

LINEAMIENTOS PARA LA PUBLICACIÓN DE RESULTADOS ISOTÓPICOS EN ANTROPOLOGÍA BIOLÓGICA Y ARQUEOLOGÍA

OUTLINE FOR THE PUBLICATION OF ISOTOPIC RESULTS IN BIOLOGICAL ANTHROPOLOGY AND ARCHAEOLOGY

Celeste T. Samec^{1*}, Malena Pirola² y Violeta A. Killian Galván³

¹ CONICET / Instituto de Geocronología y Geología Isotópica. Pabellón INGEIS. Ciudad Universitaria. Buenos Aires. Argentina

² CONICET / Instituto de Arqueología. Buenos Aires. Argentina

³ CONICET / Instituto Interdisciplinario de Tilcara (UBA). Tilcara. Argentina

PALABRAS CLAVE análisis de isótopos estables; buenas prácticas; errores comunes; guía práctica

RESUMEN El empleo de los análisis de isótopos estables (a menudo abreviado como SIA por sus siglas en inglés) en antropología biológica y arqueología se ha incrementado notablemente en los últimos 25 años. Como reflejo de esta expansión a nivel global, dichas técnicas comenzaron a ser aplicadas en Argentina a comienzos de la década de 1990 y experimentaron luego un crecimiento sostenido a partir del año 2010. Sin embargo, la reciente expansión de esta línea de evidencia en aquellos campos que resultan ajenos a los que le dieron origen ha resultado en la existencia de inconsistencias en el uso de la terminología apropiada, así como también no-

tables variaciones en la forma de publicar los resultados de este tipo de análisis. Este trabajo se propone realizar una revisión de las publicaciones científicas en español que emplearon información isotópica dentro de la antropología biológica y la arqueología argentinas a fin de relevar el crecimiento registrado en el uso de los análisis de isótopos estables en estas disciplinas a nivel local. Al mismo tiempo, el trabajo incluye la exposición de algunos conceptos básicos relacionados a la naturaleza de los datos isotópicos y una guía de “buenas prácticas” en lo que refiere a la publicación de los mismos. *Rev Arg Antrop Biol* 21(2), 2019. doi:10.24215/18536387e007

KEY WORDS stable isotope analysis; best practices; common mistakes; practical guide

ABSTRACT The use of stable isotope analysis (SIA) in biological anthropology and archaeology has experienced an exponential increase during the last 25 years. As a reflection of this global expansion, these techniques began to be applied in Argentina during the early nineties, noticeably growing in number from the year 2010 onwards. As a result of the recent expansion of this line of inquiry in fields that are alien to their basic principles, a series of inconsistencies in the use of common terminology, and variations in the way the results of the analyses are published can be ob-

served. Thus, this work carries out a review of the scientific publications in Spanish that present isotopic information within the fields of biological anthropology and archaeology in Argentina, in order to acknowledge the expansion in the use of stable isotope analysis in these disciplines on a local scale. Our work also presents a discussion of some basic concepts related to the nature of the data and a “best practices” guide to publish the results of stable isotope analysis in Spanish. *Rev Arg Antrop Biol* 21(2), 2019. doi:10.24215/18536387e007

Los análisis de isótopos estables en la antropología biológica y la arqueología argentinas

En los últimos 25 años los análisis de isótopos estables se han convertido en una herramienta de uso cada vez más común en la antropología biológica y la arqueología, en parte gracias a sus múltiples aplicaciones y también debido a los costos decrecientes percibidos por aquellos laboratorios que prestan servicios a terceros. A fin de establecer las características de los usos más extendidos de esta metodología a nivel local es que realizamos una búsqueda en

Google Scholar –empleando “isótopos estables Argentina arqueol* OR antropol*” como términos de búsqueda– con el objetivo de elaborar una exhaustiva base de datos de las publicaciones que incluyen datos isotópicos en ambas disciplinas. Dicha búsqueda arrojó un total de 1150

*Correspondencia a: Celeste T. Samec. Instituto de Geocronología y Geología Isotópica. Pabellón INGEIS, Ciudad Universitaria. C1428EHA Buenos Aires. Argentina. E-mail: celestesamec@gmail.com
Recibido 10 Abril 2018; aceptado 7 Noviembre 2018

resultados, aunque aquí sólo se consideraron aquellas publicaciones que cumplieran con los requisitos de inclusión preestablecidos: que fueran artículos en español incluidos en publicaciones científicas periódicas, que presentaran datos de composición isotópica –valores $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, $\delta^{34}\text{S}$ y/o $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ – medidos sobre cualquier sustrato y que estuvieran vinculados con investigaciones antropológicas/arqueológicas llevadas a cabo en Argentina. De tal manera, pudimos establecer que hasta diciembre del año 2017, las publicaciones en revistas científicas que cumplen con estos criterios alcanzan un total de 126. Dentro de las mismas se advierte un incremento notable en el número de las publicaciones que involucran datos isotópicos a partir del año 2010, aunque se registró un incremento relativo en algunos años anteriores –como el 2003– y un relativo número bajo de trabajos sobre esta temática en algunos años posteriores –como el 2015. Tal como se observa en la Figura 1, la mayoría de estos trabajos –cerca del 70%– fue publicada a partir del año 2010.

Entonces, visto el crecimiento experimentado en la publicación de datos isotópicos en

antropología y arqueología en Argentina pensamos que resulta necesario contar con lineamientos claros y uniformes a la hora de comunicar los resultados. Entonces, el objetivo de este trabajo consiste en elaborar una guía de “buenas prácticas” para la publicación de los mismos, elaborada conforme a los más rigurosos estándares internacionales. En este sentido, consideramos que la distancia que existe entre quienes utilizan y publican datos isotópicos y quienes los generan en los laboratorios es un aspecto que redundará en errores de expresión, al tiempo que en muchos casos cierta información importante se encuentra ausente en las publicaciones de los profesionales de nuestras disciplinas (D’Angelo del Campo *et al.*, 2018). Recientemente, biólogos y arqueólogos de habla inglesa han comprendido la necesidad de discutir aspectos puntuales sobre la presentación de los datos isotópicos en nuestras disciplinas y han elaborado una serie de artículos donde se hace referencia a “buenas prácticas” en la publicación de este tipo de resultados (Bond y Hobson, 2012; Jardine y Cunjak, 2005; Roberts *et al.*, 2017; Szpak, Metcalfe y

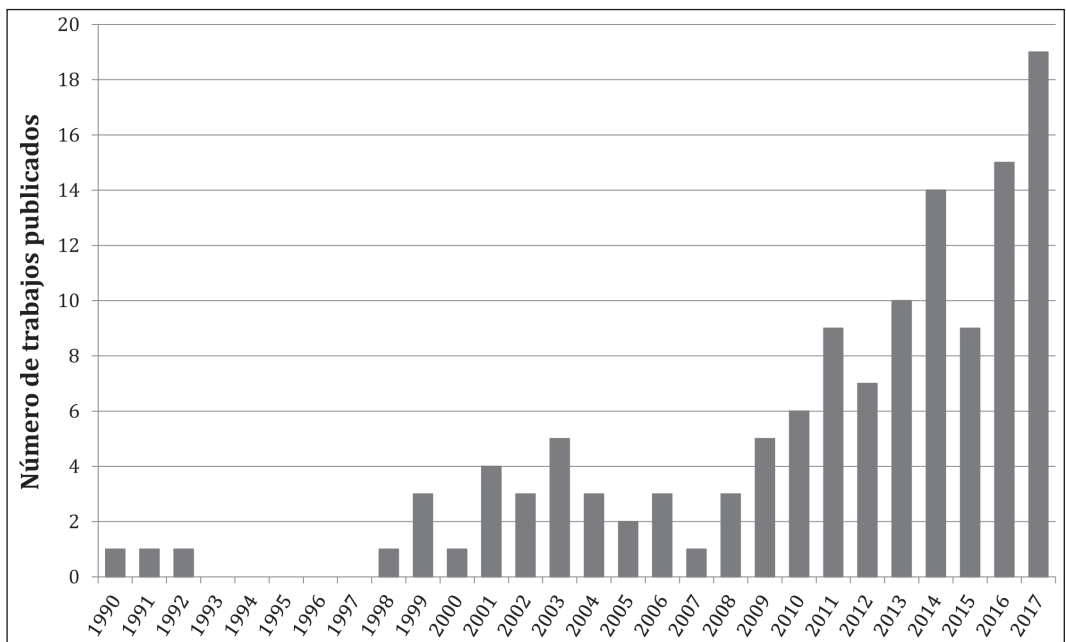


Fig. 1. Número de trabajos en español publicados por año en revistas científicas periódicas que incluyen datos de composición isotópica de cualquier sustrato obtenidos en el marco de investigaciones antropológicas/arqueológicas llevadas a cabo en Argentina hasta diciembre de 2017 según *Google Scholar*.

Macdonald, 2017, entre otros). Sin embargo, los autores de habla hispana hasta el momento solo contamos la versión traducida (Ciriano López y Román Polo, 2007) del llamado “libro rojo de la IUPAC” que versa sobre química inorgánica (Connelly, Damhus, Hartshorn y Hutton, 2005), mientras que la última versión del “libro azul” del mismo organismo dedicado a la química orgánica (Favre y Powell, 2013) aún no fue traducida al español. De tal forma, los recursos disponibles para los investigadores hispanohablantes resultan insuficientes no solo en lo que se refiere a la correcta expresión de nuestros resultados en nuestro idioma, sino también en aquellos aspectos referidos a las particularidades de los materiales con los que trabajamos en antropología y arqueología (e.g. diagénesis).

Terminología básica y naturaleza de los datos isotópicos

En 1995 la Commission on Isotopic Abundances and Atomic Weights (CIAAW) que funciona dentro de la Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) estableció que los resultados de las mediciones de las composiciones isotópicas deben expresarse en escalas particulares, definidas en términos de patrones fijos de referencia de distribución internacional (Bond y Hobson, 2012). De tal forma, se acordó que se emplee la nomenclatura delta (δ) para referirse a los mismos, la cual se expresa utilizando como superíndice el número másico del isótopo más pesado seguido del símbolo del elemento (e.g. $\delta^{13}\text{C}$). Entonces, las composiciones isotópicas, simbolizadas a través de la letra griega delta (δ) –siempre en cursiva–, no son relaciones en sí mismas sino valores que representan diferencias relativas en las cantidades de dos isótopos de una muestra comparada con un estándar de referencia y calculadas a partir de la siguiente ecuación: $\delta = (R_{\text{muestra}} - R_{\text{estándar}}) / R_{\text{estándar}}$; donde R representa la relación entre el isótopo pesado y el liviano (e.g. $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$). Justamente, dado que δ representa diferencias relativas, su valor puede ser tanto negativo como positivo, por lo que debe anteponerse el símbolo “+” o “-” a la cifra en cuestión según corresponda. Al mismo tiempo, la abundancia relativa del isótopo pesado con respecto del liviano (R) suele ser de una magnitud muy pequeña (entre 10^{-2} y 10^{-3}) por

lo que usualmente los valores δ se expresan en “partes por mil” (% símbolo “por mil”) dejando un espacio entre la cifra y el símbolo. Este tipo de notación tiene como finalidad simplificar la lectura y la interpretación de los datos, ahorrando la utilización de gran cantidad de decimales (no se utiliza “ $\delta^{13}\text{C} = -0,0158$ ” sino “ $\delta^{13}\text{C} = -15,8 \text{ ‰}$ ”). Sin embargo, vale destacar que las convenciones mencionadas más arriba corresponden a la expresión de los resultados del análisis de los isótopos denominados estables –e.g. $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, etc.– mientras que en el caso de los análisis que incluyen isótopos radiogénicos –e.g. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ – no se emplea la notación delta, sino que los valores de la relación se expresan en términos absolutos, aunque en estos casos también se emplea un estándar internacional.

Entonces, el estándar que se utiliza para medir las composiciones isotópicas representa un material de referencia internacional que cuenta con un valor conocido y aceptado que define la escala de las mediciones isotópicas para cada elemento. Actualmente algunos de los estándares empleados son: Vienna Pee Dee Belemnite (VPDB) para los valores $\delta^{13}\text{C}$, N_2 atmosférico (AIR) para $\delta^{15}\text{N}$, Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW) para $\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$, Vienna Canyon Diablo Troilite (VCDT) para $\delta^{34}\text{S}$ y Strontium Carbonate Isotopic Standard (SRM-987) para $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, entre otros (Brand, Coplen, Vogl, Rosner y Prohaska, 2014). Sin embargo, resulta difícil medir las composiciones isotópicas empleando estándares internacionales en todos los casos, por lo que los laboratorios suelen emplear materiales de referencia secundarios con composiciones isotópicas conocidas y calibradas según los estándares internacionales ya mencionados. Estos estándares secundarios pueden ser adquiridos vía diversos organismos, tales como la International Atomic Energy Agency (IAEA) o el National Institute of Standards and Technology de Estados Unidos (NIST) (Brand *et al.*, 2014). Al mismo tiempo, muchos laboratorios desarrollan sus propios estándares internos, siempre procurando que los materiales elegidos sean lo suficientemente homogéneos y estables en sus composiciones isotópicas, las cuales además deben ser similares a las de las muestras que están siendo analizadas –e.g. azúcar, cafeína, colágeno, etc.– a fin de cumplir con el principio de idéntico tra-

tamiento (Szpak *et al.*, 2017). La importancia de conocer qué estándares se han utilizado en la medición de nuestras muestras radica en que los procedimientos empleados en la calibración de los resultados arrojados por la espectrometría de masas resultan de vital importancia para comprender la naturaleza de los datos con los que estamos trabajando y la posibilidad de establecer comparaciones entre laboratorios (Carter y Fry, 2013). Ahora bien, independientemente de los materiales de referencia secundarios que fueran utilizados, las composiciones isotópicas siempre se expresan en relación a los estándares internacionales, consignándose en formato subíndice al presentar el valor (e.g. $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$).

Por otro lado, cuando se informan los resultados de las mediciones de la composición isotópica de cualquier material también es necesario proveer información para evaluar la calidad del resultado –i.e. cuán bien se encuentra representada la “medida verdadera” en nuestra medición. Este es el campo de la incertidumbre o error analítico, concepto que engloba dos componentes principales: la exactitud de medida –entendida como la concordancia de una medición y el valor verdadero, a menudo asociada al error sistemático– y la precisión de medida –entendida como la proximidad de los valores medidos repetidamente, a menudo ligada al error aleatorio– (Jardine y Cunjak, 2005; Szpak *et al.*, 2017). Una forma de evaluar ambos tipos de error en espectrometría consiste en utilizar a aquellos materiales de referencia secundarios que ya mencionamos como muestras de control o *check standards* intercalados en la corrida de mediciones de las muestras bajo estudio. Dado que estos materiales constituyen la referencia para reportar datos de composición isotópica –i.e. su valor δ es conocido–, la exactitud de medida puede evaluarse observando el desvío de los valores medidos con respecto al valor conocido de dichos materiales secundarios. Al mismo tiempo, la precisión de medida puede estimarse midiendo repetidamente estos materiales secundarios de referencia y calculando el DE o la diferencia absoluta entre mediciones repetidas. En este sentido, Szpak, Metcalfe, y Macdonald (2017) elaboran un método para calcular la incertidumbre analítica que incorpora los dos componentes básicos mencionados previamente: el error sistemático y el error aleato-

rio. Dicho método calcula la raíz de la suma de los cuadrados de ambos componentes y la establece como incertidumbre estándar o *standard uncertainty* (ver apéndices F y G de Szpak *et al.*, 2017). Normalmente los laboratorios reportan el valor de la incertidumbre analítica en conjunto con los resultados, pero en caso de que no sea así la misma puede calcularse o recalcularse a partir de dicha fórmula si se accede a la información de las corridas medidas por el espectrómetro de masas. Para concluir, vale aclarar que la consideración de la incertidumbre analítica resulta relevante al elaborar una publicación científica dado que los valores δ de las muestras deben ser consignados de acuerdo a la misma (Bond y Hobson, 2012). Por ejemplo, si el error analítico de los valores $\delta^{13}\text{C}$ posee un solo decimal (e.g. $\pm 0,2\text{‰}$) entonces el valor de la muestra medida debe reportarse con un decimal (e.g. $-20,4\text{‰}$ y no $-20,42\text{‰}$).

Particularidades de los análisis de isótopos estables en antropología biológica y arqueología: cómo subsanar errores y omisiones

Errores comunes

El relevamiento de las publicaciones en revistas en español realizado aquí reveló la recurrencia de errores y confusiones de expresión al presentar y discutir los resultados de los análisis isotópicos. Del total de 126 artículos relevados, el 34% ($n = 43$) presenta errores en cuanto a la terminología o los conceptos empleados para informar la composición isotópica de los materiales estudiados. Evaluando en detalle los artículos que hemos relevado, es notable la recurrencia de errores ligados a la notación δ , dado que a menudo esta expresión es omitida (e.g. “... ^{13}C entre $-20,2$ a $-20,6$ por mil”) o reemplazada por la letra d (e.g. “Los valores de d^{13}C ...”), al tiempo que en muchas instancias no se respeta la inclusión del número másico del isótopo más pesado en formato superíndice (e.g. “El análisis isotópico de δC ...” o “...valores de $\delta^{13}\text{C}$...”). En algunos de estos trabajos también se ha registrado el error común de hacer referencia a los valores isotópicos como “enriquecidos” o “empobrecidos” como sinónimo de “más altos” o “más bajos” que otros respectivamente (e.g. “...dio como resultado valores empobrecidos”

o “...señales isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ más empobrecidas que...”). En última instancia también se registran errores de expresión de tipo genérico, probablemente vinculados a la escasa familiaridad con la literatura sobre el tema (e.g. “...isótopos estables del $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$...” o “Las plantas silvestres C_3 presentan altas concentraciones de $\delta^{13}\text{C}$...” o “...correlacionamos las tasas de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$...”). Muchos de estos errores son recopilados en detalle en la Tabla 1, en donde se sugieren expresiones alternativas para lograr evitarlos cuando se escribe un artículo o informe y se ofrece una explicación breve sobre el origen de dicha confusión. Vale aclarar que esta tabla se

fundamenta en las recomendaciones de Coplen (2011), Bond y Hobson (2012), Sharp (2017) y Roberts *et al.*, (2017) de donde se toman algunos ejemplos que son complementados aquí con algunas modificaciones y agregados de nuestra elaboración a partir del relevamiento referido.

Recomendaciones

Por otra parte, el análisis de las publicaciones en español llevado a cabo aquí ha revelado la ausencia de información sensible a la interpretación y comparación de los resultados presentados. Cabe destacar que de los 126 artículos relevados aquí 24 de ellos no presentan

TABLA 1. Errores comunes y expresiones recomendadas para la publicación de resultados de análisis de isótopos estables en español

Error	Expresión recomendada	¿Por qué?
C^{13} , 13-carbono	^{13}C , carbono-13	Al hacer referencia al isótopo de un elemento, el número másico se coloca en formato superíndice antes del elemento abreviado o después del nombre completo de este anteponiendo un guion.
Referirse al símbolo δ como “d” o “del”	Letra griega delta “ δ ” (se debería consignar en cursiva, dado que se encuentra en un idioma extranjero)	En minúscula (δ) este símbolo representa el valor de la relación entre dos isótopos (e.g. $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) en relación a un estándar, mientras que en mayúscula (Δ) simboliza el factor de discriminación (e.g. diferencia entre presa y consumidor) (ver <i>infra</i> para detalle de este último punto).
Valores δC , δN , δO , etc.; δ^{13} , δ^{15} , δ^{18} , etc.; ^{13}C , ^{15}N , ^{18}O , etc.; ^{13}d , ^{15}d , ^{18}d , etc.; d-13, d-15, d-18, etc.	Valores $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{18}\text{O}$, etc.	La expresión correcta incluye siempre el símbolo delta, seguido del número másico del isótopo más pesado en formato superíndice, seguido del símbolo del elemento en cuestión. Esta forma no puede ser abreviada.
“ $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ ” o “ $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ ”	“ $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ ” o “ $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ ”	Los estándares originales (SMOW y PDB) ya no se utilizan, se debe emplear VSMOW y VPDB en todos casos.
“Se midió el azufre de...”	“Se midió la composición isotópica del azufre de...”	La anterior expresión resulta confusa ya que puede interpretarse como la medición del contenido de azufre de un mineral o tejido.
“Composición $\delta^{13}\text{C}$ ”	“Valor $\delta^{13}\text{C}$ ” o “composición isotópica del carbono”	No existe tal cosa como “una composición de valores”.
“Valores $\delta^{15}\text{N}$ más pesados”	“Valores $\delta^{15}\text{N}$ más elevados”	Al ser números, los valores no pueden ser “pesados” o “livianos” sino altos o bajos.
“Isotópicamente negativo”	“Valores $\delta^{18}\text{O}$ bajos”	Las relaciones isotópicas no son negativas en sí mismas sino que se expresan en relación a un estándar.
“Agua empobrecida isotópicamente”	“Agua empobrecida en ^{18}O ”	El material está empobrecido o enriquecido en un isótopo en particular, debiendo aclararse cuál.

TABLA 1. Continuación

Error	Expresión recomendada	¿Por qué?
“El cabello se encuentra enriquecido en $\delta^2\text{H}$ en relación a las uñas”	“El cabello se encuentra enriquecido en ^2H en relación a las uñas”	Los valores no se hallan enriquecidos, sino que las muestras se hallan enriquecidas en un isótopo en particular.
“Valor $\delta^{13}\text{C}$ empobrecido”	“Valor $\delta^{13}\text{C}$ bajo” (en relación a otro valor)	Los valores $\delta^{13}\text{C}$ son números, por ende no pueden estar empobrecidos.
“Isótopos de oxígeno en apatita”, “inferido a partir de los isótopos del carbono”, “isótopos del agua”, “valores de isótopos de $\delta^{13}\text{C}$ ”, etc.	“Composición isotópica del oxígeno en apatita”, “inferido a partir de la medición de la composición isotópica del carbono”, “composición isotópica del agua”, “valores $\delta^{13}\text{C}$ ”, etc.	Estos errores son muy comunes y se generan a partir de las expresiones que se utilizan asiduamente en la comunicación oral de los resultados.
$\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}} = -18.3\text{‰}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}} = 10.1\text{‰}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}} = -18,3 \text{‰}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}} = +10,1 \text{‰}$	Al consignar los valores se coloca un símbolo + ó - (siempre “en dash” para el símbolo negativo) según corresponda seguido de la cifra, sin dejar espacio y con coma (solo en inglés se utiliza punto) y luego se deja un espacio y se coloca el símbolo ‰ (“per mille sign”).
“La composición isotópica del esmalte dental es de $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}} = -5,6 \text{‰}$ ”	“El valor de $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ del esmalte dental es de $-5,6 \text{‰}$ ”	La expresión “composición isotópica” en este caso equivale a la expresión $\delta^{18}\text{O}$ con lo que la frase resulta redundante.
“El valor isotópico cambió”	“La composición isotópica cambió” o “el valor $\delta^{15}\text{N}$ cambió”	La expresión “valor isotópico” es ambigua.
“Se utilizó un modelo mixto para estimar las proporciones de los alimentos A y B en la dieta del individuo 1”	“Se utilizó un modelo de mezcla para estimar las proporciones de los alimentos A y B en la dieta del individuo 1”	La expresión “modelo mixto” no es una adecuada traducción de “ <i>mixing model</i> ”, resulta más apropiado emplear “modelo de mezcla”.
“La firma isotópica del esmalte es de $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}} = +1,2 \text{‰}$ ”	“El valor $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ del esmalte es de $+1,2 \text{‰}$ ”	La expresión “firma isotópica” solo debe utilizarse al hacer referencia a la composición isotópica de un reservorio, la cual no varía, como sería el caso del océano, y no a muestras ordinarias.
“ $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$ (en ‰)” o “ $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$, en per mil”	$\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$ (‰)	Estos errores suelen presentarse en los encabezados de las tablas, los cuales no deben contener texto.
“El factor de fraccionamiento (Δ) considerado fue de...” “Se utilizó un factor de enriquecimiento (Δ) de...”	“El factor de discriminación (Δ) considerado fue de...”	Resulta más adecuado referirse a Δ como “factor de discriminación” al mencionar procesos biológicos (e.g. $\Delta^{15}\text{N} = \delta^{15}\text{N}_{\text{consumidor}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{alimento}}$) mientras que se hace referencia a Δ como “factor de fraccionamiento” únicamente en procesos físico-químicos que involucran un único paso (e.g. evaporación). Se desaconseja el uso de “factor de enriquecimiento” en todos los casos.
“Hidróxido de Sodio” o “Ácido Clorhídrico” o “Composición isotópica del Carbono”	“Hidróxido de sodio” o “Ácido clorhídrico” o “Composición isotópica del carbono”	Al referirse a aquellos compuestos empleados en el pretratamiento de las muestras no se emplean mayúsculas en el segundo término, algo que también debe evitarse al consignar los nombres de los elementos sin abreviar.

datos originales sino que compilan y discuten datos de composiciones isotópicas publicados previamente, por lo cual es esperable que no contengan descripciones exhaustivas de los métodos de análisis y los criterios empleados para asegurar la confiabilidad de los resultados (ver también D'Angelo del Campo *et al.*, 2018). Sin embargo, parte de los 102 artículos que sí presentan datos originales carecen de información de vital importancia, necesaria para asegurar la calidad del dato y posibilitar la replicabilidad de la medición en el futuro. En este sentido, sólo el 25% (n = 27) de los artículos relevados reportan el nombre del laboratorio en donde se realizaron las mediciones, el código de muestra asignado por el mismo y/o la denominación del estándar internacional pertinente (*e.g.* VPDB, AIR, etc). Por otro lado, sólo el 30% (n = 32) presentó una descripción completa de los métodos de laboratorio empleados en el procesamiento y pretratamiento de las muestras –*e.g.* procedimientos ligados a la extracción de colágeno óseo. Por otra parte, el error o incertidumbre analítica de las mediciones sólo fue informado en el 15% de los artículos (n = 16) y de éstos casi ninguno informó el método mediante el cual fue calculado. Al mismo tiempo, sólo el 37% (n = 38) de los trabajos presentó algún tipo de criterio de validación a fin de asegurar el carácter “primario” de la composición isotópica presentada. Es por ello que nos parece importante recalcar que al redactar la sección “Métodos y técnicas de laboratorio” de aquellas publicaciones antropológicas o arqueológicas que vayan a presentar datos isotópicos se debe consignar la información que se enumera a continuación en todos los casos (D'Angelo del Campo *et al.*, 2018; Roberts *et al.*, 2017; Szpak *et al.*, 2017).

1. *Protocolos de laboratorio.* Siempre deben incluirse los métodos, así como también los compuestos químicos, empleados en el pretratamiento de las muestras, a menudo referidos en conjunto bajo la denominación “protocolos de laboratorio”. Esto tiene por objetivo garantizar la comparación de los resultados presentados con aquellos que fueran analizados por otros laboratorios, dado que a menudo existen diferentes tipos de pretratamientos, los cuales pueden tener diferentes efectos en los resultados (Jørkov,

Heinemeier y Lynnerup, 2007; Yoder y Bartelink, 2010, entre muchos otros).

2. *Detalles del laboratorio y los equipos empleados.* Aunque pueda parecer una recomendación un tanto obvia es importante incluir en nuestros informes y publicaciones el código de identificación de cada muestra que fuera asignado por el laboratorio y el detalle del material analizado (D'Angelo del Campo *et al.*, 2018). Al mismo tiempo, también debe consignarse la institución donde se realizaron las mediciones y el tipo y modelo de espectrómetro de masas y analizador elemental empleados, además de los materiales de referencia utilizados, a fin de garantizar la replicabilidad de los resultados y la comparación entre laboratorios.
3. *Incertidumbre analítica.* Tal como fuera mencionado más arriba, resulta importante incluir el error analítico de las mediciones y cómo fue calculado, información que aquellos investigadores que no están familiarizados con este tipo de análisis bien pueden obtener insistiéndoles a los técnicos encargados de los laboratorios o calculándolo ellos mismos en función de los datos de las corridas (ver *supra*) (consultar Szpak *et al.*, 2017 para más información al respecto).
4. *Criterios de validación de los datos.* Dentro de este acápite consideramos necesario establecer cuáles fueron los recaudos que se tomaron para garantizar que los resultados publicados representan la señal primaria del material medido, inafectada por la contaminación o la degradación de la muestra (Ambrose, 1990; DeNiro, 1985, entre otros).

Considerando este último aspecto, vale destacar que la composición isotópica de un tejido (sea colágeno óseo, apatita ósea, colágeno de dentina, apatita del esmalte, queratina u otros) puede verse afectada por diversos factores ligados a las condiciones y el ambiente en el que fuera enterrado (humedad, pH, tiempo, etc.). A partir de una serie de trabajos experimentales se han establecido controles para garantizar la fiabilidad de los resultados al analizar algunos de estos tejidos (Ambrose, 1990; De Niro, 1985; van Klinken, 1999, entre otros). En el caso del colágeno óseo y de la dentina, además de la composición isotópica

se debe incluir los valores correspondientes a %C, %N y C:N provistos por el análisis, los cuales deben ubicarse dentro de los rangos establecidos por estudios previos ($34,8 \pm 8,8$ para %C, entre 11 y 16 para %N, entre 2,9 y 3,6 para C:N) (ver Ambrose, 1990; De Niro, 1985; van Klinken, 1999 para más detalles). En el caso de la apatita ósea y del esmalte dental, establecer la fiabilidad de la señal isotópica medida resulta más complejo dado que deben realizarse análisis ajenos a la espectrometría de masas, tales como difracción de rayos X (DRX) o espectrofotometría infrarroja transformada de Fourier (FTIR), los cuales requieren de tiempo y dinero extra (Beasley, Bartelink, Taylor y Miller, 2014; Lee-Thorp y Sponheimer, 2003). Sin embargo, estos aspectos resultan de vital importancia cuando se trabaja con materiales que pudieron haberse degradado por el paso del tiempo o contaminado debido a su interacción con el medio circundante. A fin de lidiar con esto, en ambos casos, ya fuera para el caso del colágeno o de la apatita, se recomienda reportar el rendimiento (*yield* en inglés) de la fracción de interés luego del pretratamiento acompañado de un rango de valores considerado como normal en función de la información de referencia disponible (entre el 20 y el 25 % del peso total de la muestra inicial para el colágeno y entre el 60 y el 70 % del peso total de la muestra inicial para la apatita, (ver van Klinken (1999) y Weiner (2010) para más detalles).

Para finalizar y retomando el relevamiento de las publicaciones referido anteriormente, si consideramos todas las categorías “de error” contempladas hasta aquí (“Terminología”, “Detalles de protocolos de laboratorio”, “Detalles del laboratorio y los equipos empleados”, “Incertidumbre analítica” y “Criterios de validación de datos”) casi el 25% (n=24) de los trabajos publicados presentó deficiencias en todas las categorías. Finalmente, sólo 12 de los 102 artículos que presentaban datos originales no registraron ninguna equivocación u omisión, dado que no incluían errores de terminología al tiempo que cumplían con los cuatro criterios mencionados más arriba. De tal manera, consideramos que resulta necesario llamar la atención de los antropólogos y arqueólogos que emplean análisis de isótopos estables a fin de subsanar estos errores

y omisiones y así hacer más robusta la comparación de resultados. En este sentido, esperamos que esta guía de recomendaciones haya cumplido con el objetivo propuesto en función de los errores relevados en los artículos publicados hasta diciembre de 2017, como una forma de colaborar a la expansión de este tipo de análisis en las disciplinas de la antropología biológica y la arqueología en Argentina.

Palabras finales

La aplicación de los análisis de isótopos estables en antropología biológica y arqueología se ha incrementado notablemente en la última década en Argentina, aportando información valiosa para la discusión de problemas fundamentales en ambas disciplinas, tales como la dieta humana, las estrategias de subsistencia y el uso del espacio a lo largo del tiempo. Sin embargo, tal como demuestra el relevamiento de las publicaciones académicas en español en nuestro país, el correcto uso de la terminología científica ha sido dispar. En este trabajo se buscó conformar una guía práctica que permita la producción de textos que respeten una terminología adecuada y que incluyan la información técnica necesaria sobre la que se fundamentan las conclusiones. La importancia de utilizar un lenguaje preciso radica en generar trabajos que presenten datos robustos de manera que sus interpretaciones no se vean opacadas por el uso de un vocabulario ambiguo. Al mismo tiempo, esperamos que esta guía estimule la introducción de análisis de isótopos estables en futuros proyectos de investigación dentro de las disciplinas consideradas aquí, contribuyendo al desarrollo general de la antropología biológica y de la arqueología en nuestro país.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Estela Ducós y Héctor Panarello, quienes aclararon aspectos confusos que permitieron enriquecer el manuscrito. Asimismo, reconocemos los aportes de dos evaluadores anónimos, quienes ayudaron a mejorar notablemente la versión previa de este texto. Destacamos también la asistencia de las editoras de la RAAB durante la escritura.

LITERATURA CITADA

- Ambrose, S. H. (1990). Preparation and characterization of bone and tooth collagen for isotopic analysis. *Journal of Archaeological Science*, 17, 431-451. doi:10.1016/0305-4403(90)90007-R
- Beasley, M. M., Bartelink, E. J., Taylor, L., y Miller, R. M. (2014). Comparison of transmission FTIR, ATR, and DRIFT spectra: implications for assessment of bone bioapatite diagenesis. *Journal of Archaeological Science*, 46, 16-22. doi:10.1016/j.jas.2014.03.008
- Bond, A. L., y Hobson, K. A. (2012). Reporting stable-isotope ratios in ecology: recommended terminology, guidelines and best practices. *Waterbirds*, 35(2), 324-331. doi:10.1675/063.035.0213
- Brand, W. A., Coplen, T. B., Vogl, J., Rosner, M., y Prohaska, T. (2014). Assessment of international reference materials for isotope-ratio analysis (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 86(3), 425-467. doi:10.1515/pac-2013-1023
- Carter, J. F. y Fry, B. (2013). Ensuring the reliability of stable isotope ratio data beyond the principle of identical treatment. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 405(9), 2799-2814. doi:10.1007/s00216-012-6551-0
- Ciriano López, M. A. y Román Polo, P. (2007). *Nomenclatura de química inorgánica. Recomendaciones de la IUPAC de 2005*. Zaragoza, España: Pressas Universitarias de Zaragoza.
- Connelly, N., Damhus, G. T., Hartshorn, R. M., y Hutton, A. T. (Eds.). (2005). *Nomenclature of inorganic chemistry: IUPAC recommendations 2005*. Cambridge, UK: Royal Society of Chemistry.
- Coplen, T. B. (2011). Guidelines and recommended terms for expression of stable isotope ratio and gas ratio measurement results. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 25, 2538-2560. doi:10.1002/rcm.5129
- D'Angelo del Campo, M. D., García Laborde, P., Valenzuela, L. O., Motti, J. M. B., Martucci, M., Palacio, P. I., y Guichón, R. A. (2018). Información bioantropológica publicada de Patagonia Austral. Un abordaje de la situación actual desde el data-sharing. *Revista del Museo de Antropología*, 11(1), 153-170.
- DeNiro, M. J. (1985). Postmortem preservation and alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to palaeodietary reconstruction. *Nature*, 317, 806-809. doi:10.1038/317806a0
- Favre, H. A., y Powell, W. H. (2013). *Nomenclature of organic chemistry: IUPAC recommendations and preferred names 2013*. Cambridge, UK: Royal Society of Chemistry.
- Jardine, T. y Cunjak, R. (2005). Analytical error in stable isotope ecology. *Oecologia*, 144, 528-533. doi:10.1007/s00442-005-0013-8
- Jørkov, M. L. S., Heinemeier, J., y Lynnerup, N. (2007). Evaluating bone collagen extraction methods for stable isotope analysis in dietary studies. *Journal of Archaeological Science*, 34(11), 1824-1829. doi:10.1016/j.jas.2006.12.020
- Lee-Thorp, J., y Sponheimer, M. (2003). Three case studies used to reassess the reliability of fossil bone and enamel isotope signals for paleodietary studies. *Journal of Anthropological Archaeology*, 22(3), 208-216. doi:10.1016/S0278-4165(03)00035-7
- Roberts, P., Fernandes, R., Craig, O. E., Larsen, T., Lucquin, A., Swift, J., y Zech, J. (2017). Calling all archaeologists: guidelines for terminology, methodology, data handling, and reporting when undertaking and reviewing stable isotope applications in archaeology. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 32, 361-372. doi: 10.1002/rcm.8044
- Sharp, Z. (2017). *Principles of stable isotope geochemistry*, 2nd Edition. New Jersey: Pearson Prentice Hall. doi:10.5072/FK2GB24S9F
- Szpak, P., Metcalfe, J. Z., y Macdonald, R. A. (2017). Best practices for calibrating and reporting stable isotope measurements in archaeology. *Journal of Archaeological Science: reports*, 13, 609-616. doi: 10.1016/j.jas-rep.2017.05.007
- Van Klinken, G. J. (1999). Bone collagen quality indicators for palaeodietary and radiocarbon measurements. *Journal of Archaeological Science*, 26(6), 687-695. doi: 10.1006/jasc.1998.0385
- Weiner, S. (2010). *Microarchaeology. Beyond the Visible Archaeological Record*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Yoder, C. y Bartelink, E. (2010). Effects of different sample preparation methods on stable carbon and oxygen isotope values of bone apatite: A comparison of two treatment protocols. *Archaeometry*, 52, 115-130. doi:10.1111/j.1475-4754.2009.00473.x