

ANALISIS DE BAJANTES EN PUERTO QUEQUEN

Mónica Fiore^{1,3}, Enrique D’Onofrio^{1,2}, Fabio Herrero⁴, Mónica Stadelmann¹ y María M. Sobre-Casas¹

(1) Servicio de Hidrografía Naval

(2) Instituto de Geodesia y Geofísica Aplicadas– FIUBA

(3) Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos – FCEN –UBA

(4) Consorcio Gestión Puerto Quequén

RESUMEN

Puerto Quequén ubicado en la desembocadura del río Quequén Grande a $38^{\circ} 32' 05''$ S, $58^{\circ} 42' 00''$ W sobre el Atlántico Sur, posee un tráfico anual de aproximadamente 290 buques y constituye una importante puerta de egreso de cereales y oleaginosas. Por sus características es uno de los puertos nacionales en el que más rápido pueden ingresar o salir buques de más de 200 m de eslora. El canal de acceso posee una solera de 120 m de ancho y una profundidad de 46 pies en la zona exterior no protegida. Dada las características de Puerto Quequén, no se observan dificultades para el ingreso de buques, sin embargo para el egreso es necesario en numerosas oportunidades operar teniendo en cuenta el estado de la marea, pues aumenta el calado de los buques debido a la carga que transportan. Puerto Quequén posee un régimen de marea mixto preponderantemente semidiurno con una amplitud astronómica máxima de 1.86 m. La bajamar astronómica más baja en 19 años pasa a 0.98 m por debajo del nivel medio, mientras que la pleamar astronómica más alta en 19 años es 2.10 m. La marea astronómica se ve afectada significativamente por el efecto meteorológico, produciendo alturas que difieren de aquellas predichas en las Tablas de Marea. A la diferencia entre la marea observada y la predicha se la denomina onda de tormenta. En este trabajo se calculan las ondas de tormenta negativas, causantes de las más grandes bajantes, para lo cual se analizan registros horarios de marea observada durante el período 1979 – 2007. Con los resultados obtenidos se efectúa un análisis estadístico de frecuencia, intensidad y duración de las mismas en forma mensual y estacional, para establecer cual es la época del año más favorable para la operación del puerto. Se realizan estudios de permanencia mensuales y diarios de las alturas de marea con la finalidad de analizar los egresos de buques que necesiten un calado mayor o igual a 38 pies. Finalmente se calculan los períodos de retorno para 10, 20 50 y 100 años para los valores extremos más bajos de marea observados.

INTRODUCCION

Puerto Quequén, considerado entre los principales puertos marítimos de la Argentina está ubicado a $38^{\circ} 32' 05'' S$, $58^{\circ} 42' 00'' W$ sobre el Océano Atlántico en la desembocadura del río Quequén Grande. Este puerto localizado en el Sudeste de la Provincia de Buenos Aires, cuenta dentro de su área de influencia con la zona cerealera más rica de la pampa húmeda. Luego es una importante vía de salida para las exportaciones cerealeras y sus subproductos. Durante el año 2008, las exportaciones en Puerto Quequén alcanzaron las 3.885.210 toneladas correspondiendo a granos, 3.202.924 toneladas, subproductos 424.796 toneladas y aceites 257.490 toneladas (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, www.sagpya.mecon.gov.ar).

Por sus características es uno de los puertos nacionales en el que más rápido pueden ingresar o salir buques de más de 200 m de eslora. El canal de acceso posee una solera de 120 m de ancho y una profundidad de 46 pies en la zona exterior no protegida. El antepuerto, lugar en el cual se realizan las maniobras de giro de buques posee una profundidad de 40 pies (Consortio de gestión Puerto Quequén, www.puertoquequen.com).

Dada las características naturales de Puerto Quequén, la mayoría de los buques entrantes no presentan dificultades al momento de su ingreso, sin embargo su egreso puede verse afectado por el aumento del calado debido a su carga. En estos casos el conocimiento anticipado del nivel del agua permite planificar una maniobra con un margen de seguridad mayor. Un factor que aumenta o disminuye la profundidad de acceso es el nivel de marea que en algunos casos puede llegar a ser crítico.

Puerto Quequén posee un régimen de marea mixto preponderantemente semidiurno con una amplitud de marea astronómica media de 1.03 m y una máxima de 1.85 m (SHN, 2009). La marea astronómica o predicha se ve afectada por la acción meteorológica que hace que esta altura difiera ya sea incrementando su valor o disminuyéndolo hasta más de 1m. A esta anomalía del nivel del agua se la conoce como onda de tormenta. Las más importantes, por lo general, ocurren en regiones relativamente poco profundas, cuando el viento sopla durante varios días y sobre superficies extensas (Balay, 1961; Pugh, 1996). Por ejemplo D'onofrio et al. (2008) muestran que el 10 de Noviembre de 2002 el Puerto de Buenos Aires fue afectado por la acción de fuertes vientos de sector Oeste con ráfagas de 80 km/h que produjeron una bajamar (-2.66 m por debajo del Cero del Riachuelo) que

ocasionó la varadura de numerosos barcos y la falta de agua potable a 7 barrios de la Ciudad.

Si bien Puerto Quequén es una zona de características geomorfológicas diferentes a la del Río de la Plata y posee una profundidad mayor, la acción meteorológica también lo afecta tanto con la generación de ondas de tormenta como de olas. Lanfredi *et al.* (1992) determinaron que la altura media de ola en Puerto Quequén es de 1.33 m, mientras que la altura máxima de ola es 3.61 m con periodos variando entre 7 y 10 segundos. Actualmente existen dos causas por las cuales el puerto cierra, la altura de ola y los fuertes vientos. Aunque se han registrado los egresos de buques de 220 m de eslora con sus bodegas totalmente cargadas zarpando con calados de alrededor de 42 pies con buen tiempo y en pleamar, es de gran utilidad para la operativa del Puerto contar con un estudio estadístico de marea ya que podría contribuir a la operatoria rápida del puerto y por lo tanto a una estadía media menor.

En este trabajo se calculan la bajamar astronómica más baja (Lowest Astronomical Tide, LAT) y la pleamar astronómica más alta (Highets Astronomical Tide, HAT), dos parámetros relevantes para el diseño de la infraestructura de puertos como ser amarras, grúas, cableados, etc. El LAT es utilizado en muchos casos como el nivel de reducción de sondajes ya que elimina los valores negativos de las Tablas de Marea. El HAT es utilizado como el Datum para espacios verticales, es decir se emplea para calcular la altura máxima que puede alcanzar la parte más alta de un buque exclusivamente afectado por marea astronómica. También es considerado en el planeamiento costero como el lugar más bajo para la línea de costa o ribera (Schnack et al., 2007).

Por otra parte utilizando como información de base alturas horarias registradas en el mareógrafo de Puerto Quequén (Figura 1) para el periodo 1979 - 2006 con algunas interrupciones, se realiza un análisis estadístico de frecuencia, intensidad y duración de las ondas de tormenta negativas en forma mensual y estacional, para establecer la época más favorable del año para la operación del puerto. Se realizan estudios de permanencias mensuales y diarias de las alturas de marea que podrán ser utilizados para analizar los egresos de buques que necesiten un calado mayor o igual a 38 pies. Finalmente se calculan los períodos de retorno para 10, 20, 50 y 100 años para los valores extremos más bajos del nivel del agua observados. Estos resultados son indispensables al momento de planificar obras de infraestructura dentro del puerto.



Figura 1. Puerto Quequén. (www.nuestromar.org/puertos)

MAREA ASTRONOMICA

La marea se define como la oscilación periódica del nivel del mar que resulta de la atracción gravitacional de la Luna y el Sol que actúa sobre la Tierra en rotación. Esta definición corresponde a lo que se conoce como “marea astronómica o predicha”. Su carácter determinístico permite su predicción y la confección de Tablas de Marea (predicciones de pleamares y bajamares). El conocimiento de la marea astronómica es de fundamental importancia para la seguridad en la navegación, para la confección de cartas náuticas y la planificación del manejo de recursos y actividades costeras.

Para calcular el LAT y HAT, se realiza una predicción armónica de marea para un período de 19 años, representativo de los mayores ciclos de la marea (Pugh, 1996), y se determinan la menor y la mayor altura respectivamente. En este trabajo se utiliza la siguiente ecuación de predicción (Shureman, 1988):

$$h(t) = S_0 + \sum_{i=1}^n f_i \times H_i \times \cos(\sigma_i \times t + (V_0 + u)_i - g_i)$$

donde :

$h(t)$: altura de marea astronómica al tiempo t

S_0 : nivel medio del mar referido al cero de marea

n : número de componentes

f_i : factor nodal de la componente i

H_i : amplitud de la componente i

σ_i : velocidad angular de la componente i

t: tiempo medido desde el instante elegido para calcular el argumento de equilibrio

$(V_o+u)_i$: argumento de equilibrio de la componente i

g_i : época modificada de la componente i teniendo en cuenta el huso horario

Las constantes armónicas (H_i y g_i) utilizadas se obtienen de la base de datos empleada para realizar las predicciones de marea presentadas en la Publicación H-610 Tablas de Marea, del Servicio de Hidrografía Naval. Al igual que en toda la costa argentina, la componente más significativa es la semidiurna lunar principal M2 cuya amplitud es 0.48 m siguiéndole en importancia la componente lunisolar declinacional diurna K1 con una amplitud de 0.16 m. El factor nodal, las velocidades angulares y argumentos de equilibrio se calculan siguiendo la metodología establecida por Schureman (1988), teniendo en cuenta las sugerencias de Cartwright (1985) con respecto a las nuevas escalas de tiempo. El LAT obtenido pasa a 0.98 m por debajo del nivel medio y coincide con el plano de reducción de la carta argentina H-253 mientras que el valor obtenido para el HAT es 2.10 m referido al mismo cero.

ANÁLISIS DE LAS ONDAS DE TORMENTA

Las ondas de tormenta son las modificaciones del nivel del agua producidas por cambios bruscos de presión atmosférica y efecto de arrastre del viento, que alteran a la marea astronómica. Su duración puede variar desde algunas horas hasta 2 ó 3 días produciendo, en ocasiones, alturas que difieren en más de un metro con las de la marea astronómica. Difícilmente dos ondas de tormenta sean exactamente iguales ya que pequeñas variaciones en los patrones climáticos pueden producir respuestas bastante diferentes en una masa de agua, en especial en sitios donde exista una tendencia a oscilaciones o resonancias propias del lugar (Pugh, 1996). La mayoría de los trabajos realizados para la costa de la provincia de Buenos Aires están abocados al estudio de las ondas de tormenta positivas (Fiore et al., 2001, D'Onofrio et al., 2003, Escobar et al., 2004, Nabel et al., 2004), probablemente porque son la principal causa de las inundaciones y la erosión costera. Sin embargo, las ondas de tormenta negativas, dan origen a las bajantes que en numerosas ocasiones tienen un impacto significativo en la navegación o como en el caso del Puerto de Buenos Aires que afecta también el normal abastecimiento de agua potable.

En este trabajo se analizan las ondas de tormenta negativas, las que se obtienen como la diferencia entre las alturas horarias observadas y sus correspondientes alturas astronómicas o predichas. Las alturas horarias provienen de la base de datos de la Sección Mareas del

Servicio de Hidrografía Naval y fueron registradas en el mareógrafo de Puerto Quequén durante el período 1979 – 2006. Lamentablemente por fallas en el equipo de medición no se contó con datos para los años 1986 y 1987. Las predicciones fueron realizadas al igual que para el cálculo del LAT y el HAT utilizando la base de constantes armónicas empleada para realizar las predicciones de marea presentadas en la Publicación H-610 Tablas de Marea, del Servicio de Hidrografía Naval.

Para seleccionar las principales ondas de tormenta negativas se decidió considerar los eventos caracterizados por una duración mayor de 6 h, donde en ningún caso la altura de la onda de tormenta sea mayor a -30 cm y donde la altura máxima alcanzada resulte menor o igual a -90 cm. Este último valor fue elegido porque con una altura de marea astronómica próxima al nivel medio del agua (98 cm), afectada por una onda de tormenta de -90 cm, sería inferior a los 10 cm, ocasionando dificultades en la navegación. La Figura 2 muestra la mayor onda de tormenta negativa (-176 cm, 3/6/2004 18:00 h) registrada en Puerto Quequén durante el período 1979 – 2006. La altura de marea observada para ese instante fue de 2 cm. La carta sinóptica (campo de presión a nivel del mar, 3-5 Junio, 2004) obtenida de los reanálisis del National Centre for Environmental Prediction con una resolución horizontal de 2.5° NCEP/NCAR se muestra en la Figura 3. Se observa un centro de alta presión a la entrada del Río de la Plata indicando la presencia de vientos del Nor-Noroeste que empujan el agua hacia la plataforma continental a la altura de Puerto Quequén. En esta oportunidad se registraron en Mar del Plata vientos de 23 km/h a partir del medio día, llegando a 57 km/h a la altura de Bahía Blanca. Cabe destacar que la menor altura observada podría haber sido mucho más baja si hubiera ocurrido durante una bajamar y no en una pleamar como en este caso.

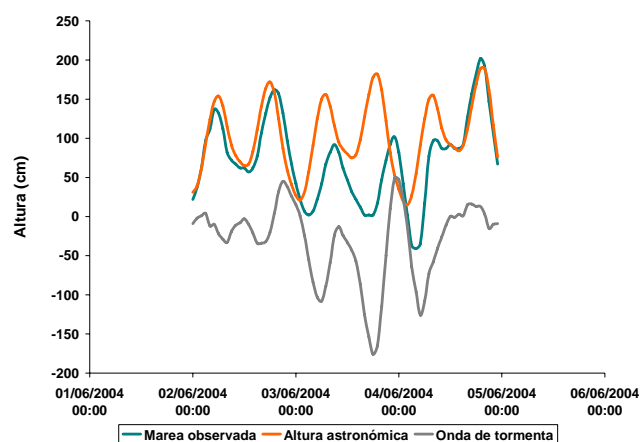


Figura 2. Evento de onda de tormenta ocurrido en Junio de 2004

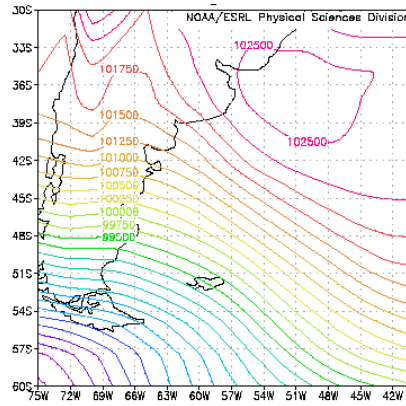


Figura 3. Campo de presión a nivel del mar, 3-5 Junio, 2004. Contornos en Pascales.

Fuente: NCEP/NCAR (www.cdc.noaa.gov)

Durante el período considerado se registraron 82 eventos de ondas de tormenta negativas menores o iguales a -90 cm. La Figura 4 muestra la frecuencia de ocurrencia en forma mensual y estacional de las ondas de tormenta negativas para el período 1979 -2006.

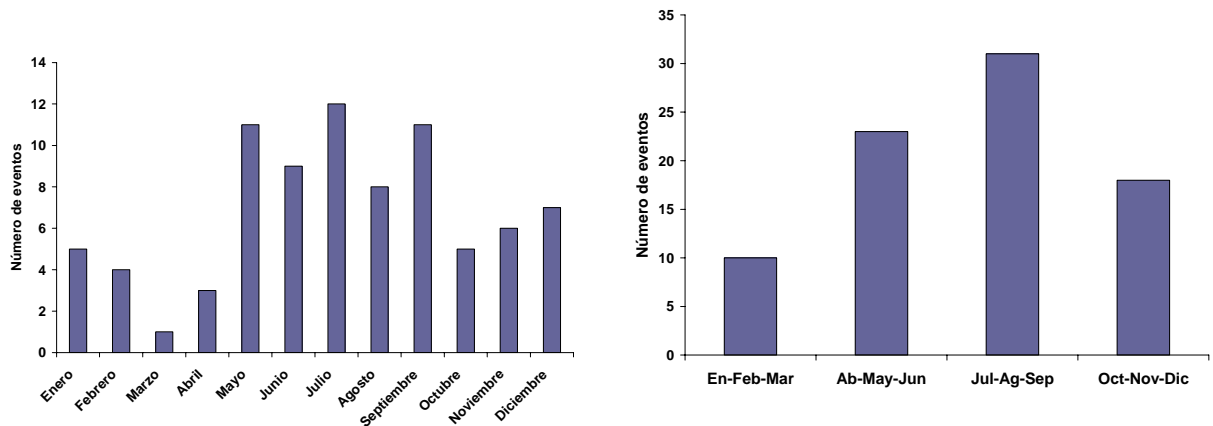


Figura 4. Frecuencia mensual y estacional de las ondas de tormenta negativas.

Los trimestres más afectados por las ondas de tormenta negativas corresponden al otoño y al invierno, es decir que será la época del año en la que la actividad portuaria se verá más perjudicada por las condiciones meteorológicas. Las Figuras 5 y 6 muestran la duración media y la altura media de la onda de tormenta en forma mensual respectivamente. Marzo es el mes en que las ondas de tormenta negativas tienen mayor duración (68 h), sin embargo las mayores intensidades se observan en los meses de Mayo y Junio con alturas de -118 cm y -120 cm respectivamente. Al efectuar el análisis estacional (Tabla 1) se observa que el trimestre en el cual las ondas de tormenta negativas tienen menor duración es el correspondiente a los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre, y las menores alturas medias se registran en otoño.

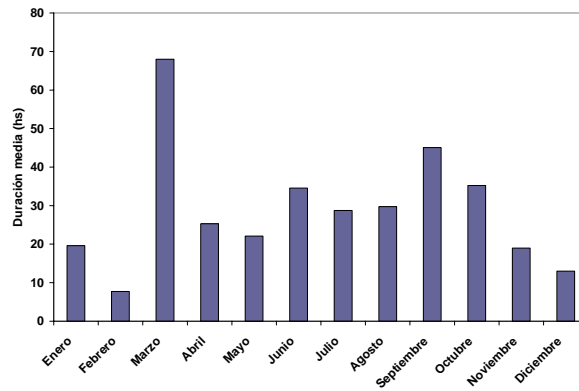


Figura 5. Duración media de la onda de tormenta negativa para el período 1979-2006

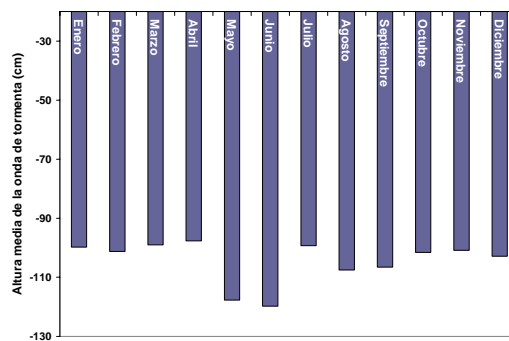


Figura 6. Altura media de la onda de tormenta negativa para el período 1979-2006

Trimestre	Duración media (h)	Altura media (cm)
Enero – Febrero – Marzo	32	-100
Abril – Mayo – Junio	27	-112
Julio – Agosto – Septiembre	35	-104
Octubre – Noviembre - Diciembre	22	-102

Tabla 1. Duración media e intensidad de las ondas de tormenta

ANÁLISIS DE BAJANTES

Se realizan estudios de permanencia mensuales y diarios de las alturas de marea observadas con la finalidad de analizar los egresos de buques de gran porte que necesiten de la marea. Para estimar los niveles de permanencia de las alturas horarias de marea observada en los distintos meses del año se realizan histogramas de frecuencias porcentuales con las 12 series de alturas horarias correspondientes cada una a la unión de archivos del mismo mes calendario, para todo el período considerado (1979 – 2006). La Tabla 2 brinda la estimación de los niveles de permanencia de las alturas horarias observadas para cada mes del año.

Intervalo	Mese											

(cm)	s											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
-100 a -80	-----	-----	-----	-----	-----	0.01	-----	-----	-----	-----	-----	-----
-80 a -60	-----	-----	-----	-----	-----	0.02	0.02	0.01	-----	-----	-----	-----
-60 a -40	-----	-----	-----	-----	0.03	0.08	0.13	0.02	0.08	0.02	0.01	-----
-40 a -20	0.01	0.02	0.03	0.03	0.13	0.35	0.37	0.31	0.34	0.10	0.06	0.04
-20 a 0	0.31	0.23	0.26	0.25	0.53	0.93	1.34	1.31	1.41	0.62	0.44	0.53
0 a 20	1.76	1.77	1.74	1.80	2.71	2.50	3.32	3.12	4.05	2.85	2.35	2.09
20 a 40	5.50	5.67	5.36	5.25	6.33	5.92	6.89	7.65	8.02	7.39	6.81	6.08
40 a 60	10.45	11.08	10.42	10.23	10.55	9.49	10.99	12.38	13.17	12.82	11.70	11.11
60 a 80	13.98	14.20	14.64	14.24	13.99	13.17	13.31	14.69	15.60	15.62	14.89	14.54
80 a 100	14.57	14.17	14.57	13.76	14.52	14.33	14.38	14.71	13.96	14.47	14.94	15.37
100 a 120	15.26	14.52	14.45	14.68	15.22	14.51	14.44	14.47	13.37	14.65	14.72	15.16
120 a 140	13.46	13.04	12.72	13.20	12.73	12.61	11.77	11.59	11.79	12.17	12.78	13.17
140 a 160	10.54	10.63	11.18	11.21	10.23	10.84	9.28	8.71	8.63	9.58	10.03	10.47
160 a 180	7.74	7.91	7.88	7.84	7.12	7.42	6.56	5.80	5.47	5.94	6.75	6.76
180 a 200	3.98	4.04	3.91	3.88	3.74	4.02	3.81	3.20	2.52	2.38	3.00	3.09
200 a 220	1.66	1.70	1.76	2.20	1.47	2.24	2.09	1.38	1.08	0.91	1.09	1.16
220 a 240	0.64	0.69	0.82	0.82	0.56	1.03	0.83	0.43	0.39	0.37	0.37	0.33
240 a 260	0.11	0.23	0.20	0.26	0.09	0.34	0.29	0.15	0.07	0.05	0.04	0.07
260 a 280	0.02	0.07	0.02	0.23	0.03	0.14	0.14	0.07	0.04	0.02	0.01	0.03
280 a 300	0.01	0.02	0.02	0.09	0.02	0.05	0.06	0.01	0.01	0.02	-----	-----
300 a 320	-----	0.01	-----	0.03	-----	0.01	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Tabla 2. Porcentaje de horas en que la altura horaria está comprendida dentro del rango señalado en la primera columna (la línea roja separa los intervalos positivos de los negativos)

La Tabla 3 brinda la permanencia diaria de la altura del agua por encima de los 30 cm para el período 1979 - 2006. Puede observarse que alturas entre 30 cm y 150 cm serán alcanzadas durante varias horas del día para todo el período analizado, comprendidas en el rango 23 h a 4 h. A partir de 180 cm la permanencia es menor reduciéndose a medida que este nivel aumenta. Se observa también que alturas por encima de los 270 cm no son frecuentes habiendo años completos en los que no se llegan a registrar.

Años	Horas del día en que el nivel está por encima de:									
	30cm	60cm	90cm	120cm	150cm	180cm	210cm	240cm	270cm	300cm
1979	22.5	18.8	13.4	8.3	4.3	3.0	1.7	1.2	3.0	1.0
1980	22.6	19.0	13.8	8.9	4.9	2.8	2.4	2.1	1.0	----
1981	22.6	18.9	13.4	8.2	4.0	2.0	1.5	0.4	----	----
1982	22.5	19.0	13.9	8.7	4.5	2.3	1.7	0.9	0.3	----
1983	22.2	18.4	13.0	8.0	4.0	2.1	1.9	0.6	----	----
1984	22.6	19.5	14.7	9.8	5.3	3.0	1.9	0.9	----	----
1985	22.8	20.4	15.8	10.7	6.1	3.4	1.6	0.7	----	----
1988	22.3	18.8	14.0	8.7	4.7	2.7	1.7	2.4	1.3	----

1989	22.5	18.5	13.1	7.8	4.0	1.9	1.9	1.7	3.5	1.0
1990	22.4	18.5	13.5	8.4	4.5	2.4	1.9	1.2	----	----
1991	23.0	18.3	12.9	7.9	4.3	2.3	2.3	1.4	0.3	----
1992	22.1	18.2	13.0	8.0	4.1	2.0	1.8	1.6	----	----
1993	22.2	18.4	13.0	8.0	4.0	2.1	1.9	0.6	----	----
1994	22.9	19.4	14.2	9.2	5.0	2.7	2.3	2.2	1.3	----
1995	23.1	19.9	14.9	9.8	5.6	3.0	2.4	2.2	1.4	----
1996	23.0	19.8	14.5	9.1	4.8	2.5	1.5	2.1	5.0	----
1997	23.0	20.0	15.0	10.1	5.6	2.9	2.1	2.1	2.4	2.0
1998	22.9	19.5	13.9	8.5	4.5	2.1	1.7	1.2	1.0	----
1999	22.4	18.5	13.0	8.0	4.3	2.4	1.4	1.5	0.7	----
2000	22.5	18.5	13.0	7.8	4.0	2.2	1.5	0.8	0.5	----
2001	21.6	17.0	11.3	6.5	3.4	2.0	1.3	0.4	----	----
2002	22.6	19.0	13.6	8.4	4.5	2.2	1.6	0.7	1.0	----
2003	22.8	19.6	14.9	9.8	5.7	3.1	2.3	1.5	1.3	----
2004	22.4	18.9	13.9	8.5	4.8	2.4	2.1	1.4	1.3	----
2005	22.7	19.5	14.8	9.4	5.1	2.5	1.8	0.6	----	----
2006	22.1	18.6	13.6	8.4	4.6	2.5	1.9	0.8	2.0	----

Tabla 3. Horas del día en que la altura del agua está por encima de diferentes niveles

BAJANTES EXTREMAS. APLICACIÓN DEL MÉTODO DE MÁXIMA ANUAL

La Figura 7 muestra los valores extremos más bajos anuales en función del tiempo para el período 1953-2006 que serán utilizados para estimar niveles para distintos períodos de retorno. Durante este período debido a fallas en el mareógrafo no se contó con datos para los años 1960, 1986 y 1987 por lo que estos años fueron completados con datos correspondientes a la estación mareográfica Mar del Plata siguiendo el procedimiento indicado por D'Onofrio et al., (1999). Todas las alturas están referidas al plano de reducción que pasa a 0.98 m por debajo del nivel medio. La bajamar más baja (-1.28 m) se registró en Agosto de 1959.

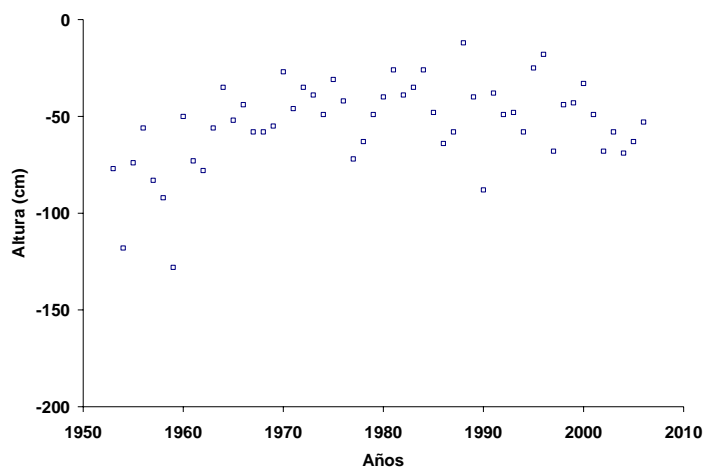


Figura 7. Bajamares más bajas anuales

Se utiliza el Método de Máxima Anual (MMA) que analizan al valor extremo como una única observación de características aleatorias. Este es un método clásico que ha sido utilizado por diversos autores como por ejemplo Lennon (1963), Suthons (1963), Graff (1981), D’Onofrio (2003). Normalmente se considera que la aplicación de este método es valida si la serie tiene un mínimo de 25 años (Pugh, 1996). La serie de bajamares más bajas anuales tiene una tendencia lineal de 0.52 ± 0.17 cm/año para el período 1953 – 2006. Previo a la aplicación del mencionado método, se elimina la tendencia presente en la serie siguiendo la metodología sugerida por (Graff, 1981). Partiendo de la distribución de valores extremos, propuesta por Jenkinson (1955), conocida como Generalized Extreme Value Distribution (GEV), se tiene:

$$F(x) = e^{-\left[1 - k \frac{x-u}{a}\right]^k}$$

donde k , u y a son parámetros que deben ser determinados. Los tres casos limitantes son: para $k = 0$, le corresponde la distribución Gumbel (o Fisher y Tippet Tipo I), para $k < 0$ le corresponde Fisher y Tppet Tipo II y para $k > 0$ Fisher y Tippet Tipo III. El mejor ajuste obtenido por el método de maxima verosimilitud ($k=0.086$), para el conjunto de datos utilizados indica que Fisher-Tippet Type I es la distribución más adecuada. El error estándar para un nivel de confianza del 95% se obtiene aplicando el método de los momentos presentado por Kite (1978). La Tabla 3 presenta las alturas extremas mínimas esperadas para períodos de retorno de 10, 20, 50 y 100 años, con sus correspondientes errores estándar.

PERIODO DE RETORNO (años)	ALTURA MÍNIMA (m)	ERROR ESTANDAR (m)
10	-0.70	0.07
20	-0.82	0.07
50	-0.99	0.07
100	-1.10	0.08

Tabla 3. Altura mínima para diferentes períodos de retorno

DISCUSION Y CONCLUSIONES

El análisis realizado muestra que las ondas de tormenta negativas tienen mayor frecuencia de ocurrencia en los trimestres correspondientes a otoño e invierno. Marzo es el mes en el que se presenta la mayor duración (68 h), sin embargo las mayores intensidades se observan en los meses de Mayo y Junio con alturas de -118 cm y -120 cm respectivamente. Del análisis estacional se desprende que los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre registran las ondas de tormenta negativas con menor duración media, mientras que las mayores intensidades medias se observan en otoño.

Si bien la marea astronómica y las ondas de tormenta responden a fenómenos físicos distintos como ser la atracción gravitatoria lunisolar y el efecto del viento respectivamente, es útil examinar el efecto conjunto de ambas. De este análisis surge que en todos los meses del año se observan alturas negativas que llegan a los -40 cm, observándose valores menores sólo en el período Mayo – Noviembre. Si bien la ocurrencia de alturas negativas es baja las mayores frecuencias se presentan en los meses de Julio, Agosto y Septiembre. Al analizar la permanencia diaria, es decir el número de horas promedio por año en que el nivel del agua supera una dada cota, se observa que niveles que varían desde los 30 cm hasta los 150 cm se registran durante más de tres horas por día. A partir de este valor la permanencia disminuye llegando a tener años en los que nunca se alcanza la altura de 270 cm.

Finalmente con el objeto de brindar una herramienta útil al momento de planificar obras de infraestructura dentro del puerto, se determinaron los períodos de retorno para las alturas más bajas anuales. Se detectó una tendencia positiva de las mismas (0.52 ± 0.17 cm/año) posiblemente debida al incremento del nivel del mar y a variaciones en los patrones meteorológicos. Pugh and Maul (1999), D'Onofrio et al. (2003) encontraron tendencias positivas del nivel medio del mar para la costa Argentina. Para Puerto Quequén, Lanfredi et al., (1998) obtuvieron una tendencia positiva de 0.16 ± 0.01 cm/año para el período 1918 – 1981. Esto indicaría que las alturas más bajas tenderán a ser cada vez menos bajas debido a que hay mayor nivel de agua. Por otra parte podría también desprenderse de este análisis que las ondas de tormenta positivas, las cuales no han sido estudiadas en este trabajo, también son afectadas por el ascenso del nivel medio. Debido a esto deben tenerse en cuenta en el momento de diseño y planificación de obras portuarias, ya que sirven de plataforma a las olas que pueden causar severos daños en las playas y construcciones costeras.

REFERENCIAS

- Balay, M. A.**, 1961. El Río de la Plata entre la atmósfera y el mar. Servicio de Hidrografía Naval, Armada Argentina, H-621, 166p.
- Cartwright, D. E.**, 1985. Tidal prediction and modern time scales. *Int. Hydrog. Rev.* Mónaco, LXII (1). January 1985, 127-138.
- D'Onofrio E.E., Fiore M.E. and Pousa J.L.**, 2008. Changes in the regime of storm surges in Buenos Aires, Argentina. *Journal of Coastal Research* 24,1A, 260-265.
- D'Onofrio E.E., Fiore M.M.E.** 2003. Estimación de niveles extremos en el Puerto de Buenos Aires contemplando el ascenso del nivel medio. V Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar. Mar del Plata, Argentina. Diciembre 2003. Poster.
- D'Onofrio E., Fiore M., Mayer F., Perdomo R. y Ramos R.**, 1999. La referencia vertical. Capítulo 6 del libro *Contribuciones a la geodesia en la Argentina de fines del siglo XX*. Publicado por la Universidad Nacional de Rosario. 99-128 p.
- Escobar G., Vargas W., and Bischoff S.** 2004. Wind Tides in the Rio de la Plata Estuary: Meteorological Conditions. *International Journal of Climatology* 24: 1159-1169.
- Fiore M.M.E., D'Onofrio E.E., Di Biase F.A.V., and Stadelmann M.A.**, 2001. Statistical analysis of storm surges in Buenos Aires. 2001 Joint Assemblies of the International Association for the Physical Sciences of the Oceans and International Association for Biological Oceanography. Mar del Plata, Argentina, October 2001. Poster.
- Graff, J.**, 1981. An investigation of the frequency distributions of annual sea level maxima at ports around Great Britain. *Estuarie, Coastal and Shelf Science*, 18, 389-449.
- Kite, G.W.**, 1978. Frequency and risk analyses in hydrology. Water Resources Publications. 224pp.
- Lanfredi, N.W., Pousa, J.L., and D'Onofrio, E.E.**, 1998. Sea-level rise and related potential hazards on the Argentine coast. *Journal of Coastal Research* 14(1), 47-60.
- Lanfredi, N.W., Pousa J.L., Mazio C.A. y Dragani W.C.**, 1992. Wave-power potential along the coast of the province of Buenos Aires. Argentina. *Energy* 17 (11): 997-1006
- Lennon, G.W.**, 1963. A frequency investigation of abnormally high tidal levels at certain west ports. *Proc. Instn. Civ. Engrs.*, 25, 451-484.
- Nabel P.E., Caretti M.** 2004: Anegamiento en la Ciudad de Buenos Aires. *Rev. Mus. Argentino Cienc. Nat* n.s. 6(2): 209-225
- Pugh, D.T. and Maul, G.A.**, 1999. Coastal Ocean Prediction. *Coastal and Estuarine Studies*, 56, 377-404.

Pugh, D.T., 1996. Tides, surges and mean sea - level. John Wiley & Sons Ltd. 472pp.

Schureman, P., 1988. Manual of harmonic analysis and prediction of tides. U.S. Govt. Printing Office, Washington, 317 pp. (1st. edition 1924; reprinted 1940, 1958, 1976, 1988).

Schnack, E.J., Fucks E:E, D'Onofrio E.E. y Baldelló G, 2007. Criterios geomorfológicos para la determinación de la línea de ribera en el litoral Atlántico de la Provincia de Buenos Aires. Informe Comisión de Investigaciones Científicas – Autoridad del Agua. Provincia de Buenos Aires, 35p

Servicio de Hidrografía Naval, 2009. Tablas de Marea. Servicio de Hidrografía Naval, Armada Argentina, H-610. 643 pág.

Suthons, C.T., 1963. Frequency of occurrence of abnormally high sea levels on the east and south coasts of England. Proc. Instn. Civ. Engrs. 25, 443-449.