5	Húmedo
Entre 1 y -1	Normal
Entre -1 y -1,5	Seco
Entre -1,5 y -2	Muy Seco
<-2	Extremadamente Seco

Tabla II. Clasificación de los eventos pluviométricos según el IEP.

Fuente: modificado de Edwards y McKee, 1997.

Las fluctuaciones de la precipitación se relacionaron con la intensidad del Índice Oceánico de El Niño, ONI (*Ocean Niño Index, NOAA*). Con este índice se identificaron eventos El Niño y La Niña (*National Weather Service, Climate Prediction Center*. <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>). Finalmente, se evaluaron los efectos de la variabilidad climática sobre la región, los que sirvieron de referencia para orientar una propuesta de manejo del territorio.

Resultados

La variabilidad climática se estudió teniendo en cuenta las distintas escalas temporales de análisis (estacionales, interanuales y decádicas). A continuación, se presentan los resultados para cada uno de los parámetros climáticos considerados.

Temperatura del aire. Respecto de las fluctuaciones periódicas de la temperatura media, máxima y mínima, la mayor intensidad de la señal está determinada por

ciclos anuales (365 días). En menor medida se evidenciaron fluctuaciones a escala inter-estacional (180 días), estacional (90 días), mensual ($\cong 30$ días) y en menor medida sinóptica ($< a 30$ días) (Fig. 2).

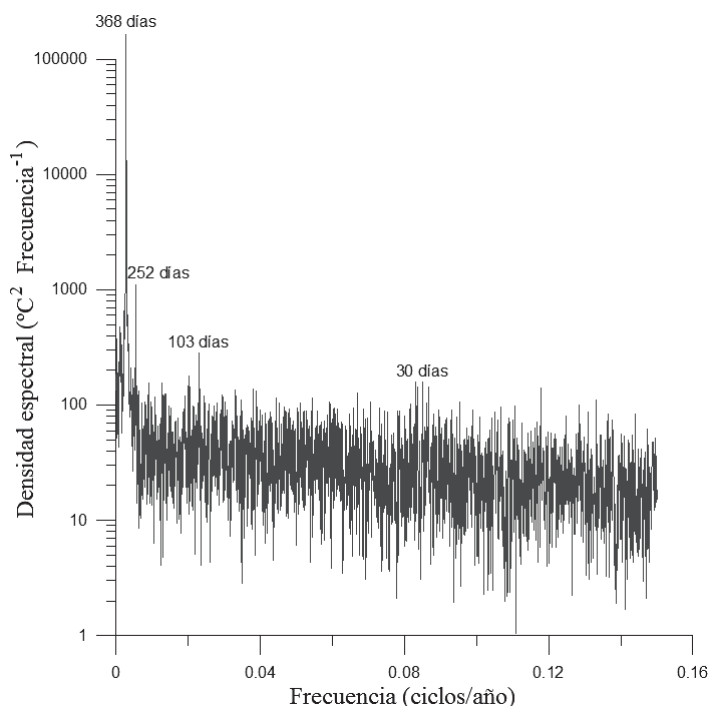


Figura 2. Densidad espectral de la temperatura media diaria del período 1960-2014. Fuente: elaborado por Ferrelli, Bustos y Piccolo.

El análisis decádico permitió establecer que las tres primeras décadas (1960-1990) del período de estudio registraron los menores valores de temperatura media anual, mientras que las décadas de 1990-2000 y 2000-2010 presentaron los mayores. La década 1970-1980 fue la más fría del período con una temperatura media de 15 °C.

La temperatura media del aire a escala inter-anual aumentó 0,9 °C durante todo el período de estudio (con un gradiente temporal de 0,01 °C año⁻¹). La temperatura fluctuó entre 14 °C en 1964 y 16,6 °C en 2014. Los períodos fríos fueron 1960-1966, 1971-1979 y 2005-2007, mientras que los cálidos fueron 1980-1985, 1993-2001, 2008-2009, 2011-2014 (Fig. 3).

La estacionalidad térmica inter-anual de la región es importante, con una significativa variabilidad climática. La temperatura media estival de todo el período de estudio es 22,3 °C. El verano de 1960 fue el más cálido con 24,4 °C y el más frío fue en 1978 con 20,9 °C. La primavera presenta un valor medio de 17,5 °C. Los máximos se registraron en 2008 y 2014 (19,8 °C). Por otro lado, el mínimo fue en

1963 con 15,3 °C. La temperatura media de otoño es 12,9 °C. El mayor valor se produjo en 2006 con 16,2 °C y el menor en 2010 con 11,2 °C. El otoño de 2014 fue el más frío de todas las estaciones de ese año, registrando una temperatura media de 11,8 °C. Los inviernos presentan un valor medio de 9,5 °C con un mínimo de 5,1 °C (2006) y un máximo de 13,1 °C (2014). Sin lugar a dudas, la variabilidad térmica es muy significativa en la región.

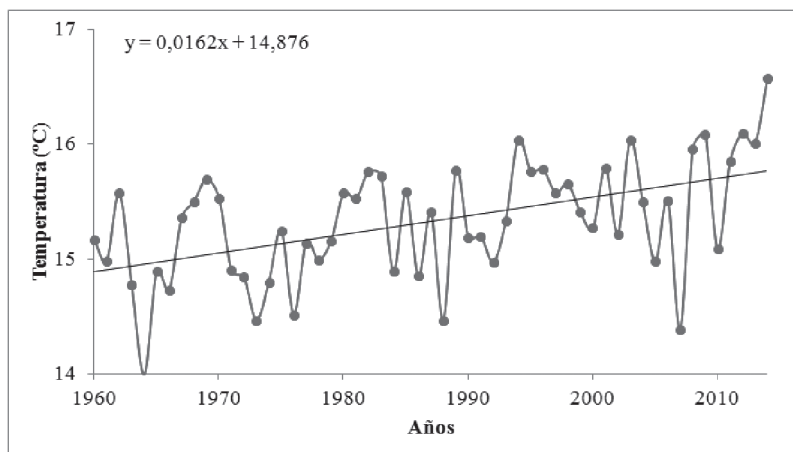


Figura 3. Temperatura media anual del aire para el período 1960-2014.
Fuente: elaborado por Ferrelli, Bustos y Piccolo.

Precipitaciones. El análisis de los espectros de Fourier permitió establecer que la mayor cantidad de energía está determinada por señales decádicas (7,5 años) e inter-anales (3,5 años). En menor medida, se encontraron intensidades correspondientes a ciclos anual (368 días) y estacional (108 días) (Fig. 4). El valor medio anual para el período de estudio es 644,6 mm y el año con menor precipitación fue 1962 con 354,7 mm anuales. El máximo valor del parámetro fue 1.086,3 mm en 1976. Por otro lado, las décadas más lluviosas fueron 1970-1980 y 1990-2000. Se observaron dos décadas secas 2000-2010 y 1960-1970. Cabe señalar que a partir de 1990 se observaron las mayores fluctuaciones entre períodos secos y húmedos.

La concepción natural de las precipitaciones presentó relación con el índice ONI. Los períodos Extremadamente Secos de 1962-1963 y 2008-2010 coincidieron con eventos La Niña débil y moderado, respectivamente. Los observados en 1970 y 1988 fueron La Niña moderado y 2010 La Niña débil. En contraposición, los períodos Extremadamente Húmedos se presentaron en 1975-1977 (El Niño débil) y 1997-1998 (El Niño moderado), los Muy Húmedos de 1978, 1979, 1992-1993 y 2004-2005 ocurrieron durante El Niño débil; mientras que el de 2002 se produjo durante un evento El Niño moderado. El resto de los períodos fueron moderadamente húmedos. Los períodos Normales de precipitación se presentaron en 1966-1968 (El Niño, débil), 1984-1986 (La Niña, débil) y 1999-2001 (La Niña, débil) (Fig. 5)

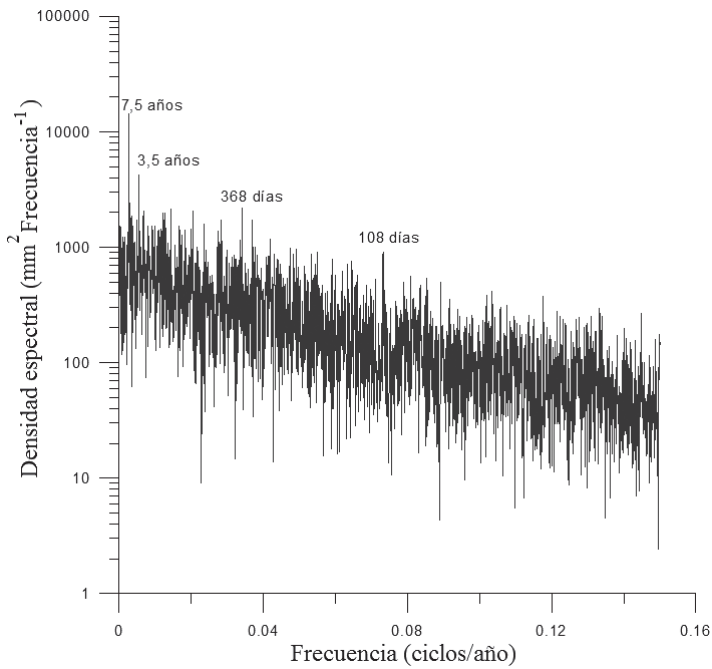


Figura 4. Densidad espectral de la precipitación diaria del período 1960-2014.
Fuente: elaborado por Ferrelli, Bustos y Piccolo.

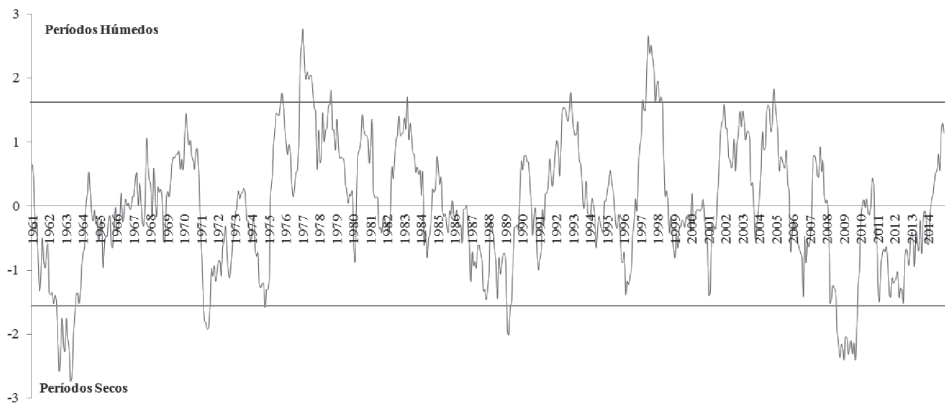


Figura 5. Índice Estandarizado de Precipitación para el período 1960-2014.
Fuente: elaborado por Ferrelli, Bustos y Piccolo.

Al igual que la temperatura, la precipitación presentó diferencias notables a escala estacional. El verano es la estación más lluviosa con un valor medio de 206,2 mm, un máximo de 405 mm en 1985 y un mínimo de 56,5 mm en 1972. La precipitación media primaveral es 198,4 mm. El máximo se registró en 1976 con 496 mm y el mínimo en 1991 con 83,7 mm. El otoño presenta un valor medio de 138,1 mm

oscilando entre 364,2 y 30,7 mm en 1982 y 1988, respectivamente. Finalmente, el invierno es la estación del año menos lluviosa, con un valor medio de 96,3 mm, un máximo de 238,5 mm en 1989 y un mínimo de 11,5 mm en 1995.

Velocidad máxima del viento. La velocidad máxima del viento presentó un comportamiento similar al observado en las precipitaciones al aplicar la Transformada Rápida de Fourier. La mayor intensidad de la señal estuvo determinada por ciclos decádicos e interanuales (6,9 años, 3 años) y en menor medida por ciclos anuales y estacionales (368 días, 180 días y 90 días) (Fig. 6). Las máximas velocidades medias del viento se concentraron en la década de 1970-1980 con valores que superaron el valor medio del período (50,3 km h⁻¹), registrando 62 km h⁻¹. La década de 1980-1990 tuvo un valor medio de 51,4 km h⁻¹ y a partir de entonces la velocidad media disminuyó registrando velocidades de 45,5 km h⁻¹ en la década de 1990-2000 y de 47,2 km h⁻¹ en la década de 2000-2010.

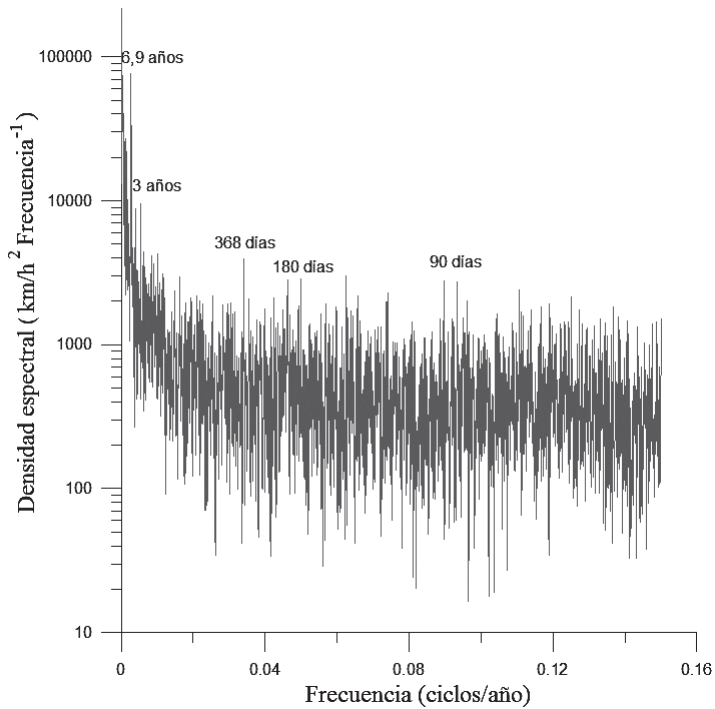


Figura 6. Densidad espectral de la velocidad máxima diaria del viento para el período 1963-2010. Fuente: elaborado por Ferrelli, Bustos y Piccolo.

Si bien la velocidad máxima del viento tuvo una tendencia creciente, durante el período 1984-2010 se observó una disminución de 7,5 km h⁻¹. El mayor registro fue 70,3 km h⁻¹ en 1980 y el menor 28,2 km h⁻¹ en 1964. Los vientos máximos fueron mayores en el período 1973-1980 y 1984-1986. A partir de 2003 este parámetro evidenció una disminución de las velocidades medias máximas anuales (Fig. 7).

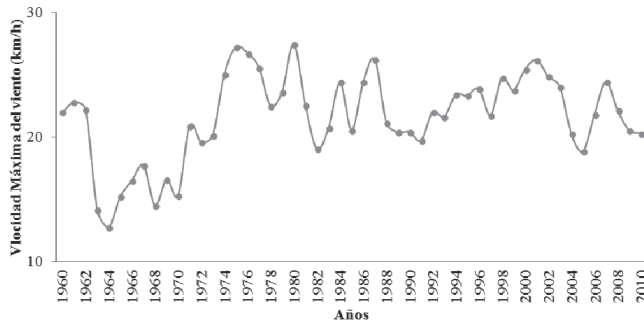


Figura 7. Velocidad máxima media del viento para el período 1963-2010.
Fuente: elaborado por Ferrelli, Bustos y Piccolo.

La velocidad máxima del viento es mayor durante el verano ($51,2 \text{ km h}^{-1}$) y menor en el otoño ($44,7 \text{ km h}^{-1}$). La primavera presenta una velocidad máxima de $49,4 \text{ km h}^{-1}$ y el invierno de $46,5 \text{ km h}^{-1}$. La mayor velocidad media se presentó en el invierno de 1986 con 82 km h^{-1} y la menor en la primavera de 1968 y en el verano de 1967 con $22,1$ y $22,4 \text{ km h}^{-1}$, respectivamente.

Humedad relativa. La humedad relativa presenta un valor medio de $63,7 \%$. El análisis decádico presentó tres períodos secos y dos húmedos. La década más seca fue la de 2000-2010 con una anomalía de $-2,9 \%$, seguido por la de 1960-1970 con $-1,9 \%$ y la de 1970-1980 con $-0,5 \%$. La década más húmeda fue la de 1980-1990 con $3,6 \%$ seguida por la de 1990-2000 con $1,8 \%$. La humedad relativa disminuyó $0,5 \%$ en el período 1960-2014 (lo que podría considerarse dentro del error propio del instrumental de medición). El mayor valor medio se observó en 1984 con $70,2 \%$ y los mínimos en 1970 con $56,7 \%$ y en 2009 con $56,9 \%$. A partir de 2011, el parámetro mantuvo una tendencia decreciente. En la serie estudiada no se registraron cambios significativos del parámetro ya que la pendiente fue de $-0,0076$ (Fig. 8).

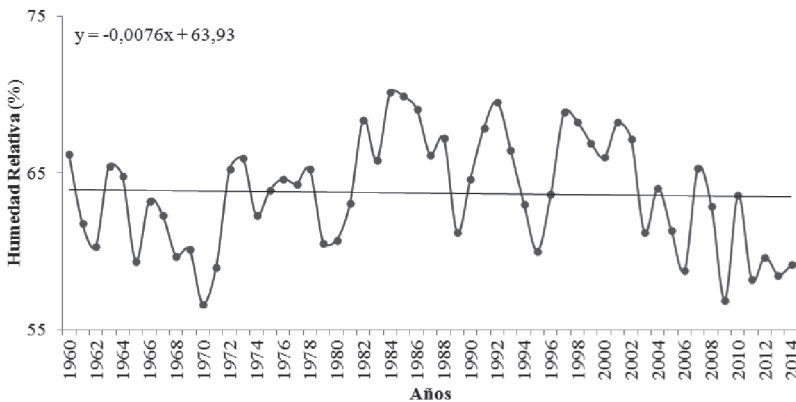


Figura 8. Humedad relativa media anual para el período 1960-2014.
Fuente: elaborado por Ferrelli, Bustos y Piccolo.

Conclusiones y recomendaciones

La variabilidad climática del área de la costa norte del estuario de Bahía Blanca presenta una marcada estacionalidad. Las fluctuaciones pluviométricas determinadas por picos de energía inter-anales y decádicos se caracterizaron por presentar fluctuaciones entre años extremadamente secos y húmedos que mantuvieron una relación con eventos La Niña y El Niño, respectivamente.

Los cambios de los parámetros climáticos analizados podrían impactar sobre las actividades económicas de la población. Los efectos más significativos podrían observarse en actividades como la pesca, el turismo y la agricultura. Sin embargo, la variabilidad climática también podría afectar la calidad de vida de los habitantes de las ciudades. A partir del conocimiento de la variabilidad climática temporal es posible considerar que ante eventos de temperaturas extremas (como olas de calor), un aumento del arbolado urbano podría disminuir los efectos negativos sobre la población urbana. El aumento de la temperatura en las ciudades, incluyendo los eventos extremos de calor o frío podrían mitigarse con la implementación de terrazas verdes, que ayudan a reducir la sensación de desconfort térmico de sus habitantes (Bustos *et al.*, 2016). El incremento de la vegetación urbana por las terrazas verdes reduce el efecto invernadero que se genera en la atmósfera local como consecuencia de la baja depuración del aire. Además, las terrazas verdes colaboran con la disminución de la contaminación sonora ya que absorben el ruido de la ciudad (Jiménez *et al.*, 2014). Las especies autóctonas de árboles se adaptan a la aridez del ambiente y son resistentes a los períodos prolongados de sequías. Por ello, es necesario implementar un plan de reemplazo y cultivo de especies. Con esto se aumentaría la protección de la biodiversidad natural del espacio urbano (Sodhi *et al.*, 2004; Duarte *et al.*, 2008).

En lo referente al viento en el área de estudio, la geomorfología costera está relacionada directamente con la velocidad, dirección e intensidad de los vientos. Una alternativa para mitigar los efectos de los vientos intensos son las cortinas de viento (Monelos y Peri, 1998; Peri, 1998), las cuales están constituidas por vegetación que ayuda a reducir sus efectos. Además, es importante destacar que para generar un aumento de la protección de las áreas costeras, una medida que ayudaría a disminuir este proceso es la prohibición del loteo y venta de propiedades a lo largo de la franja costera (Del Pozo, 2001; Bustos, 2012).

Por otro lado, en relación con las precipitaciones, se destaca que el nuevo paradigma de las ciudades es el desarrollo de *edificaciones de bajo impacto*. Ellas aceleran y aumentan la capacidad de infiltración del agua (Vázquez Rodríguez & Iturbe, 2014) y se enmarcan dentro de los denominados *sistemas de drenaje sostenible* (Woods-Ballard *et al.*, 2007; Puertas Agudo *et al.*, 2008; Butler *et al.*, 2008; Ávila, 2012). El aumento de las lluvias torrenciales de los últimos años requiere de un control de los desagües para evitar los procesos de anegamiento e inundación que podrían afectar a la población. Finalmente, se destaca que estas medidas podrían

ser una herramienta útil al momento de tomar decisiones sobre el ordenamiento del espacio en el contexto del cambio climático actual.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET, Argentina), a la Universidad Nacional del Sur (UNS, Argentina) y al *Inter-American Institute for Global Change Research* (IAI) CRN3038, el cual es apoyado por la *US National Science Foundation* (Grant GEO-1128040) por el financiamiento de la presente investigación. Además, al Servicio Meteorológico Nacional (SMN, Argentina) y al Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC, Argentina) por la información brindada.

Referencias

Aliaga, V., Ferrelli, F., Alberdi Algoraño, E. D., Bohn, V. Y. & Piccolo, M. C. (2016). Distribución y variabilidad de la precipitación en la región pampeana argentina. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 42 (1), 261-280.

Aramayo, S. A., Schillizzi, R. A. & Gutiérrez Téllez, B. M. (2002). Evolución paleoambiental del Cuaternario en la Costa Atlántica del sur de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Sociedad Geológica España*, 15 (1-2), 95-104.

Ávila, H. (2012). Perspectiva del manejo del drenaje pluvial frente al cambio climático. Caso de estudio: ciudad de Barranquilla, Colombia. *Revista de Ingeniería*, 54-59.

Beigt, D. & Piccolo, M. C. (2009). Tendencia de la temperatura en una planicie de marea del estuario de Bahía Blanca (Período 2000-2007). *Investigaciones Geográficas*, 48, 253-271.

Bustos, M. L. & Piccolo, M. C. (2011). Desconfort térmico en verano e invierno para la localidad de Pehuén Co, Argentina. *Nimbus. Revista de meteorología, Climatología y Paisaje*, 27/28, 63-76.

Bustos, M. L. (2012). *Estudio integrado ambiental del balneario Pehuén Co*. (Tesis doctoral inédita). Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo, Bahía Blanca.

Bustos, M. L., Piccolo, M. C. y Perillo, G. M. E. (2011). Efectos geomorfológicos de fuertes vientos sobre playas. El caso de la playa de Pehuén Co, Argentina. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 37 (1), 121-142.

Bustos, M. L., Ferrelli, F. & Piccolo, M. C. (2016). El rol del arbolado urbano sobre la temperatura invernal de la villa balnearia de Pehuén Co (Argentina).

Revista Universitaria de Geografía, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina, 25 (1), 57-72.

Butler, T. M, Lawrence, M. G., Gurjar, B. R., Van Aardenne, J., Schultz, M. & Lelieveld, J. (2008). The representation of emissions from megacities in global emission inventories. *Atmospheric Environment* 42, 703-719.

Capelli de Steffens, A. M. y Campo de Ferreras, A. M. (1994). *La transición climática del sudoeste bonaerense*. Bahía Blanca: Sección de Investigaciones del Departamento de Geografía (Sigeo), Universidad Nacional del Sur.

Capelli de Steffens, A., Piccolo, M. C. y Campo de Ferreras, A. (2005). *Clima urbano de Bahía Blanca*. Buenos Aires: Editorial Dunken.

Delgado, A. L. (2013). *Estudio integrado ambiental de la plataforma continental interior y media de la zona de El Rincón, Argentina* (Tesis doctoral inédita). Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo, Bahía Blanca.

Del Pozo, O. (2001). *El proceso de urbanización y degradación ambiental del ecosistema costero: Municipio de Monte Hermoso. Provincia de Buenos Aires* (Tesis de maestría inédita). Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo, Bahía Blanca.

Diez, P. G. (2007). *Tipologías de la zona costera de la República Argentina* (Tesis doctoral inédita). Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo, Bahía Blanca.

Duarte, C., Dennison, W., Orth, R. & Carruthers, T. (2008). The charisma of coastal ecosystems: addressing the imbalance. *Estuaries and Coasts*, 3, 233-238.

Edwards D. y McKee T. (1997). *Characteristics of 20th Century drought in the United States at multiple time scales*. Estados Unidos: Climatology Report, 97-2.

Ferrelli, F. Bohn, V. Y. & Piccolo M. C. (2011). Aplicación de geotecnologías al estudio de las precipitaciones y su relación con las coberturas del suelo (Pcia. de Buenos Aires, Argentina). *GeoFocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica* 11, 355-374.

Ferrelli, F., Bohn, V. y Piccolo, M. C. (2012). Variabilidad de la precipitación y ocurrencia de eventos secos en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). En *IX Jornadas Nacionales de Geografía Física. 19 al 21 de abril de 2012*. Bahía Blanca, Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo, 15-28.

Ferrelli, F., Bustos, M. L., Huamantínco Cisneros, M. A. & Piccolo, M. C. (2015). Utilización de imágenes satelitales para el estudio de la distribución térmica en

distintas coberturas del suelo de la ciudad de Bahía Blanca (Argentina). *Revista de Teledetección*, 44, 31-42.

Ferrelli, F. y Aliaga, V. S. (2015). *Variabilidad de las precipitaciones y sus efectos sobre la respuesta espacio-temporal de cuerpos de agua en la Región Pampeana, Argentina* (Trabajo de aplicación final de Especialización en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica Aplicados al Estudio del Medio Ambiente). Universidad Nacional de Luján, Luján, Argentina.

Ferrelli, F., Bustos, M. L., Piccolo, M. C., Huamantínco Cisneros, M. A. y Perillo G. M. E. (2016). Downscaling de variables climáticas a partir del Reanálisis NCEP/NCAR en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Papeles de Geografía*, 62, 21-33.

Ferrelli, F., Bustos, M. L. & Piccolo, M. C. (2016). La expansión urbana y sus impactos sobre el clima y la sociedad de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina. *Estudios Geográficos*, 77 (281), 469-489.

García, J. (2005). *Viento y arquitectura: el viento como factor de diseño arquitectónico*. México: Editorial Trillas.

Houghton R. A. (1993). Is carbon accumulating in the northern temperate zone? *Global Biogeochem Cycles*, 7, 611-700.

Houghton, D. D. (2002). *Introduction to climate change: Lecture notes for meteorologists*. WMO-No. 926.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Recuperado de https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_full_report.pdf

Jiménez, V., Correa, S., Romero N. y Rodríguez A. F. (2014). *Terrazas verdes. Tendencias en Bogotá*. Instituto colombiano Politécnico Gran Colombiano. Recuperado de <http://alejandria.poligran.edu.co/handle/10823/544>

Luber, G. & McGeehing M. (2008). Climate change and Extreme heat events. *American Journal of Preventive Medicine*, 35, 429-435.

Magrin, G. O., Travasso M. I. & Rodríguez G. R. (2005). Changes in climate and crop production during the 20th century in Argentina. *Climatic Change*, 72, 229-249.

Monelos, L. y Peri, P. (1998). Incidencia del efecto protector de las cortinas cortaviento en la producción de cerezas (*Prunus Avium var. Bing*) en Patagonia Sur. En *Primer Congreso Latinoamericano IUFRO, Chile*.

- Peri P. (1998). Eficiencia de cortinas protectoras: Efectos de parámetros estructurales en la reducción del viento, provincia de Santa Cruz, Argentina. *Revista Quebracho*, 6, 19-26.
- Perillo, G. M. E., Piccolo, M. C., Bustos, M. L., Huamantínco Cisneros, M. A., London, S., Scordo, F. & Rojas, M. (2014). Evolución de los ambientes costeros de la Provincia de Buenos Aires (Argentina): ¿Cambio climático o efectos antrópicos? *Revista digital REDESMA* 7, Número Especial: Cambio climático y sistema socioecológico, 37-48.
- Piccolo, M. C. & Capelli de Steffens, A. (1985). Clima urbano bahiense: una experiencia de verano. *Sociedad Argentina de Estudios Geográficos*, 2, 382-296.
- Piccolo, M. C. y Capelli de Steffens, A. (1987). Isla de calor invernal en Bahía Blanca. En *Anales II Congreso Interamericano de Meteorología*. V CONGREGMET, CAM, 14 (1), 1-5.
- Piccolo, M. C., Capelli de Steffens, A. & Campo de Ferreras, A. (1994). Efecto del viento en complejos edilicios bahienses. *Revista Geofísica*, 41, 5-19
- Piccolo, M. C., Conde, A. A. y Pizarro, N. (2009). Análisis de las capturas de la flota costera en el puerto de Bahía Blanca. Periodo 1992-2007. En Vaquero, M. C. y Pascale (Eds.), *El territorio, las actividades económicas y la problemática ambiental en el Sudoeste Bonaerense (Actas de las V Jornadas Interdisciplinarias del Sudoeste Bonaerense)*. Bahía Blanca: EdiUNS.
- Piccolo, M. C. (2013). *Understanding climate variability: useful methodology for stakeholders*. Universidad de Córdoba, España. Recuperado del Sitio de Internet de COMET-LA <http://www.comet-la.eu/index.php/en/links/item/279-understanding-climate-variability-useful-methodology-for-stakeholders.html>
- Puertas Agudo, J., Suárez López, J. y Anta Álvarez, J. (2008). *Gestión de las aguas pluviales. Implicaciones en el diseño de los sistemas de saneamiento y drenaje urbano*. CEDEX. Gobierno de España.
- Rusticucci, M. M. & Barrucand, M. G. (2002). Climatología sobre temperaturas extremas en la Argentina. Consistencia de datos. Relación entre la temperatura media estacional y la ocurrencia de días extremos. *Meteorológica*, 26 (1-2), 65-79.
- Sodhi, N. S., Koh, L. P., Brook, B. W. & Ng, P. K. L. (2004). Southeast Asian biodiversity: an impending disaster. *Trends in Ecology & Evolution*, 19, 654-660.
- Vázquez Rodríguez G. & Iturbe U. (2014). Ciudades Permeables. ¿Cómo ves?, 183, 63-69.
- Woods-Ballard B., Kellagher R., Martin P., Jefferies C., Bray R. y Shaffer P. (2007). *The SUDS Manual*. Londres: CIRIA.

Zapperi, P. A. (2014). Caracterización del escurrimiento de Bahía Blanca. *Revista Universitaria de Geografía*, 23 (1-2), 125-150.

Zilio, M. I., London, S., Perillo, G. M. E. y Piccolo, M. C. (2013). The social cost of dredging: The Bahia Blanca Estuary case. *Ocean & Coastal Management*, 71, 195-202.

Sitios de Internet

Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Recuperado de www.smn.gov.ar

Fecha de recepción: 8 de agosto de 2016

Fecha de aceptación: 24 de noviembre de 2016

© 2017 por los autores; licencia otorgada a la Revista Universitaria de Geografía. Este artículo es de acceso abierto y distribuido bajo los términos y condiciones de una licencia Atribución-NoComercial 2.5 Argentina de Creative Commons. Para ver una copia de esta licencia, visite http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/ar/deed.es_AR