

ISÓTOPOS EN ARQUEOLOGÍA. 1. VALORES ISOTÓPICOS DEL OXÍGENO EN AGUAS METEÓRICAS Y SU PASAJE A LA SANGRE HUMANA Y A LA DE CAMÉLIDOS DE LA PUNA JUJEÑA, A 4.000 M DE ALTITUD

*Jorge Fernández **

*Héctor O. Panarello ***

1. INTRODUCCIÓN

Por su abundancia en los sitios investigados y relativa resistencia a la degradación, el hueso arqueológico es uno de los materiales cuyo análisis puede proporcionar mayor caudal informativo. Uno de los métodos a través de los cuales la información contenida y largamente conservada por la materia ósea —humana y animal— puede ser recuperada e interpretada, es la medición de las relaciones entre los isótopos estables¹ de algunos elementos, como el carbono (C), el nitrógeno (N) y el oxígeno (O), cuyas aplicaciones en el campo de la Arqueología han sido minuciosamente exploradas durante los últimos años.

La materia ósea bien conservada está constituida por componentes orgánicos (fibras de colágeno) y minerales (hidroxiapatita, apatita), cuyo análisis isotópico puede revelar procesos biológicos endosomáticos (alimen-

* CONICET. Instituto Nacional de Antropología.

** CONICET. Instituto de Geocronología y Geología Isotópica.

¹ Un elemento se caracteriza por el número de electrones y protones que posee, o sea su número de masa. Los átomos con el mismo número de masa, pero con distinta masa atómica, se denominan isótopos. Estos pueden ser estables, también llamados ambientales, o inestables, caracterizados por ser radioactivos. El carbono, por ejemplo, tiene dos isótopos estables: el ¹²C, que constituye aproximadamente el 98,9 %, y el ¹³C, que constituye el 1,1 % del reservorio natural. El restante isótopo, el ¹⁴C, es radioactivo y participa en cantidades mínimas (10⁻¹⁰ %), se reduce con el tiempo a partir de la muerte del organismo, y puede usarse como cronómetro.

tación), paleoambientales (temperatura, régimen pluvial) e, indirectamente, cierta clase de cambios operados en el comportamiento de grupos humanos prehistóricos (agriculturización, consumo de ciertos vegetales cultivados), aun en el caso de que en el registro no se hallara presente ninguno de sus indicadores arqueológicos clásicos.

Así es como la relación entre isótopos estables del carbono ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) ha sido utilizada en la reconstrucción paleodietaria humana y en la detección de los indicios de la agricultura (Bender et al. 1981; Chisholm et al. 1982; Rightmire y van der Merwe 1976; van der Merwe et al. 1981; van der Merwe y Vogel, 1978; Schoeninger 1981; Fernández y Panarello 1989; Fernández et al. 1989 a, *inter alia*), en la constitución de la dieta de animales actuales (Land et al. 1980; Vogel 1978; DeNiro y Epstein 1978; Fernández et al. 1988 b) y en la reconstrucción paleodietaria de animales fósiles (Bombin y Muehlenbachs 1985; Ambrose y DeNiro 1989; Fernández et al. 1988 a).

En cuanto al oxígeno, su interés e importancia radican en que las relaciones entre sus isótopos estables ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) se hallan directamente vinculadas con la temperatura ambiental. Experiencias practicadas por Longinelli (1984) sugieren que las relaciones isotópicas del oxígeno contenido en el fosfato de huesos de mamíferos fósiles (PO_4^{3-}) podrían emplearse en la reconstrucción de los valores $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ del agua meteórica ingerida por los animales durante su período de vida, lo cual posibilitaría —dada la relación directa arriba señalada— derivar un registro de la temperatura ambiental reinante durante el mismo período. De manera que, contando con una columna estratigráfica de la amplitud requerida, cronológicamente acotada mediante el ^{14}C , y en la que se encontraran interestratificados huesos de animales, de la misma especie y provenientes de la misma localidad, sería factible trazar curvas de paleotemperatura isotópicamente derivada a través de todo el registro cronoestratigráfico involucrado. Tal información sería utilizable en estudios paleoclimáticos, tanto en ambientación marina como continental. Su aplicación en Arqueología sería todavía mucho más directa; debe destacarse, sin embargo, que los principios expuestos aún no han sido transferidos al campo arqueológico, o por lo menos no es de nuestro conocimiento que así haya ocurrido.

Para que lo sean, y como es norma invariable cuando se efectúan reconstrucciones ambientales basadas en la medición de isótopos estables, primeramente es preciso demostrar que la constitución de la materia ósea no ha sufrido alteraciones durante el transcurso de su historia diagenética (DeNiro 1985; DeNiro y Weiner 1988; Stafford et al. 1988). Igualmente es preciso determinar, previamente, en qué consisten las relaciones de equilibrio que los animales y el hombre mantienen con el ambiente que caracteriza a su habitat, y a través de qué parámetros se manifiestan. Con valores específicos para cada uno, los valores isotópicos ambientales se fijan en todos los tejidos (pelo, grasa, hueso, sangre), de manera que su medición experimental en animales vivientes puede servir como patrón antes de entrar a investigar las situaciones ambientales del pasado.

En la presente contribución se hará referencia a resultados obtenidos durante el desarrollo de pasos previos a la aplicación arqueológica tentativa de las conclusiones experimentalmente obtenidas por Longinelli (1984) sobre mediciones de los isótopos estables del oxígeno en fosfato óseo. Los pasos previos a que se alude han consistido en la medición del fraccionamiento isotópico del oxígeno, primeramente en el agua de lluvia y, en seguida, a su pasaje a través de la ingesta a la sangre de seres humanos y de otros mamíferos de la Puna jujeña, a 4.000 m de altura.

Solo una vez conocidos los montos con que tales fraccionamientos se producen en el ambiente moderno, es decir, lograda su calibración, será posible pasar a considerar, contando con suficientes elementos de control, su futura aplicabilidad al hueso arqueológico de la misma región.

2. ANTECEDENTES

A partir de las relaciones isotópicas del oxígeno presente en carbonatos (Epstein et al. 1953), en fosfatos (Longinelli y Nuti 1973) y en sílice (Labevre 1977), todos ellos de origen marino, se han construido escalas de paleotemperaturas aplicables a situaciones encuadradas en dicho ambiente. La extensión del método a los ambientes continentales fue realizada por Stuiver (1970) aplicando las relaciones entre isótopos del oxígeno en carbonatos de agua dulce. Se fundamentó, para ello, en las relaciones bien conocidas entre la temperatura y las razones $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ en la precipitación pluvial moderna.

Ya en la esfera de los intereses que el tema tiene para la Arqueología, destacan los estudios iniciales de Longinelli (1973), quien primero trató de demostrar la existencia de una relación cuantitativa entre la composición isotópica del fosfato óseo y la composición isotópica del agua ambiental, que como hemos dicho se relaciona con la temperatura. Los estudios proporcionaron evidencias de que, por lo menos en el caso del hueso humano y de los dientes de mamíferos adultos, tal correlación existía. Ante estos resultados un tanto inconclusivos, Longinelli y Peretti Paladino (1980) trataron, posteriormente, de aclarar las relaciones isotópicas existentes entre los fluidos fisiológicos y el agua de lluvia, paso previo para establecer una relación cuantitativa entre ésta y el fosfato óseo. Pudieron comprobar así que entre la composición isotópica del agua ingerida y la composición isotópica del agua en la sangre, existe una relación directa, aunque modificada por fraccionamientos biológicos causados por procesos metabólicos y efectos de la respiración.

Experimentando con sangre humana y de cerdos, Longinelli (1984) obtuvo evidencias no solo de que las relaciones isotópicas del agua ingerida y del agua del cuerpo eran las mismas en individuos de la misma especie y localidad, sino que también existía una transferencia de esos valores, con una diferencia constante, al oxígeno contenido en el fosfato óseo, lo cual, a través de investigaciones adecuadas, podría ser aplicado a la investigación

paleoambiental (paleotemperaturas y régimen paleohidrológico). El valor ^{18}O del fosfato óseo, ^{18}O (PO_3^{3-}) difiere, con un valor constante, del valor ^{18}O del agua del cuerpo, ^{18}O (H_2O), correlacionándose linealmente con el ^{18}O del agua ambiental ingerida. Consecuentemente, esto proporcionaría una base para reconstruir los valores ^{18}O promedio del agua de lluvia durante el pasado. Donde se cuente con varias ecuaciones para diferentes especies de mamíferos, será posible cruzar los resultados obtenidos para el pasado, no importan las condiciones climáticas y las asociaciones faunísticas existentes en el período investigado (Longinelli 1984).

Aunque destacando la utilidad potencial de la medición del valor ^{18}O en el fosfato óseo de los mamíferos en paleohidrología, Luz et al. (1984) proporcionan un cuadro más ajustado de la forma en que se produce el flujo de oxígeno al cuerpo animal. En la búsqueda de un modelo de fraccionamiento biogenético entre el agua ingerida y el fosfato de los huesos, los autores citados establecen que el oxígeno se incorpora al organismo de tres formas: 1) a través del agua ingerida (agua bebida, agua contenida en alimentos sólidos, pequeñas cantidades de vapor); 2) por medio del O_2 atmosférico, durante la respiración; 3) por la ingestión de alimentos. Esto significa que el ingreso del oxígeno no se produce exclusivamente a través de la ingestión del agua ambiental, sino que tienen participación otras funciones biológicas, como la respiración, de manera que el metabolismo particular de cada especie introduce importantes variaciones a las que es preciso tomar en cuenta al reformular la reconstrucción paleohidrológica tentada.

Los tres aportes de oxígeno, cada uno de ellos causante de un fraccionamiento, son los que determinan finalmente la composición isotópica del agua contenida en el cuerpo, que en los mamíferos constituye cerca del 65 % de su peso total. Así, el oxígeno atmosférico (O_2) entra a la sangre para formar oxihemoglobina, debiéndose producir un fraccionamiento en el momento de la combinación (Luz et al., 1984). De acuerdo con este cuadro las especies que ingieren grandes cantidades de agua y a la vez tienen baja actividad metabólica, serían más sensibles a los cambios de las relaciones isotópicas en el agua ambiental. Los animales del desierto, en consecuencia, que retienen el agua y producen elevado gasto de energía, debieran desecharse.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Durante la época de lluvias (enero-abril) de los años 1984/1985 y 1985/1986 se procedió a la recolección de muestras de agua pluvial en las localidades jujeñas de Tres Cruces (3.700 m), El Aguilar (4.000 m), Veta Mina Aguilar (4.500 m) y, desde 1986, en la cumbre del cerro Alto de Torre (5.200 m).

Coincidentemente, se obtuvieron 12 muestras de sangre de nativos de la comarca que habitan permanentemente entre 3.700 y 4.500 m de altura sobre el mar, 15 muestras de sangre de camélidos sudamericanos y 2 de

animales extraneotrópicos, cuyos detalles de sexo y edad se transcriben en el Cuadro 1.

Se ha enfatizado en la evaluación isotópica de los camélidos no solamente por ser los mamíferos más representativos de la Región Andina, sino también porque sus restos óseos se encuentran conspicuamente representados en los yacimientos arqueológicos de todo el Noroeste de la Argentina.

Las muestras de sangre humana y animal obtenidas en la primera campaña (1985) fueron tratadas con anticoagulante (EDTA) en el momento de su extracción, refrigeradas y remitidas al laboratorio en tales condiciones. Al haberse producido hemólisis parcial en algunas, las mediciones practicadas sobre esa serie fueron preventivamente desechadas en su totalidad.

En la segunda campaña (1986), las muestras de sangre con anticoagulante (EDTA) incorporado fueron centrifugadas, enviándose al laboratorio isotópico, en las condiciones antedichas, solamente la fracción suero sanguíneo.

Una vez en el laboratorio de Isótopos Estables del Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS), la fracción centrifugada fue destilada al vacío obteniéndose agua de suficiente pureza como para efectuar sobre ella mediciones isotópicas.

A continuación fueron equilibradas con CO₂ a 25° C, de acuerdo a la técnica descrita por Panarello y Párica (1984). Posteriormente, se determinó sobre el gas la relación ¹⁸O/¹⁶O por espectrometría de masas, mediante un espectómetro de doble colector, doble sistema de introducción, tipo McKinney Micromass 602-D. Los resultados se expresan como δ (‰), definido como sigue:

$$\delta^{18}\text{O} = 1000 \frac{(\text{^{18}O/^{16}O}) - (\text{^{18}O/^{16}O})_E}{(\text{^{18}O/^{16}O})_E} \text{‰}$$

donde δ¹⁸O es el enriquecimiento en partes por mil

M denota el valor medido en la muestra

E " " " " " el estándar V-SMOW (Gonfiantini 1978).

El error global introducido en la medición δ¹⁸O se estima en ± 0.3 ‰.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro N° 1 se pueden observar los valores δ¹⁸O obtenidos sobre las muestras de sangre de humanos, camélidos y animales domésticos de origen europeo, mientras que en los Cuadros N° 2 y N° 3 se reproducen los obtenidos en aguas de lluvia muestreadas en Tres Cruces y El Aguilar, respectivamente. Los resultados obtenidos respaldan las siguientes conclusiones:

1. El valor δ¹⁸O promedio de las aguas meteóricas sería semejante a - 15‰ para Tres Cruces y - 16‰ para El Aguilar. La diferencia se debe al efecto de altitud (Dangaard 1964).

7. Los resultados expuestos, si bien de carácter preliminar, señalan que el método propuesto por Longinelli (1984) para la medición de valores $\delta^{18}\text{O}$ sobre el fosfato óseo es aplicable a los animales de la región investigada, aunque tomando importantes recaudos para evitar caer en interpretaciones erróneas.
8. Los animales más indicados para estos estudios, por su dispersión geográfica y por la constancia en los valores $\delta^{18}\text{O}$ observada en los ejemplares estudiados, serían la llama y la vicuña.

Agradecimientos

Esta investigación forma parte del Proyecto de Investigación y Desarrollo PID 30023 del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET. Los análisis isotópicos se practicaron en el Instituto de Geocronología y Geología Isotópica, agradeciéndose a su director, Dr. E. Linares, las facilidades acordadas para su ejecución. En los aspectos faunísticos hemos recibido el valioso asesoramiento del director de la Estación Agropecuaria del INTA en Abra Pampa, Ing^o J. Bertoni. Los trabajos de campo recibieron colaboración por parte de la Compañía Minera Aguilar, S.A. El pretratamiento y la conservación de las muestras fueron conducidos por el D. E. Jacobo, bioquímico, con asesoramiento del Dr. C. Ferrero, médico a quienes manifestamos nuestro agradecimiento. Lo hacemos extensivo al personal del laboratorio de Isótopos Estables del INGEIS, licenciadas S. Valencio y C. Da Peña, y a Eduardo Llambías, y a un revisor anónimo del manuscrito que aportó valiosas sugerencias. Por disposición de la Compañía Minera Aguilar, S.A., muchas de las muestras de agua y mediciones de la temperatura han sido obtenidas bajo supervisión de su personal directivo. Por tan valiosa colaboración, agradecemos a los ingenieros M. J. Rosetti, J. Edwards, J. Milán, R. Panighi, T. Zurita, C. Archerito, J. Marcó y Dr. J. Lanfranco.

CUADRO 1. $\delta^{18}O$ EN MUESTRAS DE SANGRE HUMANA Y ANIMAL

A) SANGRE ANIMAL

MUESTRA	GÉNERO Y ESPECIE	NOMBRE VULGAR	SEXO	EDAD	$\delta^{18}O$
S ₁	<i>Lama glama</i>	Llama	Macho	Adulto	+ 4,5
S ₂	<i>Lama glama</i>	Llama	Hembra	Adulto	+ 5,7
S ₃	<i>Lama glama</i>	Llama	Hembra	Adulto	+ 5,3
S ₄	<i>Lama glama</i>	Llama	Hembra	Adulto	+ 5,4
S ₅	<i>Lama glama</i>	Llama	Hembra	Adulto	+ 5,5
S ₆	<i>Lama glama</i>	Llama	Macho	Adulto	+ 2,1
S ₇	<i>Vicugna vicugna</i>	Vicuña	Hembra	Adulto	+ 3,7
S ₈	<i>Vicugna vicugna</i>	Vicuña	Hembra	Adulto	+ 3,8
S ₉	<i>Vicugna vicugna</i>	Vicuña	Hembra	Adulto	+ 3,8
S ₁₀	<i>Vicugna vicugna</i>	Vicuña	Hembra	Adulto	+ 3,6
S ₁₁	<i>Vicugna vicugna</i>	Vicuña	Macho	1 año	+ 3,2
S ₁₂	<i>Vicugna vicugna</i>	Vicuña	Macho	2 años	+ 6,2
S ₁₃	Híbrido	Huarizo	Macho	Juvenil	- 2,9
S ₁₄	<i>Lama pacos</i>	Alpaca (var. suri)	Hembra	Adulto	- 1,7
S ₁₅	<i>Lama pacos</i>	Alpaca (var. gualcayo)	Hembra	Adulto	· 2,2
S ₁₆	<i>Aries ovis</i>	Oveja	Hembra	Adulto	+ 0,4
S ₁₇	<i>Aries ovis</i>	Oveja	Hembra	Adulto	+ 2,5

B) SANGRE HUMANA

MUESTRA	SEXO	EDAD	AÑOS DE RESIDENCIA	$\delta^{18}O$
S ₁₈	Fem.	25	25	- 4,7
S ₁₉	Fem.	28	14	- 8,4
S ₂₀	Masc.	24	24	-11,8
S ₂₁	Masc.	7	7	- 4,0
S ₂₂	Masc.	52	33	- 7,9
S ₂₃	Masc.	24	24	- 2,1
S ₂₄	Fem.	22	22	- 4,8
S ₂₅	Masc.	55	55	- 6,8
S ₂₆	Fem.	9	9	- 5,7
S ₂₇	Masc.	54	34	- 5,8
S ₂₈	Masc.	42	32	- 4,1

CUADRO 2. $\delta^{18}\text{O}$ EN AGUA PLUVIAL DE TRES CRUCES
(3.700 m), JUJUY

MUESTRA N°	FECHA	$\delta^{18}\text{O}$
TC 6	3 y 6/1/85	- 15,8
TC 7	7/1/85	- 15,8
TC 8	19/1/85	- 16,0
TC 9	10/2/85	- 15,9
TC 10	12/2/85	- 19,4
TC 12	19, 20, 21 y 27/2/85	- 20,5
TC 13	22 y 28/2/85	- 19,6
TC 14	25/3/85	- 11,4
TC 15	29/3/85	- 11,2
TC 16	23/4/85	- 15,3

Valor $\delta^{18}\text{O}$ promedio para el período pluvial 1984/1985: - 15 ‰

CUADRO 3. $\delta^{18}\text{O}$ DE AGUA PLUVIAL DE EL AGUILAR (4.000 m), JUJUY

MUESTRA N°	FECHA	LLUVIA, mm	TEMP. PROM. °C	$\delta^{18}\text{O}$
1	22/12/84	13,2	-	- 2,6
2	26/12/84	1,0	-	- 6,1
3	28/12/84	2,3	-	- 11,0
4	2/ 1/85	5,3	-	- 4,3
5	3/ 1/85	1,1	-	- 11,2
6	4/ 1/85	1,8	-	- 6,0
7	7/ 1/85	0,5	-	- 15,8
8	11/ 1/85	9,4	-	- 6,6
9	13/ 1/85	4,7	-	- 1,4
10	15/ 1/85	10,2	15,5	- 4,9
11	16/ 1/85	7,9	-	- 6,6
12	17/ 1/85	3,7	15,5	- 4,5
13	18/ 1/85	4,9	12,5	+ 0,1
14	20/ 1/85	0,7	16,0	+ 2,6
15	21/ 1/85	0,5	12,5	- 0,5
16	23/ 1/85	0,7	14,0	- 18,3

CUADRO 3 (cont.)

MUESTRA Nº	FECHA	LLUVIA, mm	TEMP. PROM. ° C	δ ¹⁸ O	
17	26/ 1/85	0,3	20,0	- 31,6	
18	27/ 1/85	5,9	14,5	- 2,4	
19	27/ 1/85	3,5	16,0	- 21,4	
20	3/ 2/85	7,8	15,5	- 7,0	
21	4/ 2/85	8,9	18,0	- 9,8	
22	5/ 2/85	8,4	18,5	- 12,7	
23	7/ 2/85	1,7	18,0	- 17,3	
	24	8/ 2/85	4,8	17,5	- 19,9
	25	9/ 2/85	1,5	15,5	- 12,7
	26	10/ 2/85	7,8	16,0	- 17,5
	27	11/ 2/85	13,3	15,0	- 13,5
	28	12/ 2/85	2,5	17,0	- 13,7
	29	14/ 2/85	30,0	12,5	- 16,8
	30	16/ 2/85	5,9	19,0	- 17,5
	31	18/ 2/85	60,0	18,0	- 21,8
	32	19/ 2/85	39,0	13,5	- 22,0
	33	20/ 2/85	39,4	12,5	- 25,1
	34	21/ 2/85	12,9	13,5	- 25,3
	35	22/ 2/85	0,8	16,5	0,0
	36	25/ 2/85	2,8	19,5	- 6,1
	37	27/ 2/85	0,4	15,5	- 16,8
	38	26/ 3/85	7,3	18,0	- 14,3
	39	29/ 3/85	1,5	20,5	- 9,4
	40	31/ 3/85	5,0	17,5	- 10,1

Valor 6 ¹⁸O promedio para el período de lluvias 1984/1985, - 16,0.

BIBLIOGRAFÍA

- Ambrose, S. H. y M. J. DeNiro. 1989. "Climate and habitat reconstruction using stable carbon and nitrogen isotope ratios of collagen in prehistoric herbivore teeth from Kenya", *Quaternary Research*, 31 (3): 407-422.
- Bender, M., D. A. Barreis y R. L. Steventon. 1981. "Further light on carbon isotopes and Hopewell agriculture", *American Antiquity*, 46 (2): 346-353.
- Bombin, M. y K. Muehlenbachs. 1985. " $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios of Pleistocene mummified remains from Beringia", *Quaternary Research*, 23: 123-129.
- Chisholm, B. S., D. E. Nelson y H. P. Schwarcz. 1982. "Stable carbon isotope ratios as a measure of marine versus terrestrial protein in ancient diets", *Science*, 216: 1131-1132.
- Dansgaard, W. 1964. "Stable isotopes in precipitation", *Tellus* 16: 436-468.
- DeNiro, M. J. 1985. "Postmortem preservation and alteration of *in vivo* bone collagen isotope ratios in relation to paleodietary reconstruction", *Nature* 317: 806-809.
- DeNiro, M. J. y S. Epstein. 1978. "Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 42: 495-506.
- DeNiro, M. J. y S. Weiner. 1988. "Chemical, enzymatic and spectroscopic characterization of collagen and other organic fractions from prehistoric bones", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52: 2197-2206.
- Epstein, S., H. A. Buchsbaum, H. A. Lowestam y H. C. Urey. 1953. "Revised carbonate-water isotopic temperature scale", *Geological Society Bulletin*, 64: 1315-1326.
- Fernández, J., V. Markgraf, H. O. Panarello, M. M. Alberto, F. E. Angiolini, S. Valencio y M. Arriaga. 1988 a. *Paleoenvironments and paleoclimates, extinct and extant fauna, and human occupation in the Altiplano of northwestern Argentina during the late Pleistocene/Holocene transition*, MS. 41 págs.
- Fernández, J., H. O. Panarello y M. Arriaga. 1988 b. *Ecología isotópica de los camélidos de la Puna Argentina*. M.S.
- Fernández, J., H. O. Panarello y J. Schobinger. 1989 a. *Incaic mummy from Mount Aconcagua: decoding the ethnic filiation and geographic origin of the "messenger to he deity" by means of stable carbon isotope analysis*, MS, 15 págs.
- Fernández, J. y H. O. Panarello. 1989 b. *Isótopos Estables del carbono y paleodieta. Simposio de Biología Humana y Arqueología, X Congreso Nacional de Arqueología*, MS, 13 págs.
- Gonfiantini, R. 1978. "Standards for stable isotopes measurements in natural compounds", *Nature*, 271: 534-536.
- Labeyre, L. 1974. "New approach to surface seawater paleotemperatures using $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratios in silica of diatoms frustules", *Nature*, 248: 40-42.
- Land, L. S., E. L. Lundelius y S. Valastro. 1980. "Isotopic ecology of deer bones", *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 32: 143-151.
- Longinelli, A. 1973. "Preliminary oxygen-isotope measurements of phosphate from mammal teeth and bones", en: *Les methodes quantitatives d'étude des variations du climat au cours du Pléistocene*, Colloques Internationaux du CNRS N° 219, págs. 167-271.
- Longinelli, A. y S. Nuti. 1973. "Revised phosphate-water isotopic temperature scale", *Earth and Planetary Science Letters*, 19 (3): 373-376.
- Longinelli A. y A. Peretti Paladino. 1980. "Oxygen isotopic composition of water from mammal blood: first results", *European Journal of Mass Spectrometry in Biochemical, Medicine and Environmental Research*, 1 (3): 135-139.
- Longinelli, A. 1984. "Oxygen isotopes in mammal bone phosphate. A new tool for paleo-hydrological and paleoclimatic research?", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48: 385-390.

- Luz, B., Y. Kollny y M. Horowitz. 1984. "Fractionation of oxygen isotopes between mammalian bone-phosphate and environmental drinking water", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48: 1689-1693.
- Panarello, H. O. y C. A. Párica. 1984. "Determinación de la composición isotópica del oxígeno. Primeros valores en agua de lluvia de Buenos Aires", *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 39 (1-2): 3-11.
- Rightmire, G. P. y N. J. van der Merwe. 1976. "Two burials from Phalaborwa and the association of race and culture in the Iron Age of Southern Africa", *South African Archaeologic Bulletin*, 31: 147-152.
- Schoeninger, M. J. 1981. "The agricultural revolution: its effects on human diets in prehistoric Iran and Israel", *Paléorient*, 7 (1): 73-91.
- Staford, T. W., K. Brendel y R. C. Duhamel. 1988. "Radiocarbon, $^{13}\text{C}/^{15}\text{N}$ analysis of fossil bones: removal of humates with XAD-2 resin", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52: 2257-2267.
- Stuiver, M. 1970. "Oxygen and carbon isotope ratios of fresh-water carbonates as climatic indicators", *Journal of Geophysical Research*, 75: 5247-5257.
- Van der Merwe, N. J., A. C. Roosevelt y J. C. Vogel. 1981. "Isotopic evidence for prehistoric subsistence change at Parmana, Venezuela", *Nature*, 292: 536-537.
- Van der Merwe, N. J. y J. C. Vogel. 1978. " ^{13}C content of human collagen as a measure of prehistoric diet in woodland North America", *Nature*, 276: 815-816.
- Vogel, J. C. 1978. "Isotopic assessment of the dietary habits of ungulates", *South African Journal of Science*, 74: 298-301.