

# Tasas de acumulación reciente en los márgenes del estuario del Guadalquivir

*Recent accumulation rates along the Guadalquivir Estuary margins.*

Juan A. Morales<sup>1</sup>, Berta M. Carro<sup>1</sup>, Enrique G. San Miguel<sup>2</sup> y José Borrego<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Ciencias de la Tierra. Universidad de Huelva. Avenida 3 de marzo, s/n. 21007 Huelva (España). [jmorales@uhu.es](mailto:jmorales@uhu.es); [bertacarro@hotmail.com](mailto:bertacarro@hotmail.com); [borrego@uhu.es](mailto:borrego@uhu.es)

<sup>2</sup> Departamento de Física Aplicada. Universidad de Huelva. Avenida 3 de marzo, s/n. 21007 Huelva (España). [sanmiguel@uhu.es](mailto:sanmiguel@uhu.es)

## ABSTRACT

The Guadalquivir Estuary is located at center of the Cadiz Gulf. It is an estuary supplied by one of the longest rivers of Spain. The Guadalquivir estuarine channel extends from the town of Sevilla to its mouth in front of Sanlúcar de Barrameda (Cádiz), bordering Doñana National Park along its southeastern margin. Guadalquivir River has an average discharge of 185 m<sup>3</sup>/s, with a strong seasonal character. This estuarine zone is characterized by its mesotidal range, with a mean tidal amplitude of two meters. The channel margins mainly develop muddy facies with a clearly visible parallel lamination. Water usually has a high concentration of suspended matter, being one of the most turbid estuaries in the world. The results (<sup>210</sup>Pb y <sup>14</sup>C) supplied by this paper suggest a direct relation between the high concentrations of suspended matter and the high values of sedimentation rates. These rates oscillate between 5 and 11 mm/year for subtidal and intertidal unvegetated environments.

**Key-words:** Guadalquivir, estuarine sediments, accumulation rates, <sup>210</sup>Pb and <sup>14</sup>C radiometric ages.

## RESUMEN

El estuario del río Guadalquivir se localiza en el centro del golfo de Cádiz. Se trata de un estuario drenado por uno de los ríos más largos de España. El canal estuarino del Guadalquivir se extiende desde la ciudad de Sevilla hasta su desembocadura, frente a Sanlúcar de Barrameda (Cádiz), limitando el Parque Nacional de Doñana por su margen oriental. El río Guadalquivir tiene un caudal medio de 185 m<sup>3</sup>/s, con un acusado carácter estacional. La zona estuarina está caracterizada por un rango mesomareal con una amplitud media de 2 metros. Los márgenes del canal desarrollan principalmente facies fangosas con una laminación paralela muy visible. El agua tiene habitualmente altas concentraciones de materia en suspensión, siendo uno de los estuarios más turbios del mundo. Los resultados (<sup>210</sup>Pb y <sup>14</sup>C) aportados en este trabajo sugieren una relación directa entre estas altas concentraciones de materia en suspensión y los altos valores de tasas de acumulación. Estas tasas oscilan entre 5 y 11 mm/año para los ambientes sub e intermareales no vegetados.

**Palabras clave:** Guadalquivir, sedimentos estuarinos, tasas de acumulación, edades radiométricas <sup>210</sup>Pb y <sup>14</sup>C.

Geogaceta, 67 (2020), 35-38  
ISSN (versión impresa): 0213-683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 1/07/2019  
Fecha de revisión: 17/10/2019  
Fecha de aceptación: 22/11/2019

## Introducción

El estuario del Guadalquivir constituye el tramo navegable, desde Sevilla hasta la desembocadura, en Sanlúcar de Barrameda, con una longitud de 89,156 Km (Fig. 1). El régimen de mareas es semi-diurno y mesomareal, con rangos medios en su desembocadura de 2,0 m, aunque existe una diferencia métrica entre los niveles de pleamar y bajamar en mareas vivas (3,6 m) y en mareas muertas (0,7 m). La onda de marea se propaga hacia el interior según un modelo hiposincrónico.

El caudal natural histórico del Guadalquivir es de 185 m<sup>3</sup>/s, siendo de carácter muy irregular (Costa *et al.*, 2009), con oscilaciones entre valores menores a 10 m<sup>3</sup>/s en época de estiaje y de 5000 a 9000 m<sup>3</sup>/s durante las crecidas (Rodríguez-Ramírez *et al.*, 2005). Actualmente, las corrientes durante las mareas muertas presentan velocidades moderadas 0,5 m/s, en cambio, alcanzan los 1,54 m/s en

las mareas vivas medias con caudal de estiaje, mientras que, cuando coinciden con crecidas fluviales, los reflujos llegan a alcanzar los 3,21 m/s (Molini, 1903). Estas velocidades serían superiores, si no fuera por el control ejercido aguas arriba por los embalses que modulan el caudal.

Tanto en el pasado como actualmente, las aguas del estuario del Guadalquivir presentan valores muy elevados de turbidez debido a altas concentraciones de materia en suspensión. Este hecho hace que sea considerado como uno de los estuarios más turbios del mundo, variando entre 100 y 600 mg/l (Caballero *et al.*, 2014).

Los márgenes del estuario tienen un carácter deposicional y en ellos se acumulan sedimentos lutíticos que presentan una laminación alternante muy visible.

Los modelos más aceptados en estuarios (Williams, 1991; Tessier, 1993), sugieren que estas láminas responden a la alternancia entre ciclos de mareas vivas y

muertas, sin embargo, estudios recientes en este mismo estuario (Morales *et al.*, 2016) plantean la hipótesis de que las alternancias entre láminas claras y oscuras tiene carácter estacional.

A lo largo de los márgenes del canal estuarino se recogieron 7 testigos de sedimento por el método de vibración (vibracores) en el mes de julio de 2017 (Fig. 1) a fin de analizar las tasas de sedimentación por métodos radiométricos.

## Metodología

En los 7 testigos de sedimentos obtenidos por el método de vibración (Lanesky *et al.*, 1979) se realizaron dataciones por dos métodos radiométricos diferentes.

El tramo superior de tres de estos testigos sedimentarios (tres de los testigos más internos) fue datado utilizando el método de fechado por <sup>210</sup>Pb. Este método se basa en que en cada capa de sedimento el <sup>210</sup>Pb total es la suma de



**Fig. 1.- Localización de la zona de estudio con indicación de la posición de los sondes de sedimento datados por  $^{14}\text{C}$  (GVV-1 a 4) y por  $^{210}\text{Pb}$  (GPb-1 a 3).**

*Fig. 1.- Location of the study area with indication of the position of vibracores dated by using  $^{14}\text{C}$  (GV-1 to 4) and by  $^{210}\text{Pb}$  (GPb-1 to 3).*

dos fracciones: una que se encuentra en equilibrio con el  $^{226}\text{Ra}$  y la otra,  $^{210}\text{Pb}$  en exceso ( $^{210}\text{Pb}_{\text{XS}}$ ), que es la que se incorpora como consecuencia de la emanación de  $^{222}\text{Rn}$  a la atmósfera y que una vez que se incorpora al sedimento se desintegra con su periodo de semidesintegración (22,3 años) y permite datar el sedimento. Para aplicar este método hay que determinar en diferentes capas del testigo sedimentario las actividades de  $^{210}\text{Pb}$  totales y las de  $^{226}\text{Ra}$ . El  $^{210}\text{Pb}_{\text{XS}}$  en cada capa es la diferencia entre ambas.

Cada muestra se almacenó en recipientes cilíndricos sellados de 5 ml de polietileno durante al menos un mes para alcanzar el equilibrio secular entre el  $^{226}\text{Ra}$  y sus descendientes de periodos de desintegración más cortos a través de los cuales se determina. Con frecuencia, las fechas obtenidas se validan a través del  $^{137}\text{Cs}$ . La determinación de radionúclidos se realizó mediante espectrometría gamma. El  $^{210}\text{Pb}$  se ha determinado a través de su emisión gamma de 46,5 keV, el  $^{137}\text{Cs}$  a través de su emisión gamma de 661 keV y el  $^{226}\text{Ra}$  a través de la emisión gamma de 352 keV del  $^{214}\text{Pb}$ . Las determinaciones se han realizado en un detector de pozo de Ge (Canberra). La descripción detallada del método puede consultarse en San Miguel *et al.* (2003).

En cada uno de los 4 testigos restantes se tomaron dos muestras a diferentes profundidades a fin de fechar por el mé-

todo de  $^{14}\text{C}$ . el análisis de radiocarbono se encargó en los laboratorios *DirectAMS* de Seattle (Estados Unidos), identificadas con el código de informe 1955-028860-028873. La calibración de los resultados de  $^{14}\text{C}$  corregidos con  $^{13}\text{C}$  se realizó utilizando el software *Calib 7.04* utilizando la curva de calibración *Marine 13* para el testigo GVV-1, aplicando un DR de  $304 \pm 70$  (Stuiver y Reimer, 1993) y *IntCal13* para los tres testigos más internos, debido a las características de salinidad de cada zona del estuario.

## Resultados

### Tasas por $^{210}\text{Pb}$ en exceso

Se analizaron tres de los 4 testigos, ya que el testigo GVV-1, al encontrarse en la zona más marina, presentaba un carácter más arenoso y con menos actividad de radionúclidos, no pudiendo ser analizado. En los tres testigos analizados, las actividades de  $^{226}\text{Ra}$  oscilan ligeramente en torno a un valor medio de 20 Bq/kg. En la figura 2 se muestran las actividades de  $^{210}\text{Pb}_{\text{XS}}$  en los tres testigos.

En ninguno de los tres testigos el perfil de  $^{210}\text{Pb}_{\text{XS}}$  es estrictamente decreciente (Fig. 2), de este modo el único modelo simple de fechado que cabría aplicar es el modelo CRS (San Miguel *et al.*, 2003). Aplicando este modelo a los primeros 46 cm del testigo GPb-1 obtendríamos una antigüedad de  $59 \pm 17$  años. Para los primeros 60 cm del testigo GPb-2 la antigüedad sería de  $67,2 \pm 12,4$  años y para el testigo GPb-3 la antigüedad para los primeros 60 cm sería de  $64 \pm 13$  años.

Esto supone las tasas de sedimentación medias que se expresan en la tabla I.

El inconveniente del método empleado es que los resultados presentan una incertidumbre muy alta debido a la no linealidad del decrecimiento de  $^{210}\text{Pb}_{\text{XS}}$  en profundidad, de ahí que estos resultados deban ser calibrados y/o comparados con los obtenidos por otros métodos.

La validación por  $^{137}\text{Cs}$  no resulta concluyente en los testigos GPb-2 y GPb-3, sin embargo, en el GPb-1 ofrece tasas de 8,4 mm/año, valores coherentes con los ofrecidos por el  $^{210}\text{Pb}$ .

### Dataciones por Radiocarbono ( $^{14}\text{C}$ )

En cada uno de los testigos se han tomado dos muestras de sedimento arcilloso, cuyo contenido en carbono orgá-

nico se ha analizado por AMS. La muestra más superficial fue tomada en torno a la mitad del testigo y la más profunda en la lámina más orgánica cercana al muro del mismo. Los resultados de las dataciones se muestran en la tabla II y se han representado sobre la fotografía de los testigos correspondientes en la figura 3.

Estos datos muestran que las edades calibradas en los primeros 2 metros de sedimento oscilan entre los 400 años en la zona marina (GVV-1) y los 250 años en las zonas más internas, mientras que las edades los 4,5 metros presentan edades calibradas comprendidas entre los 800 años de la zona marina y los 550-600 años en el resto del estuario.

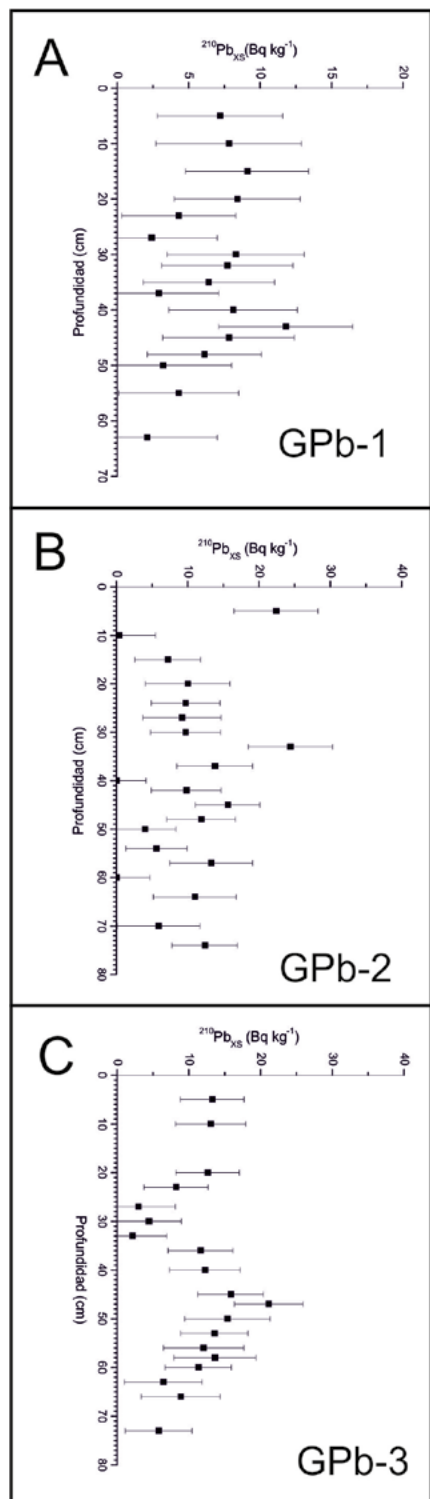
A estas dataciones corresponden las tasas de acumulación expresadas en la tabla III.

## Discusión y conclusiones

Los valores de tasas de acumulación obtenidos por métodos radiométricos como  $^{210}\text{Pb}$  y  $^{14}\text{C}$  en los márgenes activos del estuario del Guadalquivir ofrecen valores que oscilan entre los 4 y los 11 mm/año. Los mayores valores se concentran hacia los sectores más internos y más lúuticos del estuario, mientras que los valores menores se obtienen en las zonas más cercanas a la desembocadura donde el contenido arenoso de los sedimentos es mayor. Este carácter arenoso confiere al sedimento una mayor movilidad y disminuye las tasas de acumulación frente a los lugares donde se sedimentan lutitas, al tener éstas un carácter cohesivo que dificulta su resuspensión.

Los datos de cronología obtenidos por radionúclidos ( $^{210}\text{Pb}$ , y  $^{137}\text{Cs}$ ) ofrecen una alta incertidumbre, sin embargo, existe una coherencia en cuanto a las magnitudes de los valores obtenidos por este método en los tramos superiores de los testigos y los valores medios obtenidos por  $^{14}\text{C}$  a lo largo de todo el testigo, lo que confirma ambos métodos de datación como métodos válidos.

Los resultados obtenidos son, además coherentes con los obtenidos por otros autores en las marismas del estuario (Rodríguez-Ramírez, *et al.*, 2005), quienes obtuvieron valores que superaban un cm/año y encajan en magnitud con los pares de láminas visibles estudiados en estos mismos márgenes por Morales *et al.* (2016), que habían interpretado como laminación estacional y que suponían



**Fig. 2.- <sup>210</sup>Pb en exceso en las muestras distribuidas en profundidad de los tres testigos analizados.**

*Fig. 2.- <sup>210</sup>Pb in excess in samples distributed in depth along the three analyzed cores.*

TESTIGO	PROF. (cm)	TASA (mm/año)
GPb-1	46	7,8 ± 2,4
GPb-2	60	11,2 ± 0,4
GPb-3	60	9,4 ± 0,3

**Tabla I.- Tasas de acumulación por <sup>210</sup>Pb para los tetigos analizados.**

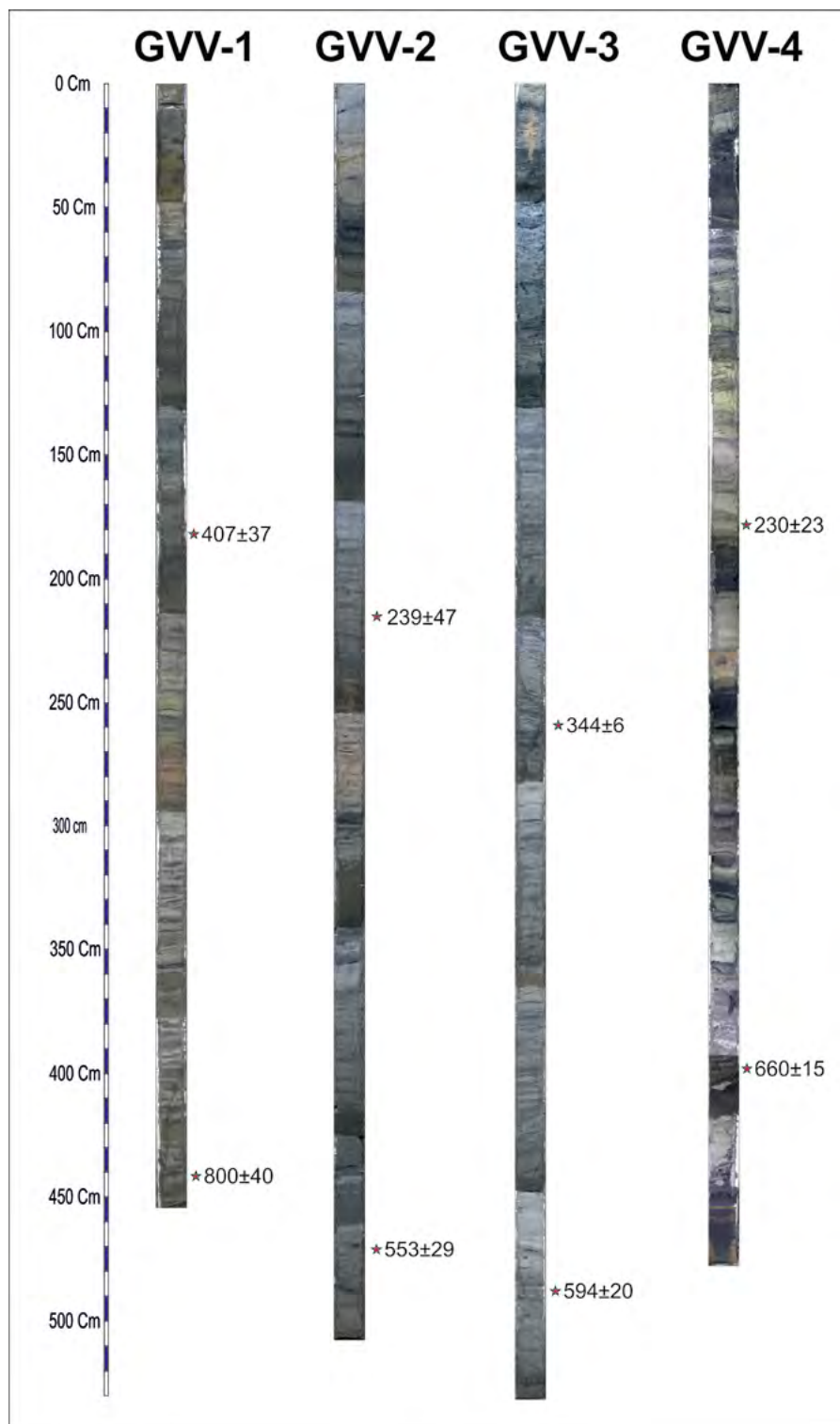
*Table I.- <sup>210</sup>Pb accumulation rates for the analyzed cores.*

una tasa de acumulación que oscilaría entre 3 y 9 mm/año, con valores medios de 7 mm/año.

Estos valores de tasas de acumulación son muy superiores a los obtenidos en otros estuarios, siendo de promedio tres veces superiores a los obtenidos por Morales *et al.* (2003) en un sistema tan próximo como la Ría de Huelva. Estos va-

lores tan altos pueden estar relacionados con las altas concentraciones de materia en suspensión observadas en el estuario, ya que gran parte de este material acaba sedimentando en el interior del estuario durante los repentes de marea donde las corrientes descienden antes de efectuar su cambio de sentido.

Las altas tasas de sedimentación obser-



**Fig. 3.- Fotografía de los testigos de sedimento analizados, con indicación de las muestras datadas.**

*Fig. 3.- Picture of the analyzed sediment cores, with indication of the dated samples.*

vadas en este estuario afectan a la navegación y la determinación de su origen aportaría conocimiento a la adecuada gestión portuaria, así como del entorno natural.

**Agradecimientos**

Este trabajo ha sido financiado a través de un convenio de investigación con la Autoridad Portuaria de Sevilla. Agradecemos a los revisores, G. Flor-Blanco y A. Rodríguez su contribución a la mejora del manuscrito inicial.

**Referencias**

Caballero, I., Morris, E.P., Ruiz, J. y Navarro, G. (2014). *Remote Sensing of Environment* 146, 148-152.

MUESTRA	PROF. (cm)	TASA (mm/año)
GVV-1 (sup)	181,0	4,45
GVV-1 (prof)	442,0	6,64
GVV-2 (sup)	216,0	9,04
GVV-2 (prof)	471,0	8,12
GVV-3 (sup)	259,0	7,54
GVV-3 (prof)	488,0	9,16
GVV-4 (sup)	178,0	7,76
GVV-4 (prof)	398,0	5,11

**Tabla III.- Tasas de acumulación por <sup>14</sup>C para los diferentes tramos sedimentarios en los testigos analizados. En cada testigo se tomaron dos muestras: superior (sup.) e inferior (inf.).**

Table III.- <sup>14</sup>C accumulation rates for the different log track in the analyzed cores. In each core two samples were taken: upper (sup.) and lower (inf.).

MUESTRA	PROF. (cm)	EDAD <sup>13</sup> C CORREG.	EDAD CALIBRADA
GVV-1 (sup.)	181,0	1082 ± 27	407 ± 37
GVV-1 (prof.)	442,0	1552 ± 32	800 ± 40
GVV-2 (sup.)	216,0	799 ± 26	239 ± 47
GVV-2 (prof.)	471,0	1133 ± 23	553 ± 29
GVV-3 (sup.)	259,0	765 ± 24	344 ± 6
GVV-3 (prof.)	488,0	994 ± 25	594 ± 20
GVV-4 (sup.)	178,0	306 ± 23	230 ± 23
GVV-4 (prof.)	398,0	1049 ± 28	660 ± 15

**Tabla II.- Resultados de las dataciones radiométricas corregidas con  $\delta^{13}C$  y edades calibradas. En cada testigo se tomaron dos muestras: superior (sup.) e inferior (inf.).**

Table II.- Results of  $\delta^{13}C$  corrected radiometric ages and final calibrated ages. In each core two samples were taken: upper (sup.) and lower (inf.).

Costa, S., Gutiérrez Mas, J.M. y Morales, J.A. (2009). *Revista de la Sociedad Geológica de España* 22, 23-42

Lanesky, D.E., Logan, B.W., Brown, R.G. y Hine, A.C. (1979). *Journal of Sedimentary Petrology* 39, 655-657.

Molini, L. (1903). *Revista de Obras Públicas* 1906, 349-351.

Morales, J.A., Sanmiguel, E.G y Borrego, J (2003). *Geogaceta* 33, 15-18.

Morales, R., Morales, J.A., Borrego, J. y Carro, B.M. (2016). *Geo-Temas* 16 (2), 283-286.

Rodríguez-Ramírez A., Yañez-Camacho, C., Gasco, C., Clemente Salas, L. y Antón, M.P. (2005). *Cuaternario y Geomorfología* 19, 37-48.

San Miguel, E.G., Bolívar, J.P. y García-Tenorio, R. (2003). *Journal of Paleolimnology* 29, 1-11.

Stuiver, M. y Reimer, P.J. (1993). *Radiocarbon* 35, 215-230.

Tessier, B. (1993). *Marine Geology* 110, 355-367.

Williams, G.E. (1991). En: *Clastic Tidal Sedimentology* (D.G. Smith, G.E. Reinson, B.A. Zaitlin y R.A. Rahmani, Eds.), Canadian Society of Petroleum Geologist Memoirs 16, 161-178.