



ANÁLISIS PRELIMINAR DE LOS ISÓTOPOS ESTABLES DEL ESTRONCIO ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) BIODISPONIBLES EN LA ISLA DE LANZAROTE: PROPUESTA PARA LA CREACIÓN DE UNA BASE DE DATOS DE REFERENCIA PARA SU APLICACIÓN EN LA ARQUEOLOGÍA CANARIA

PRELIMINARY ANALYSIS OF BIOAVAILABLE STABLE ISOTOPES OF STRONTIUM ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) IN LANZAROTE ISLAND: PROPOSAL FOR THE CREATION OF A BASELINE FOR ITS APPLICATION IN CANARIAN ARCHAEOLOGY

Paloma Cuello del Pozo ^{*1}

Recibido: 16 de marzo de 2018

Aceptado: 26 de julio de 2018

Cómo citar este artículo/Citation: Paloma Cuello del Pozo (2018). Análisis preliminar de los isótopos estables del estroncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) biodisponibles en la isla de Lanzarote: Propuesta para la creación de una base de datos de referencia para su aplicación en la arqueología canaria. Anuario de Estudios Atlánticos, nº 65: 065-031. <http://anuariosatlanticos.casadecolon.com/index.php/aea/article/view/10282/>

Resumen: El análisis de isótopos estables en la arqueología es un método de estudio consolidado y versátil que permite conocer aspectos culturales de la vida cotidiana del ser humano ya que estos quedan reflejados en la composición química del esqueleto. Este trabajo se ha centrado en el estudio de la viabilidad del uso de isótopos estables de estroncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) como herramienta para conocer la paleo-movilidad entre las sociedades aborígenes canarias y aplicarlo en futuros estudios sistemáticos de estos isótopos. Este trabajo presenta los resultados preliminares de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ biodisponible que se encuentran en Lanzarote con la intención de comenzar una base de datos de referencia. Estos niveles muestran claramente las diferencias radiogénicas que existen entre la geología del archipiélago y territorios vecinos continentales. Como prueba piloto, se han analizado restos zooarqueológicos de ovicaprinos y se han comparado con los valores modernos de materia orgánica local, confirmando la territorialidad de los especímenes.

Palabras clave: isótopos estables, estroncio, biodisponible, islas Canarias, paleo-movilidad, aborígenes.

Abstract: The analysis of stable isotopes is a consolidated and versatile technique that can show us an array of cultural behaviors reflected in the chemistry of the human skeleton, and that are a consequence of daily life activities. This study shows preliminary results of the bioavailable ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) found on Lanzarote Island aiming to begin a baseline for the archipelago. The data presented here clearly shows radiogenic differences between the geology of the archipelago and neighboring continental landmasses. As a pilot study, the author analyzed zooarchaeological remains from ovicaprids and compared them with values from local organic material, thus confirming the territoriality of specimens.

Key words: stable isotopes, strontium, bioavailable, Canary Islands, paleo-mobility, aborigenes.

* Investigadora: Máster en Antropología Aplicada de la Universidad Estatal de Humboldt (HSU) de EEUU. Doctoranda en Antropología (especialización en Arqueología) en la Universidad de Texas A&M, Tamu 4352, College Station, TX 77843-4352, EEUU. Correo electrónico: palomacuello@tamu.edu

¹ Este trabajo es una síntesis de los resultados obtenidos en el proyecto de Máster de la autora, defendido el 5 de mayo del 2016 en HSU, California. Dirigida por la Dra. Marisol Cortes-Rincon y co-dirigida por la Dra. Marissa Ramsier del Departamento de Antropología, al que agradecemos la financiación de este proyecto. Agradecimiento extensible también al Dr. Pablo Atoche Peña y su equipo por contribuir con las muestras de control en esta investigación. Muchas gracias al Dr. Joaquín Meco-Cabrera, el Dr. Daniel R. Muhs, y el Dr. David S. Baston.

INTRODUCCIÓN

La subdisciplina de la bioarqueología, también conocida como osteoarqueología, forma parte de la antropología física y nos permite, a través de múltiples métodos y técnicas de estudio, conocer a través de los restos óseos humanos aspectos de las poblaciones del pasado (dieta, patologías, movilidad, filogenética, etc.). Debido a la compleja naturaleza de nuestro organismo, no existe una única técnica capaz de desvelar dichas incidencias; por ello, tenemos a nuestra disposición un amplio abanico de ámbitos de estudio que nos ayudan a conocer la vida de sociedades del pasado. Este artículo se centra en el análisis de isótopos estables, una técnica conocida de la bioarqueología que nos ayuda a aproximarnos a las costumbres de vida de los antiguos aborígenes canarios. La revisión de los distintos estudios bioarqueológicos efectuados en las islas Canarias en las últimas décadas, nos muestra la inexistencia de estudios sobre isótopos estables que utilicen el estroncio (Sr) con la finalidad de analizar patrones de movilidad. En Canarias, los isótopos estables de Sr han sido mayormente empleados para comprender la composición geoquímica de las capas volcánicas que forman las islas de Lanzarote², Fuerteventura³ y Gran Canaria⁴; sin embargo, en otras partes del mundo, la disciplina arqueológica ha incorporado esta técnica como recurso para investigar poblaciones foráneas. En el presente trabajo hacemos una breve revisión de la teoría que sostiene el uso de esta técnica proveniente del campo de la geoquímica, mostrando cómo los isótopos estables de Sr han sido incorporados a la arqueología insular para el conocimiento del poblamiento humano; además, llevamos a cabo un estudio preliminar centrado en valorarla viabilidad de utilizar esta metodología en Canarias.

Para demostrar la idoneidad de la técnica, primero se preció crear una base de datos de referencia sobre los niveles radiogénicos de estroncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) presentes en la región de interés. Dichas proporciones se encuentran biológicamente disponibles (biodisponibles) en la fauna y flora local y se obtienen a través de muestras de control. Con el propósito de comenzar dicha acción, decidimos elaborar un proyecto de máster para la Universidad Estatal de Humboldt (HSU), en California. El objetivo era empezar con la demarcación del ratio de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ para el archipiélago canario, comenzando por la isla de Lanzarote (LZ). De manera preliminar, se obtuvieron niveles radiogénicos de muestras orgánicas para entender el rango biodisponible de Sr existente en LZ y así compara los con valores geoquímicos de continentes vecinos. La primera condición que debe darse para aplicar el método es la heterogeneidad geológica entre los territorios de interés que en este caso se trata de las islas Canarias y los continentes más cercanos de donde pudieron procederlos primeros pobladores humanos que las colonizaron, como son el noroeste de África y el suroeste de Europa, en este último caso sería la península Ibérica el área geográfica más cercana.

ISÓTOPOS ESTABLE DE SR Y LA ARQUEOLOGÍA

La introducción del Sr como elemento de estudio para responder a cuestiones en el ámbito arqueológico se produce con la firma en 1963 del Tratado de Prohibición de Ensayos Nucleares, instante a partir del cual se empieza a estudiar el isótopo ^{90}Sr ⁵, uno de cuyos usos más comunes en el análisis isotópico de Sr es en el campo de la geo-cronología⁶. El interés de la geología se debe a la naturaleza alcalina del Sr, que junto al rubidio (Rb), contribuyen a la mineralogía del planeta⁷. La descomposición del isótopo inestable ^{87}Rb influye directamente en la formación de ^{87}Sr ; por lo tanto, la proporción de ^{87}Sr en una roca incrementa conforme a su antigüedad mientras que disminuye la cantidad de Rb presente en el mineral⁸. El resto de isótopos estables de Sr ocurren naturalmente y no les afecta el paso del tiempo: se trata de ^{84}Sr , ^{86}Sr y ^{88}Sr . El leve fraccionamiento radiogénico del ^{87}Rb que permite la formación de ^{87}Sr afecta a las proporciones representadas entre ^{87}Sr y ^{86}Sr ,

2 MUHS y otros (2010), p. 399.

3 GROUSETT y otros(1992), p. 203.

4 COUSENS, SPERA y DOBSON (1993), p. 631.

5 SILLEN y KAVANAGH (1982), p. 68.

6 FAURE y POWEL (1972).

7 ERICSON (1985), p. 505.

8 FULLAGAR (1975), p. 1251; FAURE y POWEL (1972).

pues constituye en la combinación que delimita la señal propia de cada región y que sirve como marcador de procedencia para los estudios arqueológicos⁹. Las rocas más antiguas (>100 Ma) muestran generalmente $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ a partir de 0.710. En el caso de formaciones geológicas más recientes, los valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ varían entre 0.702-0.704¹⁰. Las islas oceánicas volcánicas están consideradas formaciones geológicas recientes, compuestas principalmente de material basáltico con valores de entre 0.703-0.707¹¹. Diversos fenómenos meteorológicos y atmosféricos contribuyen al desgaste mineral de la roca lo que provoca que cantidades de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ se depositen y pasen a formar parte de la geología regional.

La influencia del clima, el caudal de los ríos y el deshielo glacial son los principales causantes del desplazamiento de elementos geológicos como piedras y tierra de un lugar hacia otro. También, la acción erosiva del viento juega un papel importante como conductor de Sr foráneo, especialmente la brisa marina, que contribuye a un gran porcentaje de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oceánico en zonas costeras. El ratio $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en el mar se ha determinado a un nivel constante de 0.7092¹².

Del sustrato mineral al organismo humano

Los fenómenos naturales mencionados con anterioridad facilitan la absorción de distintos valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en la fauna y flora local. Dichos niveles son identificados con el término “biodisponible” para diferenciar los valores provenientes directamente de la geología de los reflejados por organismos que habitan dicha región. Por lo tanto, son varias las fuentes conductoras como la lluvia, el viento y el terreno las que facilitan el transporte de Sr, que luego es absorbido por consumidores primarios (plantas), secundarios y terciarios (animales). A su vez, la proporción de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ se ve comprometida por la cadena trófica¹³. Los mamíferos obtienen Sr y calcio (Ca) simultáneamente durante la ingestión de alimentos y agua. El Ca y Sr tienen una carga atómica muy similar (+2), lo que permite que el Sr sustituya al Ca en la formación mineral del hueso y el diente -material compuesto por el mineral hidroxiapatita $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2]$ -. Este proceso de mineralización tiene lugar en la etapa de desarrollo de los dientes y huesos, y se denomina “biopurificación”¹⁴.

Los mecanismos de absorción de cada organismo determinan el promedio de consumo de Sr/Ca, pero se prefiere el Ca en el caso de los mamíferos¹⁵. De esta manera, un 20% del Sr que se halla en los alimentos es digerido, a diferencia de Ca, con un promedio de absorción en el compuesto mineral óseo de entre el 40-80%¹⁶. Cabe destacar que los niveles relativos de ingestión de Sr/Ca están influidos por la progresión de la cadena trófica¹⁷. La señal geoquímica se mantiene en los organismos locales, pero la cantidad de Sr en cada individuo disminuye desde su fuente original -el terreno- hasta su metabolización por carnívoros y omnívoros¹⁸. Como hemos mencionado anteriormente, el paso del tiempo no fracciona la composición atómica de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$; por lo tanto, los niveles radiogénicos locales se mantienen estables, que se transmiten al esqueleto del mamífero, lo que se refleja de esa manera la marca de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ perteneciente a un lugar concreto¹⁹. En consecuencia, entender el proceso de biopurificación resulta muy valioso a la hora de interpretar las señales de Sr en las muestras arqueológicas.

Para la extracción de isótopos estables de Sr se utilizan muestras de huesos y dientes de mamíferos por varias razones: en primer lugar, porque la odontogénesis se produce durante el período de gestación y niñez del individuo lo que permite la incorporación de Sr en los dientes a través de la dieta²⁰. Así, los niveles de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dental representan el origen geológico del agua y los alimentos

9 PRICE, BURTON y BENTLEY (2002), p. 117.

10 BENTLEY (2006), p. 139.

11 BENTLEY (2006), p. 139.

12 VEIZER (1989), p. 142.

13 MONTGOMERY (2010), p. 328.

14 LOWESTAM y WEINER (1989).

15 DAHL y otros (2001), p. 446.

16 BURTON y WRIGHT (1995), p. 273.

17 BURTON y PRICE (1999), p. 233.

18 BURTON y WRIGHT (1995), p. 273.

19 MONTGOMERY (2010), p. 328.

20 HILLSON (1996).

ingeridos durante las etapas embrionaria y de la niñez²¹, en segundo lugar porque la *hydroxyapatita* ósea se regenera cada diez a veinte años; por lo tanto, el ratio $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de los huesos refleja las señales radiogénicas donde el individuo adquirió alimento y agua durante los últimos años antes de su muerte²².

Los expertos han identificado cuatro posibles escenarios a la hora de comparar el Sr del esmalte dental y la *hydroxiapatita* de los huesos en un mismo individuo: 1°) La similaridad entre el ratio de los dientes y los huesos con el de la geología local es indicativo de costumbres sedentarias. 2°) En el caso de que el ratio dental difiera de la señal $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ local indica la migración del individuo fuera de su lugar de nacimiento. 3°) Cuando el hueso muestra niveles exóticos al lugar donde ha sido enterrado sugiere que la persona ha viajado recientemente hasta el lugar de muerte después de una larga estancia en otro territorio. 4°) Cuando no existe concordancia entre el $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dental y óseo con el territorio donde el individuo ha sido enterrado, se sospecha un corto periodo de residencia donde se fallece y el nacimiento en un lugar extranjero (figura 1). Los dos primeros ejemplos son los más comunes²³.

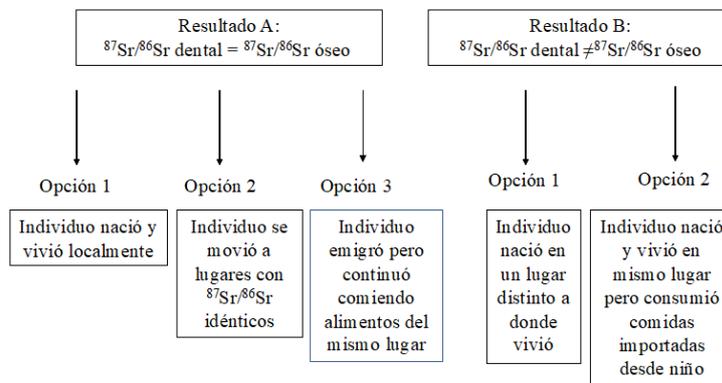


Fig 1. La opción 1 es la más común, aunque se deben considerar los otros escenarios. Fuente: Slovak y Paytan, 2011. (Reproducción con la autorización de la Dra. Adina Paytan. Traducción de la autora).

Sr y la arqueología insular

El Sr presenta particularidades cuando se trabaja en terrenos oceánicos, aun así los estudios realizados hasta el momento han demostrado la viabilidad del método para la investigación de fenómenos migratorios humanos en contextos geológicos similares a los que presentan las islas Canarias. En el archipiélago de Hawaii, Chadwick y colaboradores han identificado tres lugares de origen para el Sr biodisponible del paisaje: lava basáltica, polvo proveniente del continente asiático y depósitos torrenciales. Estos dos últimos fenómenos atmosféricos tienden hacia elevar el ratio de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ por la influencia de minerales como el cuarzo y la mica, además de carbonatos marinos, en un rango entre 0.703-0.704 hasta 0.722-0.723²⁴. En el caso de Islandia, el $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ varía entre 0.703-0.704²⁵. Para las islas de Vanuatu también se encuentran niveles reducidos de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ²⁶, al igual que ocurre en la composición geoquímica del Caribe, con niveles de entre 0.704-0.711²⁷. Las islas Canarias, geológicamente semejantes a los territorios mencionados, surgen de la actividad volcánica

21 PRICE, MANZANILLA y MIDDLETON (2000), p. 906.

22 SOMERVILLE (2010), p. 9.

23 PRICE y GESTSDÓTTIR (2006), p. 132.

24 CHADWICK y otros (2009), p. 67.

25 DICKIN (1995), p. 136.

26 BENTLEY y otros (2007), p. 645.

27 LAFOON y otros (2012), p. 2375.

que se refleja en una geología basáltica similar de toleítas y andesitas, con depósitos de caliza, piroclásticos y caliza marina²⁸. Los niveles de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en basaltos contrastan con el material calizo que se encuentran reflejados por los valores oceánicos: 0.7092. Dichas formaciones calizas también se aprecian en la litología de Canarias, con grandes depósitos de carbonato de calcio (caliche) que forman las dunas de arena del período Cuaternario²⁹.

La arqueología de Islandia y $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

La discusión acerca de la llegada de los primeros pobladores hacia Islandia es una cuestión vigente ya que diferentes fuentes escritas sugieren que la ocupación humana se produjo entre los siglos VI-IX d.C., circunstancia que no está confirmada arqueológicamente³⁰. Islandia es un conjunto volcánico de origen basáltico con niveles $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ calculados entre 0.703 y 0.704³¹. Para establecer los rangos biodisponibles del lugar, los investigadores utilizaron esmalte dental de óvidos locales modernos y arqueológicos ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7059-0.7069$). También se extrajeron los valores de cebada moderna ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7068$), cereal consumido por los antiguos pobladores y, por lo tanto, una fuente de estroncio. Los resultados mostraron que la fauna y flora exhiben por porciones de Sr más altas que los niveles geoquímicos del lecho rocoso de Islandia. La razón concreta de esta descompensación se desconoce, pero quizás esté relacionada con el Sr marino y su deposición en el terreno a través de la brisa marina. El valor de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oceánico fue considerado por Price y Gestsdóttir como posible gran influencia en los niveles biodisponibles de la isla.

Para ese estudio se analizaron cuarenta y seis individuos humanos de época pre-Cristiana. De los cuales no siempre había claras evidencias cronológicas y solo el 26.1 % de la muestra poseía material datable. También fueron analizados treinta y tres individuos de dos necrópolis de época Cristiana para su comparación. Los autores revelaron que trece especímenes tenían proporciones más elevadas que los valores locales, y de estos, nueve individuos presentaban unos valores más altos, por lo que fueron considerados como extranjeros³². Los investigadores observaron que el rango de variación entre las poblaciones nativas estaba entre 0.7056 y 0.7092, dato añadido a la hora de acercarse más el estilo de vida de estas sociedades antiguas.

Vanuatu

La colonización del Pacífico también constituye una cuestión pendiente de estudio para arqueólogos, lingüistas y genetistas, quienes suponen que se produjo por poblaciones procedentes del sur de China, Taiwán, del Sudeste Asiático o de una combinación de todas ellas. Bentley y colaboradores analizaron un contexto funerario del yacimiento arqueológico de Teouma, en la isla de Éfaté (República de Vanuatu) datado en el II milenio a.C.³³. Para el estudio se emplearon diecisiete individuos enterrados en el cementerio, el más antiguo de la región. La geología volcánica de las Vanuatu tiene su origen en lavas toleítas y basaltos alcalinos de una antigüedad de 35 M.a.³⁴. Las proporciones de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ para este lugar se encuentran entre 0.703 y 0.704³⁵. Una de las limitaciones halladas al analizar el estroncio sobre poblaciones costeras es la influencia de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ proveniente del mar, de manera que aquellas sociedades que consumen productos marinos reflejan señales parecidas en todo el mundo. Aun así, en Teouma los investigadores fueron capaces de solventar este problema analizando el ratio de elementos de traza como Ba/Sr para discernir entre dietas marinas y terrestres.

Los resultados detectados indicaron que la dieta de la población del yacimiento de Teouma reflejaba un rango correspondiente a valores provenientes de recursos marinos. Las señales de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

28 RAOS y CRAWFORD (2004), p. 35.

29 MECO y otros (2011), p. 440.

30 PRICE y GESTSDÓTTIR (2006), p. 130.

31 TAYLOR y otros (1998), p. 1.

32 BENTLEY y otros (2007), p. 652.

33 BEDFORD y otros (2006), p. 812.

34 RAOS y CRAWFORD (2004), p. 35.

35 BENTLEY y otros (2007), p. 649.

extraídos de trece individuos reflejaban valores similares al lecho basáltico de Éfaté y los depósitos marinos calcáreos. En cambio, cuatro especímenes (un hombre enterrado con tres cráneos humanos en su pectoral) mostraron un rango de entre 0.708 y 0.709, valores que se diferencian del resto de la población que presenta una media de 0.7073. Esto se interpretó sugiriéndose que podrían tratarse de viajeros llegados a esta comunidad de Éfaté por razones económicas, políticas o maritales. Incluso se mencionó el posible papel progenitor de estos cuatro individuos sobre poblaciones locales³⁶.

En conclusión, los investigadores de las citadas regiones de Éfaté e Islandia consideraron estas islas como objeto de estudio ideal para investigar la movilidad de poblaciones humanas y el asentamiento de colonias a través del análisis de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ³⁷. La naturaleza volcánica de los archipiélagos permite establecer diferencias radiogénicas apreciables en comparación con el manto continental³⁸. Investigadores, como Laffoon y otros, han enfatizado la idoneidad que proporcionan las regiones insulares volcánicas para investigar migraciones antiguas utilizando dicha técnica. En el caso de la cultura Lapita del yacimiento de Teouma, Bentley y colaboradores pudieron aplicar el método a una población interpretada como colonizadora del archipiélago de Vanuatu. Con frecuencia, como en las islas Canarias, muchos estudios arqueológicos no tienen identificadas a sociedades fundadoras, lo cual no supone un obstáculo para el empleo de la técnica expuesta en este trabajo. Esto queda demostrado en estudios como los de Price y Gestsdóttir al analizar la población Vikinga de Islandia sin tener la certeza de que esta sea un grupo fundador o colonizador de la isla. De esta manera, siguiendo el ejemplo de las investigaciones referenciadas en este trabajo y reconociendo que la geología de las islas Canarias es muy similar a dichas regiones, no resulta fuera de lugar sugerir la posible efectividad del empleo de señales radiogénicas para averiguar fenómenos vinculados al proceso de poblamiento del archipiélago canario.

SR EN CANARIAS: GEOLOGÍA Y ARQUEOLOGÍA

Geología

En este trabajo no pretendemos abarcar la totalidad del archipiélago Canario, si no que nos centramos inicialmente en la isla de Lanzarote (figura 2) por dos razones fundamentales: por un lado, porque cuenta con las cronologías más altas del archipiélago relacionadas con el proceso de poblamiento³⁹ y, en segundo lugar, porque contamos con las muestras necesarias para emplear la método de estudio propuesto y poder crear una base de datos de referencia preliminar de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. En la antigüedad, Lanzarote integraba junto con Fuerteventura la isla denominada Mahán, con un área de 5.000 Km² que al iniciarse el Holoceno se fraccionó dando lugar a las dos islas, las actuales Fuerteventura y Lanzarote⁴⁰. Esta separación se conservó en las formaciones más recientes del Mioceno (23.03-5.33 M.a.) como Los Ajaches y Famara, al sur y norte de la isla⁴¹. El Plioceno superior estuvo caracterizado por una inactividad eruptiva y la consecuente erosión de la isla durante 2.5 M.a., hasta el Pleistoceno inferior cuando comienza una nueva etapa de actividad volcánica⁴². La última erupción en la isla de Lanzarote está fechada en época histórica y se corresponde con la actual área volcánica de Timanfaya (1730-1736).

36 BENTLEY y otros (2007), p. 654.

37 PRICE y GESTSDÓTTIR (2006), p. 133.; BENTLEY y otros (2007), p. 645.

38 LAFOON y otros (2012), p. 2371.

39 ATOCHE y RAMÍREZ (2017), p. 275.

40 WHITTAKER, TRIANTIS y LADDLE (2008), p. 986.

41 GRANDSTEIN y OGG (2004), p. 175.

42 CARRACEDO y BADIOLA (1993), p. 31.

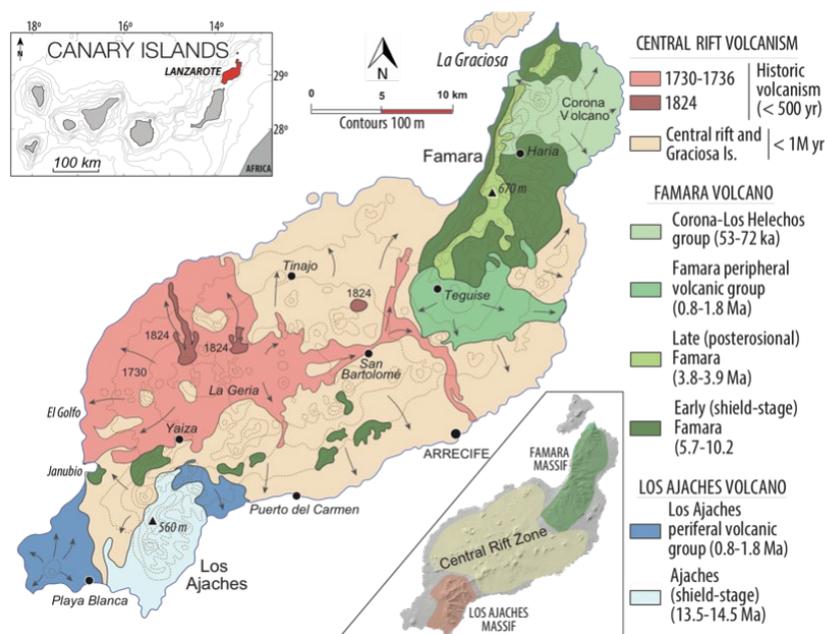


Figura 2. Mapa geológico de la isla de Lanzarote. (Reproducción autorizada por el Dr. Juan Carlos Carracedo).

El lecho rocoso de Lanzarote se compone por una mezcla de basaltos alcalinos, minerales feldespáticos y fenocristales como el peridoto⁴³. En esencia, la mayor parte de la isla está compuesta por depósitos de piroclásticos. Previamente, los análisis pedológicos del volcán de La Corona han mostrado depósitos finos arcillosos mezclados con capas magmáticas. Estas capas arcillosas contienen minerales como micas, cuarzos, kaolinitas y hematitas; mineralogía común en los suelos africanos que probablemente fue transportada a través de precipitaciones y la influencia eólica⁴⁴. Debido a la proximidad del desierto del Sahara y la franja semiárida del Sahel, el polvo africano es un factor para tener en cuenta a la hora de entender los valores biodisponibles de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en Lanzarote.

En un estudio anterior realizado sobre rocas ígneas en las regiones de Mogán y Fataga (Gran Canaria) Cousens y colaboradores revelaron unos niveles radiogénicos de entre 0.7034 y 0.7091. En Fuerteventura, Grousett y colaboradores mostraron un nivel obtenido del basalto de 0.7031 y un valor de 0.7122 extraído de material arcilloso. El loess marroquí reflejó un ratio medio de 0.7231, mientras en Túnez se ha obtenido una media de 0.7142⁴⁵. Los valores obtenidos de material arcilloso en la superficie de estas dos últimas regiones parecen acercarse a los valores geológicos extraídos por Muhsy otros en Lanzarote (0.7122) que coinciden con el loess de Fuerteventura. Debido a la proximidad geográfica, tenemos en cuenta la geoquímica de la meseta Ibérica en la que destacamos los resultados obtenidos por Voerkelius y colaboradores que muestran valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ bastante elevados para el sur de la península Ibérica (figura 3).

43 CARRACEDO y BADIOLA (1993), p. 33.

44 MUHS y otros (2010), p. 402.

45 GROUSETT y otros (1992), p. 207.

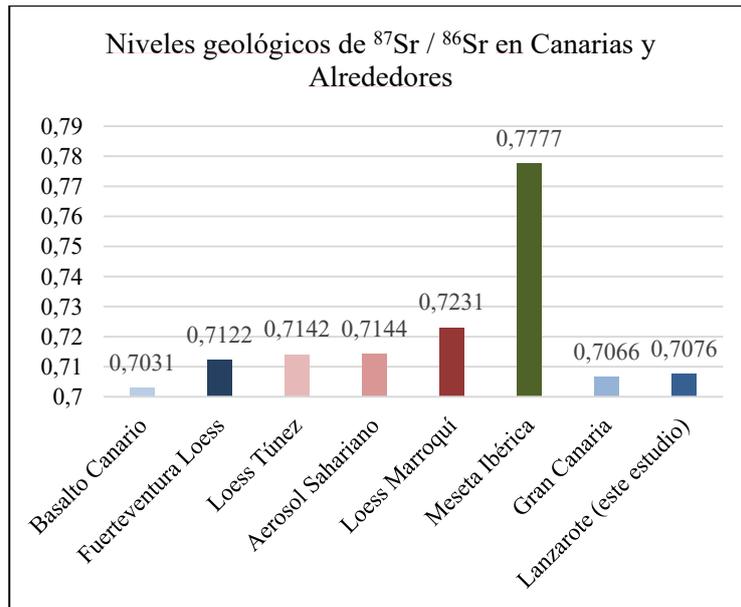


Figura 3. Gráfico que representa los niveles radiogénicos que se encuentran en los territorios de alrededor de las islas Canarias obtenidos por Grousset y otros (1992), Cousens y otros (1992), Voerkelius y otros (2010), y Muhs y otros (2010). También se han añadido los resultados del presente estudio para su comparación. Cabe destacar que las proporciones radiogénicas obtenidas por materiales geológicos sirven como una guía en base a la cual sería conveniente investigar niveles de Sr biodisponibles del paisaje local.

Arqueología

Tal y como hemos expuesto con anterioridad, los estudios realizados en otros territorios insulares del planeta muestran el potencial de este método. Asimismo, la arqueología hace uso del $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ para tratar cuestiones sobre parentesco, vínculos matrimoniales, conflictos sociales como la territorialidad y estrategias de subsistencia como el intercambio de alimentos y bienes⁴⁶. Hasta ahora en Canarias, el Sr en la arqueología se ha investigado a través del estudio de trazas, principalmente en los patrones de dieta⁴⁷. Esas exploraciones se añaden a los estudios de isótopos estables de nitrógeno, carbono, oxígeno e hidrógeno que se han realizado en Canarias⁴⁸. Entre otros datos interesantes, estos estudios nos han indicado la heterogeneidad alimenticia que existió entre grupos de El Hierro y Tenerife⁴⁹ en comparación con una menor variedad de alimentos disponibles para tribus de Gran Canaria. Estos datos son importantes para entender las estrategias de subsistencia en las antiguas poblaciones de Canarias.

Con la motivación de seguir ahondando en el uso de isótopos estables y aprovechar al máximo las posibilidades que ofrece esta técnica, iniciamos el estudio del $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en Canarias comenzando por un análisis preliminar en Lanzarote. Como primer paso iniciamos la demarcación de los niveles biodisponibles de Sr correspondientes al archipiélago, tal y como se ha realizado previamente en la región de La Bretaña⁵⁰. El hecho de elegir la isla de Lanzarote para iniciar nuestro estudio fue motivado por la posibilidad de acceder a muestras zooarqueológicas, en concreto piezas dentales de ovicaprinos procedentes del yacimiento protohistórico de Buenavista (Teguise)⁵¹, un asentamiento que ha sido datado entre los siglos X a.C. y VI d.C.⁵²; tres de las muestras que analizamos⁵³ tenían asignadas una cronología calibrada entre 380 a.C., 40 a.C., y 240 d.C.⁵⁴.

46 ERICSON (1985), p. 505; KNUDSON y otros (2009), p. 244; GROOVES y otros (2013), p. 462.

47 GONZÁLEZ-REIMERS y otros (1989), p. 37; GONZÁLEZ-REIMERS y otros (1991), p. 159; ARNAY y otros (2010), p. 1490; VELASCO y otros (1997b), p. 33.

48 ARNAY y otros (2010), p. 1490; ARNAY y otros (2011), p. 884; AUFDERHEIDE (2005), p. 33.

49 ARNAY y otros (2009), p. 1972; ARNAY y otros (2011), p. 884.

50 EVANS y otros (2010), p. 2.

51 ATOCHE, RAMÍREZ, PÉREZ y TORRES (2010), p. 1-55; ATOCHE (2011), p. 59.

52 ATOCHE y RAMÍREZ (2017), p. 274.

METODOLOGÍA

Metodología de Campo

Además de las muestras arqueológicas mencionadas en el apartado anterior procedimos a la recolección de muestras vegetales, conchas de gasterópodos (*Theba pisana*), caliche y el cráneo y la mandíbula de dos conejos (*Oryctolagus cuniculus*) localizados durante el proceso de estudio sobre el terreno. Las muestras fueron recolectadas en distintas zonas de Lanzarote teniendo en cuenta la variedad geológica de la isla, la cual ha sido dividida en diferentes etapas de formación: erupciones del Mioceno (M), Mio-Plioceno (MPL), Pleistoceno Inferior (PI), Pleistoceno Medio (PM), Pleistoceno-Superior (PS) e Históricas (H)⁵⁵. Las muestras vegetales y de fauna modernas que se recogieron para este proyecto provenían de los siguientes lugares: Los Ajaches (M), Montaña Roja y Buenavista⁵⁶ (PM), Caldereta de Tinache⁵⁷ (PM), Bebedero⁵⁸ (PM), Máguez y Montaña de Guenia (PS), Tabayesco (MPL) y Tahíche (H).

Metodología de laboratorio

Las muestras fueron preparadas en el Departamento de Antropología de HSU; la incineración de las plantas se realizó en el Plant Physiology Laboratory del College for Natural Resources and Sciences Core Research Facility (CNRS) en HSU, bajo la dirección de los doctores Casey Lu y David S. Baston. La preparación del resto de especímenes y su procesado se realizó en el Isotope Geochemistry Laboratory de la Universidad de Carolina del Norte (UNC), Chapel Hill, bajo la dirección del Dr. Drew Coleman.

Las piezas dentales fueron sometidas a ondas sonoras en un matraz con MilliQ H₂O. A continuación se limpiaron mecánicamente con un taladro inalámbrico equipado con una fresa de grabado, eliminando cualquier materia orgánica o contaminante adherido a las capas externas de los dientes. Este proceso se hizo con cuidado de no afectar a la dentina y pulpa del diente centrándonos únicamente en el esmalte (figura 4). Se extrajo aproximadamente 1mg de esmalte dental con un taladro inalámbrico. Este polvo de esmalte se colocó en un vial para ser sometido a una serie de lavados en una disolución acética débil. Todas las muestras pasaron por este proceso para asegurarnos de la completa desaparición de cualquier material contaminante y de este modo aislar el estroncio para analizarlo en el espectrómetro de masas de ionización térmica (TIMS).

53 Las muestras de dientes de ovicaprinos nos fueron facilitadas por el Dr. Pablo Atoche y su equipo de investigación en el contexto de los estudios que estaban realizando en el marco del proyecto HAR2013-40899-P «Poblamiento, adaptación cultural y cambio medioambiental en la Protohistoria Canaria: los casos de Lanzarote y Fuerteventura», financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad.

54 ATOCHE (2011), p. 59; ATOCHE y RAMÍREZ (2017), p. 274.

55 CARRACEDO y BADIOLA (1993), p. 25.

56 ATOCHE (2009), p. 105.

57 ATOCHE, RAMÍREZ, PÉREZ y TORRES (2007), p. 13.

58 ATOCHE, RODRÍGUEZ y RAMÍREZ (1989); ATOCHE (1993), p. 7; ATOCHE (1997), p. 29.



Figura 4. Diente de ovicaprino procedente del yacimiento de Buenavista (Teguise).

La preparación de las conchas de *T. pisana* se efectuó con agua ultrapura y un raspador dental para limpiar la tierra adherida. A continuación se machacaron con un mortero y mano de ágata y se depositó el polvo en los frascos de cristal preparados para los lavados con ácido nítrico (HNO_3). También analizamos 0.5g de caliche, el cual hicimos polvo con el mortero y mano de ágata. Por último, las muestras vegetales se limpiaron con agua desmineralizada y se secaron a temperatura ambiente; una vez desecadas, las plantas se trituraron y colocaron en un crisol para ser reducidas a cenizas a una temperatura de entre 500-600°C durante 12-14 horas. El caliche machacado y el polvo de esmalte dental fueron sometidos a disoluciones en $\sim 550 \mu\text{L}$ 3.5 M de ácido nítrico (HNO_3). Las cenizas de plantas también fueron diluidas para asegurarnos de la eliminación de cualquier material contaminante. Todas las muestras se dejaron sumergidas 24 horas en HNO_3 . Para el aislamiento de estroncio en la muestra utilizamos la resina 50-100 μm Sr-SpecTM y HNO_3 .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ obtenidos (cuadro 1) en el terreno de Lanzarote se mostraron entre 0.7053 ± 0.0008 (PC-2) y 0.7090 ± 0.0007 (PC-8) (figura 3). La señal más baja se obtuvo de la muestra de vegetación PC-2 (0.7053 ± 0.0008) que crecía en una formación volcánica del Mioceno en Los Ajaches. La señal más alta proviene de vegetación recolectada en suelo de formaciones rocosas de épocas entre el Plioceno y Pleistoceno inferior en Montaña Roja (PC-8 = 0.7090 ± 0.0007). Los resultados de las muestras dentales de ovicaprinos varían entre 0.7077-0.7089 y no concuerdan con la proporción que nos revela el caracol terrestre (PC-30 = 0.7090 ± 0.0009) recuperado en el mismo yacimiento de Buenavista, aunque PC-4pt (0.7089 ± 0.0007) se acerca bastante. Parece haber gran heterogeneidad en un mismo origen geológico. Por ejemplo, en las formaciones volcánicas del Mioceno de Los Ajaches, existe una variación de entre 0.7053 ± 0.0008 y 0.7084 ± 0.0008 (gráfico 1). Por otro lado, ciertos valores coinciden con un mismo lugar de origen, como por ejemplo las muestras obtenidas en Máguez y tres de las cuatro muestras de ovicaprinos analizadas procedentes de Buenavista (Teguise). Los individuos recolectados en dichas localidades coinciden en el lugar geológico encontrados sobre suelos de origen en el Pleistoceno medio.

ANÁLISIS PRELIMINAR DE LOS ISÓTOPOS ESTABLES DEL ESTRONCIO ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)...

Muestra	Material	Localización	Geología	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	% Std Error
PC-1	Vegetación	Ajaches	Mioceno (M)	0.70772	0.0006
PC-2	Vegetación	Ajaches	M	0.705369	0.0008
PC-5	<i>Theba pisana</i>	Ajaches	M	0.707956	0.0008
PC-7	Caliche	Ajaches	M	0.708421	0.0008
PC-8	Vegetación	Montaña Roja	Pleistoceno Medio (PM)	0.709075	0.0007
PC-11	<i>Theba pisana</i>	Montaña Roja	PM	0.708872	0.0008
PC-16	Vegetación	Caldereta Tinache	PM	0.708477	0.0008
PC-17	Vegetación	Caldereta Tinache	PM	0.708138	0.0007
PC-18	Vegetación	Caldereta Tinache	PM	0.708467	0.0007
PC-19	Vegetación	Caldereta Tinache	PM	0.706881	0.0007
PC-20	Vegetación	Caldereta Tinache	PM	0.708452	0.0007
PC-21	Vegetación	Caldereta Tinache	PM	0.708456	0.0006
PC-22	Vegetación	Máguez	Pleistoceno Superior (PS)	0.705806	0.0007
PC-23	<i>Oryctolagus cuniculus</i>	Máguez	PS	0.705838	0.0010
PC-24	<i>O. Cuniculus</i>	Máguez	PS	0.705899	0.0010
PC-25	Vegetación	Tabayesco	MioPlioceno (MPL)	0.706463	0.0007
PC-26	Vegetación	Tabayesco	MPL	0.706575	0.0006
PC-27	<i>Theba pisana</i>	Tabayesco	MPL	0.707677	0.0008
PC-28	Vegetación	Tahíche	Histórico	0.706498	0.0008
PC-29	Vegetación	Tahíche	Histórico	0.708197	0.0006
PC-30	<i>Theba pisana</i>	Buenavista	PM	0.709068	0.0009
PC-31	Vegetación	Guenia	PM	0.707458	0.0008
PC-33	Vegetación	Buenavista	PM	0.708640	0.0009
PC-34	Vegetación	Bebedero	PM	0.707319	0.0007
PC-1pt	Diente ovicaprino	Buenavista	PM	0.708243	0.0007
PC-2pt	Diente ovicaprino	Buenavista	PM	0.708361	0.0007
PC-3pt	Diente ovicaprino	Buenavista	PM	0.707789	0.0007
PC-4pt	Diente ovicaprino	Buenavista	PM	0.708944	0.0007

 Cuadro 1. Resultados obtenidos tras el análisis de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en muestras orgánicas de la isla de Lanzarote.

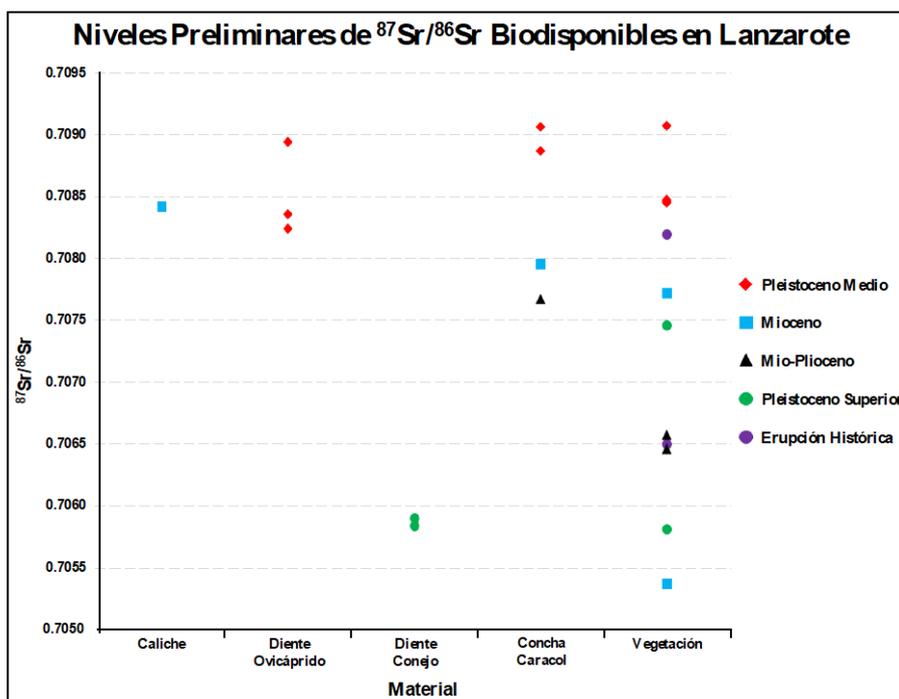


Gráfico 1. En este gráfico se divisan los diferentes materiales en el eje Y y los niveles de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ reflejados en el eje X.

Las divisiones geológicas están representadas por colores y figuras, lo que muestra así la gran heterogeneidad que se encontró por ejemplo en las regiones de origen Mioceno. En cambio, el gráfico parece mostrar una posible relación entre los niveles obtenidos en suelo del Pleistoceno medio.

El primer detalle que debemos tener en cuenta cuando analizamos $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en especies vegetales es su variedad fisiológica característica de cada planta ya que el sistema de raíces determina la distribución de los nutrientes obtenidos del terreno a todo el organismo vegetal⁵⁹. Por lo tanto, el Sr absorbido por la planta depende bastante de la longitud de sus raíces. Un segundo factor que debemos considerar es el desgaste del suelo rocoso, que añadido a la deposición atmosférica de estroncio foráneo, influyen en los valores biodisponibles de Lanzarote. Por ejemplo, en el yacimiento del valle de Sterkfontein (Sudáfrica) Sillen y otros autores descubrieron que el agua de arroyo, el lecho rocoso y las plantas mostraban diferentes niveles lo que demuestra la gran diversidad radiogénica que puede existir en un solo territorio⁶⁰. Esta heterogeneidad isotópica también parecemos encontrarla en Lanzarote (gráfico 1). Otro dato es la acción del agua de lluvia: estudios de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en Hawaii mostraron la gran influencia que niveles de precipitación tienen a la hora de proveer estroncio a la vegetación, pues contribuyen a una proporción de Sr igual o mayor que aquel provisto por el lecho rocoso⁶¹. Al contrario que en Hawaii, Lanzarote es característica de una cantidad mínima torrencial-150mm al año⁶², por lo que la influencia de la lluvia como fuente que deposita estroncio no es considerada en este estudio. Otros factores que pueden aportar Sr alóctono a la isla de Lanzarote es la acción eólica manifestada a través de la brisa marina y la introducción de polvo procedente del oeste africano. Sabemos que es importante la influencia que tiene la brisa marina como fuente de incorporación de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (0.7092) a la vegetación y fauna de Lanzarote. De hecho, la vegetación analizada mostraba un rango de entre 0.7053 ± 0.0008 y 0.7090 ± 0.0007 , lo que indica que estos organismos prefirieron absorber el Sr biodisponible del mar elevando así los niveles radiogénicos que típicamente se encuentran sobre suelo basáltico (0.703). Lo mismo se podría decir para el resto de los especímenes como *T. pisana* y las piezas dentales de *O. cuniculus* y ovicaprinos. Otro factor determinante lo constituye el lecho rocoso sobre el que crecieron los organismos utilizados para el estudio; el basalto que compone gran parte de la superficie de las islas Canarias corresponde a

59 REDISKE y SELDERS (1953), p. 594; MAURER y otros (2012), p. 217.

60 SILLEN, RICHARDSON y ARMSTRONG (1998), p. 2463.

61 CHADWICK y otros (1999), p. 493.

62 TEJEDOR y otros (2011), p. 108.

formaciones volcánicas ya mencionadas como Hawaii, Islandia o el Caribe, con valores normalmente entre 0.703-0.704. La naturaleza basáltica de Lanzarote se ve reflejada en los niveles disminuidos que encontramos; por ejemplo, las muestras PC-2 (0.7053 ± 0.0008), 22 (0.7058 ± 0.0007), 23 y 24 (0.7058 ± 0.0010), probablemente presentan valores influenciados por coladas basálticas olivinas y depósitos coluviales y aluviales de arenas y arcillas que se encuentran en las zonas norte de Playa Blanca y Máguez (D.R. Muhs, comunicación personal, 2018).

Otra posible fuente de Sr son los depósitos de polvo trasladados por el viento africano (0.712-0.715). Como ya hemos mencionado con anterioridad, el cuarzo y la mica son minerales provenientes de las franjas saharianas y sahelianas. Esos minerales ya habían sido detectados en estudios geoquímicos previos en la superficie de la isla⁶³; por lo tanto, es muy probable que los niveles biodisponibles locales estén afectados por las partículas transportadas desde el continente vecino. Esto puede observarse en las muestras PC 25-27 (0.706-0.708) de la zona de Tabayesco y el sur de Femés, PC 1, 2, 5 y 7 (0.705-0.708) (cuadro 1).

Los valores obtenidos en las muestras de conejo y ovicaprinos se deben al resultado de la ingestión de plantas locales que incorporan un promedio del estroncio proveniente del lecho volcánico, del influjo eólico de depósitos calcáreos de origen marino y del polvo africano. Tras varias conversaciones con D.R. Muhs, es posible plantear varias hipótesis: la primera es considerar que las fuentes de alimentación de los cuatro ovicaprinos probablemente crecían en una región con mayor influencia eólica y, por tanto, mayor exposición al Sr africano; en segundo lugar, es posible que, atendiendo a los procesos metabólicos en el organismo animal, esos individuos hubieran mostrado una preferencia a la absorción del Sr de suelos calizos. En ese sentido cabe destacar la similitud que muestran las señales radiogénicas obtenidas en tres de las muestras de ovicaprinos aquí examinados, en concreto las 1pt (0.708243 ± 0.0007), 2pt (0.708361 ± 0.0007) y 4pt (0.708944 ± 0.0007), fenómeno que podría ser indicativo de regionalidad, lo que mostraría una localización constante para el pastoreo de estos tres individuos a diferencia de la muestra 3pt (0.707789 ± 0.0007) que quizás pudo ser alimentada en otra región. En cualquier caso, es preciso contar con un mayor número de muestras zooarqueológicas y restos humanos arqueológicos para poder asegurar dichos patrones. En Lanzarote estamos condicionados por la consabida reducida cantidad de individuos en las colecciones museísticas de la isla; aun así, cabe destacar que esto no ha resultado un obstáculo para múltiples expertos en otras partes del mundo⁶⁴. Estudios previos nos muestran que la cantidad mínima de individuos la dictan el acceso y estado de los restos que se van a analizar. Otros obstáculos que consideramos son no contar con la identificación de poblaciones arqueológicas fundadoras o el hecho de investigar grupos costeros influenciados por el constante nivel de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, pero también sabemos que es posible paliar esos problemas⁶⁵.

SÍNTESIS Y CONCLUSIONES

En este estudio observamos que los niveles de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ analizados en las muestras de material orgánico podrían estar influenciados por una serie de factores atmosféricos, geoquímicos y metabólicos que consideramos. Creemos que la influencia eólica portadora de polvo africano y la brisa marina son posibles causantes de la señal radiogénica que obtenemos en nuestro estudio; por ello, es sabido que dichos elementos pueden elevar la marca geoquímica de Lanzarote característica de depósitos calcáreos y suelo basáltico. También sospechamos que los distintos procesos metabólicos que se dan en las diferentes especies de plantas y animales utilizadas es otra de las posibles razones por las que encontramos gran variedad en los niveles biodisponibles de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ aquí presentados. En cualquier caso, las muestras 1pt, 2pt y 4pt podrían estar indicando la regionalidad de dichos individuos, al igual que aquellas obtenidas en Máguez (PC 22, 23 y 24). Por último, consideramos que las señales de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ aquí obtenidas nos han mostrado la heterogeneidad que existe geoquímicamente entre Lanzarote, el sur de la península Ibérica y el noroeste de África (figura 3).

De esta manera concluimos que la técnica sería idónea para identificar individuos humanos foráneos entre grupos autóctonos canarios. Para finalizar, somos conscientes de la necesidad de contar

63 MUHS y otros (2010), p. 399.

64 PRICE y otros (1994), p. 315; TUNG y KNUDSON (2008), p. 915; WRIGHT (2005), p. 89.

65 PRICE y GESTSDÓTTIR (2006), p. 130; CUCINA y otros (2015), p. 767; STANTIS y otros (2016), p.478.

con un mayor número de muestras para definir con seguridad una base de datos de referencia sobre el $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en Lanzarote y el archipiélago en general. Por ello, el estudio de isótopos estables de Sr para su uso en la arqueología de las islas Canarias no ha hecho más que comenzar. De este modo, se pretende continuar indagando sobre el pasado de los antiguos pobladores de las islas Canarias desde una perspectiva colaborativa y multidisciplinar que incluya el estudio de Sr y otros isótopos estables, redundando en un mayor conocimiento de la evolución de estas culturas en el entorno Atlántico.

REFERENCIAS

- ARNAY-DE-LA-ROSA, M.; GÁMEZ-MENDOZA, A.; NAVARRO-MEDEROS, J.F.; HERNÁNDEZ-MARRERO, J. C.; FREGEL, R.; YANES, Y.; GALINDO-MARTÍN, L.; ROMANEK, C. S. y GONZÁLEZ-REIMERS, E. (2009). «Dietary patterns during the early prehispanic settlement in La Gomera (Canary Islands)». *Journal of Archaeological Science*, núm. 36, pp. 1972-1981.
- ARNAY-DE-LA-ROSA, M.; GONZÁLEZ-REIMERS, E.; YANES, Y.; VELASCO-VÁZQUEZ J. V.; ROMANEK, C. S.; NOAKES, J. E. (2010). «Paleodietary analysis of the prehistoric population of the Canary Islands inferred from stable isotopes (carbon, nitrogen and hydrogen) in bone collagen». *Journal of Archaeological Science*, núm. 37, pp. 1490-1501.
- ARNAY-DE-LA-ROSA, M.; GONZÁLEZ-REIMERS, E.; YANES, Y.; ROMANEK, C. S.; NOAKES, J. E.; GALINDO-MARTÍN, L. (2011). «Paleonutritional and paleodietary survey on prehistoric humans from Las Cañadas del Teide (Tenerife, Canary Islands) based on chemical and histological analysis of bone». *Journal of Archaeological Science*, núm. 38, pp. 884-895.
- ATOCHE, P.; RODRÍGUEZ, M.^a D.; RAMÍREZ, M.^a Á. (1989). *El yacimiento arqueológico de “El Bebedero” (Teguise, Lanzarote). Resultados de la primera campaña de excavaciones*. Secretariado de Publicaciones. Universidad de La Laguna. Madrid.
- ATOCHE, P. (1993). «Excavaciones arqueológicas en “El Bebedero” (Teguise, Lanzarote). Segunda campaña, 1987». *Eres (Arqueología)*, núm. 4(1), pp. 7-19. Museo Arqueológico de Tenerife. Santa Cruz de Tenerife.
- ATOCHE, P. (1997). «Resultados preliminares de la tercera campaña de excavaciones arqueológicas en “El Bebedero” (Teguise, Lanzarote). 1990». *Vegueta*, núm. 2 (1995-1996), pp. 29-44. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- ATOCHE, P. (2003). «Fenómenos de intensificación económica y degradación medioambiental en la Protohistoria Canaria». *Zephyrus (Revista de Prehistoria y Arqueología)*. Núm. 56, pp. 183-206. Salamanca.
- ATOCHE, P.; RAMÍREZ, M.^a Á.; PÉREZ, S.; TORRES, J. D. (2007). «Primera campaña de excavaciones arqueológicas en el yacimiento de la Caldereta de Tinache (Tinajo, Lanzarote)». *Canarias Arqueológica (Arqueología/Bioantropología)*. Núm. 15, pp. 13-46. Santa Cruz de Tenerife.
- ATOCHE, P.; RAMÍREZ, M.^a Á.; RODRÍGUEZ, C.; RODRÍGUEZ, M.^a D.; PÉREZ, S. (2008). «De antropología, ritos y creencias en la Protohistoria de Lanzarote (Islas Canarias)». En ATOCHE, P.; RODRÍGUEZ, C. y RAMÍREZ, M.^a A. (eds), *Mummies and Science. World Mummies Research. Proceedings of the VI World Congress on Mummy Studies*, pp. 165-180. Santa Cruz de Tenerife.
- ATOCHE, P. (2009). «Estratigrafías, cronologías absolutas y periodización cultural de la Protohistoria de Lanzarote». *Zephyrus*, núm. 63 (enero-junio), pp. 105-134. Salamanca.
- ATOCHE, P.; RAMÍREZ, M.^a Á.; PÉREZ, S.; TORRES, J.D. (2010). «Segunda campaña de excavaciones arqueológicas en el yacimiento de Buenavista (Teguise, Lanzarote): resultados preliminares». *Canarias Arqueológica (Arqueología/Bioantropología)*, núm. 18, pp. 1-55. Santa Cruz de Tenerife.
- ATOCHE, P. (2011). «Excavaciones arqueológicas en el sitio de Buenavista (Lanzarote): nuevos datos para el estudio de la colonización protohistórica del Archipiélago Canario». *Gerión*, núm. 29(1), pp. 59-82.
- ATOCHE, P.; RAMÍREZ, M.^a Á. (2017). «C14 references and cultural sequence in the Proto-history of Lanzarote (Canary Island)». En BARCELÓ, J. A.; BOGDANOVIC, I. y MORELL, B.

- (eds.), *Cronometrías para la Historia de la Península Ibérica. Actas del Congreso de Cronometrías para la Historia de la Península Ibérica (IberCrono 2017)*. Barcelona, Spain. September 17-19, 2016. CEUR-WS, Vol-2024 (urn:nbn:de:0074-2024-4), pp. 272-285. <http://ceur-ws.org/Vol-2024/>
- AUFDERHEIDE, A. C. (2005). «Chemical dietary reconstruction of Guanche NEC-2». *Eres Arqueología/Bioantropología*, núm. 13, pp. 31-35.
- BEDFORD, S.; SPRIGGS, M.; REGENVANU, R. (2006). «The Teouma Lapita Site and the Early Human Settlement of the Pacific Islands». *Antiquity*, núm. 310, pp. 812-828.
- BENTLEY, A. R. (2006). «Strontium isotopes from the Earth to the archaeological skeleton: a review». *Journal of Archaeological Method and Theory*, núm.13 (3), pp. 135-187.
- BENTLEY, A. R.; BUCKLEY, H.R.; SPRIGGS, M.; BEDFORD, S.; OTTLEY, C. J.; NOWELL, G.M.; McPHERSON, C. G.; PEARSON, D. G. (2007). «Lapita migrants in the Pacific's oldest cemetery: isotopic analysis at Teouma, Vanuatu». *American Antiquity*, núm. 72(4), pp. 645-656.
- BURTON, J. H.; WRIGHT, L. E. (1995). «Nonlinearity in the Relationship Between Bone Sr/Ca and Diet: Paleodietary Implications». *American Journal of Physical Anthropology*, núm. 97, pp. 273-282.
- BURTON, J. H.; PRICE, T. D. (1999). «Evaluation of bone strontium as a measure of seafood consumption». *International Journal of Osteoarchaeology*, núm. 9(4), pp. 233-236.
- CARRACEDO, J. C.; RODRÍGUEZ BADIOLA, E. (1993). «Evolución geológica y magmática de la Isla de Lanzarote (Islas Canarias)». *Revista de la Academia Canaria de las Ciencias*, núm. 5(4), pp. 25-58.
- CHADWICK, O. A.; DERRY, L. A.; BERN, C. R.; VITOUSEK, P. M. (2009). «Changing sources of strontium to soils and ecosystems across the Hawaiian Islands». *Chemical Geology*, núm. 267, pp. 64-76.
- CHADWICK, O. A.; DERRY, L. A.; VITOUSEK, P. M.; HUEBERT, B. J.; HEDIN, L. O. (1999). «Changing sources of nutrients during four million years of ecosystem development». *Nature*, núm. 397, pp. 491-497.
- COUSENS, B. L.; SPERA, F. J.; DOBSON, P. F. (1993). «Post-eruptive alteration of silicic ignimbrites and lavas, Gran Canaria, Canary Islands: Strontium, neodymium, lead, and oxygen isotopic evidence». *Geochimica et Cosmochimica Acta*, núm. 57, pp. 631-640.
- CUCINA, A.; PRICE, T. D.; MAGAÑA PERALTA, E.; SIERRA SOSA, T. (2015). «Crossing the Peninsula: The role of Noh Bec, Yucatán, in ancient Maya Classic period population dynamics from an analysis of dental morphology and Sr isotopes». *American Journal of Human Biology*, núm. 27, pp. 767-778.
- DAHL, S.G.; ALLAIN, P.; MARIE, P. J.; MAURAS, Y.; BOIVIN, G.; AMMANN, P.; TSOUDEROS, Y.; DELMAS, P. D.; CHRISTIANSEN, C. L. (2001). «Incorporation and distribution of strontium in bone». *Bone*, núm. 28(4), pp. 446-453.
- DICKIN, A. P. (1995). «Isotope geochemistry of oceanic volcanics». En DICKIN, A. P. (ed). *Radiogenic isotope geology*. New York, EEUU: Cambridge University Press, tomo 2, pp. 136-169.
- ERICSON, J. E. (1985). «Strontium isotope characterization in the study of prehistoric human ecology». *Journal of Human Evolution*, núm. 14, pp. 503-514.
- EVANS, J.; MONTGOMERY, J.; WILDMAN, G.; BOULTON, N. (2017). «Spatial variations in biosphere $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in Britain». *Journal of the Geological Society, London*, núm. 167, 1-4.
- FAURE, G.; POWELL, J.L. (1972). «Strontium isotope geology». En TÜBINGEN, W.E. y AACHEN, T.H. (eds), *Minerals, rocks and inorganic material*. New York, EEUU: Springer, tomo 5.
- FULLAGAR, P. (1975). «Chemical weathering and Rb-Sr rock ages». *Geochimica et Cosmochimica Acta*, núm. 39, pp. 1245-1252.
- GONZÁLEZ-REIMERS, E.; ARNAY-DE-LA-ROSA, M.; CASTRO-ALEMÁN, V.; GALINDO-MARTÍN, L. (1991). «Trace elements in prehispanic hair samples of Gran Canaria». *Human Evolution*, núm. 6, pp. 159-160.
- GONZÁLEZ-REIMERS, E.; ARNAY-DE-LA-ROSA, M.; CUENCA SANABRIA, J.; GALINDO-MARTÍN, L.; CASTRO-ALEMÁN, V. (1989). «Niveles de estroncio, manganeso y masa ósea en los habitantes prehistóricos de Gran Canaria». *Revista Museo Canario*, núm. 68, pp. 37-44.

GRANDSTEIN, F. M.; OGG, J. G. (2004). «Geologic time scale – why, how and where next!?!». *Lethaia*, núm. 37(2), pp. 175-181.

GROUSSET, F. E.; ROGNON, P.; COUDÉ-GAUSSIN, G.; PÉDEMAY, P. (1992). «Origins of peri-Saharan dust deposits traced by their Nd and Sr isotopic composition». *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, núm. 93, pp. 203-212.

GROVES, S. E.; ROBERTS, C. A.; LUCY, S. PEARSON, G.; GRÖCKE, D. R.; NOWELL, G.; McPHERSON, C. G.; YOUNG, G. (2013). «Mobility histories of 7th-9th century AD people buried at early medieval Bamburgh, Northumberland, England». *American Journal of Physical Anthropology*, núm. 151(3), pp. 462-476.

HAAK, W.; BRANDT, G.; DE JONG, H. N.; MEYER, C.; GANSLMEIER, R.; HEYD, V.; HAWKESWORTH, C.; PIKE, A.W.G.; MELLER, H.; ALT, K. W. (2008). «Ancient DNA, strontium isotopes, and osteological analyses shed light on social and kinship organization of the later Stone Age». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, núm. 105(47), pp. 18226-18231.

HILSON, S. (1996). *Dental Anthropology*. University College London. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139170697>

KNUDSON, K. J.; WILLIAMS, S. R.; OSBORN, R.; FORGEY, K.; WILLIAMS, P. R. (2009). «The Geographic origins of Nasca trophy heads using strontium, oxygen, and carbon isotope data». *Journal of Anthropological Archaeology*, núm. 28, pp. 244-257.

LAFOON, J. E.; DAVIES, G. R.; HOOGLAND, M. L. P.; HOFMAN, C. L. (2012). «Spatial variation of biologically available strontium isotopes ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) in an archipelagic setting: a case study from the Caribbean». *Journal of Archaeological Science*, núm. 39, pp. 2371-2384.

LOWESTAM, H. A.; WEINER, S. (1989). *On Biomineralization*. New York: Oxford University Press.

MAURER, A. F.; GALER, S. J. G.; KNIPPER, C.; BEIERLEIN, L.; NUNN, E. V.; PETERS, D.; TÜTKEN, T.; ALTH, K. W.; SCHÖNE, B. R. (2012). «Bioavailable $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in different environmental samples – effects of anthropogenic contamination and implication for isoscapes in past migration studies». *Science of the Total Environment*, núm. 433, pp. 216-229.

MECO, J.; MUHS, D. R.; FONTUGNE, M.; RAMOS, A.; LOMOSCHITZ, A.; PATTERSON DeAnna (2011). «Late Pliocene and Quaternary Eurasian locust infestations in the Canary Archipelago». *Lethaia*, núm. 44, pp. 440-454.

MONTGOMERY, J. (2010). «Passports from the past: investigating human dispersals using strontium isotope analysis of tooth enamel». *Annals of Human Biology*, núm. 37(3), pp. 325-346.

MUHS, D. R.; BUDAHN, J.; SKIPP, G.; PROSPERO, J. M.; PATTERSON, DeAnna; BETTIS E. A. (2010). «Geochemical and mineralogical evidence for Sahara and Sahel dust additions to Quaternary soils on Lanzarote, eastern Canary Islands, Spain». *Terra Nova*, núm. 22, pp. 399-410.

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*, núm. 44(1), pp. 117-135.

PRICE, T. D.; JOHNSON, C.M.; EZZO, J. A.; ERICSON, J.; BURTON, J. H. (1994). «Residential mobility in the prehistoric southwest United States: a preliminary study using strontium isotope analysis». *Journal of Archaeological Science*, núm. 21, pp. 315-330.

PRICE, T. D.; MANZANILLA, L.; MIDDLETON, W. D. (2000). «Immigration and the ancient city of Teotihuacan in Mexico: a study using strontium isotope ratios in human bone and teeth». *Journal of Archaeological Science*, núm. 97, pp. 903-913.

PRICE, T. D.; GESTSDÓTTIR, H. (2006). «The first settlers of Iceland: an isotopic approach to Colonisation». *Antiquity*, núm. 80, pp. 130-144.

RAOS, A. M.; CRAWFORD, A. J. (2004). «Basalts from the Efate Island group, central section of the Vanuatu Arc, SW Pacific: geochemistry and petrogenesis». *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, núm. 134, pp. 35-56.

REDISKE, J. H.; SELDERS, A. A. (1953). «The absorption and translocation of strontium by plants». *Plant Physiology*, núm. 28(4), pp. 594-605.

SOMERVILLE, A. D. (2010). *Telling friends from foes: strontium isotope and trace element analysis of companion burials from Pusilhá, Toledo district, Belize*. (Tesis de Maestría). Departamento de Antropología de la Universidad de California, San Diego. EEUU.

SILLEN, A.; HALL, G.; RICHARDSON, S.; ARMSTRONG, R. (1998). « $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Ratios in modern and fossil food-webs in the Sterkfontein Valley: implications for early hominid habitat preference». *Geochimica et Cosmochimica Acta*, núm. 62, pp. 2463-2478.

SILLEN, A.; KAVANAGH, M. (1982). «Strontium and paleodietary research: a review». *Yearbook of Physical Anthropology*, núm. 25, pp. 67-90.

SLOVAK, N. M.; PAYTAN, A. (2011). «Applications of Sr isotopes in archaeology». En BASKARAN, M. (ed), *Handbook of environmental isotope geochemistry, advances in isotope geochemistry*. New York, EEUU: Springer, tomo 1, pp. 743-768.

STANTIS, C.; BUCKLEY, H. R.; KINASTON, R. L.; NUNN, P. D.; JAOUEN, K.; RICHARDS, M. P. (2016). «Isotopic evidence of human mobility and diet in a prehistoric/protohistoric Fijian coastal environment». *American Journal of Physical Anthropology*, núm. 159(3), pp. 478-495.

TAYLOR, R. N.; THIRWAL, M. F.; MURTON, B. J.; HILTON, D. R.; GEE, M. (1998). «Isotopic constraints on the influence of the Icelandic plume». *Earth Planet Science and Letters*, núm. 148, pp. 1-8.

TEJEDOR, M.; JIMÉNEZ, C.; HERNÁNDEZ-MORENO, J. M.; DÍAZ, F. J. (2011). «Tephra-mulched soils irrigated with reclaimed urban wastewater in former dry-farming systems of Lanzarote (Spain)». *Catena*, núm. 84, pp. 108-113.

TUNG, T. A.; KNUDSON, K. J. (2008). «Social identities and geographical origins of Wari Trophy Heads from Conchopata, Peru». *Current Anthropology*, núm. 49(5), pp. 915-926.

VELASCO VÁZQUEZ, J.; ARNAY-DE-LA-ROSA, M.; GONZÁLEZ-REIMERS, E.; LUGO, M. J.; GÓMEZ, L. (1997b). «Análisis de oligoelementos de la población prehistórica de Punta Azul (El Hierro): datos para el conocimiento del régimen alimenticio de los Bimbaches». *El Museo Canario*, núm. 52, pp. 33-47.

VEIZER, J. (1989). «Strontium isotopes in seawater through time». *Annual Review of Earth Planetary Sciences*, núm. 17, pp. 141-167.

WHITTAKER, R. J.; TRIANTIS, K. A.; LADDLE, R. J. (2008). «A general dynamic theory of oceanic Island Biogeography». *Journal of Biogeography*, núm. 35, pp. 977-994.

WRIGHT, L. E. (2005). «In search of Yax Nuun Ayiin I: revisiting the Tikal project's Burial 10». *Ancient Mesoamerica*, núm. 16(1), pp. 89-100.