



Facultad de Ciencias
Universidad de la República



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Paleolimnología como herramienta de monitoreo ambiental: el Puerto de Buceo como caso de estudio

Tesina de grado correspondiente a la Licenciatura en Ciencias Biológicas

Silvana González



Orientadores: Felipe García-Rodríguez y Pablo Muniz

Sección Oceanología
Montevideo
2011

Índice General

1. Índice de figuras y tablas.....	2
2. Agradecimientos.....	3
3. Resumen.....	4
4. Introducción.....	5
5. Materiales y Métodos	
5.1 Área de estudio.....	9
5.2 Obtención del perfil de sedimento mediante una perforación.....	13
5.3 Procesamiento del perfil de sedimento y análisis de laboratorio.....	14
5.4 Datación.....	15
5.5 Análisis de datos.....	15
6. Resultados.....	17
7. Discusión.....	23
8. Consideraciones finales.....	27
9. Bibliografía.....	28
10. Anexo 1.....	34
11. Anexo 2.....	35

1. Índice de figuras y tablas

1.1 Figuras

- Fig. 1.** Área de estudio. Zona de extracción del perfil de sedimento, **P** en el extremo este de la bahía; **a** y **b** aliviaderos del sistema de saneamiento, ubicados dentro de la bahía.....10
- Fig. 2.** Mapa construido en la década del 30 de las obras de saneamiento de la cuenca 23. Se indica la ubicación de los aliviaderos del sistema de saneamiento ubicados dentro (**a** y **b**) y fuera de la bahía(**c**), y el Colector del Arroyo Pocitos (**d**).....12
- Fig. 3.** Representación de la estructura litológica y la edad del sedimento; y cuantificación de materia orgánica (como % de materia orgánica total)16
- Fig. 4.** Precipitación total anual correspondiente a la Estación Prado para el período 1883-2005. Fuente: Dirección Nacional de Meteorología.....17
- Fig. 5.** Abundancia relativa (%) de las especies de diatomeas fósiles más significativas en el testigo de sedimento y diagrama de clúster estableciendo el grado de similitud entre los intervalos del testigo; se indican las Zonas de Asociaciones de Diatomeas (ZAD) en números romanos.....20
- Fig. 6.** Diagrama de Análisis de Componentes Principales (ACP), indicando la zonación del perfil de acuerdo a las especies de diatomeas más abundantes.....21

1.2 Tablas

- Tabla 1.** Cronología de hitos históricos ocurridos en el Puerto del Buceo desde el año 1843 hasta el presente.....11

2. Agradecimientos

No es un trabajo simple recordar a todas las personas que de alguna manera participaron en la elaboración de este trabajo, así que espero no olvidarme de nadie. Para comenzar quiero agradecer a mi familia, mi padre, mi madre y mi hermano, que desde siempre me alumbraron el camino. También quiero agradecer a todos los que forman parte de la sección Oceanología, porque desde el primer día me hicieron sentir como en casa. A Marisa, Andrea, Mario, Anita, Noelia que siempre me ayudaron y estuvieron ahí cuando los necesite; También y especialmente a Laura que me acompañó desde el inicio y con quien aprendí mucho. A Pablo Guido (Dpto. de Saneamiento de la IMM) que me puso a mi disposición información y mapas de la zona de estudio, fundamentales para la realización de la pasantía. A mi nueva familia, Pablo, que estuvo al firme siempre soportando los estados de ánimo de turno, y fue quien me enseñó a usar muchas herramientas informáticas. A Pablo y Felipe, mis tutores, con quienes aprendí muchísimo; sus críticas, aportes y correcciones permitieron no solo la realización de la tesis, sino también mi crecimiento profesional. Finalmente quiero agradecer nuevamente a mi madre que a su manera siempre me da una mano cuando la necesito.

3. Resumen

Durante los últimos siglos ha ocurrido un crecimiento acelerado de las poblaciones costeras. Algunos ejemplos de esto son ciudades situadas en ecosistemas altamente productivos del Río de la Plata. Este desarrollo antropogénico afecta las condiciones físico-químicas y bióticas de estos ecosistemas. Muchas de estas alteraciones quedan registradas en el sedimento gracias al proceso de sedimentación, que consiste en el depósito en secuencias cronológicas de componentes físico-químico-biológicos sobre el sustrato de base. A partir del análisis de estos componentes es posible asociar eventos históricos con cambios ocurridos en el ecosistema. Esto se realiza mediante la toma de testigos de sedimento y el análisis de la distribución vertical de indicadores como materia orgánica y asociaciones de diatomeas. Estos organismos constituyen importantes biomonitores de cambios ambientales y son empleados como indicadores de contaminación, materia orgánica, estado trófico, concentración de nutrientes, etc. El empleo de estas y otras herramientas paleolimnológicas permite realizar inferencias sobre cambios del estado trófico de un sistema, las condiciones en que se encontraba el mismo antes del impacto humano, y qué actividades desempeñadas en el lugar o en su cuenca de drenaje modificaron las condiciones naturales del sistema. El Puerto del Buceo es una zona que ha presentado un continuo desarrollo urbano y comercial desde comienzos del siglo XIX, y que en las últimas décadas se ha incrementado significativamente. Eventos históricos puntuales como la implementación del sistema de saneamiento, la construcción de las escolleras y el actual [Yacht Club] determinaron cambios ambientales en el sistema que quedaron registrados en el sedimento. Los análisis de materia orgánica y diatomeas concuerdan con estas alteraciones e indican una mejora progresiva del sistema desde la implementación del sistema de saneamiento.

4. Introducción

La mayoría de los sistemas acuáticos ha pasado por largos procesos evolutivos desde su formación hasta nuestros días. A lo largo del Holoceno han ocurrido diversos eventos naturales (como variaciones del nivel del mar), así como también procesos ocasionados por la actividad antropogénica (García-Rodríguez et al., 2006). En algunos casos estos eventos produjeron cambios en los sistemas involucrados tanto en las condiciones físicas y químicas como en las comunidades bióticas existentes (García-Rodríguez et al., 2001).

El desarrollo de grandes ciudades situadas en ambientes costeros ha determinado que éstos ecosistemas sean los más afectados por el desarrollo antrópico (Lalli, 1997). Estos ambientes de ecotono (caracterizados por la interacción entre el mar y el continente) constituyen uno de los sistemas más productivos de la Tierra (Conde et al., 2002) y a causa del proceso de urbanización resultan fuertemente alterados. El crecimiento socio-económico en sistemas costeros supone la descarga de efluentes industriales, el transporte marítimo, el escurrimiento urbano y agrícola y la implementación de un sistema de saneamiento (Scasso & Mazzeo, 2000). Si bien todas estas actividades generan presión sobre los ecosistemas (Calliari et al., 2009), los ingresos de efluentes industriales y aguas residuales han sido identificados como las principales fuentes de materia orgánica en los mismos (Day, 1989). Estos enriquecimientos del sistema, a menudo provocan eutrofización ocasionando cambios en la estructura y composición de las comunidades existentes (Hall & Smol, 1999). En este sentido, una adecuada planificación del sistema de saneamiento puede disminuir los efectos negativos sobre las áreas más sensibles y de importancia ecológica y turística.

Los excesos de materia orgánica y contaminantes que ingresan a un sistema pasan a formar parte del ecosistema bentónico y se depositan en los sedimentos (Muniz et al 2006). El depósito cronológico de materiales en los cuerpos de agua, es llamado proceso de sedimentación y gracias a

él es posible obtener información sobre eventos ocurridos en el pasado (Margalef, 1983). Los depósitos de sedimentos constituyen verdaderos registros frecuentemente continuos (completos) de las condiciones ambientales reinantes a lo largo de la historia de un cuerpo de agua (Smol, 2008). El análisis de los registros sedimentarios de un sistema acuático permite reconstruir las condiciones paleoecológicas y paleoambientales del mismo y de su cuenca de drenaje (Metzeltin & García-Rodríguez, 2003). Esto se realiza mediante estudios paleolimnológicos que emplean información química, física y biológica del registro sedimentario de sistemas acuáticos (Smol, 1992). Para ello es necesario la toma de testigos de sedimento y el análisis de la variación vertical de diversas variables como materia orgánica, diversidad de organismos fósiles, entre otras (García-Rodríguez et al., 2006).

Mediante ésta metodología es posible realizar inferencias sobre cambios del estado trófico de un sistema, inferir sus condiciones antes del impacto humano y el efecto de las actividades desempeñadas en el lugar o en su cuenca de drenaje (García-Rodríguez et al., 2004). Los testigos de sedimento extraídos son datados a fin de relacionar las variaciones encontradas con la cronología de los sucesos pasados (García-Rodríguez et al., 2006).

Un método muy empleado en reconstrucciones paleolimnológicas para determinar la evolución trófica de los sistemas acuáticos es la cuantificación de la materia orgánica total (M.O.T.) de un perfil de sedimento (Dean, 1999). Mediante ésta técnica es posible inferir los eventos de empobrecimiento o enriquecimiento orgánico ocurridos en el pasado (Lami et al., 1994), así como los efectos de la actividad humana (Meyers & Lallier – Vergès, 1999).

Otra valiosa herramienta para conocer la historia de los cuerpos de agua es el estudio de la composición taxonómica y características ecológicas asociadas de las diatomeas (Martínez Macchiavello, 1997). La importancia paleoecológica de éstos organismos radica en que pueden conservarse como microfósiles en perfiles sedimentarios (Metzeltin D. & García-

Rodríguez, 2003). Esto se debe a que poseen un exoesqueleto de sílice resistente a la descomposición bacteriana, la disolución química y las roturas (excepto en condiciones de alta alcalinidad y energía) y por ello se encuentran muy bien preservados en los depósitos de sedimento (Smol, 2008). Adicionalmente, constituyen importantes indicadores de cambios ambientales y son empleadas como indicadores de contaminación, pH, salinidad, materia orgánica, estado trófico, concentración de nutrientes, etc. (Metzeltin & García-Rodríguez, 2003; Stoermer & Smol, 1999). Los cambios de estas variables ambientales ocurridos en un sistema se pueden inferir mediante el análisis de la diversidad y abundancia relativa de estos organismos a lo largo de un perfil sedimentario (Inda et al., 2006). Los diferentes taxones poseen diferentes tolerancias y óptimos ambientales y por lo tanto el análisis de los agrupamientos de especies fósiles (llamados Zonas de Asociación de Diatomeas, ó ZAD) permiten inferir condiciones paleoambientales de los cuerpos de agua (Smol, 2008). Dado que las especies de diatomeas encontradas en ZADs fósiles del Pleistoceno tardío y Holoceno continúan existiendo en la actualidad, es posible emplearlas en interpretaciones paleoecológicas de sistemas acuáticos (Martínez Macchiavello, 1997).

Las diatomeas han sido empleadas en Francia y Alemania para la elaboración de mapas de calidad de agua basados en la composición de especies de sistemas acuáticos (Lange-Bertalot, 1979; Prygiel & Coste, 2001). Las diatomeas son organismos cosmopolitas, a excepción de algunas especies tropicales, y por lo tanto representan una excelente herramienta para estudios paleolimnológicos (Lange-Bertalot, 1979). Un estudio realizado en el lago Meretta (Cornwallis Island, Canada), reveló que la composición de diatomeas fósiles tuvo un fuerte cambio sucesional a partir del año en el que el sistema comenzó a recibir aportes de aguas servidas (Douglas & Smol, 2000)

El Puerto del Buceo es una zona que ha presentado un continuo desarrollo urbano y comercial desde comienzos del siglo XIX, y que se ha incrementado significativamente en las últimas décadas

(<http://www.yachtclub.com.uy>). Eventos históricos puntuales como la implementación del sistema de saneamiento y la construcción de las escolleras del actual Yacht Club Uruguayo (YCU) habrían determinado cambios en el estado trófico del sistema.

En este sentido, la hipótesis de trabajo plantea que la puesta en funcionamiento del sistema de saneamiento condujo a una reducción de la carga orgánica del puerto del buceo, y que ésta se verá reflejada en la composición diatomológica. Para contrastar esta hipótesis, se planteó el objetivo de reconstruir las condiciones paleoambientales del Puerto de Buceo para determinar la influencia del impacto humano y especialmente del sistema de saneamiento sobre la carga orgánica y la composición de diatomeas en el sistema.

5. Materiales y métodos

5.1 Área de estudio

El Puerto del Buceo se encuentra ubicado en la costa este del Departamento de Montevideo sobre el Río de la Plata (34° 54' 28 S; 56° 07' 49 W), perteneciente a la cuenca 23 (Fig. 2). La bahía se encuentra entre dos puntas rocosas que delimitan una playa arenosa, la cual presentaba naturalmente condiciones propicias para la utilización de la zona como puerto (Fig.1).

Antiguamente, esta playa presentaba una circulación de agua que transportaba los sedimentos hacia el exterior de la bahía, determinando una profundidad adecuada para la navegación de grandes embarcaciones. La dinámica se interrumpió desde el cierre del canal de circulación entre los años 1928 y 1938 (Washington y Barrios, 1975), debido al terreno ganado al mar donde actualmente está la rambla y la construcción de las escolleras (Tabla 1).

La bahía del Puerto del Buceo ha sido seleccionada, a lo largo del proceso ocupacional, para varios usos: vía de acceso a la navegación, recreacionales (actividades náuticas, deportes sobre la arena, paseo público), receptor de desechos domésticos y de la red pluvial (<http://www.yachtclub.com.uy>). Estas actividades han determinado una modificación del sistema natural por la construcción de colectores de residuos domésticos, muelles, escolleras, rambla, edificios y viviendas particulares; llegando al presente con un alto grado de urbanización (Tabla 1), sin una aparente planificación territorial y ambiental.

La bahía cuenta actualmente con un puerto administrado por el YCU, el cual constituye el único puerto deportivo de recalada entre Buenos Aires y Punta del Este, al cual llegan turistas de toda la región.

Bordeando la playa se encuentran actualmente las siguientes edificaciones (Fig. 1):

- YCU, sobre el extremo oeste;

Tabla 1. Cronología de hitos históricos ocurridos en el Puerto del Buceo desde el año 1843 hasta el presente. (**Comunicación personal del Ing. Pablo Guido del Dpto. de Saneamiento de la IMM; ***Comunicación personal con Lic. Álvaro Fernández-YCU)

Fecha	Acontecimiento
1843	El Gobierno del Cerrito habilitó el Puerto el Buceo para el comercio exterior (mientras Montevideo estuviera sitiada durante la Guerra Grande). El decreto fue dictado por Manuel Oribe (Sierra, 2003).
1845	Construcción de Aduana de Oribe (edificio de aduana), un muelle de embarque, barracas de almacenamiento y el edificio del Tribunal de Comercio (Altezor y Barracchini, 1971). Habitantes en la zona: 400 aprox (Barrios & Reyes, 1994).
1848-1850	Nuevo padrón revela un incremento de la población que asciende a 900 habitantes (Barrios & Reyes, 1994).
1872	Fundación del Cementerio del Buceo (Alvarez y Montero, 2002).
1925	Saneamiento de la Unión y el Buceo (12 manzanas); desaguaba en el Arroyo del Buceo, actual Tomás de Tezanos ** (Fig. 2).
1928	Construcción de la rambla costanera (Alvarez y Montero, 2002).
1930	Puesta en funcionamiento del Colector del Arroyo Pocitos, proveniente de la cuenca de Pocitos; desembocaba en el puerto, detrás del actual Yacht Club Uruguayo ** (Fig. 2).
1935	Inauguración del Museo Zoológico D. A. Larrañaga (Alvarez y Montero, 2002).
1938	Habilitación de la Zona Portuaria del Buceo con destino principal a las actividades deportivas marítimas; decretado en 1935 por P. Ejecutivo (Sierra, 2003). Construcción de explanada del Yacht Club Uruguayo, escolleras (2), muelles, muros de contención, pesquero, varadero, club de pescadores y explanada para instalación de deportes. Actividades de dragado a 4 metros de profundidad (Barrios & Reyes, 1994).
1939	Inauguración del Yacht Club Uruguayo (YCU) (Barrios & Reyes, 1994).
40´	Implementación del sistema de saneamiento de la Cuenca 23, comienzan a desagotar todas las aguas servidas detrás del YCU ** (Fig. 2).
1975	Aprobación del proyecto de urbanización para la "Explanada del Puerto del Buceo" (Sierra, 2003).
1988	Última actividad de dragado en la bahía***.
1989	Comenzó a funcionar el Interceptor Costero que desemboca en el colector de Punta Carretas**.

- Astillero, brinda servicio de mantenimiento a las embarcaciones;
- ADES, ONG que actúa en situaciones de emergencia, auxiliando y rescatando a las embarcaciones y su tripulación (civiles o militares). En la zona operan con una pequeña embarcación con motor a bordo, y un bote Zodiac;
- Viviendas y galpones de cinco familias de pescadores artesanales dedicados principalmente a la pesca de corvina y pescadilla mediante

trasmallos y palangres. La misma se realiza utilizando chalanas que se encuentran amarradas en la bahía.

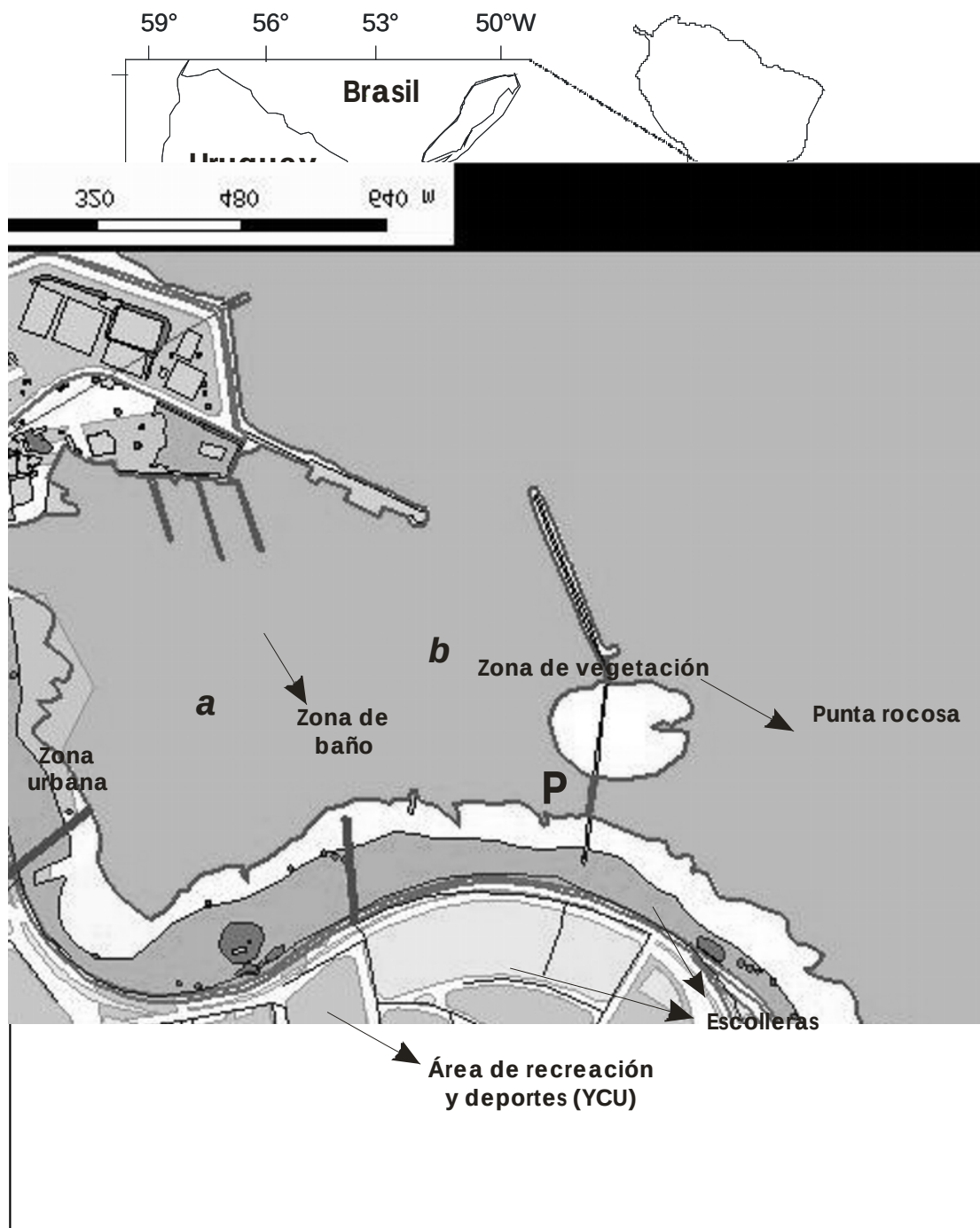


Figura 1. Área de estudio ($34^{\circ} 54' 28''$ S; $56^{\circ} 07' 49''$ W). Zona de muestreo del perfil de sedimento, **P** en el extremo este de la bahía; aliviaderos del sistema de saneamiento, **a** y **b** ubicados dentro de la bahía.

- Escolleras, utilizadas por pescadores deportivos y público en general como área de paseo y recreación.
- Aliviaderos del sistema de saneamiento, dos de los cuales se encuentran ubicados dentro de la bahía del Puerto del Buceo (Fig. 2, puntos **a** y **b**) y otro de menor diámetro fuera de la misma (Fig. 2, punto **c**). Fueron construidos en 1925 y a partir de esa fecha descargaban las aguas residuales de 12 manzanas con saneamiento existentes en la zona.
- Colector del Arroyo Pocitos (Fig. 2, punto **d**), construido en 1930. Inicialmente descargaba en forma constante las aguas servidas. A partir del inicio de la década del 80 funciona como aliviadero del colector de Punta Carretas, y descarga únicamente en períodos de intensas lluvias (Fig. 2, datos aportados por el Ing. Pablo Guido, IMM).

La zona de estudio se encuentra en la cuenca de saneamiento 23, donde se ubican el Colector del Arroyo Pocitos y los aliviaderos anteriormente mencionados (Fig. 2).

A través de la red de saneamiento municipal circulan los desechos domésticos particulares, las aguas de lluvia y los residuos que estas arrastran de la vía pública. El sistema de saneamiento montevideano tiene a lo largo de la costa (en las zonas más bajas) aliviaderos, que evitan la saturación del colector de Punta Carretas (donde sí existe tratamiento de aguas), previo a la salida al Río de la Plata por el emisario subacuático allí situado. El agua que sale por los aliviaderos en períodos de intensa lluvia, descarga entre otras cosas las heces humanas, directamente al agua sin tratamiento previo. Este es el caso de los aliviaderos situados en el Puerto del Buceo (Figura 2, puntos **a**, **b** y **c**).



Figura 2. Mapa construido en la década del 30 de las obras de saneamiento de la cuenca 23. Se indica la ubicación de los aliviaderos del sistema de saneamiento localizados dentro (**a** y **b**) y fuera de la bahía (**c**), y el Colector del Arroyo Pocitos (**d**).

5.2 Obtención del perfil de sedimento mediante una perforación

Se tomaron dos testigos de sedimento de 1,26 m de longitud en la zona este de la bahía del Puerto del Buceo. De acuerdo a las autoridades del YCU esta zona es la menos alterada por las actividades náuticas (Fig.1). Para ello se empleó un piston-corer de 63 mm de diámetro interno. El muestreo fue realizado el 25 de mayo de 2008, a bordo de un bote inflable con motor fuera de borda. Los

testigos fueron sellados y transportados al laboratorio en posición horizontal para su procesamiento.

5.3 Procesamiento del perfil de sedimento y análisis de laboratorio

El procesamiento de los testigos comenzó con un corte longitudinal del tubo de PVC para luego proceder a la descripción visual “in visu” de las unidades litológicas determinadas de acuerdo al color (carta Munsell) y textura del sedimento (táctil). Los dos testigos presentaron una alta similitud litológica, por lo que uno de ellos fue almacenado para futuros análisis. Posteriormente, el testigo se seccionó en su totalidad cada un centímetro. De cada segmento de sedimento húmedo se tomó una muestra de un gramo, y se colocó en crisoles de porcelana. Las mismas fueron pesadas en una balanza digital calibrada en miligramos y secadas en estufa (105 °C- 24 hs) para eliminar el contenido de agua de las muestras. Posteriormente, se volvieron a pesar. Por último, las muestras fueron calcinadas en mufla (550°- 4 hs) para eliminar la materia orgánica y fueron nuevamente pesadas. Esta metodología, denominada “Loss on ignition” (Heiri et al. 2001), permite determinar el contenido de materia orgánica total (MOT) en los sedimentos.

Las sub-muestras del testigo de sedimento también fueron empleadas para conteo e identificación de diatomeas. Para ello, las muestras fueron tratadas con pirofosfato de sodio ($\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$) a una concentración de 2g/100ml, con el fin de desflocular el sedimento. Luego, fueron tratadas con ácido clorhídrico (HCl 30%) para eliminar restos de carbonatos presentes. Por último, se las trató con peróxido de hidrógeno (H_2O_2 al 30 %) para eliminar la materia orgánica. Luego de cada uno de estos tratamientos, las muestras fueron enjuagadas con agua destilada al menos 10 veces. Se montaron preparados permanentes con *Entellan*[®]. De cada muestra, se identificó y contó un mínimo de 400 valvas al microscopio óptico a un aumento de 1000X. Las diatomeas fueron identificadas y clasificadas según su dominio y ecología de acuerdo a Frenguelli (1941, 1945), Muller-Melchers (1945, 1953, 1959), De Wolf (1982), Van Dam et al. (1994), Metzeltin & Lange-Bertalot (1998), Witkowski et al. (2000), Metzeltin y García-Rodríguez (2003) y Metzeltin et al. (2005).

Para el conteo e identificación de diatomeas se seleccionaron 10 sub-muestras de los 20 cm superficiales (correspondientes a las profundidades impares) y de la restante zona del testigo, las siguientes sub-muestras: 26cm, 31cm, 36cm, 41cm, 46cm, 51cm, 56cm, 61cm, 66cm, 71cm, 76cm, 82cm, 92cm, 96cm, 101cm, 106cm, 111cm, 116cm, 121cm, y 126 cm. Esta selección de sub-muestras del testigo tuvo como objetivo hacer énfasis en los cambios paleoambientales del sistema ocurridos en la época contemporánea.

5.4 Datación

El testigo de sedimento fue datado por la técnica de ^{14}C convencional sobre la materia orgánica sedimentaria. Las muestras fueron tratadas con HCl diluido para la eliminación de CO_3 . El material resultante fue convertido a benceno y las actividades radioactivas fueron medidas con un contador de centelleo Packard Tri-Carb 2560 TR/XL. El fraccionamiento isotópico fue corregido normalizando los valores de $\delta^{13}\text{C}$ a -25‰ . El empleo de este radioisótopo es apropiado para datar edades de miles de años.

5.5 Análisis de datos

Para los análisis se utilizaron únicamente las especies más significativas, i.e., cuya abundancia fue mayor al 2 % en al menos 3 intervalos (Karst & Smol 2002), tomándose en cuenta que el porcentaje eliminado fuera menor al 10 % de la abundancia total de cada intervalo del testigo. Para estudiar la zonación de diatomeas se realizaron análisis de cluster estableciendo el grado de similitud entre los intervalos del testigo mediante algoritmo de grupos pareados y empleando el índice de Morisita, y la opción constrained clustering. Se utilizó el programa PAST versión 2.02.

Se realizaron Análisis de Componentes Principales (ACP) utilizando el CANOCO ver. 4 (ter Braak & Smilauer, 1998), cuyas representaciones gráficas fueron realizadas con el programa CANODRAW ver. 3 (Smilauer, 1992). El resultado de estos análisis se expresa mediante gráficos con forma de cruz donde a cada eje de variación se le asignan valores propios (λ), los cuales explican el porcentaje de varianza de dicho diagrama. Las especies y las sub-muestras se ordenan en los diagramas de ordenación de acuerdo a sus puntajes, que se calculan a partir de la abundancia relativa de las diferentes especies. De esta forma, especies y sub-muestras con puntajes similares, se ubican próximas en los diagramas de

ordenación, permitiendo identificar zonas con composiciones biológicas similares, que son de gran utilidad para la zonación de perfiles sedimentarios. Estos permiten establecer zonas de asociación de diatomeas (ZAD) en los distintos intervalos del testigo.

6. Resultados

La datación del testigo con ^{14}C correspondiente a la sección 82-92cm (2025 ± 95 a14C AP) indicó que se extiende desde el Holoceno tardío hasta el presente (Fig. 3 A).

El análisis litológico perceptual y de textura del sedimento indicó la presencia de cuatro unidades dentro del testigo (Fig. 3, A):

- 0-2 cm material arenoso fino 2.5Y; 3/3. Presencia de material biogénico: valvas de moluscos enteras.
- 2-115 cm sedimento limoso color gris oscuro (10YR; 2/1). Presencia de material biogénico: valvas de moluscos fragmentadas.
- 115-120 cm sedimento limoso marrón claro grisáceo (10YR; 3/1).
- 120-126 cm sedimento limoso gris, con laminaciones más oscuras.

Figura 3. Representación de la estructura litológica y la edad (A), y cuantificación de materia orgánica (B).

El análisis de contenido de materia orgánica (MO) en los sedimentos mostró que existe una alta variabilidad a lo largo del testigo, incluso entre sub-muestras de profundidad consecutiva (Fig. 3 B). Desde la base del testigo y hasta los 21 cm de profundidad, los porcentajes de MO fluctuaron entre 4 y 17 %, encontrándose los valores más bajos en la zona más profunda. En la zona comprendida entre los 82cm y los 40cm de profundidad se observaron los porcentajes más altos de MO y la mayor variación en los valores de la misma. A partir de los 20 cm de profundidad y hacia la zona superficial del testigo se observó una progresiva disminución en el porcentaje de MO y una menor variación de estos valores. Por encima de los 17 cm de profundidad los porcentajes de MO fueron menores a 8%, llegando a los 10 cm superficiales con porcentajes menores al 6%, con excepción de la muestra correspondiente a los 5cm. (Fig. 3 B).

En la figura 4 se muestran los valores de precipitación anual entre los años 1880 y 2005. Los mismos indican una variación interanual de hasta 1000 mm entre años consecutivos y más de 1500 mm cada dos años consecutivos. Durante este período los valores oscilan entre 400 y 2400 mm.año⁻¹ (Fig. 4).

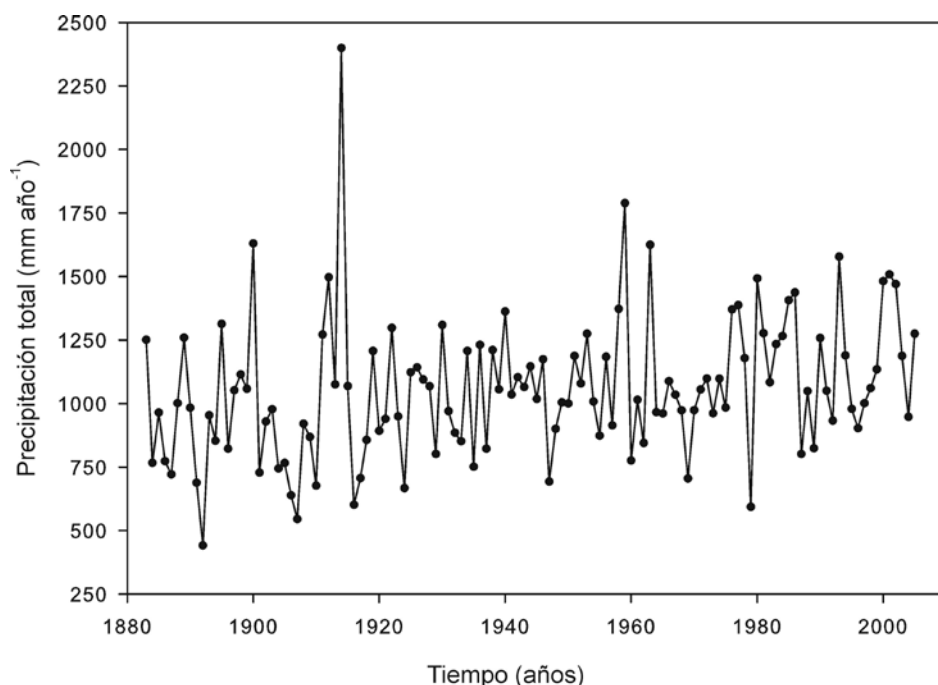


Figura 4. Precipitación total anual para el período 1883-2005 correspondiente a la Estación Prado. Fuente: Dirección Nacional de Meteorología.

En el Anexo 2 se presenta la lista de especies de diatomeas identificadas en las muestras del testigo de sedimento. Se indica el dominio (bentónico-planctónico-subaéreo) al que pertenecen las especies o géneros (en el caso de aquellas no identificadas a nivel de especie) junto con el indicador de salinidad de las mismas (M=marina, M/S=marina/salobre, S/D=salobre/dulceacuícola, D=dulceacuícola).

Se identificaron un total de 56 especies de diatomeas correspondientes a 37 géneros, y una especie de dinoflagelado, *Dichtyocha fibula*. Del total de especies identificadas un 50% fueron características de ambientes dulceacuícolas, 14,5% de ambientes salobre/dulceacuícolas, 21% de ambientes marino/salobre y 14,5% de ambientes marinos. Se observó una dominancia de especies bentónicas (69%) frente a las especies planctónicas (31%) (Anexo 2).

El género *Aulacoseira* fue quién presentó mayor abundancia relativa, alcanzando un máximo de 56% a los 66 cm de profundidad. Otras especies con alta abundancia fueron *Actinocyclus octonarius* (con un máximo de 43,6% a los 11 cm de profundidad), *A. ochotensis* (con un máximo de 24,3% a los 76 cm de profundidad), *A. ehrenbergii* (con un máximo de 11,9% a los 92 cm de profundidad), *Coscinodiscus Hustedtii* (con un máximo de 14,5% a los 61 cm de profundidad), *C. radiatus* (con un máximo de 12,4% a los 106 cm de profundidad). *Staurosira martyi*, *Cocconeis spp.* y *Planothidium spp.* presentaron altos valores de abundancia relativa únicamente en la zona superficial del testigo (36,7%; 28,7% y 12,9% respectivamente). En el Anexo 1 se muestran las fotografías de las especies de diatomeas (céntricas y pennadas) identificadas, con una abundancia relativa mayor al 2% en al menos 3 muestras.

El diagrama de *cluster* permitió identificar cinco grupos o *clusters* con una similitud mayor al 80%. La muestra superficial permaneció aislada formando un *cluster* de tamaño 1. Estos grupos corresponden a las siguientes Zonas de Asociaciones de Diatomeas (ZAD) en el testigo de sedimento:

- ZAD I se extiende desde la base del testigo hasta los 82 cm de profundidad y estuvo dominada principalmente por *Actinocyclus octonarius*, la cual es característica de ambientes marino-salobres. En esta zona también se encontró una alta abundancia del género *Aulacoseira*, característico de ambientes dulceacuícolas.

- ZAD II desde los 76 cm hasta los 26 cm de profundidad. Se observó co-dominancia de *Aulacoseira* (dulceacuícola) y *Actinocyclus ochotensis* (marino/salobre).
- ZAD III desde los 21 cm hasta los 9 cm de profundidad. La especie más representativa fue *Actinocyclus octonarius*, característica de ambientes marino/salobres, seguida por el género *Aulacoseira* de ambientes dulceacuícolas. Es en esta zona donde se observa una marcada disminución en los porcentajes de MO hacia el tope del testigo (Fig. 3 B).
- ZAD IV desde los 7 cm hasta los 3 cm de profundidad, dominada por especies marino-salobres como *Paralia sulcata* y *Opephora mutabilis*.
- ZAD V desde los 2 cm de profundidad hasta la superficie, y estuvo dominada por especies dulceacuícolas como *Staurosira martyi*. También hubo dominancia de géneros marinos como *Planolithidium* y *Cocconeis* (Fig. 5).

El diagrama ACP (Fig. 6) permitió determinar las especies más representativas de las ZAD identificadas en análisis de clúster (Fig. 5). La ZAD I, correspondiente a la porción más profunda del testigo, está dominada por especies marinas y marino/salobres (*Actinocyclus octonarius*, *A. ehrenbergii*, *Coscinodiscus radiatus*, *Pleurosigma spp.* y *Eunotia spp.*).

En la ZAD II se encontró una composición florística variada con una co-dominancia de especies dulceacuícolas, salobre/dulceacuícolas, marino/salobres y marinas (*Aulacoseira granulata*, *A. granulata var. angustissima*, *A. italica*, *Staurosira longirostris*, *Cyclotella meneghiniana*, *Cocconeis placentula*, *Actinocyclus normanii*, *A. ochotensis*, *Coscinodiscus Hustedtii* y *Paralia sulcata var. coronata*).

En la ZAD III está caracterizada por las mismas especies marinas y marino/salobres que la ZAD I.

La ZAD IV se extiende desde los 7 cm hasta los 3 cm de profundidad y está dominada por especies típicas de ambientes marinos y marino/salobres (*Opephora pacifica*, *O. mutabilis*, *Paralia sulcata* y *Coscinodiscus excentricus*).

La ZAD V corresponde al centímetro superficial de sedimento y está dominada por especies dulceacuícolas y salobre/dulceacuícolas (*Staurosira martyi*, *Cocconeis spp.* y *Planothidium spp.*).

Figura 6. Diagrama de Análisis de Componentes Principales (ACP), indicando la zonación del perfil de acuerdo a las especies de diatomeas más representativas.

7. Discusión

La datación con ^{14}C correspondiente a la sección 80cm-90cm del testigo reveló que el mismo se extiende desde el Holoceno tardío hasta la fecha de muestreo. La litología desde la base hasta los 120cm de profundidad mostró laminaciones que indican condiciones de baja energía y turbulencia, y cambios en la oxigenación donde los procesos de sedimentación predominarían sobre los de resuspensión (Grimm et al. 1997). El color oscuro de estas laminaciones intercaladas con sedimentos claros indicaría la alternancia de condiciones de anoxia y mayor oxigenación en el sistema respectivamente (Dean et al. 1999). En la siguiente zona litológica, comprendida entre los 120cm y 115cm de profundidad, el color es uniforme reflejando un nivel de oxígeno medio y relativamente homogéneo. Estas dos unidades litológicas presentaron bajos valores de MO y la microflora de diatomeas está compuesta por especies marino/salobres planctónicas (ZAD I). Dentro de las especies representativas de esta zona del testigo, *Actinocyclus ehrenbergii* y *Coscinodiscus radiatus* fueron halladas previamente en muestras superficiales de agua del Río de la Plata (Carreto et al., 2003). Por otra parte, *Actynocyclus octonarius* y *C. radiatus* han sido halladas recientemente en sedimentos superficiales del Río de la Plata con altos valores de salinidad (Pérez, 2010). Lo anterior indica que durante la formación de estas dos unidades la bahía recibiría una mayor influencia marina que dulceacuícola y presentaría una profundidad considerable, donde dominaban las diatomeas planctónicas (Stoermer & Smol 1999). Estas condiciones de relativamente alta salinidad y profundidad concuerdan con los modelos de variación del nivel del mar para la región propuestos por Martín & Suguio, (1992), y Cavallotto et al. (2004). Según estos, hace 3000 a AP el nivel del mar se encontraba de 2 a 3 metros por encima del nivel actual.

La tercera unidad litológica identificada se caracteriza por una alta variabilidad en los porcentajes de MO, que podría ser explicada por la variabilidad interanual en la precipitación del Uruguay. En épocas de alta pluviosidad aumentan los procesos de escorrentía y erosión en la zona incrementando los aportes externos. Adicionalmente, dado que la bahía forma parte de un estuario, cuando el ingreso de agua dulce es mayor al de agua marina, se observaría un aumento de MO en el sistema (Nagy et al., 1997). En la base de esta tercera unidad litológica los porcentajes de MO aumentaron gradualmente alcanzando valores de 15%. Esta porción del testigo coincide con el final de la ZAD I en la cual *C. radiatus* fue una de las especies representativas. Resultados similares fueron observados recientemente, donde esta especie presentó alta abundancia relativa en sedimentos superficiales del Río de la Plata con elevados niveles de MO (Pérez, 2010). La tendencia observada indica que el estado trófico habría comenzado a aumentar debido al aporte externo por procesos de escorrentía y erosión causado por el descenso del nivel del mar desde los 2500a AP (Martin & Suguio, 1992). La presencia de valvas de moluscos fragmentadas sugiere lo anterior, ya que las mismas indican que el sistema estaba bajo condiciones de alta energía típicas en un escenario de descenso del nivel del mar (Grimm et al., 1997). Esta regresión quedó fuertemente evidenciada en el intervalo comprendido entre los 82cm y 40cm en el cual se encontraron los valores más elevados de MO y la mayor variación de los mismos.

En la ZAD II la mezcla de microflora dulceacuícola, salobre y marina reflejaría procesos de mixohalinidad descritos previamente para esta zona de estuario donde el agua dulce rica en nutrientes (proveniente de los ríos Paraná y Uruguay) se mezcla continuamente con agua marina del Océano Atlántico Sudoccidental (Licursi et al., 2006; Acha et al., 2003). La aparición de especies epibentónicas sugiere la existencia de bajas profundidades (Stoermer & Smol, 1999). Se observó alta abundancia de especies como *Actinocyclus normanii*, *Aulacoseira granulata*, *A.*

granulatta var. *angustissima*, *A. italica*, *Cyclotella meneghiniana* y *Cocconeis placentula*, las cuales sugieren un elevado estado trófico, puesto que estas especies fueron caracterizadas como indicadoras de eutrofización (Van Dam et al., 1994, Coste et al., 2000, Onodera & Takahashi, 2008). En esta zona del testigo se observó además gran cantidad de valvas fragmentadas indicando eventos de alta energía en el sistema. Todos estos resultados concuerdan con la ocurrencia de un descenso del nivel del mar (iniciado en la ZAD I) que continúa hasta nuestros días (Martín & Suguio, 1992, Cavallotto et al., 2004). La presencia de *Cyclotella meneghiniana* en esta ZAD podría indicar además altos niveles de descomposición en el sistema, ya que fue caracterizada como α -meso/polysaprobia (Van Dam et al. 1994).

En las ZADs III y IV se encontró una alta abundancia de especies marino/salobres, pero también se registraron especies típicas de ambientes dulceacuícolas reflejando las condiciones mixohalinas características de un estuario. Una de las especies de diatomeas dominantes de la ZAD IV fue *Paralia sulcata* (Hassan, 2010), la cual fue identificada previamente en estudios paleolimnológicos de lagunas costeras uruguayas en muestras con bajo contenido de MO (García-Rodríguez et al., 2004a, 2004b, 2004c). Otra especie representativa de esta zona fue *Opephora pacifica*, señalada por otros autores como especie marina de hábitat epipsámico (Wolf & Vos, 1993). En suma, la dominancia de ambas especies en esta ZAD refleja condiciones de baja profundidad (Stoermer & Smol, 1999) y trofia durante la formación de la unidad.

A partir de los 21 cm y hasta la superficie del testigo el porcentaje de MO disminuye reflejando una posible oligotrofización del sistema. Esta disminución de la carga orgánica puede asociarse a los cambios antrópicos ocurridos en la bahía a partir de la década de 1930-1940, entre los cuales se destaca la construcción de las escolleras (que cerraron la bahía

cambiando los patrones de circulación) y la puesta en funcionamiento del colector del Arroyo Pocitos (Fig. 2). De esta forma, a partir del año 1938 las aguas servidas de la cuenca 23 (Fig. 2) comienzan a desagotar detrás del YCU, fuera de la bahía, determinando una disminución del aporte de residuos sanitarios (con elevada carga orgánica) al sistema. Lo anterior indicaría que la estabilización y disminución de la concentración de materia orgánica a partir de los 21 cm de profundidad correspondería a la implementación del sistema de saneamiento de la cuenca 23 entre el año 1938 y 1940 AD. Esto implica que, asumiendo sedimentación constante, la tasa de depósito de partículas es de 2,7mm/año; la cual es comparable con resultados de otros autores para la bahía de Montevideo (Cranston & Kurucz, 2002; García-Rodríguez et al., 2010).

La muestra superficial del testigo correspondiente a la ZAD V también presentó bajos valores de MO indicando la continuación del proceso de oligotrofización observado a partir de los 21cm de profundidad. Sin embargo en esta zona la microflora se encontró representada por *Staurosira martyi* y *Cocconeis spp.* las cuales han sido citadas en Europa como indicadoras de altos niveles tróficos (Van dam et al., 1994; Witowski et al., 1996). Lo anterior plantea la necesidad de caracterizar la microflora presente en nuestra región.

La alta abundancia relativa del género *Aulacoseira* a lo largo del testigo puede deberse a su eficacia para crecer en ambientes de mucha mezcla, como lo es éste estuario. Esto es posible por su capacidad para captar luz aún en sistemas turbulentos, condición que además evita su hundimiento favoreciendo su desarrollo (Reynolds, 1995).

8. Consideraciones finales

Tanto la composición florística de diatomeas como el porcentaje de MO mostraron ser buenos indicadores paleoambientales ya que permitieron reconstruir la evolución ambiental de la bahía desde el Holoceno tardío hasta nuestros días. Eventos históricos puntuales como cambios del nivel del mar, la implementación del sistema de saneamiento, la construcción de las escolleras y el actual YCU determinaron cambios ambientales en el ecosistema que quedaron registrados en el sedimento. El análisis de MO mostró ser un buen *proxy* indicando una disminución de la carga orgánica a partir de las modificaciones del sistema de saneamiento en la zona. Las diatomeas por su parte reflejan las condiciones estuarinas históricas de la bahía. De esta forma, los resultados de este trabajo demuestran la importancia de una correcta planificación del sistema de saneamiento en la gestión de los ecosistemas costeros.

9. Bibliografía

- Acha E M, Mianzan H, Iribarne O, Gagliardini D, Lasta C, Daleo P, 2003. The role of the Río de la Plata bottom salinity front accumulating debris. *Marine Pollution Bulletin*, 46: 197-202.
- Altesor C & Barachini A, 1971. Historia urbanística y edilicia de la ciudad de Montevideo. Junta Departamental de Montevideo. Montevideo, p: 79-87.
- Alvarez M & Montero J M, 2002. Nuestro Patrimonio. El País. Montevideo, p: 44-53
- Barrios A & Reyes W, 1994. Los Barrios de Montevideo VII: De Pocitos a Carrasco. Intendencia Municipal de Montevideo. Montevideo, p: 85-104
- Calliari D, Brugnoli E, Ferrari G, Vizziano D, 2009. Phytoplankton distribution and production along a wide enviromental gradient in the South-West Atlantic off Uruguay. *Hidrobiologia*, 620: 47-61.
- Carreto J I, Montoya N G, Benavides H R, Guerrero R y Carignan M O, 2003. Characterization of spring phytoplankton communities in the Río de La Plata maritime front using pigment signatures and cell microscopy. *Marine Biology*, 143: 1013-1027.
- Cavallotto J L, Violante R A, Parker G, 2004. Sea-level fluctuations during the last 8600 years in the de la Plata River (Argentina). *Quaternary Internacional*, 114: 155–165.
- Conde D, Aubriot L, Bonilla S y Sommaruga R, 2002. Marine intrusions in a coastal lagoon enhances the effects of UV radiation on the phytoplankton photosynthetic rate. *Marine Ecology Progress Series*, 240: 137-148.
- Coste M, Prygiel J, 2000. Guide méthodologique pour la mise en oeuvre de l'Indice Biologique Diatomées. NF T 90-354. Agences de l'Eau – Cemagref (Ed.), Bordeaux. 134 pp.
- Cranston R R y Kurucz A P, 2002. Estimating sediment accumulation rates in Montevideo Bay, Uruguay. *Ecoplata II Scientific Papers*. Montevideo, p: 1-4.
- Day J W Jr, Hall C A S, Yañez-Arancibia A, 1989. *Estuarine Ecology*, John Wiley & Sons, New York.

- De Wolf H, 1982. Method of coding of ecological data from diatoms for cometer utilization. *Med. Rijks. Geol. Dienst*, 36, 95-99.
- Dean J M, Kemp A E S, Bull D, Pike J, Patterson G & Zolitschka B, 1999. Taking varves to bits: Scanning electron microscopy in the study of laminated sediments and varves. *Journal of Paleolimnology*, 22: 121-136.
- Douglas M & Smol J P, 2000. Eutrophication and recovery in the High Arctic Meretta Lake (Cornwallis Island, Nunavut, Canada) revisited. *Hydrobiología*, 431: 193-204.
- Frenguelli J, 1941. Diatomeas del Río de la Plata. *Revista Museo Nacional La Plata*, Tomo 3: 213-334.
- Frenguelli J, 1945. Diatomeas del Platense. *Revista Museo Nacional La Plata. Sec. Paleont.* 3: 77-221.
- García-Rodríguez F, Del Puerto L, Castiñeira C, Inda H, Bracco R, Sprechmann P, Wilhelm Scharf B, 2001. Preliminary Paleolimnological study of Rocha Lagoon, SE Uruguay. *Limnologica*, 31: 221-228.
- García-Rodríguez F, Metzeltin D, Sprechmann P, Trettin R, Stams G, Beltrán-Morales L F, 2004a. Upper Pleistocene and Holocene paleosalinity and trophic state changes in relation to sea level variation in Rocha Lagoon, southern Uruguay. *Journal of Paleolimnology*, 32: 117-135.
- García-Rodríguez F, Sprechmann P, Metzeltin D, Scafati L, Melendi D L, Volkheimer W, Mazzeo N, Hiller A, Von Tümpling Jr W, Scasso F, 2004b. Holocene trophic state changes in relation to sea level variation in Lake Blanca, SE Uruguay. *Journal of Paleolimnology*, 31: 99-115.
- García-Rodríguez F, Metzeltin D, Sprechmann P, Beltrán-Morales L F, 2004c. Upper Pleistocene and Holocene development of Castillos Lagoon in relation to sea level variation, SE Uruguay. *Neues Jahrbuch für Geologie Paläontologie Monatsheft*, p: 641-661.
- García-Rodríguez F, Sprechmann P, Inda H, Del Puerto L, Bracco R, Rodríguez A, Estol P, Acevedo V, 2006. En: Bases para la conservación y el Manejo de la Costa Uruguaya. Menafrá R, Rodríguez-Gallego L, Scarabino F, Conde D (Eds.). Vida Silvestre. Montevideo, p: 487-494.
- García-Rodríguez F, Hutton M, Brugnoli E, Venturini N, Del Puerto L, Inda H, Bracco R, Burone L y Muniz P, 2010. Assessing the effect of

- natural variability and human impacts on the environmental quality of coastal metropolitan area (Montevideo Bay, Uruguay). *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 5(1): 91-100.
- Grim K A, Lange C B & Gill A S, 1997. Self-sedimentation of phytoplankton blooms in the geologic record. *Sediment. Geology*, 110: 151-161.
- Hall R I & Smol J, 1999. Diatoms as indicators of lake eutrophication. En: *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Science*. Stoermer E F y Smol J (Eds.). CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, p: 128-168.
- Hassan G, 2010. Paleoeological significance of diatoms in argentinean estuaries. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), 113 pp.
- Heiri O, Lotter A F & Lemcke G, 2001. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and compatibility of results. *Journal of Paleolimnology*, 25: 101-110.
- Inda H, Del Puerto L, Castiñeira C, Capdepon I, García-Rodríguez F, 2006. Aprovechamiento prehistórico de recursos costeros en el litoral atlántico uruguayo. En: *Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya*. Menafrá R, Rodríguez-Gallego L, Scarabino F, Conde D (Eds.). Vida Silvestre. Montevideo, p: 661-667.
- Karst T L, Smol J P, 2002. Paleolimnological evidence of limnetic nutrient concentration equilibrium in a shallow, macrophyte-dominated lake. *Aquatic Science*, 62: 20-38.
- Lalli C M, Parson, Timothy, 1997. *Biological Oceanography: An introduction*. Segunda edición, Ed. Oxford, Butterworth-Heinemann.
- Lami A, Niessen F, Guilizzoni P, Mesaferro J, Belis C A, 1994. Paleolimnological studies of the eutrofication of volcanic Lake Albano (Central Italy). *Journal of Paleolimnology*, 10: 181-197.
- Lange-Bertalot H, 1979. Pollution tolerance of diatoms as a criterion for water quality estimation. *Nova Heildwigia*, 64: 285-303.
- Licursi M, Sierra M V, Gomez N, 2006. Diatom assemblages from a turbid coastal plain estuary: Río de la Plata (South America). *Journal of Marine Systems*, 62: 33-45.
- Margalef R, 1983. *Limnología*. Ediciones Omega, Barcelona.

- Martin L & Suguio K, 1992. Variation of coastal dynamics during the last 7000 years recorded in beachridge plains associated with river mouths : example from the Central Brazilian Coast. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 99: 119-140.
- Martínez Macchiavello J C, 1997. Introducción a las diatomeas fósiles. Martínez Macchiavello J C (Ed), Conicet.
- Metzeltin D & García-Rodríguez F, 2003. Las diatomeas uruguayas. Ediciones DIRAC, Montevideo.
- Metzeltin D & Lange-Bertalot H, 1998. Tropical Diatoms from South America. En: *Iconographia Diatomologica* vol.5. Lange-Bertalot (Ed). Koeltz Scientific Books, Koenigstein.
- Metzeltin D, Lange-Bertalot H, García-Rodríguez F, 2005. Diatoms of Uruguay - Taxonomy, Biogeography, Diversity. In: H. Lange-Bertalot, (Editor), *Iconographia Diatomologica* Vol 15. A.R.G. Gantner Verlag, distributed by Koeltz Scientific Books. Koenigstein, Germany, 737 pp.
- Meyers P A & Lallier-Vergès E, 1999. Lacustrine sedimentary organic matter records of late quaternary paleoclimates. *Journal of Paleolimnology*, 21: 345-372.
- Muniz P, Venturini N & Burone L, 2006. Contaminación de la Bahía de Montevideo y zona costera adyacente y su relación con los organismos bentónicos. En: Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya. Menafrá R, Rodríguez-Gallego L, Scarabino F, Conde D (Eds.). Vida Silvestre. Montevideo, p: 401-411.
- Müller-Melchers, P., 1945. Diatomeas procedentes de algunas muestras de turba del Uruguay. *Comunicaciones Botánicas del Museo de Historia Natural de Montevideo*. 1(17), p: 1-25.
- Müller-Melchers, P., 1953. Sobre algunas diatomeas planctónicas de Atlántida (Uruguay). *Physis*. 20 (59), p:459-466.
- Müller-Melchers P, 1959. Plankton diatoms of the Southern Atlantic of Argentina and Uruguay coast. *Comunicaciones Botánicas del Museo de Historia Natural de Montevideo*. 3 (38), p: 1-53.
- Nagy G J, Martínez C, Caffera M, Pedrosa G, Forbes E A, Perdomo A C, López Laborde J, 1997. Marco hidrológico y climático del Río de la Plata. En: P.G. Wells y G.R. Daborn (Eds.), *Río de la Plata una revisión ambiental*. Universidad de Dalhousie, cap. 2, p: 17-70.

- Onodera J, Takahashi K, 2008. Long-term diatom fluxes in response to oceanographic conditions at Stations AB and SA in the central subarctic Pacific and the Bering Sea, 1990–1998. *Deep-Sea Research I*, doi:10.1016/j.dsr.2008.08.006.
- Pérez L, 2010. Distribución de diatomeas en sedimentos superficiales a través de un gradiente trófico y de salinidad, en el Río de la Plata. Tesina de grado de la Licenciatura en Ciencias Biológicas.
- Prygiel G & Coste M, 2001. Guide méthodologique pour la mise en oeuvre de l'indice biologique diatomées, France.
- Reynolds C S, 1995. River plankton: the paradigm regained. En: *The Ecological Basis for River Management*. Harper D M & Ferguson A J D (Eds.), John Wiley & Sons Ltd. England, p: 161– 174.
- Scasso F & Mazzeo N, 2000. Ambientes acuáticos urbanos. En: *Perfil Ambiental del Uruguay*. A. Domínguez & R. Prieto (eds.). Nordan-Comunidad. Montevideo, p: 205-218.
- Sierra F, 2003. Montevideo a cielo abierto: el espacio público. Conserjería de Obras Públicas y Transporte, Junta de Andalucía - Intendencia Municipal de Montevideo - Facultad de Arquitectura, UdelaR. Montevideo, p: 114-122.
- Smol J P, 1992. Paleolimnology: an important tool for effective ecosystem management. *Journal of Aquatic Sciences*. Health 1: 49 – 58.
- Smol J P, 2008. Pollution of lakes and rivers. A paleoenvironmental perspective. Second edition, Blackwell publishing, Singapore.
- Stoermer E F & Smol J P, 1999. The diatoms: applications for the environmental and earth sciences. Chapter 1 to 6. Cambridge University Press 1999. 469 pp.
- Van Dam H, Mertens A, Sinkeldam J, 1994. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Journal of Aquatic Ecology*, 28(1): 117-133.
- Witkowski A, Lange-Bertalot H & Metzeltin D, 1996. The diatom species *Fragilaria martyi* (Heribaut) Lange-Bertalot, identity and ecology. *Archiv Für Protisten Kunde*, 146: 281-292.
- Witkowski A, Lange-Bertalot H, Metzeltin D, 2000. Diatom flora of marine coasts 1. In: H. Lange-Bertalot, (Editor), *Iconographia Diatomologica Vol 7*. A.R.G. Gantner Verlag, distributed by Koeltz Scientific Books. 925 pp.

Wolf H & Vos P C, 1993. Diatoms as tool for reconstructing sedimentary environments in coastal wetlands; methodological aspects. *Hydrobiologia*, 269/270: 285-296.

10. Anexo 1

Documentación fotográfica de las especies de diatomeas más representativas que fueron incluidas en los análisis estadísticos de las figuras 5 y 6

Lámina I. Principales especies identificadas de diatomeas céntricas, pennadas y dinoflagelado (*Dychtiocha fibula*): 1- *Actinocyclus ochotensis*; 2- *Actinocyclus octonarius*; 3- *Coscinodiscus excentricus*; 4- *Coscinodiscus Hustesdtii*; 5- *Paralia sulcata*; 6- *Cyclotella striata*; 7- *Actinocyclus normanii*; 8- *Dychtiocha fibula*; 9 y 10- *Aulacoseira granulata*; 11- *Coscinodiscus radiatus*; 12 y 13- *Staurosira martyi*; 14- *Opephora pacífica*; 15- *Paralia sulcata*; 16- *Cocconeis sp.*; 17 – *Planothidium delicatulum*.

10. Anexo 2

Especies de diatomeas más significativas en las sub-muestras del perfil desedimento; se indica su dominio (B= Bentos; P= Plancton), y su indicador de salinidad (D= Dulceacuícola; S/D= Salobre-dulceacuícola; M/S= Marinosalobre).

Espece	Dominio	Indicador
<i>Achnanthes elata</i> Metzeltin, Lange-Bertalot & García-Rodríguez	B	D
<i>Achnanthes inflata</i> (Kützing) Grunow	B	D
<i>Achnanthes</i> sp.	P	M/S
<i>Actinocyclus barklei</i> Frenguelli	P	M/S
<i>Actinocyclus curvatulus</i> Janisch	P	M
<i>Actinocyclus ehrenbergii</i> Ralfs	P	M/S
<i>Actinocyclus normanii</i> (Gregory) Hustedt	P	M/S
<i>Actinocyclus ochotensis</i> Jouse	P	M/S
<i>Actinocyclus octonarius</i> Ehrenberg	P	
<i>Actinocyclus</i> sp.	P	M
<i>Actinoptychus senarius</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	P	M/S
<i>Actinoptychus vulgaris</i> Schumann	B	S/D
<i>Amphora copulata</i> (Kützing) Schoeman & Archibald	B	
<i>Amphora</i> sp.	P	D
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Ralfs	P	D
<i>Aulacoseira granulata</i> var <i>angustissima</i> (O.Müller) Simonsen	P	D
<i>Aulacoseira italica</i> (Ehrenberg) Kützing	P	D
<i>Aulacoseira muzzyensis</i> (Meister) Krammer	B	
<i>Caloneis</i> sp.	B	D
<i>Cocconeis disculoides</i> Hustedt	B	S/D
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	B	
<i>Cocconeis</i> sp.	P	M
<i>Coscinodiscus asteromphalus</i> Ehrenberg	P	M
<i>Coscinodiscus divisus</i> Grunow	P	M/S
<i>Coscinodiscus excentricus</i> Ehrenberg	P	M/S
<i>Coscinodiscus Hustedtii</i> Müller Melchers	P	M/S
<i>Coscinodiscus radiatus</i> Ehrenberg	P	M

Tabla 2. Continuación

<i>Coscinodiscus</i> sp.	P	S/D
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	P	D
<i>Cyclotella striata</i> (Kütz.) Grunow		
<i>Cyclostephanos</i> sp.	P	M
<i>Delphineis surirella</i> (Ehremberg) Andrews	B	M
<i>Dimerogramma minor</i> (Gregory) Ralfs	B	S/D
<i>Diploneis didyma</i> (Ehremberg) Cleve	B	S/D
<i>Diploneis subovalis</i> Cleve	B	S/D
<i>Diploneis</i> sp.	B	
<i>Encyonema</i> sp.	B	D
<i>Epithemia adnata</i> (Kütz.) Brébisson	B	D
<i>Epithemia</i> sp.	B	D
<i>Eunotia camelus</i> Ehrenberg	B	D
<i>Eunotia diodonopsis</i> Ehrenberg	B	D
<i>Eunotia monodon</i> Ehrenberg	B	D
<i>Eunotia tridentula</i> Ehrenberg	B	D
<i>Eunotia</i> sp.	B	D
<i>Fragilaria lanceolata</i> (Kützing) Reichardt	B	S/D
<i>Fragilaria tabulata</i> (Agardh)	B	D
<i>Gomphonema brasilensoide</i> Lange-Bertalot	B	D
<i>Gomphonema cf. rhombicum</i> M. Schmidt	B	D
<i>Gomphonema turris</i> Frenguelli	B	D
<i>Gomphonema</i> sp.	B	
<i>Gyrosigma</i> sp.	B	
<i>Hantzschia</i> sp.	B	D
<i>Hippodonta capitata</i>		
<i>Hippodonta</i> sp.	B	D
<i>Luticola</i> sp.	B	
<i>Navicula</i> sp.	B	D
<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow	B	S/D
<i>Nitzschia levidensis</i> W. Smith	B	
<i>Nitzschia</i> sp.	B	M/S
<i>Opephora mutabilis</i> (Grunow) Sabbe & Vyverman	B	M
<i>Opephora pacifica</i> (Grunow) Petit	P	M/S
<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve	P	M/S
<i>Paralia sulcata</i> var. <i>coronata</i>	B	S/D
<i>Pinnularia borealis</i> Ehremberg	B	
<i>Pinnularia</i> sp.	B	

Tabla 2. Continuación

<i>Placoneis</i> sp.	B	D
<i>Planothidium delicatulum</i> (Kützing) Round & Bukhtiyarova	SA	S/D
<i>Planothidium frequentissimum</i>	B	D
<i>Planothidium rostratum</i>		
<i>Planothidium</i> sp.	B	M
<i>Pleurosigma</i> sp.	B	D
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) Müller	B	
<i>Stauroneis</i> sp.	B	D
<i>Staurosira brevistiata</i> Grunow	B	D
<i>Staurosira construens</i> Ehrenberg	B	D
<i>Staurosira longirostris</i> (Frenguelli) Metzeltin, Lange-Bertalot & García-Rodríguez	B	D
<i>Staurosira pinnata</i> Ehrenberg	B	D
<i>Staurosira martyi</i> (Heribaud) Lange-Bertalot		D
<i>Staurosira</i> sp.		
<i>Sellaphora</i> sp.	B	
<i>Surirella</i> sp.		
<i>Synedra</i> sp.	B	M/S
<i>Triceratium reticulum</i> Ehrenberg		