

# Estudio Isotópico del Sr en Restos Óseos del Cementerio Altomedieval de Dulantzi (Alegoría-Dulantzi, Álava)

/ LUIS-ÁNGEL ORTEGA (1\*), IRANZU GUEDE (1), IRENE ARANGUREN (1), M<sup>a</sup>-CRUZ ZULUAGA (1), AINHOA ALONSO (1), XABIER MURELAGA (2), JAVIER NISO (3), MIGUEL LOZA (3), JUAN-ANTONIO QUIROS (4)

(1) Departamento de Mineralogía y Petrología. Fac. de Ciencia y Tecnología. UPV/EHU. B° Sarriena s/n. 48940, Leioa, Vizcaya (España)

(2) Departamento de Estratigrafía y Paleontología. Fac. de Ciencia y Tecnología. UPV/EHU. B° Sarriena s/n. 48940, Leioa, Vizcaya (España)

(3) Arqueología Itebide SC, Pasaje San Pedro nº 1 1º Izda, Vitoria-Gasteiz.

(4) Departamento de Geografía, Prehistoria y Arqueología. Fac. de Letras. UPV/EHU. Tomas y Vallente s/n, 01006 Vitoria-Gasteiz, Alava (España)

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años son frecuentes los estudios de paleo-migración de poblaciones a través del estudio isotópico del Sr en restos humanos. El estroncio es un elemento que está presente en concentraciones variables en el sustrato rocoso, en las aguas subterráneas, en el suelo, en las plantas y en los animales en un ecosistema determinado. Aunque la concentración de Sr en los organismos varía de acuerdo con su nivel trófico, la composición isotópica en los seres vivos es insensible a este fenómeno (Balter, 2004; Blum et al., 2000; Burton, 1996; Faure & Mensing, 2005; Hoppe et al., 1999). Por el contrario, los valores de la relación isotópica del estroncio radiogénico ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) varían en función de la edad y de la composición química de las rocas del sustrato en el que estos seres habitan (Dickin, 2005; Faure & Mensing, 2005). Estos isótopos no se fraccionan en un ecosistema, por lo que la huella isotópica de estroncio del sustrato rocoso, del suelo y de las plantas se verán reflejados en los animales y los humanos que se alimentan de estas áreas (Bentley, 2006; Malainey, 2011).

Los estudios de la geoquímica del estroncio son muy útiles en la arqueología fósil ya que el estroncio sustituye al calcio en el hidroxapatito de los huesos y dientes. Por tanto, las relaciones isotópicas del estroncio en el esmalte dental y huesos humanos serán reflejo de las relaciones isotópicas del estroncio de los alimentos y el agua de ingesta que han consumido durante toda la vida del individuo (Ericson, 1985, 1989; Price et al., 1994). Así, aquellas personas que hayan consumido alimentos locales y hayan vivido en una región geológica concreta, las relaciones

isotópicas de estroncio ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) que se encuentren en sus dientes y esqueleto serán reflejo del área donde vivían. Además, el esmalte dental, al contrario que los huesos, no incorpora otros elementos después de su formación en la infancia (Hillson, 1986, 1996). Por tanto, las relaciones  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  en el esmalte dental reflejarán la composición del lugar de residencia durante la infancia. Por el contrario, el hueso se regenera continuamente, e incorpora el estroncio del organismo a medida que crece (Parfitt, 1983) y en este caso, las relaciones  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  en los huesos reflejarán la composición del lugar de residencia durante los últimos años de vida. Todo esto bajo el supuesto de una alimentación a base de productos locales o para-locales (Price et al., 2002).

El objetivo de este trabajo es analizar la existencia de pautas de movimiento de poblaciones en época altomedieval en el norte de la península en base la composición isotópica del Sr.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales estudiados corresponden a 13 varones y 8 mujeres procedentes de un cementerio altomedieval (Dulantzi, Álava). A excepción del individuo infantil todos los demás restos corresponden a adultos/seniles de los cuales algunos presentan ajuar asociado al enterramiento, indicativo de un estatus social.

Se han estudiado 22 muestras, de las cuales 16 corresponden a huesos largos y 6 son piezas dentales. De cada diente se han extraído dos fracciones, una del esmalte dental y la otra de la dentina. Para ello se ha utilizado un micro-torno de dentista (MF-Perfecta, W&H Dentalwerk, Bürmoos, Austria). Además

de varios huesos, se ha recogido una fracción del barro del enterramiento a fin de obtener información sobre la composición isotópica del entorno. Previo al estudio isotópico, se ha realizado una evaluación de la diagénesis de los huesos mediante espectrometría de infrarrojos.

## Espectrometría de Infrarrojos con Transformada de Fourier (FT-IR)

Para la realización de los análisis FT-IR se mezcla 1 mg del hueso molido con 100 mg de bromuro de potasio (Aldrich 22186-4, FT-IR grade), previamente secado a 100° C. Los espectros de infrarrojo corresponden al intervalo de 400 a 4000  $\text{cm}^{-1}$  con una resolución de 4  $\text{cm}^{-1}$  y una acumulación de 40 barridos utilizando un espectrómetro FT-IR Mattson Satellite.

Para interpretar el grado de diagénesis, se calcula el índice de cristalinidad (IC) como  $\text{IC} = (A_{605} + A_{565}) / (A_{595})$ , donde  $A_x$  es la absorbancia a longitud de onda  $x$  (Shemesh, 1990), suponiendo una línea de base recta entre 700 y 500  $\text{cm}^{-1}$ . Este índice está relacionado con tamaño de cristalito del apatito biogénico, indicativo del grado de reordenación cristalina y por tanto de diagénesis. Los apatitos con cristales más grandes y más ordenados muestran una mayor separación de estos picos y un mayor valor en el índice IC (Shemesh, 1990; Wright & Schwarcz, 1996).

## Espectrometría de Masas por Ionización Térmica (TIMS)

Se pesan aproximadamente 10 mg de hueso ó 1 - 2 mg de diente en recipientes de teflón y se disuelven con 2 ml de  $\text{HNO}_3$  2N (grado-analítico purificado por destilación sub-boiling). Alícuotas diferentes de sedimento se

**palabras clave:** Isótopos de estroncio, Paleomigración.

**key words:** Strontium isotopes, Paleomigration.

han lixiviado con ácido acético 0,2 N y 6N. Las soluciones se cargan en columnas de intercambio catiónico rellenas con Sr.spec® (EiChroM industries, Dariel, Illinois), una resina selectiva de estroncio. El Sr extraído se carga en un filamento de Ta y se miden las relaciones isotópicas en un espectrómetro de masas de ionización térmica Finnigan MAT 262 de la UPV/EHU (España). La medida del material de referencia NBS-987 indica una precisión externa para los análisis de  $\pm 0,00002$  (2 s absoluto), mientras que el análisis del NBS 987 durante el periodo de análisis da valores de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$   $0,710281 \pm 12$  (2s, n = 4).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los espectros de FT-IR se caracterizan por presentar amplias bandas H<sub>2</sub>O que enmascara la banda OH a 3567 cm<sup>-1</sup> y la presencia de las tres bandas grupo amida (amida I a 1660 cm<sup>-1</sup>, amida II a 1550 cm<sup>-1</sup>, y amida III a 1236 cm<sup>-1</sup>). Estos espectros muestran valores en el índice de cristalinidad IC=1,04 y elevada sustitución del PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> por CO<sub>3</sub><sup>=</sup> tipo B que indican tamaño de cristalito pequeño y elevado desorden cristalográfico. De igual modo la ausencia de una banda a 713 cm<sup>-1</sup> indica la ausencia de calcita autígenica en las muestras estudiadas. Estas características corresponden a huesos que apenas han sufrido procesos diagenéticos durante el enterramiento (Shemesh, 1990).

Los sedimentos analizados presentan relaciones isotópicas  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  entre 0,70771 y 0,70790, mientras que los valores  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de diente y huesos varían de 0,70779 a 0,70802 a excepción del individuo A-72 que presenta una relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  = 0,70827 (Fig. 1). Estos valores muestran ligeras diferencias, aunque significativas ( $t_7=4,93$ ,  $p<0,001$ ), entre las relaciones isotópicas de los huesos y la de los sedimentos (Fig. 1). Estas diferencias en las relaciones  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  son un criterio adicional que corrobora la ausencia de procesos diagenéticos que hayan afectado a los huesos después del soterramiento.

Si consideramos los valores de las relaciones  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  en función del sexo del individuo y de la presencia de ajuar asociado al enterramiento asociado no se han observado diferencias significativas ni entre sexos ni entre estatus social (Fig. 2). Estos resultados muestran la ausencia de movimientos

importantes de población e indican que el grupo minoritario con estatus superior al resto corresponden a personas de origen local antes que foráneas. Únicamente la mujer A-72 parece proceder de un entorno diferente al del yacimiento arqueológico donde aparece enterrada.

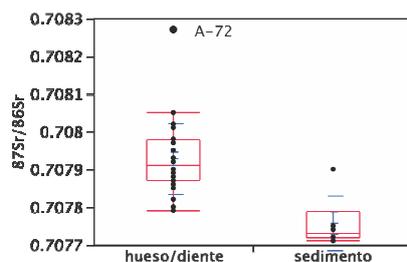


fig 1. Boxplot de la variación isotópica del Sr en restos humanos y en sedimento.

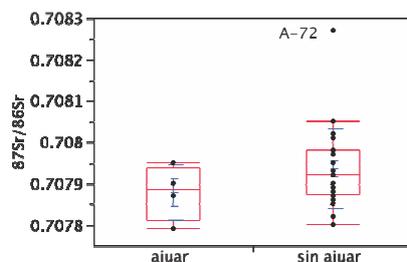


fig 2. Boxplot de la variación isotópica del Sr en individuos enterrados con ajuar o sin él.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto IT315-10 del Gobierno Vasco. Los autores agradecen Maite Insausti (UPV/EHU) por la realización de los análisis FT-IR y al Servicio de Geocronología y Geoquímica Isotópica de Investigación de la Universidad del País Vasco (SGIker, UPV/EHU) por la asistencia técnica.

## REFERENCIAS

Balter, V. (2004): Allometric constraints on Sr/Ca and Ba/Ca partitioning in terrestrial mammalian trophic chains. *Oecologia* **139**, 83-88.  
 Bentley, R.A. (2006): Strontium isotopes from the earth to the archaeological skeleton: A review. *Journal of Archaeological Method and Theory* **13**, 135-187.  
 Blum, J.D., Taliaferro, E.H., Weisse, M.T., Holmes, R.T. (2000): Changes in Sr/Ca, Ba/Ca and Sr-87/Sr-86 ratios between trophic levels in two forest ecosystems in the northeastern USA. *Biogeochemistry* **49**, 87-101.  
 Burton, J.H. (1996): Trace elements in bone as paleodietary indicators, in: Orna, M.V. (Ed.), *Archaeological Chemistry: Organic, Inorganic, and Biochemical Analysis*, 327-333.  
 Dickin, A.P. (2005): Radiogenic isotope

geology, 2nd ed. Cambridge University Press, Cambridge, UK ; New York.  
 Ericson, J.E. (1985): Strontium isotope characterization in the study of prehistoric human-ecology. *Journal of Human Evolution* **14**, 503-514.  
 - (1989): Some problems and of strontium isotope analysis for human and animal ecology,, in: Rundel, P.W., Ehleringer, J.R., Nagy, K.A. (Eds.), *Stable isotopes in ecological research*. Springer-Verlag, New York, 254-269.  
 Faure, G. & Mensing, T.M. (2005): *Isotopes: principles and applications*, 3rd ed. Wiley, Hoboken, N.J.  
 Hillson, S. (1986): *Teeth*. Cambridge University Press, Cambridge.  
 - (1996): *Dental anthropology*. Cambridge University Press, Cambridge.  
 Hoppe, K.A., Koch, P.L., Carlson, R.W., Webb, S.D. (1999): Tracking mammoths and mastodons: Reconstruction of migratory behavior using strontium isotope ratios. *Geology* **27**, 439-442.  
 -, -, Furutani, T.T. (2003): Assessing the preservation of biogenic strontium in fossil bones and tooth enamel. *International J. Osteoarchaeology* **13**, 20-28.  
 Malainey, M.E. (2011): *A consumer's guide to archaeological science: analytical techniques*. Springer, New York.  
 Parfitt, A.M. (1983): The physiologic and clinical significance of bone histomorphometric data, in: Recker, R.R. (Ed.), *Bone histomorphometry: techniques and interpretation*. CRC Press, Boca Raton, FL, 143-223.  
 Price, T.D., Burton, J.H., Bentley, R.A. (2002): The characterization of biologically available strontium isotope ratios for the study of prehistoric migration. *Archaeometry* **44**, 117-135.  
 - Johnson, C.M., Ezzo, J.A., Ericson, J., Burton, J.H. (1994b): Residential-mobility in the prehistoric Southwest United-States - a preliminary-study using strontium isotope analysis. *J. Arch Sci* **21**, 315-330.  
 Shemesh, A. (1990): Crystallinity and diagenesis of sedimentary apatites. *Geochim. Cosmochim. Acta* **54**, 2433-2438.  
 Wright, L.E. & Schwarcz, H.P. (1996): Infrared and isotopic evidence for diagenesis of bone apatite at Dos Pilas, Guatemala: Palaeodietary implications. *J. Arch Sci* **23**, 933-944.