

Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente



ASOCIACION ARGENTINA
DE GEOLOGIA APLICADA
A LA INGENIERIA

INDICE

Trabajo	Autor/es	Pág
Staff		I
Comisión Directiva		II
Evaluación de la conductividad hidráulica de suelos arcillosos para barreras impermeables de rellenos sanitarios	<i>Musso, Marcos - Pejon, Osni Jose</i>	1
Gestión de canteras viales en desuso en la provincia de Córdoba, Argentina	<i>Vidallé, E. - Gaido, M. F. - López, H. Bonansea, A. J. - Seia, E. O.</i>	9
Medidas de prevención de riesgos para evitar la contaminación de suelos en obradores de proyectos viales	<i>Martínez Vera, Diana. Nicolli, José Agustín</i>	19
Optimización de las obras de cierre para el control de inundaciones en el noreste pampeano	<i>Eberhardt, Marcelo G.- Arrúa, Pedro A. Aiassa, Gonzalo M. - Roberto E. Terzariol</i>	29
Qualidade das águas subterrâneas da Bacia Sedimentar de Campos dos Goytacazes-RJ, Brasil	<i>Nogueira Costa, Aline Alves, Maria da Glória - Polivanov, Helena Cardoso da Silva, Gérson Jr. Oliveira da Costa, Mirian Cristina</i>	37
Cambios inducidos por obras portuarias en ambientes de playa, Quequen provincia de Buenos Aires, Argentina	<i>del Río, Julio Luis - Alperin, Marta Bó, María Juliana López de Armentia, Adriana Álvarez, Jorge Rubén Camino, Mariana - Bazzini, Sergio</i>	53
Estudio hidroquímico del subsistema geohidrológico activo en la cuenca de los arroyos Martín-Carnaval, Buenos Aires, Argentina	<i>González, Nilda - Trovatto, M. M. Alvarez, M. del P. - Hernández, M. A.</i>	63
Regionalización de precipitaciones máximas acumuladas de 7, 15 y 30 días para las provincias de Chaco y Formosa ç	<i>Mendez, Guillermo José Ruberto, Alejandro Ricardo Pilar, Jorge Victor Depettris, Carlos Alberto</i>	71
Elaboración del mapa de usos del suelo para los cierres previstos sobre el río Colorado provincia de La Pampa y Río Negro - República Argentina	<i>Rodríguez, Karina Mónica R Celli, Alejandro Emmanuel Reynal, Héctor Raúl</i>	79
Geomorfología cuantitativa aplicada a la identificación de áreas de recarga preferenciales en la llanura interserrana de la provincia de Buenos Aires (Argentina)	<i>Quiroz Londoño, Orlando Mauricio Martínez, Gustavo Adolfo Massone, Héctor Enrique Martínez, Daniel Emilio</i>	91
Instrucciones para autores		99
Formulario de suscripción o compra		101
Institucional.		103



Cambios inducidos por obras portuarias en ambientes de playa, Quequen provincia de Buenos Aires, Argentina

del Río, Julio Luis ^{1,5} ✉ - Alperin, Marta ² - Bó, María Juliana ¹ - López de Armentia, Adriana ¹

Álvarez, Jorge Rubén ³ - Camino, Mariana ¹ - Bazzini, Sergio ⁴

Recibido: 07 de diciembre de 2010 • Aceptado: 19 de abril de 2011

Resumen

La zona de estudio ha estado signada por la construcción del puerto de Quequén desde las primeras décadas del siglo XX. El puerto Quequén presenta una localización estratégica para la exportación de los productos agropecuarios de la región del Sudeste bonaerense. Este puerto está conformado por dos escolleras, una al Noreste de 572 m y otra al Sur de 1200 m. En el año 2005 se inició la reparación, remodelación y prolongación de la escollera Sur. La obra estuvo destinada a disminuir las condiciones de olas en el interior del canal de acceso y mejorar las condiciones de navegación reduciendo además el tiempo de acceso y egreso de los buques al puerto. Esta obra ha generado preocupación y controversia social sobre la agudización de la erosión costera en las playas de las localidades de Quequén y Costa Bonita situadas al Este del puerto. En el presente trabajo se analizan las variaciones trimestrales del ancho de playa relevadas sistemáticamente desde el año 2004 al 2009. En el periodo analizado no se han encontrado evidencias concluyentes de la erosión costera previstas y adjudicable en forma directa a la Obra de Ampliación del Puerto de Quequén, sino parcialmente lo opuesto. Sin embargo es importante señalar que el lapso relevado, es corto en términos de series temporales.

Palabras clave: Erosión costera, ancho de playa, puerto.

Abstract

The study area has been marked by the construction of the Quequén port since the first decades of the XX century. Its strategic location is of extreme importance in the exporting of regional products manufactured in the South East area of Buenos Aires province. This port is formed by two breakwaters: one to the Northeast, of 572 m, and another one to the South, of 1200 m.

1 Universidad Nacional de Mar del Plata, Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario

✉ jldr@mdp.edu.ar

2 Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata

3 Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires

4 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

5 Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata, Funes 3350, Nivel + 1,80, 7600, Mar del Plata.

In 2005, repair, restructuring and extension works were carried out in the South breakwater. This work aimed at diminishing wave conditions in the inner part of the access canal, and enhancing navigation conditions as well as reducing the time used by ships to enter and leave the canal. These works have raised social concern and awareness over the intensification of coastal erosion in the beaches near Quequén and Costa Bonita, located at the East of the port.

The present work analyses three-monthly variations in the beaches width, systematically gathered between 2004 and 2009. Contrary to what was expected, in this period no

conclusive evidence has been found as to whether coastal erosion is directly associated to the works carried out in the port of Quequén. However, it is important to highlight that the analyzed period is rather short in terms of temporal series, so it can be argued that coastal erosion might, in part, be due to the Extension Works in the port.

Keywords: Coastal erosion, beach width, port.

INTRODUCCIÓN

La zona de estudio ha sido, desde las primeras décadas del siglo XX, objeto de una ocupación humana de singular intensidad signada por el desarrollo de la ciudad de Necochea y la construcción del puerto de Quequén en 1911.

Las ciudades de Necochea y Quequén, situadas a ambos lados de la desembocadura del río Quequén, y unidas por la dinámica económica, social y ambiental portuaria, cuentan con una población estable de 73.276 personas (INDEC 2001).

El puerto Quequén presenta una localización estratégica para la exportación de los productos agropecuarios de la región del Sudeste bonaerense, el 90 % del movimiento portuario corresponde a trigo, maíz y girasol, aceites y subproductos de estos. Las importaciones se circunscriben a fertilizantes a granel y combustibles (Pavarini, 2001). En la actualidad las principales actividades económicas regionales son la agrícola-ganadera, el turismo y la recreación, las nuevas urbanizaciones, la pesca y las actividades propias del puerto. Estas actividades, tan importantes en la economía regional, coexisten espacialmente con otras también relevantes compitiendo por los espacios costeros.

En efecto, si bien la mayor parte de la población local considera que en la actualidad la costa y las playas tienen una finalidad de uso destinados al goce recreacional, al momento de la construcción del Puerto, a principios del Siglo XX, el concepto de turismo de sol y playas estaba muy lejos de la importancia social y económica que tiene en la actualidad. Por tal motivo los diseñadores y constructores del Puerto seguramente no imaginaron que casi una centuria después nuevos actores sociales podían sentirse afectados negativamente por los efectos que, en la dinámica costera, pudieran provocar esta obra de ingeniería. Asimismo cabe mencionar que, tanto la ciudad de Quequén como su vecina Necochea, descargan sus efluentes cloacales en un sector de esta zona.

El puerto de Quequén está conformado por dos escolleras, una al Noreste de 572 m y otra al Sur de 1.200 m. En el año 2005 se inició la reparación, remodelación y prolongación de la escollera Sur. La obra estuvo destinada a disminuir las condiciones de olas en el interior del canal de acceso y mejorar las condiciones de navegación reduciendo además el tiempo de acceso y egreso de los buques al puerto. Esta obra de abrigo portuaria ha sido la más importante realizada en la primera década de siglo XXI en la República Argentina (Di Salvo, 2005), mientras que Isla (2006) ha considerado que "la escollera Sur del Puerto de Quequén indujo la acumulación de la playa de Necochea y provocó erosión al Este. Los trabajos de prolongación de estas escolleras provocarán peores perjuicios en el futuro".

Su remodelación implicó la utilización de 750.000 ton de rocas graníticas y la construcción de una coraza de hormigón del tipo monocapa (Core-Loc) para extender la escollera Sur 400 m con un cambio de enfilación que se aparta 15° hacia el SE con respecto al eje de la escollera original. El canal de acceso tiene una solera de 120 m de ancho y una profundidad en la zona protegida de 14 m (46 pies).

Si bien se logró mejorar la competitividad del Puerto Quequén al reducir en más de un 80% la cantidad de días de cierre del puerto y garantizar su operatividad durante casi todo el año, ha generado preocupación y controversia social sobre los posibles efectos negativos (en particular la inducción de la erosión costera) de la obra sobre el ambiente costero en localidades como Quequén (Bahía de los Vientos) y Costa Bonita situadas al Este del puerto.

El presente trabajo tiene por objetivo analizar y caracterizar los efectos que ha tenido la reciente ampliación del Puerto Quequén sobre la dinámica de las playas situadas al Este del mismo.

CARACTERIZACION DEL ÁREA

El área de estudio se ubica en la costa atlántica de la provincia de Buenos Aires, en un sector de 6 km de playas comprendido entre Quequén (Bahía de los Vientos) y Costa Bonita, inmediatamente al Este de la localidad de Necochea (Figura 1).

Se encuentra localizada dentro de la zona litoral del dominio fisiográfico Pampa Interserrana (Frenguelli, 1950), entre las Sierras Australes y Sierras Septentrionales de la provincia de Buenos Aires. Esta región con escaso gradiente tiene una superficie de 4.000 km². El clima de la región según la clasificación de Burgo y Vidal (1951) es subhúmedo-seco, con nulo o pequeño exceso de agua. De acuerdo con su eficiencia térmica es mesotermal "B2". Kruse et al. (1996) y Varela y Teruggi (2001) establecen que la distribución de las precipitaciones anuales revelan una tendencia incremental desde fines del siglo XIX (550 mm/año) hasta el 2000 (900 mm/año), por lo tanto la caracterización climática se tornaría subhúmeda-húmeda, mesotermal, con nula deficiencia de agua en la actualidad.

La zona soporta diversas condiciones meteorológicas que son responsables de la generación de olas de alta capacidad erosiva. Celemin (1984) las sintetiza como: ondas frontales, centros de baja presión próximos a la costa y líneas de inestabilidad. Las dos primeras son las que mayor significación tienen en la generación de temporales intensos y persistentes que llegan a producir olas de gran altura. También son responsables del desarrollo de lluvias, nieblas, tormentas eléctricas y fuertes vientos, y generalmente, desembocan en fuertes temporales del SW (Pamperos) y del SE (Sudestadas).

Las mareas presentan amplitudes medias de sicigias de 1,28 m y 0,91 m en cuadraturas (Lanfredi y D'Onofrio, 1988). El régimen de marea es de tipo de desigualdades semidiurnas con una amplitud astronómica máxima de 1,86 m y una duración de la bajante de 6,40 minutos. 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 para el mismo periodo es 2,10 m (Fiore et al., 2009). Para un ciclo de 64 años de alturas horarias de marea se ha registrado una tendencia incremental de 1,6 mm/año (Lanfredi y D'Onofrio, 1988).

Pugh y Maul (1999), D'Onofrio et al. (2003) encontraron tendencias positivas del nivel medio del mar para la costa Ar-

gentina. Para Puerto Quequén, *Lanfredi et al. (1998)* obtuvieron una tendencia positiva de 0.16 ± 0.01 cm/año para el período 1918-1981.

La playa de este sector se destaca por presentar una zona de acumulación inmediatamente al ENE de la escollera Noroeste del Puerto Quequén y un área con rasgos cada vez más erosivos hacia el E de esta zona, como acantilados y plataformas de abrasión labrados sobre limos entoscados Cuaternarios. En la zona de acumulación el perfil dinámico de la playa supramareal se encuentra comprendido por extensas playas frontal y distal, y un espaldón que articula con una duna costera poco vegetada y móvil (*del Río et al., 2004*). El campo de dunas presenta, como forma dominante, dunas parabólicas muy erosionadas y degradadas con una longitud entre 300-600 m, 200-350 m de ancho y una altura 4-6 m sobre el terreno circundante (*Teruggi et al., 2001*).

Es necesario señalar, que hacia el Este, a 1.500 m de la escollera Norte, aflora durante la bajamar una plataforma de abrasión de unos 700 m de largo que luego es parcialmente cubierta por sedimentos arenosos. Esta plataforma de abrasión reaparece expuesta a los 2.500 m de distancia de dicha escollera y se extiende hacia el Este por unos 1.700 m más.

Por otra parte, desde un punto de vista granulométrico, las playas aledañas a la escollera, muestran una importante participación de arenas finas tanto en la playa distal como en la frontal, como respuesta a la participación del agente eólico en el transporte de sedimentos en todos los sectores de playa. En el extremo oriental de la zona de estudio, correspondiente a la localidad de Costa Bonita, la playa distal muestra un típico

aspecto de playa de tormenta, con importantes acumulaciones de material psefítico, conocidas como rodados de tormenta. Algo semejante también se revela en la playa de bolsillo situada en el área central a 3 km de la escollera, donde los sedimentos de granulometría gruesa (guijarro) son muy habituales (*del Río et al., 2010*).

ANTECEDENTES

La zona estudiada ha sido objeto de numerosos trabajos, particularmente en tiempos recientes, como resultado de la preocupación tanto de la comunidad local como científica, respecto a los efectos y alcance de los impactos ambientales generados por las obras de ampliación y canalización del Puerto.

Ya en los trabajos tempranos de *Teruggi (1959)*, sobre las características texturales y mineralógicas de las arenas de playa de la provincia de Buenos Aires, se reconocía este sector costero como de características erosivas. *Kokot y Otero (1999)* y *Corizzo e Isla (2000)* reconocen la existencia de un proceso erosivo de la costa de Quequén influido por el efecto de pantalla provocada por las escolleras que alteran la deriva litoral principal. *del Río et al. (2003)* reconocen, además de la mera presencia de las escolleras, una concurrencia de acciones antrópicas vinculadas a la urbanización que potencian los efectos erosivos en esta costa.

Marcomini y López (2005) analizan los rasgos morfológicos de la costa Sur de la provincia de Buenos Aires entre las localidades de Las Grutas, Necochea, Quequén y Costa Bonita. Desde una perspectiva geomorfológica, reconocen la presencia de acantilados activos, el desarrollo de rampas eólicas,

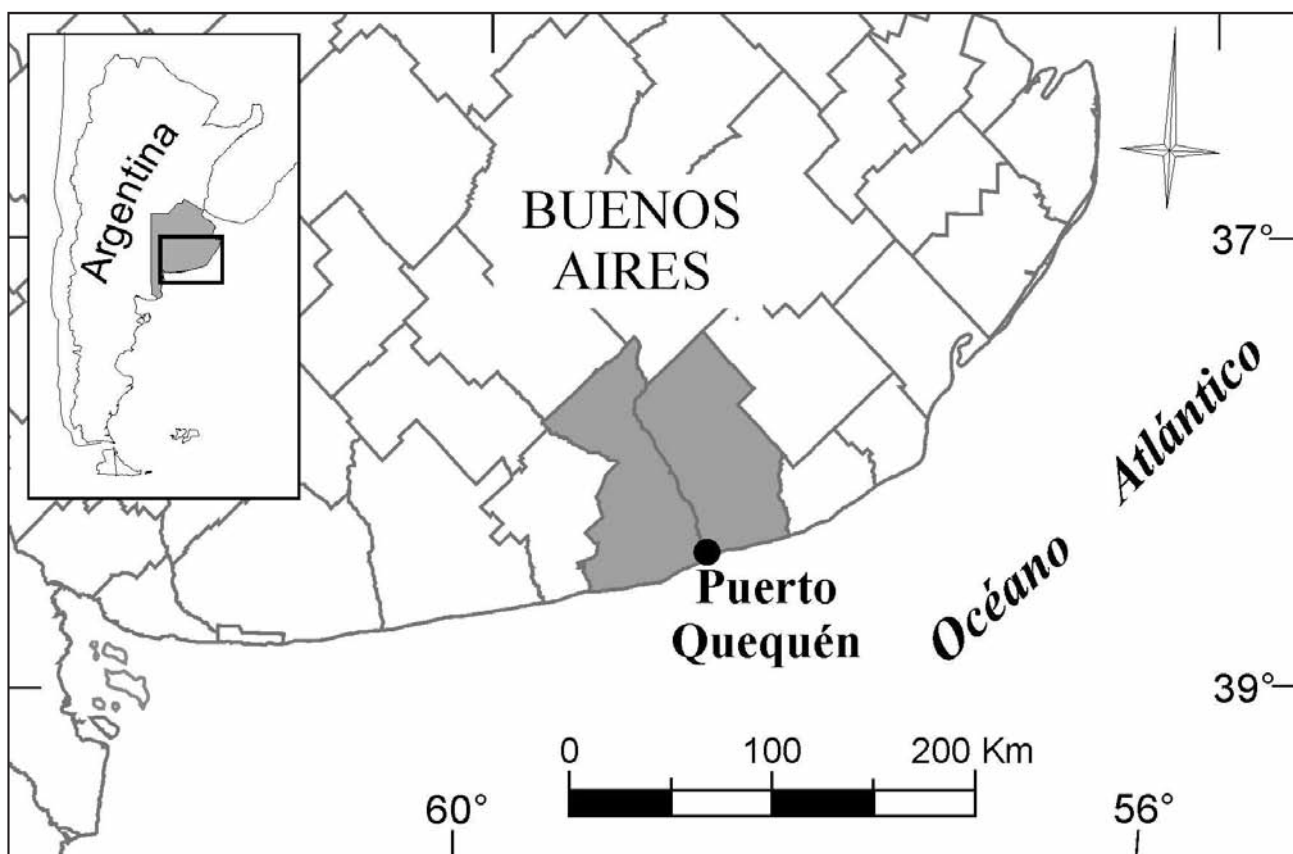


Figura 1. Mapa de Ubicación.

las que se generan por lo general en acantilados cubiertos por campos de dunas activos y playa. Estos autores identifican la construcción de las escolleras como un factor de alteración en la hidrodinámica costera que ha ocasionado un desbalance en la deriva neta.

Isla (2006), Isla y Bértola (2006) e Isla et al. (2009) observan estas características erosivas donde se conjugan acciones antrópicas y naturales, y proponen distintas alternativas para su control.

Marcomini et al. (2007) determinaron la vulnerabilidad costera en función de geoindicadores. Estos autores destacan la relevancia del aporte sedimentario eólico en la estabilidad de los acantilados y el perfil costero.

Isla et al. (2009), han analizado recientemente un estudio de la costa entre de Lobería y Necochea. En este trabajo enuncian que la construcción de las escolleras del puerto de Quequén indujo a la acumulación de arena en el sector Oeste (Costa de Necochea), y proceso erosivo de los acantilados y en las playas del Este del Puerto (Costa de Quequén). Consideran en general que las playas de la zona de Quequén presentan una mayor variabilidad como resultado de la escasa cantidad de arena.

MATERIALES Y MÉTODOS

Trabajos de campo

Se ha iniciado en el año 2004 un programa de monitoreo estacional tendiente a determinar los efectos y consecuencias que han tenido, sobre el recurso playa, las obras relacionadas con la extensión de la escollera Sur.

Se realizaron relevamientos del ancho de playa (parte proximal y distal) con teodolito en nueve perfiles topográficos perpendiculares a la línea de costa, con una periodicidad trimestral, partiendo de puntos fijos relacionados con la red del Instituto Geográfico Nacional (Tabla 1, Figura 2).

Las mediciones fueron realizadas durante la estoa en bajamar desde la orilla de la playa o el inicio de plataformas de abrasión hasta la base del acantilado, o base de la duna. El sector relevado cubre una extensión de 6 km y el lapso considerado abarca desde septiembre de 2003 a diciembre del 2009.

Tabla 1. Ubicación de los perfiles

Perfil	Latitud S	Longitud W	Azimut
1	38° 34' 33,2"	58° 41' 41,2"	156°
2	38° 34' 23,8"	58° 41' 11,9"	170°
3	38° 34' 19,8"	58° 40' 46"	177°
4	38° 34' 18"	58° 40' 33,8"	172°
5	38° 34' 13,8"	58° 40' 13,5"	172°
6	38° 34' 12,5"	58° 40' 05,4"	175°
7	38° 34' 10,9"	58° 39' 41,7"	173°
8	38° 34' 04,8"	58° 39' 02,8"	160°
9	38° 33' 47,2"	58° 37' 48,7"	176°

Morton (1996) propone el ancho de la playa, la morfología de la costa y la composición de la playa intermareal como geoindicadores para establecer los movimientos de la línea de costa. En este trabajo se presentan los resultados del monitoreo del primero de ellos.

Además, sobre estos perfiles se procedió al muestreo del material de playa, tomándose muestras de sedimentos representativas de playa frontal, playa distal y duna para su caracterización general y posteriores estudios específicos.

Análisis estadístico de las variaciones del ancho de la playa

Para analizar la evolución temporal del ancho de playa de los perfiles para el periodo mencionado se utilizó la metodología tradicional de análisis de series de tiempo puesto que se contaba con 26 mediciones para los perfiles 1 a 8 y 16 mediciones para el perfil 9 que fue incorporado al relevamiento en el otoño de 2005. Cabe aclarar que durante el 2009 el perfil 5 fue afectado por la construcción de un rompeolas paralelo al pie del acantilado que impidió su levantamiento.

Se efectuaron 4 mediciones por año en fechas que rondan el 21 de cada mes de cambio de estación. De algún modo, estas mediciones efectuadas en marzo, junio, septiembre y

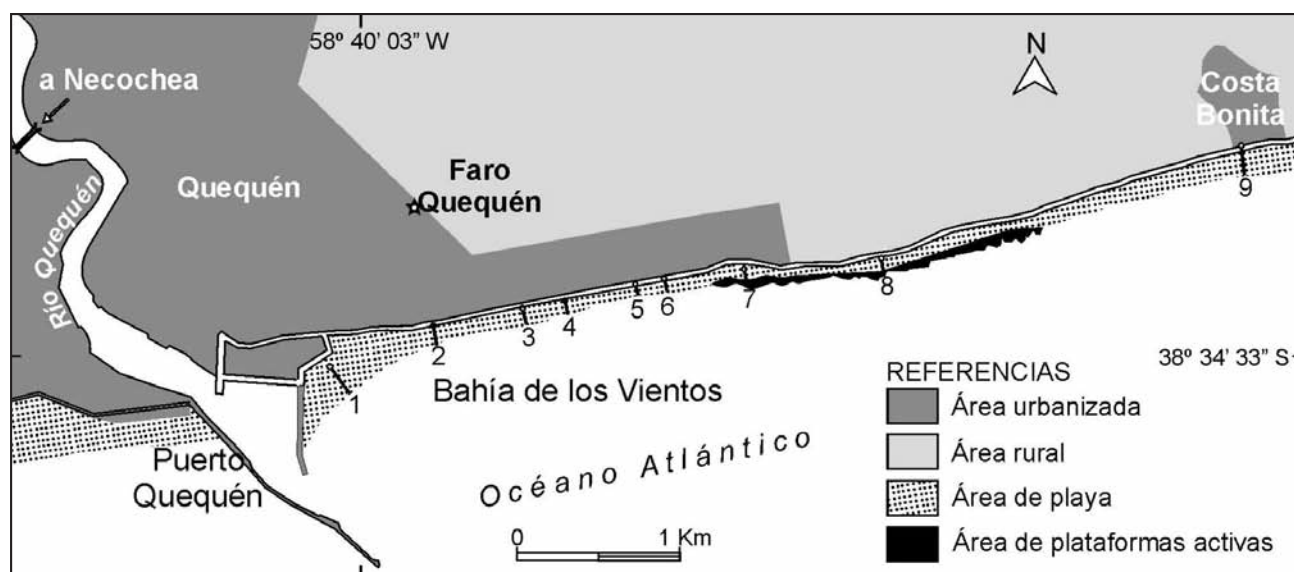


Figura 2. Ubicación perfiles de playa

diciembre reflejan los eventos ocurridos en el verano, el otoño, el invierno y la primavera, respectivamente.

A los efectos de poder realizar comparaciones entre perfiles se utilizó el estadístico coeficiente de variación (CV) que se calcula como el cociente entre el desvío estándar y la media.

Las series se ajustan a modelos multiplicativos

$$y_t = T_t \cdot VE_t \cdot C_t \cdot R_t \quad (1)$$

donde:

y: ancho de playa

T: es la tendencia

VE: son las variaciones estacionales

C: es la componente cíclica

R: son las fluctuaciones irregulares

Se exploró la existencia de tendencias calculando las rectas que mejor ajustan a cada serie con el método de mínimos cuadrados. Se estudió la presencia de la componente estacional utilizando medias móviles centradas de periodo 4 y se calcularon los índices específicos de variación estacional correspondientes (SI: cociente entre dato y media móvil centrada del mismo periodo para el año siguiente). Se realizó un ANOVA para evaluar las diferencias entre índices estacionales.

Las series son cortas para aislar la componente cíclica pero se evaluó lo sucedido en tres periodos relacionados con la construcción de la obra con pruebas de ANOVA (se utilizó un nivel de significación de 5%). Las tres etapas consideradas fueron:

Etapas anterior a la obra (A): comprende los muestreos realizados en septiembre y diciembre de 2003, marzo, junio, septiembre y diciembre de 2004.

Etapas de construcción de la obra (C): abarca los muestreos de marzo, junio, septiembre y diciembre de 2005, marzo, junio, septiembre y diciembre de 2006.

Etapas posterior a la obra (P): incluye los muestreos de marzo, junio, septiembre y diciembre de 2007, 2008, y 2009.

De acuerdo con el modelo de serie temporal al que se ajustan los datos, la variación del ancho de playa sufrida durante una estación del año puede ser analizada como el cociente entre el ancho de playa de una estación del año respecto a la estación anterior:

$$\text{Cambio} = y_t / y_{t-1} \quad (2)$$

donde

y: ancho de playa

t=tiempo

t-1=tiempo anterior a t

Se define una fase de ampliación (A) como aquella en la que el ancho de playa aumenta respecto a la estación anterior y una fase de reducción (R) como aquella en la que el ancho de playa disminuye respecto a la estación anterior.

Importó también analizar el patrón de sucesión de estados de reducción y ampliación. Para este análisis se utilizó el Test de Rachas de Wald-Wolfowitz (se utilizó un nivel de significación de 5%; (Davis, 2001). Se utilizó un Índice de Coincidencias (ICo) para explorar la existencia de auto asociación. ICo es igual al cociente entre el número de coincidencias ocurridas simultáneamente (ampliación y reducción) y el número total de posibles comparaciones y se realizaron pruebas de significación (Davis, 2001). Se utilizaron desfases de 1 y 4 pasos.

Por último se compararon los patrones de variación entre perfiles sucesivos con el Índice de Coincidencias.

RESULTADOS

Análisis del ancho de la playa durante el 2003-2009

Tendencias

El ancho promedio de playa cambia de perfil en perfil a través del periodo analizado. El perfil 1, el más cercano a la escollera, presentó el ancho de playa promedio mayor (154 m) seguido por el perfil 9 de Costa Bonita (68 m) situado en el extremo Este de la zona de estudio. Las playas de menor ancho promedio fueron las de los perfiles 7, 6 y 5 (24, 25 y 28 m respectivamente). El perfil 8, considerado como una playa de bolsillo, presenta la menor variabilidad (CV 19%). Los perfiles 6, 4 y 5, situados en un sector de transición entre el extremo lindante con la escollera y la zona acantilada situada al Este, son los perfiles más variables (CV 63%, 62% y 44% respectivamente), aquellos en los que en algún monitoreo la playa no estaba desarrollada (ancho cero) (Tabla 2).

Tabla 2: Tabla de datos estadísticos. DE: Desvío estándar, CV: Coeficiente de variación.

		Etapas											
		Septiembre/03-diciembre/09			Anterior a la Obra			Construcción de la Obra			Posterior a la Obra		
		Media (m)	DE (m)	CV (%)	Media (m)	DE (m)	CV (%)	Media (m)	DE (m)	CV (%)	Media (m)	DE (m)	CV (%)
Perfil	P1	154	35	23	114	31	27	138	18	13	177	23	13
	P2	55	13	23	60	12	20	49	11	23	48	9	20
	P3	48	14	30	46	16	34	50	15	29	43	12	27
	P4	42	26	62	37	20	53	28	11	38	43	31	72
	P5	28	12	44	19	7	35	30	8	27	31	17	54
	P6	25	16	63	18	15	85	32	16	50	25	17	68
	P7	24	6	25	30	5	16	23	5	21	22	5	25
	P8	30	6	19	30	9	28	32	3	8	29	4	13
	P9	68	16	23	--	--	--	75	11	15	63	16	26

Los cambios en el ancho de la playa son diferentes en todos los perfiles. En el perfil 1 hay evidencias de una tendencia hacia el ensanchamiento, en tanto los perfiles 2 y 9 tienden hacia la reducción (aunque el ajuste es malo en todos los casos, las pendientes pueden considerarse significativas, $p > 0,001$). La playa de los perfiles 3, 4, 5, 6, 7 y 8 no presentan ninguna tendencia (Figura 3 a, b, c).

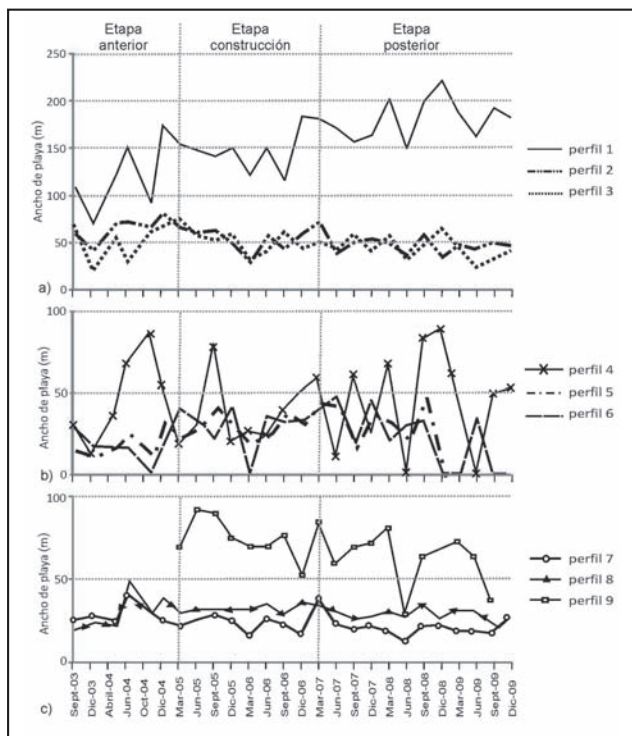


Figura 3. Evolución del ancho de playa durante el periodo estudiado.
a) Perfiles 1, 2 y 3. b) Perfiles 4, 5 y 6. c) Perfiles 7, 8 y 9.

Cambios estacionales

Los cambios del ancho de playa no presentan una componente estacional. Los resultados de las pruebas de hipótesis de ANOVA realizadas con los índices estacionales (SI) fueron no significativas en todos los perfiles ($p < 0,05$) (Figura 4). Se destacan, sin embargo tres índices: en el perfil 4 el valor máximo de invierno (1,77) y el mínimo de otoño (0,64) que indican ampliación y disminución excepcionales del ancho de playa, en tanto en el perfil 6 el índice de otoño es un máximo (1,45).

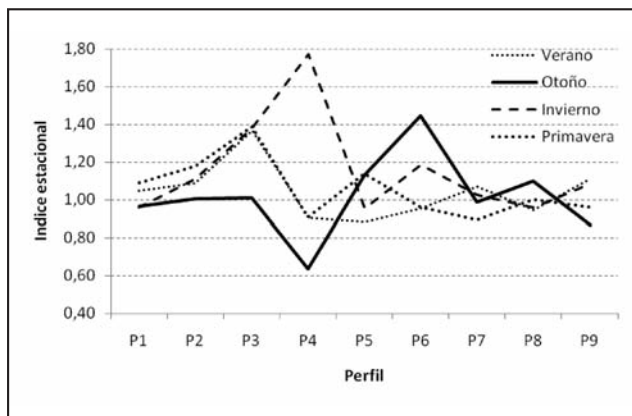


Figura 4. Índices estacionales.

Análisis diacrónico del ancho de playa en relación a la obra de ampliación del puerto

El análisis del cambio en el ancho de playa durante las etapas consideradas revela diferencias entre los perfiles. Las pruebas de ANOVA realizadas detectaron que los perfiles ubicados en el sector intermedio (3, 4, 5 y 6) y los más alejados (8 y 9), no presentan cambios. Los perfiles más cercanos a la escollera (1 y 2) y el perfil 7 mostraron diferencias significativas durante las tres etapas. En el perfil 1, si bien el ancho aumentó durante las etapas de C y P respecto a la etapa A, solo el ancho medio de la etapa P es significativamente mayor que el de las etapas A y de C. En los perfiles 2 y 7 el ancho de playa disminuyó desde la etapa A y se mantuvo con el mismo ancho en las etapas C y P ($p \geq 0,05$) (Tabla 2, Figura 5).

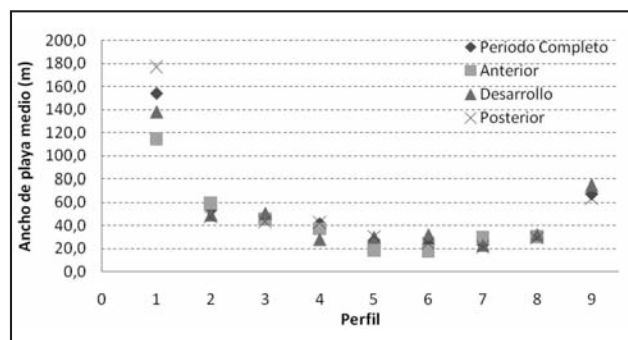


Figura 5. Ancho de playa promedio por etapas.

Ampliación y reducción del ancho de playa.

Patrón de variación. Similitudes y diferencias entre perfiles

En la mayoría de los perfiles predominan los episodios de ampliación de la playa entre estaciones consecutivas, solo en los perfiles 1 y 8 hay mas eventos sucesivos de reducción (Tabla 3). Por otra parte los episodios de ampliación y reducción se producen al azar, no hay evidencias de rachas, no hay memoria de lo ocurrido en la estación anterior ni patrones estacionales ($p \geq 0,05$) (Tabla 4).

El análisis de las semejanzas del patrón de cambios (ICo) indica que para el periodo total los únicos perfiles parecidos entre si son el 1 y el 2. Por otro lado, durante la etapa anterior a la obra sólo los perfiles 1 y 2 muestran un patrón idéntico, en tanto en la etapa de construcción los perfiles no presentan semejanzas entre sí, y sólo el patrón de los perfiles 3 y 4 es idéntico en la etapa posterior a la obra (Tabla 5).

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el periodo en el cual se ha desarrollado el presente estudio se ha podido establecer un conjunto de aspectos que en gran medida relativizan algunos de los supuestos e hipótesis originales.

En efecto, aunque la mayoría de las opiniones que se vertieron al momento de la realización de la obra de ampliación de la escollera del puerto auguraban que se desencadenaría un proceso agudo de erosión de playa y costero en la zona situada al Este de la escollera (Isla, 2006, Isla et al., 2009; Kokot y Otero, 1999; Marcomini y López, 2005, Marcomini et al., 2007) las tendencias evidenciadas en los monitoreos de ancho de playa revelan que tales pronósticos no se han concretado tal como se estimaba. Si bien Isla et al. (2009) enuncian que las playas

Tabla 3. Eventos de reducción [R] y ampliación [A] del ancho de playa. O: otoño, I: invierno, P: primavera, V: verano, N°C: número de comparaciones, N°A: número de eventos de ampliación, N°R: número de eventos de reducción.

	I-P/03	P/03-V/04	V-O/04	O-I/04	I-P/04	P/04-V/05	V-O/05	O-I/05	I-P/05	P/05-V/06	V-O/06	O-I/06	I-P/06	P/06-V/07	V-O/07	O-I/07	I-P/07	P/07-V/08	V-O/08	O-I/08	I-P/08	P/08-V/09	V-O/09	O-I/09	I-P/09	N°C	N°R	N°A
P1	R	A	A	R	A	R	R	A	R	R	A	R	A	R	R	A	A	R	R	A	A	R	R	A	R	25	14	11
P2	R	A	A	R	A	R	R	A	R	R	A	R	A	A	R	A	A	R	R	A	R	A	R	A	A	25	12	13
P3	R	A	R	A	A	A	R	R	A	R	A	A	R	A	R	A	R	A	R	A	A	R	R	A	A	25	11	14
P4	R	A	A	A	R	R	A	A	R	A	R	A	A	A	R	A	R	A	R	A	A	R	R	A	A	25	10	15
P5	R	A	A	R	A	R	A	A	R	R	A	A	R	A	R	R	A	R	R	A	R	A	A	A	A	25	11	14
P6	R	R	R	R	A	A	R	R	A	R	A	R	A	A	A	R	A	R	A	A	R	A	A	R	A	25	12	13
P7	A	R	A	R	R	R	A	A	R	R	A	R	R	A	R	R	A	R	R	A	A	R	A	R	A	25	14	11
P8	A	R	A	R	A	R	A	A	A	A	A	R	A	R	R	R	A	A	R	A	R	A	A	R	A	25	10	15
P9								A	R	R	R	R	A	R	R	A	A	A	R	A	A	A	R	R	A	18	9	9

Tabla 4. Índice de Coincidencias (ICo). Prueba de significación de ICo Chi cuadrado con nivel de significación de 5%.

	Perfiles								
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Desfasaje 1 paso	0,33	0,25	0,29	0,38	0,38	0,38	0,33	0,33	0,53
Desfasaje 4 pasos	0,45	0,68	0,41	0,36	0,64	0,50	0,50	0,41	0,60

Tabla 5. Índice de Coincidencias (ICo). Prueba de significación de ICo Chi cuadrado con nivel de significación de 5%. En *italicas* los valores significativos.

ICo	Perfiles							
	P1-P2	P2-P3	P3-P4	P4-P5	P5-P6	P6-P7	P7-P8	P8-P9
I Co Total	0,72	0,52	0,64	0,55	0,46	0,52	0,68	0,67
I Co Anterior	<i>1,00</i>	0,57	0,57	0,71	0,43	0,29	0,29	
I Co Construcción	0,63	0,38	0,25	0,38	0,38	0,38	0,38	0,63
I Co Posterior	0,30	0,50	<i>1,00</i>	0,33	0,83	0,78	0,70	0,70

situadas al Oeste del puerto son muy extensas mientras que las del Este se reducen a solo 40-60 m, es necesario precisar en qué porciones del segmento costero entre la escollera y Costa Bonita se dan estas longitudes, toda vez que desde la escollera hacia el Este se produce un acúñamiento del ambiente de playa sumamente ostensible con la reducción de los distintos subambientes de acumulación (*del Río et al., 2004*) con valores promedios extremos entre 24 y 154 m.

Los relevamientos estacionales realizados trimestralmente desde septiembre de 2003 a diciembre de 2009, indican que los cambios en el ancho de la playa son diferentes en todos los perfiles. Si bien no se perciben variaciones con un patrón estacional, ocurren variaciones de perfil en perfil que difieren en magnitud y en carácter. Sólo en el perfil 1, el más cercano a la escollera, hay evidencias estadísticamente significativas de una ampliación del ancho de playa, en tanto los perfiles 2 y 9 tienden hacia la reducción. Los restantes perfiles relevados no muestran tendencias definitivas.

El perfil 1 presentó el mayor ancho de playa promedio, seguido por el perfil 9 de Costa Bonita situado en el extremo

Este de la zona de estudio. Por otro lado, las playas de menor ancho promedio fueron las de los perfiles 7, 6 y 5. Los perfiles 4, 6 y 5, son los más variables y son aquellos en los que, en algún monitoreo, la playa no estaba desarrollada. El perfil 8 es el que presenta menor variabilidad.

Por otra parte, durante el periodo de la construcción de la escollera el ancho de la playa se modificó sólo en el sector de los perfiles próximos a la obra (1 y 2) y los ubicados más al Este (7, 8 y 9). Una vez concluida la obra se restauró el ancho original o aumentó.

Desde un punto de vista granulométrico, las playas de los perfiles extremos 1 y 9 presentan un aspecto contrastante, en el caso del primero predominan arenas finas y medianas donde es posible advertir sobre la playa frontal y distal extensos mantos formados por ondulas de arena eólica; mientras que en el último, junto a arenas medianas y gruesas, se encuentran abundantes rodados de tormenta (Figura 6). En el resto de los perfiles predominan las arenas gruesas (3 al 6) y muy gruesas (7 y 8) (*del Río et al., 2010*).



Figura 6. Vista lateral a) Perfil 1 b) Perfil 9

Estas características permiten inferir que en el sector más próximo a la escollera la participación eólica en los procesos es más importante, mientras que hacia el oriente de la zona de estudio dominan las olas de alta energía en tanto los procesos de acumulación eólica son menos destacados.

Por todo lo expuesto, el sector costero analizado comprendido entre la escollera Norte hasta Costa Bonita, en función de sus rasgos morfológicos, del comportamiento dinámico de los perfiles de playas y sus características texturales es susceptible de ser subdividido en cuatro sectores (Figura 7):

1. Sector de acumulación proximal a la obra: Playa extensa con una playa distal muy bien desarrollada con predominio de arenas medianas a finas, con tendencia a la acumulación de sedimentos y alta participación de la componente eólica en el proceso de transporte y sedimentación. Corresponde al sector entre los perfiles 1 y 2.
2. Sector de transición: Playas de arenas con una porción distal pobremente desarrollada o ausente, con habitual exposición de plataformas de abrasión (restingas) en el perfil. Corresponde al sector, situado entre los perfiles 2 y 6, afectado fundamentalmente por la difracción de las
3. Sector de playas de bolsillo: Playas con destacada presencia de material arenoso muy grueso a psefítico, de pequeña extensión, con porciones distales muy pobremente desarrolladas o ausentes, muy estables y con amplias plataformas de abrasión en la porción inferior del perfil. Corresponde al sector, situado al Este del perfil 6 hasta sector situado al Oeste del perfil 9.
4. Sector distal: Playas arenosas bien desarrolladas o con fuerte presencia de rodados de playa en la porción distal, en general son estables a erosivas y con presencia de plataformas de abrasión. Corresponde al sector, situado al Este del perfil 8 hasta costa Bonita (perfil 9).

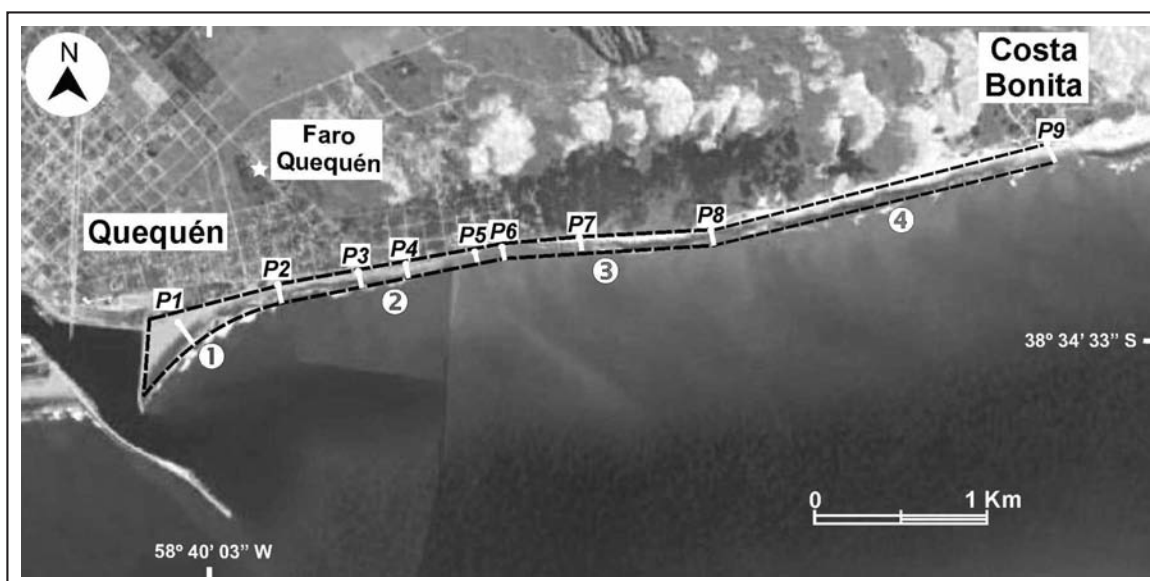


Figura 7. Sectores identificados en el área de estudio. P: Perfil, 1: Proximal, 2: Transición, 3: Playa de bolsillo, 4: Distal

CONCLUSIONES

De acuerdo con lo expuesto previamente, son los sectores de acumulación proximal a la obra y de transición los que con mayor sensibilidad han respondido a las obras de ampliación del Puerto sobre el ambiente de playa.

Es en particular el perfil 1 (correspondiente al primer sector) el que más definitivamente ha mostrado una tendencia acrecional durante el lapso analizado, por efecto esencialmente de contraderiva.

El segundo sector ha revelado una gran variabilidad del ancho de playa a través de todo el periodo de observación, alternando épocas de erosión y de acreción.

Los sectores de playas de bolsillo y distal, situados más al Este, no parecen reflejar una influencia significativa de la obra en cuestión, en particular en la variación y la dinámica del ancho de playa.

En síntesis podemos concluir que para el periodo analizado no se han determinado los fenómenos de erosión costera previstos y adjudicables en forma directa a la Obra de Ampliación del Puerto de Quequén. Sin embargo es importante señalar que el periodo relevado, es corto en términos de series temporales, por lo que no se puede pensar que el comportamiento descripto se vaya a mantener de manera indefinida.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los profesionales y las autoridades del Consorcio de Puerto Quequén por las facilidades aportadas y la autorización para utilizar y publicar los datos emergentes del contrato de asistencia técnica con la UNMDP.

Agradecemos a los revisores por sus correcciones y sugerencias efectuados sobre el manuscrito que contribuyeron a mejorar el presente trabajo.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- BURGOS, J. J. Y A. L. VIDAL, 1951.
Los climas de la República Argentina, según la nueva clasificación de Thornthwaite.
Rev. Meteoros, N° 1(1): 3-32. Buenos Aires.
- CELEMÍN, A.H., 1984.
Meteorología práctica.
Edit. del Autor. 313 pp. Mar del Plata.
- CORTIZO, L. C. AND F. I. ISLA, 2000.
Land cover and cliff retreat along the coasts of Necochea and Lobería. Argentina.
IX simposio Latinoamericano de Percepción Remota. Actas en CD.
- DAVIS, J. C., 2001.
Statistics and data analysis in geology.
3rd Edition. Ed. John Wiley and Sons Limited. 638 pp. New York.
- DEL RÍO, J.L., LÓPEZ DE ARMENTIA, A., ÁLVAREZ, J.R., CAMINO, M., MARTÍNEZ ARCA, J. Y M. J. BO, 2003.
Análisis sedimentario y topográfico del sector costero de bahía de los vientos, Quequén, Provincia de Buenos Aires.
Informe Dycasa Sociedad Anónima - Dragados Obras y proyectos S.A. -UTE. 60 pp.
- DEL RÍO, J. L., LÓPEZ DE ARMENTIA, A., ÁLVAREZ, J. R., BÓ, M. J., MARTÍNEZ ARCA, J. Y M. CAMINO, 2004.
Erosión costera por inducción antrópica en Quequén-Costa Bonita, Provincia de Buenos Aires, República Argentina.
Actas del IV Congreso Uruguayo de Geología - II Reunión de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, en CD.
- DEL RÍO, J. L., LÓPEZ DE ARMENTIA, A., BÓ, M. J., ALVAREZ, J., ALPERÍN, M., BAZZINI, S. Y M. CAMINO, 2010.
Auditoria Geoambiental y Monitoreo Sistemático Estacional de las playas de Quequén, Prov. de Buenos Aires.
Informe Inédito. Consorcio de Gestión del Puerto Quequén - UNMDP.
- D'ONOFRIO E. E., FIORE M. Y M. E. SOBRE-CASAS, 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.
- DI SALVO, C.A., 2005.
La importancia del efecto de escala en la resistencia de rocas como materiales de construcción, Escollera Sur del Puerto de Quequén, Pcia. de Buenos Aires.
Rev. Geol. Apl. Ing. Amb. N° 21: 91-101.
- FIORE M., D'ONOFRIO, E., HERRERO, F., STADELMANN M., Y M.M. SOBRE-CASAS, 2009.
Análisis de bajantes en Puerto Quequén.
Congreso Panamericano de Ingeniería Naval, Copinaval, Montevideo. 14 pp.
- FRENGUELLI, J., 1950.
Rasgos generales de la morfología y geología de la Provincia de Buenos Aires,
Lemit, Serie 2 (33): 1-72.
- INDEC, 2001.
Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas - Habitantes en la Argentina.

- ISLA, F. I. Y G. BÉRTOLA, 2006.
Distribución de arenas en las playas infralitorales: posibilidades de repoblamiento de las playas de Villa Gesell y Quequén.
VI Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar, Puerto Madryn. Resúmenes: 227.
- ISLA, F.I., 2006.
Erosión y defensa costera.
En Isla F. I. y C. A. Lasta (Eds.) Manual de Manejo Costero para la Provincia de Buenos Aires. Mar del Plata, Editorial de la Universidad Nacional de Mar del Plata (1): 125-147.
- ISLA, F.I., BÉRTOLA, G. MERLOTTO, A., FERRANTE, A. Y L. CORTIZO, 2009.
Requerimientos y disponibilidad de arenas para la defensa de las playas de Necochea y Lobería.
Revista de la Asociación Geológica Argentina 65 (3): 446-456.
- KOKOT, R. Y M. OTERO, 1999.
Factores ambientales y riesgo geológico en el área costera de Puerto Quequén, provincia de Buenos Aires.
Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente N° 13: 87-100.
- KRUSE, E., ROJO, A. Y P. LAURENCENA, 1996.
Escenarios geoambientales en la llanura interserrana de la provincia de Buenos Aires.
En: Caracterización ambiental de la provincia de Buenos Aires. C.I.C. La Plata, Año II, 15: 13-31.
- LANFREDI, N.W., POUSA, J.L. and E.E. D'ONOFRIO, 1998.
Sea-level rise and related potential hazards on the Argentine coast. *Journal of Coastal Research 14(1): 47-60.*
- LANFREDI, N.W. AND E.E. D'ONOFRIO, 1988.
Variations of the mean sea level in the southwest Atlantic Ocean.
Continental Shelf Res. 3: 1211-1220.
- MARCOMINI, S. C. Y R. A. LÓPEZ, 2005.
Morfodinámica costera entre Punta Florida y Costa Bonita, Provincia de Buenos Aires.
16° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 553-558.
- MARCOMINI, S.C., LÓPEZ, R. A. Y A. SPINOGLIO, 2007.
Uso de la morfología costera como geoindicador de susceptibilidad a la erosión en costas cohesivas, Necochea, Buenos Aires.
Revista de la Asociación Geológica Argentina 62 (3): 396-404.
- MORTON, R.A., 1996.
Geoindicators of coastal wetlands and shorelines. In Berger, A. y W. Iams (Eds). *Geoindicators. Assessing Rapid Environmental Changes in Earth Systems. Balkema. 207-230.*
- PAVARINI, J., 2001.
Necochea-Quequén, Evolución de la actividad portuaria, incidencia en la economía regional.
En Teruggi, L. B. (Ed) Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas y Planificación Territorial. Mar del Plata, Buenos Aires. 39-43.
- PUGH, D.T. AND G.A. MAUL, 1999.
Coastal Ocean Prediction.
Coastal and Estuarine Studies, 56: 377-404.
- TERUGGI, M.E., 1959.
Las arenas de la costa de la provincia de Buenos Aires entre cabo San Antonio y Bahía Blanca.
L.E.M.I.T. Serie II 77: 37 pp.
- TERUGGI, L.B., DEL RÍO, J.L., MARTÍNEZ, G.A. E M. TÓMAS, 2001.
Geomorfología e composizione tessiturale delle dune costiere del sud-est della provincia di Buenos Aires, Argentina.
GeoSed 2001. Riunione del Gruppo Informale di Sedimentologia del CNR. 92-95.
- VARELA, L.B. Y L.B. TERUGGI, 2001.
Caracterización Hidrológica de la Cuenca del Río Quequén Grande, provincia de Buenos Aires.
En Teruggi, L. B. (Ed) Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas y Planificación Territorial. Mar del Plata, Buenos Aires. 19-29.