

LA APLICACIÓN DE ISÓTOPOS ESTABLES EN LA ARQUEOLOGÍA: EL CASO DEL $\delta^{18}O$ EN LOS RESTOS ÓSEOS DE UNA POBLACIÓN DE LA EDAD DEL BRONCE DE LA MANCHA: LA MOTILLA DEL AZUER (DAIMIEL, CIUDAD REAL)

APPLYING STABLE ISOTOPES IN ARCHAEOLOGY: THE CASE OF $\delta^{18}O$ IN HUMAN SKELETAL REMAINS OF A BRONZE AGE POPULATION: LA MOTILLA DEL AZUER (DAIMIEL, CIUDAD REAL)

Elías SÁNCHEZ CAÑADILLAS*

Resumen

En este artículo se plantea la caracterización isotópica del oxígeno de una muestra aleatoria de restos óseos pertenecientes al yacimiento de la Motilla del Azuer, con el objetivo de comprobar que datos arqueológicos se pueden generar con los análisis de isótopos estables de oxígeno, y responder a preguntas sobre la movilidad de la población y el clima en el pasado, encontrándonos con que posiblemente el clima fue tornándose más árido en los últimos momentos de ocupación humana, además de que ciertos individuos pudieron tener procedencia ajena al yacimiento.

Palabras clave

Isótopos estables, Oxígeno, Edad del Bronce, Motilla del Azuer, Movilidad.

Abstract

In this paper we discuss oxygen isotopic characterization in a random sample of human skeletal remains belonging to the Motilla del Azuer site, with the objective of revealing what kind of archaeological data can be produced by oxygen stable isotope analysis, and answering questions about mobility and past climates, finding that climate turned more arid in the last moments of human occupation and that some of the individuals could have come from outside the settlement.

Keywords

Stable Isotopes, Oxygen, Bronze Age, Motilla del Azuer, Mobility.

INTRODUCCIÓN: LOS ISÓTOPOS ESTABLES EN ARQUEOLOGÍA

Este trabajo es el resultado de la memoria de investigación entregada como conclusión del Máster en Arqueología y territorio de la Universidad de Granada en 2014, dirigida por Fernando Molina González, Antonio Delgado Huertas, Trinidad Nájera Colino y Juan Antonio Cámara Serrano y realizada en el Área de Isótopos Estables del Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra.

El término isótopo hace referencia a cada una de las diferentes variaciones de un átomo de un elemento determinado dependiendo de la cantidad de neutrones en su núcleo. Dado que estos neutrones no tienen carga, las propiedades químicas de los isótopos no cambian, pero sí su peso atómico. Por poner un ejemplo, un átomo de oxígeno "estándar" tiene 8 protones y 8 neutrones en su núcleo, con una masa atómica de 16, pero hay átomos de oxígeno que tienen más neutrones, con lo que su masa atómica sería 17, o 18, aunque su número atómico permanecería invariable, dado que está condicionado por los electrones en su corteza.

Universidad de La Laguna: esanchezcan@gmail.com

Los diferentes procesos químicos alteran la composición isotópica de los elementos en la naturaleza, y los isótopos más pesados aparecen en menor abundancia en el medio natural que los ligeros, por tanto se pueden emplear como elementos traza midiendo la cantidad proporcional en partes por millón de un isótopo pesado frente a su homólogo ligero en una cantidad determinada de materia. Dado que hay que trabajar con grandes cantidades de decimales en los estudios sobre isótopos estables se emplea una unidad, que es el delta (δ). En ciencias naturales se suelen estudiar mayoritariamente cinco isótopos, el hidrógeno, oxígeno, carbono, nitrógeno y azufre, que son los que se presentan con mayor abundancia en la naturaleza (REDONDO, 2006).

La incorporación de los estudios de isótopos estables a las disciplinas arqueológica y paleontológica tienen tan solo algunas décadas, y se comenzaron a emplear para dar respuesta a varias cuestiones, entre ellas cómo era la dieta de los seres humanos en otras épocas (KEEGAN y DENIRO, 1988; SCHOENINGER y DENIRO, 1984), y más recientemente, la movilidad de las poblaciones del pasado, el caso que nos ocupa. El elemento de análisis es el material óseo y los restos dentales, esto es debido a que, salvo contadas ocasiones, el hueso es el único resto físico que nos queda de la persona tras el proceso diagenético, y además contiene tanto materia orgánica como mineral.

Para estudiar la dieta se emplean tradicionalmente el carbono y el nitrógeno, estos estudios complementados con los restos de fauna y de elementos agrícolas encontrados en los lugares de hábitat de las culturas pretéritas nos permiten realizar hipótesis sobre el tipo de alimentación de los pobladores del pasado y qué lugar ocupaban en la cadena trófica. El estudio del consumo de alimentos en el pasado es de gran importancia, no solo para explicar la interacción entre el ser humano y el medio, sino para ver qué factores externos influyen en la dieta, como la edad, el sexo, o el estatus social (ARIAS, 2005). En el caso que nos ocupa, los isótopos de oxígeno, podemos observar tanto cambios en la climatología como en la movilidad de los habitantes de los yacimientos estudiados. El oxígeno tiene tres isótopos medibles, el ^{16}O , y los más pesados el ^{17}O y ^{18}O , estos pasan a los tejidos animales cuando se consume agua. Pero los isótopos pesados tienen menos abundancia en la naturaleza que el isótopo de ^{16}O , por lo que encontraremos menor cantidad en el tejido, a la diferencia medible del isótopo pesado con su homólogo ligero se la denomina fraccionamiento isotópico.

Esto es aplicable en restos humanos para saber lo mucho que estaban “cargados” del isótopo de oxígeno más pesado, el ^{18}O , y ese fraccionamiento expresado en partes por millón nos sirve a los arqueólogos para interpretar diferentes cuestiones relacionadas con los individuos, como los posibles cambios del clima en la zona en la que vivieron con respecto al presente, o si provenían de una zona que no se corresponda con el lugar donde fueron enterrados. Una vez medidos mediante la espectrometría de masas, los valores de oxígeno obtenidos en el fosfato de hueso se convierten en valores de oxígeno de “agua bebida”, para compararlos con los valores del agua de la zona.

Esto fue hecho por primera vez en 1984 por Antonio Longinelli, que desarrolló un método para ver las cantidades de agua ingerida por las especies animales según el oxígeno de sus restos óseos. Tras emplear el método de Longinelli, los valores obtenidos de «agua bebida» se comparan con los valores de ^{18}O del agua de la zona. En el agua el “enriquecimiento” isotópico depende de factores como la latitud, la altura, o la temperatura del aire, y las aguas de cada parte del mundo tienen su propia “signatura isotópica” (DELGADO *et al*, 1995). A partir de la comparación del oxígeno del agua de la zona y de los fosfatos de hueso (convertido en valores de “agua bebida”) podemos ver si los individuos analizados provenían o no del lugar donde se enterraron, y además podremos ver cómo ha cambiado la composición isotópica del agua de la zona, y por tanto como han variado las condiciones climáticas con respecto al pasado.

OBJETIVOS

Se planteó hacer un estudio que caracterizase la composición isotópica de una serie de individuos de una muestra seleccionada previamente y ver, a partir de los datos obtenidos, que información se podía obtener de los isótopos de oxígeno, centrándose especialmente en la movilidad de los individuos y en las posibles variaciones del clima durante los diferentes momentos del poblamiento. El trabajo consistió no solo en el aprendizaje teórico sobre los isótopos estables y en interpretar los datos en contextos arqueológicos, sino en adquirir también una serie de conocimientos prácticos sobre la preparación química de muestras para su análisis posterior mediante la espectrometría de masas. Este proceso se llevó a cabo en el departamento de isótopos estables del Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, tutorizado por Fernando Molina, Antonio Delgado, Trinidad Nájera y Juan Antonio Cámara, los materiales de estudio de este proyecto y sus resultados son parte del proyecto de investigación HAR2010-18745: *Paleoantropología y contexto arqueológico en la Motilla del Azuer. Una aproximación bioarqueológica a las poblaciones de la Edad del Bronce de La Mancha*.

EL CONTEXTO: LA MOTILLA DEL AZUER

Los restos óseos escogidos pertenecen a un yacimiento de la Mancha denominado como la “Motilla del Azuer”, este yacimiento es un poblado fortificado y distribuido intramuros, con un elemento turriforme en el centro de su planta y una serie de espacios destinados a diferentes actividades, entre ellos un pozo que llega hasta los niveles freáticos, y que nos es de especial interés en este estudio.

La Motilla del Azuer es un yacimiento fortificado, que forma parte de un conjunto de sitios de construcción similar, denominados motillas, y distribuidos por toda la Mancha Occidental, con una separación promedio de 5km entre cada uno. Este yacimiento se ubica a 10 km del núcleo urbano de Daimiel (Ciudad Real), y a la vez, en la vega del río Azuer, que es un afluente del Guadiana. En las dataciones realizadas en diferentes partes de su secuencia estratigráfica se ha visto que el yacimiento se conforma en torno al 2250 A.C. cal, siendo su cronología contemporánea con los inicios de la formación social definida como el Bronce de la Mancha, a la que pertenece, y a su vez con otro tipo de culturas, como la del Argar o del Bronce Valenciano, del mismo modo, las cronologías atribuyen su final en torno al 1300/1200 A.C. cal (MOLINA *et al.*, 2005; NÁJERA *et al.*, 2010).



Fig. 1. La Motilla del Azuer durante el primer periodo de excavaciones. (LAFFRANCHI, 2010:59)

Este yacimiento ha sido intervenido en dos ocasiones, desde 1974 hasta 1986, y desde el año 2000 hasta el 2010 por parte de la Universidad de Granada (NÁJERA *et al.*, 2012). Las excavaciones y proyectos de restauración de estos años han permitido que saliese a la superficie la mayor parte del yacimiento y se pudiese conocer su estructura interna y sus fases de ocupación. Al respecto de ello, como decíamos antes, hay que mencionar que se trata de una fortificación de planta central, rodeada extramuros por

un poblado y con una necrópolis en el área de hábitat de la fortificación. Su núcleo central es una torre con dos recintos amurallados adjuntos, y a partir de ella se estructura un sistema de pasillos circulares que le dan un aspecto laberíntico. La torre se eleva por encima del resto de los muros con una altura superior a los 10 metros en la que hubo diferentes reconstrucciones durante los momentos de ocupación (NÁJERA y MOLINA, 2004).

El sistema de pasillos comunica la torre con otros elementos intramuros, entre ellos el patio oriental donde se ubica el pozo, esta no es una estructura simple y vertical, sino que desde su génesis se planea como una estructura compleja, de mucha profundidad y construida en forma de embudo, con plataformas y paramentos que la van estrechando poco a poco, y a través de los cuales se llega a un nivel en el que se encuentra un pozo vertical, que se excavó por completo en la campaña de 2004. (NÁJERA y MOLINA, 2004) (NÁJERA *et al.*, 2012).

En la zona occidental de la motilla se registran diferentes momentos ocupacionales y usos diversos, con un registro material que nos indica un posible cambio de función, en principio como elemento “de paso” hacia la torre, y luego con numerosos coprolitos de ovis caprinos y cerdos, indicando una posible estabulación del ganado (MOLINA *et al.*, 2005) (NÁJERA y MOLINA, 2004). En el segundo patio de la zona occidental vemos una relativa abundancia de hornos, además de otros elementos como pesas de telar, que indican posibles estructuras “de producción”.

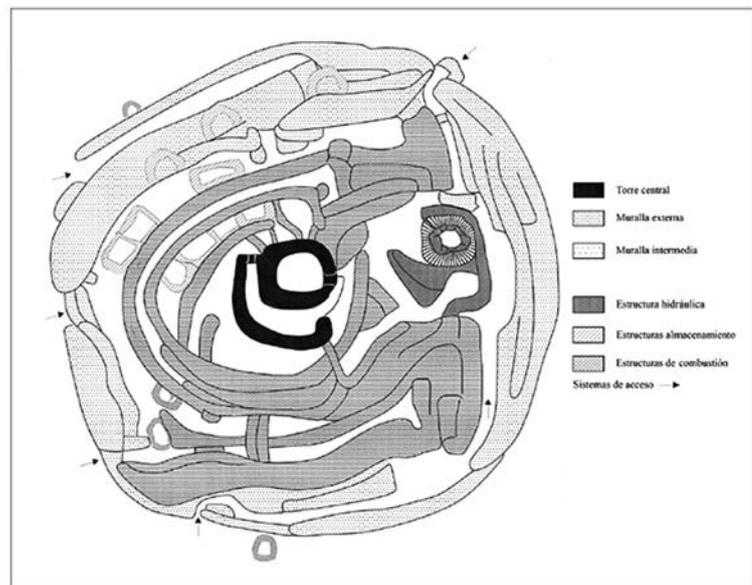


Fig. 2. Estructura interna de la Motilla del Azuer (JIMÉNEZ-BROBEIL *et al.*, 2008:58)

Las numerosas excavaciones han permitido definir la secuencia del yacimiento en cuatro fases de ocupación que se corresponden con la periodización de las fases de la Edad del Bronce, y además habría que añadirle una primera “Fase cero” que se documenta en las últimas intervenciones, que consta de estructuras en fosa del tipo silos o vertederos, que pertenecerían a pequeños grupos de la Edad del Cobre que se asientan en la zona antes de los pobladores de la Motilla (NÁJERA *et al.*, 2010, 2012).

Ya en los contextos pertenecientes a la Edad del Bronce, las diferentes fases constructivas nos desvelan importante información, como los momentos de construcción iniciales de la fortificación en la Fase I, el desmantelamiento de estructuras de tipo “silo” y la concentración de las viviendas en la Fase III, y la colmatación del pozo en la Fase IV de ocupación, además de muchos otros cambios (NÁJERA y MOLINA, 2004; NÁJERA *et al.*, 2010).

Vista la distribución interna del yacimiento en sus diferentes fases de ocupación y en base a los otros yacimientos que hay en la zona (no solo de tipo motilla, sino también poblados de altura y pequeños asentamientos de llanuras) podemos atrevernos a inferir que este tipo de estructuras sirven como elementos de producción, almacenamiento y redistribución de recursos en el entorno al que pertenecen, y

forman parte de un complejo sistema cultural en el que se interrelacionan los tres tipos de hábitat diferenciados en la Mancha Occidental para formar una estructura social jerarquizada y fuertemente influenciada por el control del territorio y sus recursos.

LA POBLACIÓN DE LA MOTILLA DEL AZUER

El elemento a partir del cual se hizo el análisis isotópico fueron los restos óseos, con lo cual fue necesario acudir a la información arqueológica y antropológica sobre los enterramientos de la Motilla del Azuer. Los estudios antropológicos se hicieron conjuntamente entre el Departamento de Prehistoria y Arqueología y el Laboratorio de Antropología Física de la Universidad de Granada. Los análisis realizados sobre los más de cien restos humanos excavados desde 1976 hasta 2010 permitieron responder algunos interrogantes, como las patologías físicas, estaturas y edades promedio, y marcadores de estrés musculoesquelético (JIMÉNEZ-BROBEIL *et al.*, 2008).

La esperanza de vida de los individuos estaba en torno a los 24-26 años, muy características con las medias de las poblaciones prehistóricas. Las medias de la estatura resultan un poco mayores en los varones que en las mujeres (168'34 cm varones y 156'54 mujeres), ahora bien, resulta una población bastante más alta en proporción que los integrantes de otras culturas prehistóricas peninsulares. (JIMÉNEZ-BROBEIL *et al.*, 2008).

Entre las patologías se encuentran hipoplasia, periodontitis y criba orbitalia, y desgaste molar de grados altos en comparación con otras comunidades prehistóricas. En cuanto al cráneo y esqueleto postcraneal se encuentran artrosis en vértebras, cervicales, dorsales y lumbares, así como en las articulaciones. Mención aparte merecen los estudios de los marcadores de estrés musculoesquelético, en los que se encuentra una diferencia de entesofitos por géneros, siendo por lo general más altos los valores de los varones que de las mujeres tanto en extremidades superiores como inferiores. En el caso de los individuos infantiles, vemos que hay estrés musculoesquelético desde edades muy tempranas, especialmente en las extremidades inferiores (LAFFRANCHI, 2010) (NÁJERA *et al.*, 2010).

Por último, la población de la Motilla del Azuer también ha estado sujeta a análisis de isótopos estables en carbono y nitrógeno, hechos desde el Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, en el que también se desarrollo este trabajo. Los análisis de ^{15}N permiten dividir a la población en 3 grupos, con niveles "bajo", "medio" y "alto", que corresponderían a tres diferentes tipos de dietas, siendo los más bajos aquellos individuos con un input alimenticio más rico en elementos vegetales que en proteínas animales, y viceversa (NÁJERA *et al.*, 2010, 2012).

EL MUESTREO

Como mencionábamos antes, de las intervenciones arqueológicas en la Motilla del Azuer se han recuperado los restos de más de un centenar de individuos en las diferentes fases de ocupación. Para la realización del trabajo se incluyó la preparación de las muestras para su posterior análisis, y se escogió una muestra aleatoria de 33 individuos, que estuviesen distribuidos proporcionalmente entre todos los rangos de edad, entre ambos sexos y entre todas las diferentes fases de ocupación del yacimiento, a estas condiciones de le sumó la necesidad de que hubiesen sido individuos caracterizados antropológicamente por el Laboratorio de Antropología Física de la Universidad de Granada, para que los datos tuviesen la mayor información disponible para ser interpretados y discutidos.

Tras la selección se llevaron los diferentes restos óseos escogidos al área de Isótopos Estables del Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, en la que se trataron químicamente durante varios meses, para después medir 1mg de fosfato en capsulas de plata, que se prepararon en un analizador elemental *Thermo Finnigan TC/EA (Temperature Conversion Elemental Analyzer)* para ser medidas en un modelo *Delta Plus XL Gas isotope rationing mass spectrometer*, con el fue además calculado el fraccionamiento isotópico $18O/16O$ en base al patrón de referencia V-SMOW.

EL $\delta^{18}O$ EN LOS RESTOS HUMANOS DE LA MOTILLA

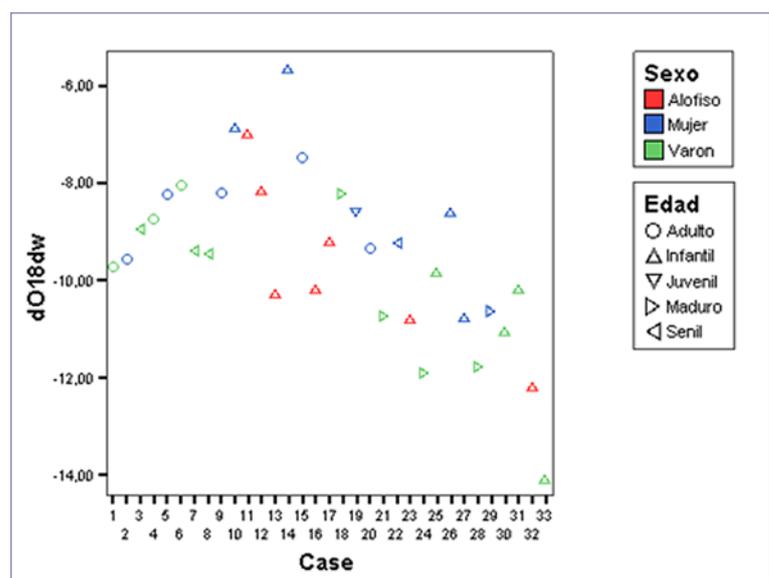
Antes de analizar la información obtenida se establecieron las variables a tener en cuenta en este estudio, además de los propios datos de la espectrometría de masas, que fueron el $\delta^{18}O_{po}$ (el dato de oxígeno en el fosfato) y el $\delta^{18}O_{dw}$ (en los valores convertidos de agua bebida), los elementos a comparar fueron edad, sexo, fase de ocupación y tipo de hueso.

Con la base de datos hecha, nos planteamos dos cuestiones principales, comprobar si los valores de $\delta^{18}O_{dw}$ se corresponden con los datos del agua de la zona actualmente, y si cambian a qué se puede deber esto, y en segundo lugar establecer una media en base a todos los valores de la muestra y ver si tenemos posible población ajena al yacimiento, identificando como exógenos a aquellos individuos que tengan unos valores que sobresalgan, positiva o negativamente, de las medias establecidas.

Los valores isotópicos del agua bebida por los individuos se calcularon empleando la ecuación mencionada anteriormente (LONGINELLI, 1984) y corrigiendo esta con una metodología revisada posteriormente (DAUX *et al.*, 2008). Los datos obtenidos nos permiten calcular un valor medio de $\delta^{18}O_{dw}$ para las aguas ingeridas por los habitantes de la motilla en un -9.48‰ , con una desviación típica de 1.69‰ . Estos datos resultaron coherentes con los valores de las aguas de lluvia que hay en áreas centrales de la Península (ARAGUAS ARAGUAS Y DÍAZ-TEJEIRO, 2005), y también con los datos isotópicos obtenidos para diferentes fuentes de la zona de Calatrava, a 20km al SO de la Motilla, que estaban comprendidos entre $-8,15$ y $9,63\text{‰}$ y los del área de las tablas de Daimiel, a 20km al NO de la Motilla, que por ser aguas superficiales, más evaporadas, dan valores menos negativos ($-5,2$ a $8,3\text{‰}$), las aguas de manantiales (representativas de aguas subterráneas y por tanto del pozo de la motilla) deberían presentar valores más negativos (Antonio Delgado Huertas, comunicación personal).

Los valores en conjunto, como se puede ver en el gráfico de dispersión presentan unos valores de $\delta^{18}O_{dw}$ muy bajos y que presentan una gran variabilidad, aunque la medias sean coherentes con el agua actual, tenemos pendiente para futuros estudios comprobar los "porqués" de esta variabilidad, que puede deberse a la propia variabilidad climática interanual de la zona, como han demostrado otros autores (KNUDSON, 2009).

Fig. 3. Datos de oxígeno por individuo muestreado

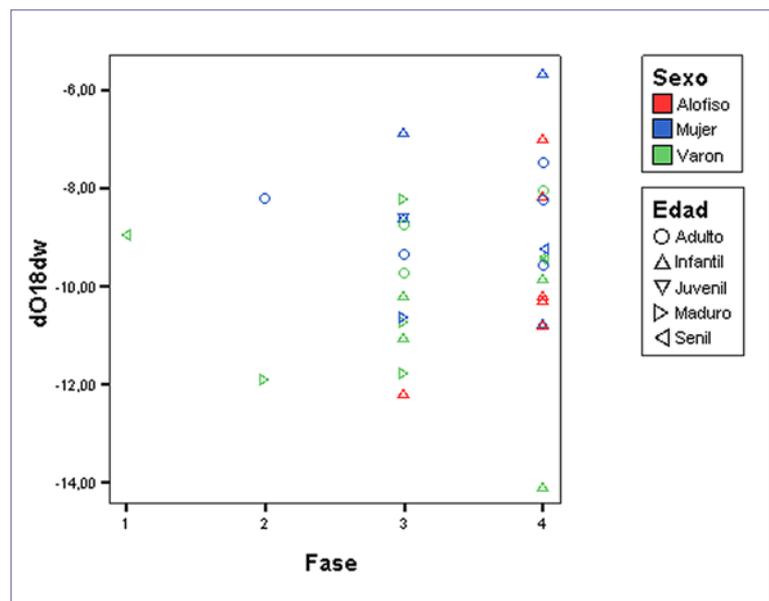


En la presente representación gráfica se presenta una comparación de todas las muestras para tener una visión de conjunto de todos los datos, los valores medios, como dijimos antes, se encuentran en $-9,48 \pm 1,69 \text{ ‰}$. Por lo que deberemos acudir a aquellos individuos de la muestra cuyo $\delta^{18}O_{dw}$ sea superior a $-7,78 \text{ ‰}$ o inferior a $-11,18 \text{ ‰}$. En este caso nos hemos encontrado con una cantidad significativa de individuos que cumplen estas condiciones, cuatro personas que aparecen por debajo de la varianza y cuatro que aparecen por encima de la misma.

Respecto a estos casos, hay algunos tan cercanos a los valores propuestos que no deberíamos considerarlos como “exógenos” y quedan descartados de nuestras hipótesis, como los dos varones maduros y el alofiso infantil que aparecen inferiores a nuestro límite de $11,18 \text{ ‰}$, pero que no se distancian lo suficiente de este valor como para resultar significativos. Sin embargo, el individuo infantil cuyo $\delta^{18}O_{dw}$ es de $-14,08 \text{ ‰}$, el valor más “empobrecido” si merece una consideración especial.

Los otros casos, superiores a $-7,78$ se componen de una mujer adulta que descartamos por el mismo criterio antes mencionado, y nos centramos de nuevo en tres infantiles, que tienen valores alejados de la media. No obstante, antes de plantear posible procedencia exógena debemos tener en cuenta que el enriquecimiento isotópico en oxígeno puede ser debido a la alimentación materna, dado que en determinadas culturas el proceso de destete tiene lugar en momentos relativamente tardíos, este “efecto de amamantamiento” (*breastfeeding effect*) haría que los valores de $\delta^{18}O_{dw}$ apareciesen más enriquecidos de lo normal. Sin embargo, al ser el tiempo del destete un rasgo cultural debería aparecer en todos, o al menos en la mayoría de los casos infantiles, y aquí lo estamos planteando para tres individuos, que no es una muestra representativa, al menos no sin mirar otros factores, como los valores isotópicos de ^{13}C o de ^{15}N de la población.

También se presentó muy esclarecedora la comparación de los datos de $\delta^{18}O_{dw}$ con las fases de habitación del yacimiento. Descartando la información de la Fase I y II, que desgraciadamente no cuentan ni en nuestra muestra ni en el registro arqueológico con un número de individuos significativo, nos encontramos con que los valores promedio en la Fase IV tienden a ser menos negativos que los de la Fase III, y se planteó que los datos de oxígeno de este momento correspondiesen a un cambio en las formas y lugares de donde se obtiene el agua, estando documentado en el registro arqueológico que en un momento de la última fase de ocupación se cierra el pozo.



como de $\delta^{15}\text{N}$ se correlacionaron con los de oxígeno obtenidos en este estudio, y se comprobó que a medida que aumentaban los valores de $\delta^{18}\text{O}$, también por lo general lo hacían los de $\delta^{13}\text{C}$, era lo esperado, pues en los periodos áridos las plantas cierran los estomas para perder menos agua por transpiración, lo que haría que sus valores sean menos negativos (FARQUHAR *et al.*, 1980) (MIGHALL *et al.*, 2006). Independientemente de esto, los procesos de evaporación hacen que las aguas meteóricas se hagan menos negativas (GAT, 1996).

Del mismo modo, la comparativa con los datos de $\delta^{15}\text{N}$ nos mostró que los individuos caracterizados como “posiblemente exógenos” estaban, en efecto, enriquecidos en nitrógeno, posiblemente característico de una “sobrealimentación”, por lo que ni descartamos el efecto de amamantamiento ni podríamos asumir que son exógenos. Lo contrario ocurriría con el infantil que tiene los datos de oxígeno más bajos, ya que se encuentra dentro de los valores medios de carbono y nitrógeno, por lo que se presenta como el individuo con más posibilidades de ser exógeno al yacimiento.

CONCLUSIONES

Con este trabajo queda comprobado que la composición del oxígeno del fosfato en restos óseos permite calcular los valores de las aguas que bebieron los habitantes del yacimiento, y se puede obtener información sobre la movilidad y/o tendencias climáticas durante la ocupación del mismo.

Los valores calculados para las aguas (-9,48‰) son coherentes con las aguas subterráneas actuales para la zona de estudio. Lo que indica que gran parte de los individuos usaban agua del pozo. Existen algunos valores más negativos sobre los que habría que profundizar en el futuro.

Del mismo modo se obtiene una buena correlación entre los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$, y podemos hablar de que los ambientes más áridos dan lugar a valores menos negativos tanto en oxígeno como en carbono, en el primer caso explicado por el efecto evaporación, y en el segundo por el cierre de los estomas de las plantas. Por tanto, la tendencia del oxígeno a estar más “enriquecido” en el isótopo ^{18}O en los restos óseos de la Fase IV puede estar explicado bien por un incremento de la aridez en esa época, bien por un cambio en la obtención del agua, o ambos.

Respecto a la caracterización de los individuos no nos atrevemos a señalar como exógeno a ninguno de los casos que quedan fuera de la media, dado que en al menos dos de los tres individuos infantiles con valores poco negativos de oxígeno tienen también valores altos de nitrógeno, lo que nos podría estar indicando un aumento del periodo de lactancia, por lo que el oxígeno con estos valores altos se debería al efecto de amamantamiento. Mención aparte merece el individuo infantil con valores más negativos de oxígeno del yacimiento, aunque no podemos establecer ninguna hipótesis con tan solo un caso.

Siendo objetivos con los datos disponibles debemos concluir en que podemos hablar de similitud con los datos de oxígeno de las aguas actuales, y podemos hablar de variaciones climáticas durante la ocupación de la Motilla, pero no hemos identificado con éxito individuos que podamos considerar como exógenos, salvo algunos casos aislados que deben ser objeto de revisión en un futuro. No obstante, dado el tamaño reducido de la muestra, es más que probable que ampliándose el número de casos estudiados podamos obtener una información de mayor calidad.

Dado que la Motilla del Azuer no es una isla, sino que forma parte de un sistema cultural con otros yacimientos de su tipo es muy posible que la movilidad de los individuos tenga lugar dentro de este

mismo sistema sociocultural. Futuros estudios deberían tener en cuenta, además de un mayor número de casos de la Motilla del Azuer, una cantidad considerable de datos de isótopos sobre los restos recuperados en otras motillas, para comprobar si hay diferencias en su composición isotópica, ya que con los datos que hemos obtenido en este estudio no podemos hacer presupuestos muy aventureros. Este trabajo, por tanto, no tiene la capacidad para afirmar con total seguridad los presupuestos planteados, pero sí para comenzar a dar los primeros pasos en esta dirección y responder, mediante la ampliación de estos estudios, a las cuestiones sobre la movilidad de los pobladores del Bronce de la Mancha.

BIBLIOGRAFÍA

- ARAGUAS-ARAGUAS, L., DÍAZ-TEJEIRO, MF., (2005): Isotope composition of precipitation and water vapour in the Iberian Peninsula, *IAEA-TECDOC-1453*, 2005, pp. 173 -190.
- ARIAS, P., (2005): Determinaciones de isótopos estables en restos humanos de la región Cantábrica. Aportación al estudio de la dieta de las poblaciones del Mesolítico y el Neolítico, *MUNIBE 7*, 2005, San Sebastián, pp. 359-374.
- DAUX, V., LECUYER, CH., HERÁN, M., AMIOT, R., SIMON, L., FOUREL, F., ADAM, F., LYNNERUP, N., REYCHLER, H., (2008): Oxygen isotope fractionation between human phosphate and water revisited, *Journal of Human Evolution* 55, 6, 2008, pp. 1138-1147.
- DELGADO, A., IACUMIN, P., STENNI, B., SÁNCHEZ, B., LONGINELLI, A., (1995): Oxygen isotope variations of phosphate in mammalian bone and tooth enamel, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59, 20, 1995, pp. 4299-4305.
- FARQUHAR, G.D., CAEMMERER, S.V., BERRY, J.A., (1980): A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C-3 species, *Planta* 149, 1980, pp. 78 - 90.
- GAT, J.R. (1996): Oxygen and Hydrogen Isotopes in the Hydrologic Cycle, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 24, 1996, pp. 225 – 262.
- JIMÉNEZ BROBEIL, S.A., AL OUMAOU, I., NAJERA, T. y MOLINA, F. (2008): Salud y enfermedad en la Motilla del Azuer. Una población de la Edad del Bronce de la Mancha, *Revista Española de Antropología Física* 28, 2008, pp. 57-70.
- KEEGAN, W., DE NIRO, M., (1988): Stable Carbon- and Nitrogen-Isotope Ratios of Bone Collagen Used to study Coral-Reef and Terrestrial components of Prehistoric Bahamian Diet, *American Antiquity* 53, 1988, pp. 320 - 336.
- KNUDSON, K., (2009): Oxygen Isotope Analysis in a Land of Environmental Extremes: The Complexities of Isotopic Work in the Andes, *International Journal of Osteoarchaeology* 19, 2009, pp. 171 - 191.
- LAFFRANCHI, Z., (2010): Patrones de actividad en la Motilla del Azuer: un estudio a partir de los restos óseos. *Arqueología y Territorio* 7, Universidad de Granada, 2010, Granada, pp 57-68.
- LONGINELLI, A. (1984): Oxygen Isotopes in mammal bone phosphate: A new tool for paleohydrological and paleoclimatological record?, *Geochimica et cosmochimica Acta* 48, 1984, pp. 383-390.
- MIGHALL, T., MARTÍNEZ, A., BIESTER, H., TURNER, S.E. (2006): Proxy climate and vegetation changes during the last five millennia in NW Iberia: Pollen and non-pollen palynomorph data from two ombrotrophic peat bogs in the North Western Iberian Peninsula, *Review of Palaeobotany and Palynology* 141, 2006, pp. 203-223
- MOLINA, F., NÁJERA, T., ARANDA, G., SÁNCHEZ, M. Y HARO, M. (2005): Recent Fieldwork at the Bronze Age fortified site of Motilla del Azuer (Daimiel, Spain), *Antiquity Project Gallery* 79, 2005, Ciudad Real.
- NAJERA T., MOLINA, F. (2004): Las motillas, un modelo de asentamiento con fortificación central en la llanura de la Mancha, *La Península Ibérica en el siglo II a.c. Poblados y Fortificaciones*, Colección Humanidades, Madrid, 2004, pp. 173-214.

NÁJERA, T., MOLINA, F., JIMÉNEZ-BROBEIL, S., SÁNCHEZ, M., AL OUMAOU, I., ARANDA, G., DELGADO, A., LAFFRANCHI, Z., (2010): La población infantil de la Motilla del Azuer: Un estudio bioarqueológico, *Complutum* 21, 2, 2010, pp. 69 - 102.

NÁJERA, T., JIMÉNEZ-BROBEIL, S., MOLINA, F., DELGADO, A., LAFFRANCHI, Z., (2012): La aplicación de los métodos de la Antropología Física en un yacimiento arqueológico: la Motilla del Azuer, *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada*, 22, 2012, pp. 149 – 183.

REDONDO, R. (2006): *Fundamentos teóricos y técnicos de los isótopos estables*. Servicio Interdepartamental de Investigación (SIdI), Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid, 2006.

SCHOENINGER, M.J., DENIRO, M.J. (1984): Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48, 1984, pp. 625 - 639.