

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**Proyecto de tesis**

**Isótopos estables de C y N, y la relación Corg/N como indicadores del origen de la materia orgánica en los sedimentos de la zona costera de Montevideo: un análisis histórico y actual**

Carolina Bueno

Orientador: Ernesto Brugnoli

Tribunal: Leandro Bergamino, Laura del Puerto, Pablo Muniz

Setiembre, 2014

## Isótopos estables de C y N, y la relación Corg/N como indicadores del origen de la materia orgánica en los sedimentos de la zona costera de Montevideo: un análisis histórico y actual

### Resumen

La zona costera de Montevideo (ZCM) está localizada en la porción media del estuario del Río de la Plata y ha sufrido importantes cambios a lo largo del tiempo como consecuencia de impactos antrópicos. Actualmente recibe el vertido de efluentes urbanos e industriales mediante un emisario submarino, aportes fluviales con desechos sin tratamiento, y actividades portuarias entre otras. Próximamente se realizará el saneamiento de la zona oeste de Montevideo (PSU IV) que permitirá mejorar la calidad ambiental de la Bahía de Montevideo (BM) al canalizar los aportes fluviales que recibe a través de un emisario subacuático en Punta Yeguas. Los isótopos estables de C y N, y la relación Corg/NT en la materia orgánica (MO) de los sedimentos son una herramienta que permite identificar su origen y composición. El presente estudio tiene como finalidad realizar una caracterización de los sedimentos históricos y actuales de la ZCM en base a esta herramienta. Se realizará una reconstrucción paleoambiental donde se analizará un testigo de sedimento tomado en la BM que permitirá generar una línea de base, esto permitirá aportar información histórica sobre la evolución del impacto antrópico y los cambios tróficos ocurridos. A su vez, permitirá inferir reducciones de aportes orgánicos de origen fluvial a la ZCM, vinculando esta herramienta al monitoreo del PSU. Los sedimentos superficiales que se analizarán corresponden a muestreos realizados entre 2009 y 2010, este período corresponde a diferentes etapas de un evento ENOS, permitiendo evaluar su efecto sobre la MO de los sedimentos superficiales en la ZCM.

**Palabras clave:** isótopos estables, reconstrucción paleoambiental, enriquecimiento orgánico, eutrofización, ENOS, Río de la Plata.

## Introducción

Los estuarios son sistemas costeros semi-cerrados que se conectan con el océano, son influenciados por las mareas, y el intercambio de agua oceánica y dulce provenientes de las descargas fluviales. Son sistemas únicos ya que comparten características hidrodinámicas e hidrológicas con zonas oceánicas, lagos y arroyos (Jordan 2012). Adicionalmente, proveen una gran variedad de servicios ecosistémicos, destacándose la producción de energía, pesca, turismo, y ubicación de asentamientos humanos. Debido a esto se encuentran bajo una gran presión antrópica, ya que sus recursos son sobreexplotados y son receptores de efluentes urbanos e industriales (McLusky & Elliot 2004).

La eutrofización en los cuerpos de agua dulce ha sido por décadas considerada como un problema; la eutrofización marina, si bien es un concepto más actual que el anterior, ya es ampliamente reconocido (Nixon 1995). Inicialmente se entendía que la gran dinámica y caudal del ecosistema marino era suficiente para incorporar y disolver los aportes de nutrientes sin efectos adversos (Clarke *et al.* 2006). Sin embargo, el proceso de eutrofización actualmente es un problema en las zonas costeras, y este se ha visto acelerado debido a la presión antrópica (Smith *et al.* 2006, Cloern 2001), siendo la eutrofización cultural uno de los principales problemas globales relacionados a la calidad de los ecosistemas acuáticos (Smol 2008, Nixon 1995). A su vez, la evaluación del estado trófico en los estuarios es compleja debido a la interacción marino-continental y la variación de salinidad que esta interacción implica (García Rodríguez *et al.* 2014).

La materia orgánica se considera uno de los principales factores que controlan el proceso de eutrofización (Dell'Anno *et al.* 2002, Nixon 1995). El aporte externo de materia orgánica a los sistemas marinos y costeros está asociado al incremento de la actividad humana que provoca un aumento en el volumen de descarga de efluentes (Cloern 2001, Bricker *et al.* 2003), y a los ingresos de agua continental. Las alteraciones en los patrones de precipitación

modifican la cantidad de flujo de agua continental, y por lo tanto los aportes de materia orgánica y nutrientes que llegan a las zonas costeras (CENR 2003).

El evento El Niño-Oscilación Sur (ENOS), es la mayor variación interanual del clima de la Tierra. Este ciclo global tiene dos extremos, la fase cálida conocida como “El Niño” y la fase fría denominada “La Niña”. El Niño y La Niña normalmente se repiten irregularmente cada 2 a 7 años y se desarrollan a partir de un patrón de presión atmosférica que atraviesa los océanos Índico y Pacífico tropical que está íntimamente relacionado con la fuerza de los vientos alisios del Pacífico (McPhaden *et al.* 2006). El paso de un extremo a otro está vinculado a la relación entre los vientos alisios y la temperatura de la superficie del mar. Bajo un régimen de vientos fuertes las temperaturas ecuatoriales se enfrían y comienza la fase fría o La Niña, y cuando su intensidad disminuye las temperaturas superficiales del mar aumentan y comienza la fase cálida (McPhaden *et al.* 2006, Lee & McPhaden 2010). Para la cuenca baja del Río de la Plata, los años con ENOS son más lluviosos, registrándose altas precipitaciones, sobre todo en otoño, cuando el pacífico suroriental se ha visto sometido a las influencias de un calentamiento oceánico (Caviedes & Waylen 1998). En este sentido, Caviedes (1998) encontró una relación positiva entre las precipitaciones y los caudales de los ríos de la cuenca baja del Río de la Plata durante la fase cálida del ENOS. Adicionalmente, Barreiro (2009), plantea que se espera un aumento en el patrón de lluvias para la fase cálida del ENOS durante la primavera en la región SE de América del Sur.

Los isótopos estables de C y N, así como el análisis de nutrientes como proxies geoquímicos han sido utilizados en diferentes estudios para determinar cambios en las condiciones paleoambientales y paleoproduktividad de los sistemas acuáticos (Zimmerman & Canuel 2002, Zimmerman & Canuel 2000, Wilson *et al.* 2005, Vaalgama *et al.* 2013), así como para inferir las fuentes de materia orgánica diferenciando entre origen marino o continental (Thornton & McManus 1994, Zhou *et al.* 2006, Lamb *et al.* 2006, Müller & Mathesius 1999, Meyers 1994). Por ejemplo, Zimmerman & Canuel (2002), plantean que un incremento en

$\delta^{13}\text{C}$  ente 0,5 -2‰ a través del tiempo, evidencia un incremento en la productividad primaria.

Una reconstrucción paleoambiental, así como la identificación de las fuentes y composición de materia orgánica de los sedimentos superficiales de la zona costera de Montevideo utilizando los isótopos estables de C y N, y la relación Corg/Nt, permitirá mejorar nuestro conocimiento sobre los procesos de enriquecimiento orgánico en la zona. A su vez, permitirá inferir la magnitud del aporte continental y oceánico, así como los cambios en las condiciones tróficas del ecosistema a lo través del tiempo y bajo condiciones hidrológicas contrastantes debido a la presencia de un evento ENOS.

#### *Antecedentes y marco teórico*

Para realizar un adecuado manejo de los sistemas acuáticos, es necesario contar con información de línea de base de las condiciones pasadas, que permitan determinar el impacto de las actividades actuales. En este sentido, los sedimentos preservan información útil para reconstruir la historia del océano preservada como agrupamiento de microfósiles, materia orgánica y su composición elemental, así como su composición isotópica (Wefer 1999). La materia orgánica de los sedimentos, si bien constituye una pequeña fracción de los mismos, su contribución al registro sedimentario puede ser utilizada para inferir los procesos que ocurrieron en el sistema, y las condiciones ambientales que primaban en determinado momento (Meyers 1997).

En este sentido, Tudurí (2012) realizó una reconstrucción paleoambiental de la Bahía de Montevideo utilizando contenidos de MOT, Nt y Pt en el sedimento, encontrando un cambio en la tendencia de estas variables posterior a 1917. Estos resultados coincidieron con cambios industriales ocurridos durante principios de siglo XX en la Bahía de Montevideo como la aparición de frigoríficos, curtiembres y la construcción del Puerto de Montevideo

(Cranston y Kurucz 2002). Adicionalmente, en el trabajo de García Rodríguez *et al.* (2010), se utilizaron metales pesados y diatomeas como variables, y mostró resultados similares a los hallados por Tudurí (2012). Ambos estudios permitieron inferir tendencias del proceso de eutrofización y contaminación en la zona costera de Montevideo. Sin embargo, todavía resta conocer como ocurrió el proceso de enriquecimiento en el área hasta llegar a las concentraciones actuales.

El ONI (Índice Oceánico Niño), es un índice utilizado para determinar la ocurrencia del ENOS y se mide como el promedio de tres meses consecutivos de la anomalía de la temperatura del océano para una zona de referencia del Pacífico. Cuando este índice es superior o igual a 0,5 °C durante cinco meses consecutivos se espera el establecimiento de una fase El Niño. Lo contrario sucede para la fase La Niña. El umbral se subdivide en débil (cuando la anomalía varía entre 0,5 y 0,9), moderado (1,0 a 1,4) y eventos fuertes ( $\geq 1,5$ ), y cuando esta anomalía no ocurre hay una fase neutra (NOAA 2014).

Las anomalías en la temperatura superficial del océano se miden en diferentes regiones del Pacífico (índices Niño 1+2, Niño 3, Niño 4 y Niño 3.4) (Figura 1), siendo la región 3.4 la que presenta mayores correlaciones con la variabilidad de salinidad en la zona costera de Montevideo y el caudal del Río Uruguay (Nagy *et al.* 2002).

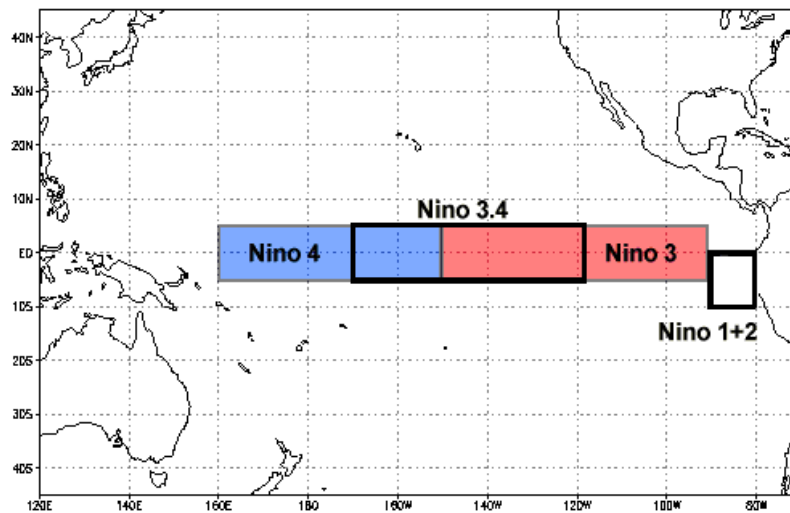


Figura 1. Regiones de medición de la temperatura superficial del océano para calcular el índice ONI. Fuente: NOAA.

En la figura 2 se presentan los valores del índice ONI para la región 3.4 durante el período 2009/2010.

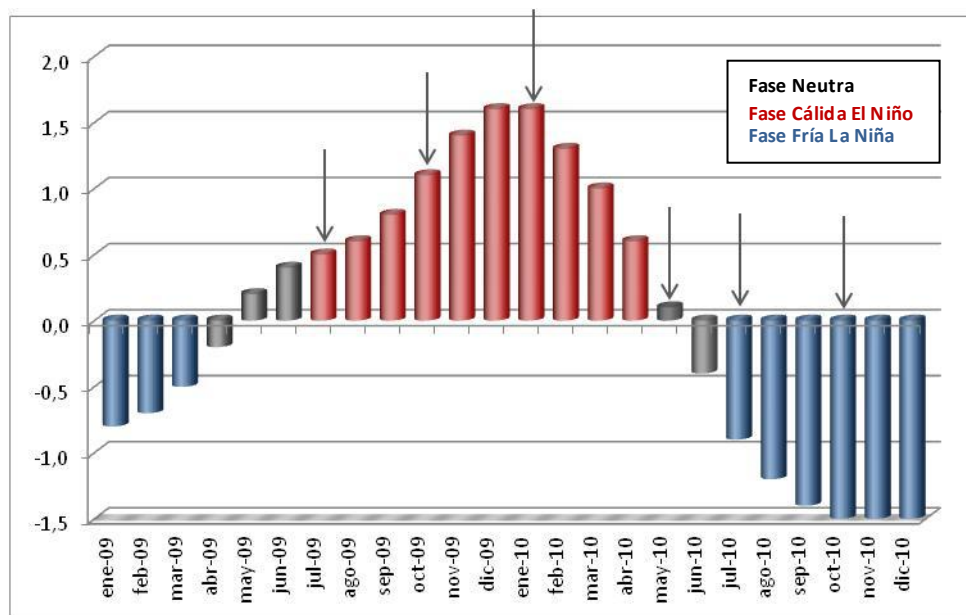


Figura 2. Índice ONI para la región 3.4 en el período 2009/2010. Se destaca en rojo los eventos “El Niño” y en azul “La Niña”. Las flechas resaltan los meses donde se recolectaron las muestras.

De la figura 2 se desprende que durante julio de 2009 y abril de 2010 se estuvo bajo la influencia de una fase cálida del ENOS en la zona del Pacífico ecuatorial. De acuerdo con García-Rodríguez *et al.* (2014), esto ocasionó un aumento en la precipitación total anual en la cuenca del Plata, provocando un incremento del 500% en el caudal del Río de la Plata producto de los aportes provenientes de los ríos Uruguay y Paraná.

Los isótopos son formas del mismo elemento que difieren en el número de neutrones presentes en el núcleo (poseen mismo número atómico pero distinto número másico). La abundancia natural de un isótopo es la cantidad presente en la naturaleza y se expresa en partes por mil (‰), mientras que para una muestra en particular, la abundancia isotópica es medida en relación a un estándar y el valor reportado es lo que se conoce como valor *delta* ( $\delta$ ). Valores de  $\delta$  positivos indican que la muestra está enriquecida porque contiene relativamente más del isótopo pesado en relación al estándar, mientras que valores de  $\delta$  negativos, indican una muestra empobrecida (Fry 2008).

La ventaja de la utilización de los isótopos estables de nutrientes en las reconstrucciones paleoambientales es que las firmas isotópicas son muy específicas según el origen del material orgánico (Vaalgama *et al.* 2013). Un ejemplo de esto es la selectividad del plancton en asimilar  $^{12}\text{CO}_2$  sobre  $^{13}\text{CO}_2$ , causando una abundancia relativa de  $^{12}\text{C}$  en la biomasa de algas con respecto al  $^{13}\text{C}$ . A su vez, la relación  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  es menor en la materia orgánica de origen terrestre que en el marino, y la relación es relativamente constante en ambas fuentes, no viéndose alterada por la diagénesis (Libes 2009). Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  son útiles ya que las algas en la base de la trama trófica tienen un amplio rango de  $\delta^{13}\text{C}$  y el detritos terrestre uno más restringido, por lo que las dos fuentes de C son isotópicamente diferentes (Michener & Lajtha 2007).

Adicionalmente, la materia orgánica terrestre por lo general es empobrecida en  $^{15}\text{N}$  con respecto a la marina, en cambio los efluentes urbanos e industriales están enriquecidos en  $^{15}\text{N}$  producto de la volatilización y procesos microbianos, pudiendo relacionar su aumento al



impacto antrópico (Savage 2005). En sistemas acuáticos, el fitoplancton marino y estuarino tiene altos valores de  $^{15}\text{N}$  en comparación con el de origen continental, permitiendo también identificar su origen. Sin embargo, la relación de isótopos de N en los sedimentos puede verse afectada por varios procesos como la nitrificación y desnitrificación (Vaalgama *et al.* 2013).

El estudio de Lamb *et al.* (2006) plantea un modelo realizado a partir de una amplia revisión bibliográfica, en el cual se identifican los rangos de  $\delta^{13}\text{C}$  y del cociente  $\text{C}_{\text{org}}/\text{N}_{\text{total}}$  para las principales fuentes de materia orgánica en los ambientes costeros (Figura 3).

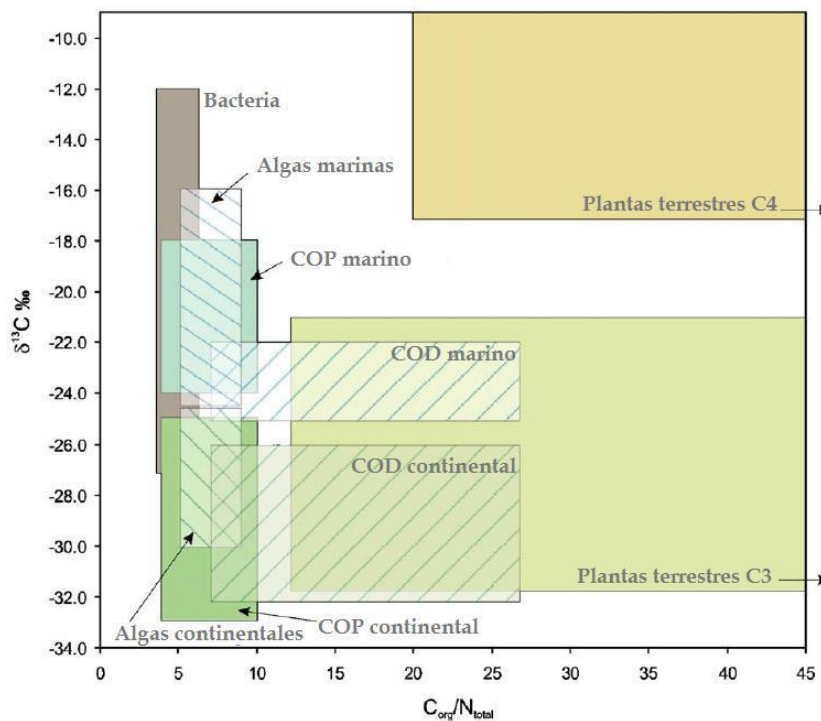


Figura 3. Rangos de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\text{C}_{\text{org}}/\text{N}_{\text{total}}$  para las principales fuentes de materia orgánica en ambientes costeros. Modificado de Lamb *et al.* (2006).

Es importante considerar que en algunas situaciones la utilización de estos indicadores puede derivar en interpretaciones incorrectas. Sampei & Matsumoto (2001) plantean que la relación  $\text{C}_{\text{org}}/\text{N}_{\text{total}}$  no es confiable como indicador cuando el porcentaje de  $\text{C}_{\text{org}}$  es menor a 1%, ya que pequeños cambios en el %  $\text{C}_{\text{org}}$  o %  $\text{N}_{\text{total}}$  provocarán grandes cambios en el

resultado (Lamb *et al.* 2006). Por otro lado, utilizar la relación Corg/Nt cuando los niveles de fitoplancton son muy altos, también puede derivar en resultados equivocados ya que la relación es poco sensible a los cambios de aportes planctónicos cuando este es proporcionalmente alto (Sampei & Matsumoto 2001). La ausencia de oxígeno disuelto en el sedimento favorece la preservación de la materia orgánica, sin embargo varios estudios concluyen que la degradación de la materia orgánica es similar tanto en sistemas anóxicos como en los bien oxigenados (Meyers 1997) por lo que esto no debería ser un problema a tener en cuenta.

En sistemas acuáticos costeros de Uruguay se han realizado diversos estudios en base isótopos estables, aunque principalmente relacionados con tramas tróficas. Milessi *et al.* (2010) utilizó el  $^{15}\text{N}$  como descriptor de los diferentes niveles de la trama trófica de la Laguna de Rocha; igualmente en Laguna de Rocha, Rodríguez-Graña *et al.* (2008) utilizaron isótopos estables de C y N para determinar si las variaciones ambientales inducían cambios en la estructura de la trama trófica. Por otro lado, en el Río de la Plata, Biscaye (1972) realizó una interpretación de la distribución de los sedimentos superficiales en base al análisis de isótopos de estroncio, y recientemente Botto (2011) identificó las principales fuentes de los recursos para las tramas tróficas en el estuario del Río de la Plata en base a los isótopos estables de C y N. A pesar de estos avances, en la zona costera de Montevideo esta clase de estudios y la utilización de esta herramienta para identificar el origen de la materia orgánica presente en el sistema aún no han sido realizados.

El presente estudio proporcionará una línea de base para la Bahía de Montevideo, utilizando como proxies la relación entre Corg y Nt, así como su proporción isotópica en la materia orgánica de los sedimentos. Esto permitirá aportar nueva información histórica sobre la evolución del impacto antrópico y los cambios tróficos ocurridos. Esta información puede ser de utilidad para planes de manejo y monitoreos realizados en la zona. A su vez, el análisis de sedimentos superficiales permitirá vincular los cambios en las fuentes de materia orgánica en la zona, con los eventos climáticos actuales.

## Hipótesis y predicciones

### Hipótesis

Los isótopos estables de C y N, así como la relación entre Corg y Nt en la materia orgánica de los sedimentos, permitirán inferir la evolución del enriquecimiento orgánico en la Bahía de Montevideo. Adicionalmente, las condiciones hidrológicas del Río de la Plata influyen sobre la composición isotópica de la materia orgánica de los sedimentos.

### Predicciones

*Reconstrucción histórica:* Los sedimentos históricos de la Bahía de Montevideo muestran un incremento en  $\delta^{15}\text{N}$  a partir del comienzo de las actividades industriales en la zona.

*Situación actual:* Las diferentes fases del ENSO se verán reflejadas en cambios en la relación Corg/Nt de la materia orgánica de los sedimentos superficiales, presentando un aporte de mayor influencia continental durante la fase cálida de El Niño.

## Objetivo general

Realizar una caracterización de los sedimentos históricos y actuales de la zona costera de Montevideo, en base a los isótopos estables de C, N, y la relación Corg/Nt.

## Objetivos específicos

- Realizar una reconstrucción paleoambiental de la Bahía de Montevideo utilizando los isótopos de C y N, y la relación Corg/Nt como proxies para inferir las condiciones de referencia antes del desarrollo urbano e industrialización de la zona.
- Comparar las tendencias de las reconstrucciones paleoambientales realizadas en la zona basadas en otras variables, con las obtenidas en el presente estudio.
- Inferir cambios en las condiciones tróficas del área de estudio a través del tiempo y asociarlos a los aportes de materia orgánica
- Determinar la composición de la materia orgánica (diferenciando entre marina y continental) en la zona costera de Montevideo durante épocas hidrológicas contrastantes, para evaluar el efecto de un evento ENSO en la composición y abundancia de la materia orgánica en los sedimentos superficiales.

## Material y Métodos

### *Caracterización del área de estudio*

El Río de la Plata ( $35^{\circ}00' - 35^{\circ}10' S$  y  $55^{\circ}00' - 58^{\circ}10' W$ ) se ubica sobre la costa este de Sudamérica, con una cuenca que abarca  $4.144.000 \text{ km}^2$  lo que la convierte en la segunda mayor cuenca fluvial de América del Sur (García Rodríguez *et al.* 2014). En la zona media y norte del Río de la Plata se encuentra la zona costera de Montevideo (ZCM), la cual ha sufrido grandes modificaciones a lo largo del tiempo debido a la ocurrencia de impactos antrópicos (Muniz *et al.* 2011). Actualmente es receptora del vertido de efluentes urbanos e industriales sin tratamiento, el aporte de arroyos que transportan desechos procedentes de diversas industrias, centros urbanos próximos y un emisario submarino. De los emprendimientos industriales que se encuentran en el área, se destaca la zona de la Bahía de Montevideo donde se encuentra el puerto de Montevideo, la Central térmica Batlle y el aporte de los arroyos Miguelete y Pantanoso que transportan desechos de diversas industrias, (García-Rodríguez *et al.* 2010, 2014).

La Bahía de Montevideo es un sistema con características únicas y, si bien forma parte de la zona costera de Montevideo, puede ser considerada un sistema independiente (Santoro *et al.* 2013). En el mencionado estudio se encontró que un bajo caudal de descarga fluvial del Río de la Plata prácticamente no influye sobre la circulación de la Bahía, mientras que descargas extremas generadas por las descargas fluviales locales, modifican el patrón de flujo. Próximamente se realizará el Plan de Saneamiento Urbano IV (PSU IV) para la zona oeste de Montevideo, el cual tiene como uno de los principales objetivos continuar con la descontaminación de la Bahía de Montevideo canalizando los efluentes de los arroyos Miguelete y Pantanoso a través de un emisario subacuático en la zona de Punta Yeguas (IMM 2012).

### *Muestras a analizar*

La reconstrucción paleoambiental, se realizará utilizando el testigo de sedimento BAT1 extraído en la estación B2 de la Bahía de Montevideo en julio de 2010 (Figura 4), el cual tiene 63 mm de diámetro interno y 149 cm. de profundidad. Dicho testigo fue seccionado longitudinalmente en estratos de 1 cm. de espesor. Actualmente las muestras se encuentran preservadas en el laboratorio de Oceanografía y Ecología Marina de la Facultad de Ciencias. Para la región de la zona interna de de la Bahía de Montevideo frente a Central Batlle, los estudios de Cranston & Kurucz (2002) determinaron una sedimentación neta de 3 mm año<sup>-1</sup>.

Para el análisis de los sedimentos superficiales se utilizarán muestras de 6 campañas de muestreo realizadas durante julio 2009, octubre 2009, enero 2010, mayo 2010, julio 2010 y octubre 2010 en el marco del Convenio IMM-Facultad de Ciencias (Oceanografía y Ecología Marina) relacionado con el monitoreo de PSU IV. Estas colectas corresponden a diferentes momentos del evento ENOS 2009/2010 (comienzo de “El Niño” (inmediatamente después de una fase neutra), diferentes intensidades de la fase cálida “El Niño”, fase neutra posterior y comienzo de la fase fría “La Niña”. Ver Figura 2). Se considerarán muestras colectadas de un total de 15 estaciones, correspondientes a la Bahía de Montevideo (5), y en la zona costera adyacente, hacia el oeste (6) y este (4) de la Bahía de Montevideo (Figura 4). Las muestras liofilizadas se encuentran en la sección Oceanografía y Ecología Marina de la Facultad de Ciencias.

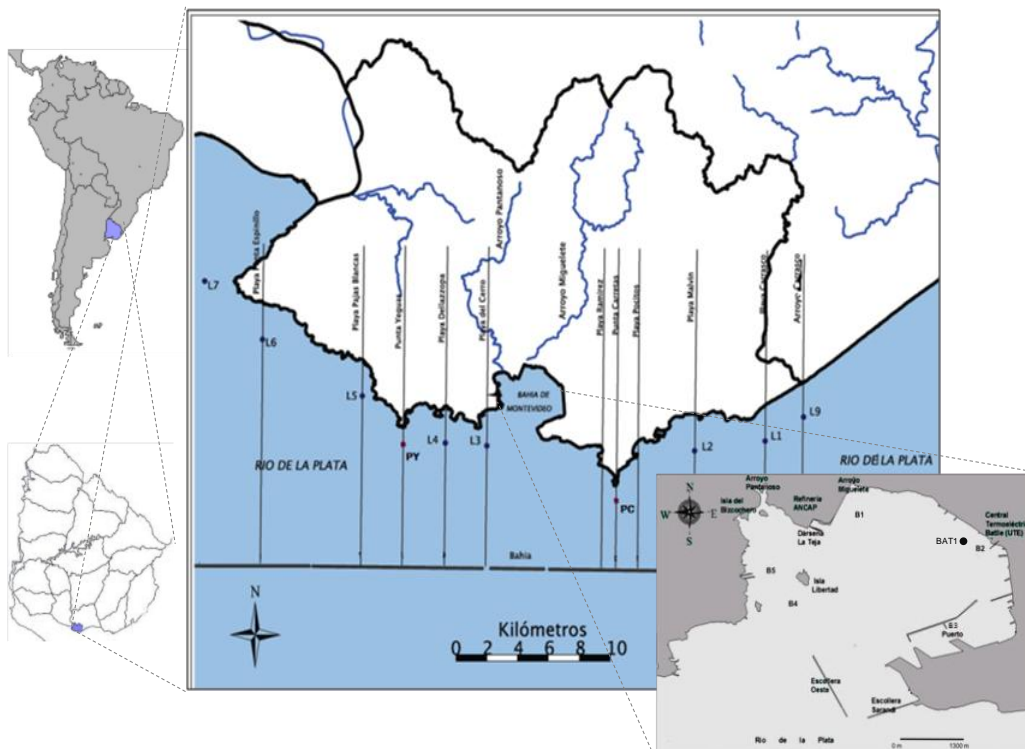


Figura 4. Área de estudio y ubicación de las estaciones de muestreo y sitio de colecta del testigo BAT 1.

### *Análisis de laboratorio para determinación de isótopos estables*

Para determinar el porcentaje de Corg, los carbonatos deben ser removidos acidificando la muestra. El estudio realizado por Ryba & Burgess (2002) determinó que la acidificación de las muestras afectan las firmas isotópicas de N, por lo que las firmas isotópicas de C y N deben analizarse a partir de submuestras diferentes.

Para realizar el análisis isotópico las muestras se procesarán previamente según el procedimiento descrito en Ryba & Burgess (2002), el cual consiste en:

*Preparación de las muestras* - los sedimentos se secarán a 60 °C durante 18 hs y posteriormente homogeneizados en mortero y colocados en viales eppendorf.

*Submuestras para el análisis de isótopos de C* - se secarán y acidificarán con HCl 1M hasta pH  $\leq 2$ . Posteriormente se lavarán con agua destilada y se colocarán en estufa a 60 °C durante 18 hs.

El pre-tratamiento para el análisis de muestras se realizará en el Laboratorio de Oceanografía y Ecología Marina de Facultad de Ciencias, UDELAR. Posteriormente, las firmas isotópicas de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ , C y N se determinarán por espectrometría de masas en el laboratorio CATNAS de la Facultad de Agronomía, UDELAR.

Los isótopos estables serán medidos con un espectrómetro de masa de relación isotópica (IRMS por sus siglas en inglés). Un espectrómetro de masas es un instrumento que separa los átomos o moléculas cargadas en base a la relación masa/carga. Hay dos tipos básico de IRMS, de doble entrada (DI-IRMS) o de flujo continuo (CF-IRMS) (Michener & Lajtha 2007). El laboratorio CATNAS donde se analizarán las muestras cuenta con un sistema de espectrometría de masa en flujo continuo.

El resultado final será reportado como  $\delta^{13}\text{C}$  (‰) relativo al estándar PDB (Pee Dee Belemnite), y  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) relativo al nitrógeno atmosférico de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\delta X = \frac{R_{\text{muestra}} - R_{\text{estándar}}}{R_{\text{estándar}}} \times 1000 (\text{‰})$$

Donde X = C (carbono) o N (nitrógeno) y  $R = {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$  para el carbono y  ${}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}$  para nitrógeno.



### *Análisis de datos*

La identificación de la fuente de materia orgánica se realizará interpolando los datos obtenidos de  $\delta^{13}\text{C}$  y Corg/Nt al modelo de Lamb *et al.* (2006), mediante un gráfico biplot y también se compararán con los resultados presentados por Botto *et al.* (2011).

Para determinar la zonificación del testigo se sedimento se realizará un análisis de cluster, y se utilizará el índice de similitud de Bray-Curtis (Bray & Curtis 1957).

Se utilizarán técnicas multivariadas y análisis de gradiente para determinar el efecto del ENSO sobre el estado trófico del sedimento superficial. Para determinar si existieron diferencias significativas entre los diferentes muestras se correrán ANOVA y ANOSIM.

### *Otras variables ambientales a considerar*

Con el fin de vincular los resultados obtenidos en los sedimentos superficiales con las condiciones ambientales actuales, se considerarán las variables MOT, Clorofila *a* y granulometría en los sedimentos; y en la columna de agua, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto en el fondo en los análisis multivariados.

### **Resultados esperados**

Tras la realización del proyecto se espera:

- Comprender el proceso de enriquecimiento orgánico ocurrido en la zona costera de Montevideo hasta llegar a las condiciones actuales, determinando valores de líneas de base para los proxies utilizados.
- Determinar los efectos del ENOS en la composición de la materia orgánica de los sedimentos de la zona costera metropolitana.

- Que los resultados hallados en el presente estudio sobre composición isotópica de C y N, así como la relación Corg/N en la materia orgánica de los sedimentos puedan ser utilizados como herramienta de gestión para los monitoreos ambientales a realizarse en la Bahía de Montevideo y zona costera adyacente.

### Cronograma de ejecución de actividades

ACTIVIDAD / MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Búsqueda de bibliografía e información	●											
Procesamiento de muestras para análisis de isótopos estables		●										
Análisis de muestras para isótopos estables					●							
Análisis de resultados								●				
Integración de resultados con datos preexistentes										●		
Redacción de tesis								●				
Defensa de tesis												●

### Factibilidad

Los análisis previstos para el presente estudio se financiarán con fondos provenientes del convenio firmado entre ANP y Facultad de Ciencias en Febrero de 2013, así como de dinero asignado al Dr. Felipe García Rodríguez en el marco de los llamados de PEDECIBA-GEOCIENCIAS. A su vez, se solicitó una beca a la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (POS\_NAC\_2014\_1\_102669) para financiar el salario de la estudiante durante la realización del proyecto.

## Bibliografía

**ANP, 2014.** Administración Nacional de Puertos. Sitio web: [www.anp.com.uy](http://www.anp.com.uy), acceso abril de 2014.

**Barreiro, M.** 2009. Influence of ENSO and the South Atlantic Ocean on climate predictability over Southeastern South America. *Climate Dynamics*, DOI 10.1007/s00382-009-0666-9.

**Biscaye, P.** 1972. Strontium isotope composition and sediment transport in the Rio de la Plata estuary. *Geology Society of America* 133, 349-357.

**Botto, F.,** Gaitán, E., Hermes, M., Acha, M., Giberto, D., Schiariti, A. & Iribarne, O. 2011. Origin of resources and trophic pathways in a large SW Atlantic estuary: An evaluation using stable isotopes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 92, 70-77.

**Bray, J. R. & Curtis, J. T.** 1957. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecological Monograph* 27, 325-349

**Bricker, S. B.,** Ferreira, J. G. & Sima, T. 2003. An integrated methodology for assessment of estuarine trophic status. *Ecological Modelling* 169, 39-60.

**Byers, S. C.,** Mills, E. L. & Sewart, P.L. 1978. A comparison of methods to determining organic carbon in marine sediments, with suggestion for a standard method. *Hydrobiology* 58, 37-43.

**Caviedes, C.** 1998. Influencia de ENOS sobre las variaciones interanuales de ciertos ríos en América del Sur. *Bulletin de l'Institut Francais d'Études Andines* 27, 627-641.

**Caviedes, C. & Waylen, P.** 1998. Respuestas del clima de América del Sur a las fases de ENSO. *Bulletin de l' Institut francais d'études Andins* 17, 613-626.

**CENR.** 2003. An assessment of coastal hypoxia and eutrophication in U.S. coastal waters. National Science and Technology Council Committee on Environment and Natural Resources, Washington, DC. 74 pp.

**Clarke, A. L.,** Weckström, K., Conley, D.J., Anderson, N.J., Adser, F., Andrén, E., De Jonge, V.N., Ellegaard, M., Juggins, S., Kauppila, P., Korhola, A., Reuss, N., Telford, R.J. & Vaalgamaa, S. 2006. Long-term trends in eutrophication and nutrients in the coastal zone. *Limnology and Oceanography* 51, 385-397.

**Cloern, J.** 2001. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Marine Ecology Progress Series* 210, 223–253.

**Cranston, R. & Kurucz, A.** 2002. Estimating sediment accumulation rates in Montevideo Bay, Uruguay. *Eco-plata II Scientific Paper Montevideo*, 1- 4.

**Dell'Anno, A.,** Mei, M.L., Pusceddu, A. & Danovaro, R. 2002. Assessing the trophic state and eutrophication of coastal marine systems: a new approach based on the biochemical composition of sediment organic matter. *Marine Pollution Bulletin* 44, 611-622.

**Fry, B.** 2008. *Stable Isotope Ecology*. Springer, New York, New York, USA, 316 pp.

**García-Rodríguez, F.,** Brugnoli, E., Muniz, P., Venturini, N., Burone, L., Hutton, M. Rodríguez, M., Pita, A., Kandravicius, N., Pérez, L. & Verocai, J. 2014. Warm-phase ENSO events modulate the continental freshwater input and the trophic state of sediments in a large South American estuary. *Marine and Freshwater Research* 65, 1-11.

**García-Rodríguez, F.**, Hutton, M., Brugnoli, E., Venturini, N., Del Puerto, L., Inda, H., Bracco, R., Burone, L. & Muniz, P. 2010. Assessing the effect of natural variability and human impacts on the environmental quality of a coastal metropolitan area (Montevideo Bay, Uruguay). *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 5, 90–99.

**Intendencia Municipal de Montevideo (IMM)**. 2012. Sistema de disposición final de saneamiento de la zona oeste de Montevideo. Informe ambiental resumen.

**Jordan, S.** 2012. Introduction to Estuaries. In: *Estuaries: Classification, Ecology, and Human Impacts*. Stephen J. Jordan, Editor. NOVA Science Publishers, Hauppauge, NY, 1-13.

**Lamb, A. L.**, Wilson, G. P. & Leng, M. J. 2006. A review of coastal palaeoclimate and relative sea-level reconstructions using  $\delta^{13}C$  and C/N ratios in organic material. *Earth- Science Reviews* 75, 29–57.

**Lee, T., & McPhaden, M. J.** 2010. Increasing intensity of El Niño in the central equatorial Pacific. *Geophysical Research Letters*, 37, L14603, doi:10.1029/ 2010GL044007

**Libes, S.** 2009. Introduction to marine biogeochemistry. Segunda edición, Elsevier, Academic Press, 893 pp.

**McLusky, D.** & Elliott, M. 2004. The estuarine ecosystem. Ecology, threats, and management. Oxford University Press. 214 pp.

**McPhaden, M. J.**, Zebiak, S. E., & Glantz, M. H. 2006. ENSO as an integrating concept in Earth science. *Science* 314, 1740–1745.

**Meyers, P.** 1994. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. *Chemical Geology* 114, 289-302.

**Meyers, P.** 1997. Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic and paleoclimatic processes. *Organic Geochemistry* 27, 213-250

**Michener, R. & Lajtha, K.** 2007. *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science*. Second Edition. Blackwell Publishing, 594 pp.

**Milessi, A.C.,** Calliari, D., Rodríguez-Graña, L., Conde, D., Sellanes, J. & Rodríguez-Gallego, L. 2010. Trophic mass-balance model of a subtropical coastal lagoon, including a comparison with a stable isotope analysis of the food-web. *Ecological Modelling* 221, 2859–2869. DOI:10.1016/j.ecolmodel.2010.08.037

**Müller, A. & Mathesius, U.** 1999. The palaeoenvironments of coastal lagoons in the southern Baltic Sea, I. The application of sedimentary Corg/N ratios as source indicators of organic matter. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 145, 1-16.

**Muniz, P.,** Venturini, N., Hutton, M., Kandravicius, N., Pita, A., Brugnoli, E., Burone, L. & García-Rodríguez, F. 2011. Ecosystem health of Montevideo coastal zone: A multi approach using some different benthic indicators to improve a ten-year-ago assessment. *Journal of Sea Research* 65, 38–50.

**Nagy, G.,** Pshennikov-Severova, V. & Robatto, P. 2002. Monthly variation of salinity in the frontal zone of the Río de la Plata off Montevideo, in response to consecutive ENSO fluctuations and the flow of the Uruguay river (1998-2000). In: *The Rio de la Plata Research to manage the environment, fish resources and the fishery in the saline front*. Eds. Vizziano, D., Puig, P., Mesones, C. & Nagy, G. EcoPlata Program, Montevideo, Uruguay.

**Nixon, S. W.** 1995. Coastal Marine Eutrophication: A definition, social causes, and future concerns. *Ophelia* 41, 199-219.

**NOAA.** 2014. National Oceanic and Atmospheric Administration, Climate Prediction Center: “Cold and warm episodes by season”. Acceso 01 de Setiembre de 2014. [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)

**Rodríguez-Graña, L., Calliari, D., Conde, D., Sellanes, J. & Urrutia, R.** 2008. Food web of a SW Atlantic shallow coastal lagoon: spatial environmental variability does not impose substantial changes in the trophic structure. *Marine Ecology Progress Series* 362, 69–83. DOI: 10.3354/meps07401.

**Ryba, S. A. & Burgess, R. M.** 2002. Effects of sample preparation on the measurement of organic carbon, hydrogen, nitrogen, sulfúur, and oxygen concentrations in marine sediments. *Chemosphere* 48, 139-147.

**Sampei, Y. & Matsumoto, E.** 2001. C/N ratios in a sediment core from Nakaumi Lagoon, southwest Japan - usefulness as an organic indicator. *Geochemical Journal* 35, 189– 205.

**Santoro, P., Fossati, M. & Piedra Cueva, I.** 2013. Characterization of Circulation Patterns in Montevideo Bay (Uruguay). *Journal of Coastal Research* 29, 819-835.

**Savage, C.** 2005. Tracing the influence of sewage nitrogen in a coastal ecosystem using stable nitrogen isotopes. *Ambio* 34, 145-150.

**Smith, V.H., Joye, S.B. & Howarth, R.W.** 2006. Eutrophication of freshwater and marine ecosystem. *Limnology and Oceanography* 51, 351–355

**Smol, P.J.** 2008. Pollution of lakes and rivers, a paleoenvironmental perspective, second edition. Editorial Blackwell. 383 pp.

**Thornton, S. F. & McManus, J.** 1994. Application of organic carbon and nitrogen stable isotope and C/N ratios as source indicators of organic matter provenance in estuarine systems: evidence from the Tay Estuary, Scotland. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 38, 219-233.

**Tudurí, A.** 2012. Evaluación de la eutrofización en la Bahía de Montevideo: situación actual y aproximación histórica. Tesina para la obtención del título de grado. Instituto de Ecología y Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias, UDELAR.

**Vaalgamaa, S.,** Sonninen, E., Korhola, A. & Weckström, K. 2013. Identifying recent sources of organic matter enrichment and eutrophication trends at coastal sites using stable nitrogen and carbon isotope ratios in sediment cores. *Journal of paleolimnology* 50, 191-206.

**Wefer, G.,** Berger, W. H., Bijma, J. & Fischer, G. 1999. Clues to ocean history: a brief overview of proxies. En: Fischer, G., Wefer, G. (eds), *Use of proxies in paleoceanography: Examples from the South Atlantic*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1-68.

**Wilson, G. P.,** Lamb, A. L., Leng, M. J., González, S. & Huddart, D. 2005.  $\delta^{13}\text{C}$  and C/N as potential coastal paleoenvironmental indicators in the Mersey Estuary, UK. *Quaternary Science Reviews* 24, 2105-2029.

**Zhou, J.,** Wu, Y., Zhang, J., Qinshu, K. & Zhenftao, L. 2006. Carbon and nitrogen composition and stable isotope as potential indicators of source and fate of organic matter in the salt marsh of the Changjiang Estuary, China. *Chemosphere* 65, 310-317.

**Zimmerman, A. R., & Canuel, E.** 2000. A geochemical record of eutrophication and anoxia in Chesapeake Bay sediments: anthropogenic influence on organic matter composition. *Marine Chemistry* 69, 117-137.





Universidad de la  
República



FACULTAD DE  
**CIENCIAS**

UDELAR | [fcien.edu.uy](http://fcien.edu.uy)

**Zimmerman, A. R., & Canuel, E.** 2002. Sediment geochemical records of eutrophication in the mesohaline Chesapeake Bay. *Limnology and Oceanography* 47, 1084-1093.