



ECOLOGÍA ISOTÓPICA DEL AGUA EN EL OESTE DE TINOGASTA (CATAMARCA, ARGENTINA): PRIMERAS RELACIONES CON EL REGISTRO BIOARQUEOLÓGICO

ISOTOPIC ECOLOGY OF WATER IN WESTERN TINOGASTA (CATAMARCA, ARGENTINA): FIRST RELATIONSHIPS WITH THE BIOARCHAEOLOGICAL RECORD

*Norma Ratto*¹, *Claudia Aranda*², *Luis Coll*¹ y *Leandro Luna*^{3*}

Se presenta la ecología isotópica del $\delta^{18}\text{O}$ de 60 muestras de aguas que provienen de distintos ambientes de las regiones de Chaschuil y Fiambalá en el oeste del departamento de Tinogasta, Catamarca (fondo de valle, valle alto, Puna transicional, Cordillera de San Buenaventura y Cordillera Andina), las cuales son relacionadas con otras extrarregionales provenientes de la Puna Sur y de los valles del oriente de Belén y Andalgalá. La base isotópica se compara con datos obtenidos de muestras de dientes y huesos de 39 individuos regionales y extrarregionales de ambos sexos, diversas edades y cronologías variadas. Se construye un mapa isotópico que pone en contrapunto el perfil isotópico de las aguas y de los individuos inhumados, paso ineludible para evaluar los alcances y limitaciones para delinear modelos de movilidad de las poblaciones en el pasado. Los resultados isotópicos dan cuenta de las diferencias y similitudes de los valores de $\delta^{18}\text{O}$ en aguas muestreadas en distintos ambientes del oeste tinogasteño y su comparación con ambientes y cotas altitudinales similares extrarregionales, lo cual alerta sobre la necesidad de articular distintos indicadores para abordar las problemáticas de movilidad voluntaria o forzada de las poblaciones.

Palabras claves: ambientes contrastantes, ecología isotópica del $\delta^{18}\text{O}$ en agua, huesos y dientes, movilidad de individuos.

We present the isotopic ecology of $\delta^{18}\text{O}$ from 60 water samples collected from diverse environments in the Chaschuil and Fiambalá regions, west of the Department of Tinogasta, Catamarca (valley floor, upper valley, transitional Puna, San Buenaventura Mountain range, and Andean Mountain range). We compare the water samples with other extra-regional samples from the Southern Puna and the eastern valleys of Belén and Andalgalá. The isotopic baseline was further compared with data obtained from the teeth and bone samples of 39 individuals, both regional and extra-regional, encompassing both sexes, different ages, and varied chronologies. We then created an isotopic map to contrast the isotopic profiles of both the waters sources and those of the buried individuals. This is an essential step for evaluating the scope and limitations of models delineating past population mobility. The results highlight differences and similarities in $\delta^{18}\text{O}$ values across water samples taken from different environments in western Tinogasta, as well as their comparison with similar extra-regional environments and altitudinal levels. These findings underscore the need to integrate multiple indicators to address issues of voluntary or forced population mobility.

Key words: *Contrasting environments, isotopic ecology of $\delta^{18}\text{O}$ in water, bones and teeth, individual mobility.*

La biogeoquímica es la disciplina que aborda el rol que cumplen los organismos vivos en la migración y distribución de los elementos químicos presentes en la biósfera, los que se encuentran en constante flujo entre los seres vivos y el ambiente (Bashkin 2003). En arqueología, los isótopos estables del carbono y

del nitrógeno se utilizan para establecer la presencia de variaciones paleodietarias en diferentes escalas espaciotemporales, mientras que los del oxígeno y del estroncio permiten abordar problemas de residencia y movilidad de los individuos (Gil et al. 2014; Panarello et al. 2006; 2021). En el caso del oxígeno,

¹ Instituto de las Culturas (UBA-CONICET), Facultad de Filosofía y Letras, Buenos Aires, Argentina. nratto@filo.uba.ar, norma.ratto@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6862-3330; luisjvcoll@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6768-0280

² Universidad de Buenos Aires, Facultad de Odontología, Cátedra de Endodoncia e Instituto de Investigaciones en Salud Pública (IISAP), Unidad de Investigación en Bioarqueología y Antropología Forense (UIBAF), Buenos Aires, Argentina. arandaclau@gmail.com, claudia.aranda@odontologia.uba.ar, ORCID ID: 0000-0002-1392-7636

³ Universidad de Buenos Aires. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Unidad de Investigación en Bioarqueología y Antropología Forense (UIBAF), Facultad de Odontología (FOUBA) e Instituto de Investigaciones en Salud Pública (IISAP), Buenos Aires, Argentina. *Autor correspondiente: lunaranda@gmail.com, leandro.luna@odontologia.uba.ar, ORCID ID: 0000-0002-5454-5570

su abundancia natural presenta gran variación espacial por factores ambientales como la altitud, los patrones de precipitación, la latitud, la continentalidad y la temperatura (Horton et al. 2015; Jobbágy et al. 2011; Panarello et al. 2021; Valero Garcés et al. 2000). Los diferentes tipos de agua (subterránea, pluvial, edáfica, fluvial u oceánica) tienen composiciones isotópicas diferentes debido a los procesos de evaporación y precipitación en distintas cotas altitudinales, lo cual queda materializado en una alta dispersión de los valores $\delta^{18}\text{O}$, negativos y positivos, que dan cuenta de aguas más o menos empobrecidas de ese isótopo (Ostera et al. 2005; Valero Garcés et al. 2000). Se utilizan aquí los conceptos de *agua liviana* y *agua pesada* para referir a aguas con valores negativos o positivos del isótopo de oxígeno (Yurimoto 2018).

El $\delta^{18}\text{O}$ es un indicador sumamente valioso para modelar la movilidad voluntaria o forzada en distintas escalas temporales y espaciales, estableciendo relaciones entre los valores de las aguas consumidas y de los restos biológicos, principalmente cuerpos humanos y de herbívoros (Chala-Aldana et al. 2017; Barberena et al. 2021; Daux et al. 2008; Garrido y Morales 2020; Pellegrini et al. 2016; Turner 2021). Se destaca el reciente aporte de Pezo-Lanfranco y colaboradores (2024) en la construcción de una base de datos de isótopos arqueológicos de Sudamérica, la cual permitirá discutir sobre subsistencia, patrones de movilidad, paleoambientes y cambios ecológicos a diversas escalas espaciotemporales. Sin embargo, para lograr una interpretación adecuada de la relación entre los valores isotópicos y la movilidad humana, es necesario contar con un conocimiento preciso de la variación y distribución del isótopo de oxígeno en las fuentes de agua a nivel regional. Un primer paso dentro del proceso analítico es construir la ecología isotópica para generar un marco referencial imprescindible para la interpretación adecuada de los datos bioarqueológicos, tal como ha sido realizado en otras regiones del país (p.ej., Fernández y Panarello 1990; Gil et al. 2009, 2014; Neme et al. 2018; Serna et al. 2019; Tessone et al. 2009).

El Proyecto Arqueológico Chaschuil-Abaucán (PACH-A), radicado en el oeste de Tinogasta (Provincia de Catamarca, Argentina), ha desarrollado investigaciones isotópicas de individuos que habitaron la región en tiempos anteriores a la conquista española, como así también de otros inhumados en los valles del oriente (Ratto et al. 2020), a las cuales se sumaron análisis isotópicos de fauna y vegetales (Miyano 2020). Esta región fue habitada entre ca. 1000 AC y el siglo

XVI de la era cristiana, abarcando desde el Arcaico Tardío hasta el Estado incaico. Las poblaciones ocuparon diversos pisos ecológicos (valle mesotérmico, precordillera, Puna transicional y cordillera andina), marcando diferentes tipos de interrelaciones entre ellos. En este contexto, el objetivo de esta investigación es presentar la ecología isotópica del $\delta^{18}\text{O}$ que caracteriza las fuentes de agua superficiales y meteóricas (ríos permanentes y temporarios, cuerpos de agua, vegas) de los diversos pisos ecológicos de la región de estudio. La meta es relacionar esos valores con los obtenidos del análisis de $\delta^{18}\text{O}$ en huesos y dientes de individuos que vivieron entre los siglos I y XV de la era cristiana, a los cuales se suma uno que remite al siglo IX antes de la era cristiana. Algunos de estos resultados han sido publicados previamente (Ratto et al. 2020), mientras que otros se presentan aquí por primera vez. Asimismo, se combinan los datos isotópicos del $\delta^{18}\text{O}$ de muestras de agua y de individuos a través de la generación de un mapa georreferenciado con uso de herramientas de análisis espacial (Bowen 2010; Bowen y West 2008). El modelo propuesto representa la distribución de valores isotópicos del $\delta^{18}\text{O}$ en distintas fuentes de agua aptas para el consumo humano y su relación con los datos obtenidos de huesos y dientes humanos. Los datos de las aguas de los diferentes ambientes analizados son relacionados también con otros provenientes de muestreos de la Puna y valles del oriente catamarqueño, áreas que cuentan (salvo el área puneña) con información bioarqueológica que es integrada al análisis. Este primer acercamiento isotópico de las aguas y sus consumidores es necesario para generar posteriormente expectativas a distintas escalas (intrarregional, interregional y extrarregional) sobre la movilidad de las sociedades que habitaron la región de estudio, en especial entre los siglos I y XVI, periodo en el cual se produjeron diversos procesos sociales, económicos y políticos a lo largo de la historia del habitar del oeste tinogasteño (Orgaz y Ratto 2015; Ratto 2013, entre otros).

Materiales y Métodos

Para comprender la distribución y variabilidad en el ciclo hidrológico del oxígeno en la región de estudio, se tomaron muestras de aguas superficiales actuales con el objetivo de conocer sus valores isotópicos y sus variaciones en los diferentes ambientes considerados. Se analizaron 60 muestras de agua, 49 provenientes de distintas fuentes (cursos permanentes, cursos temporarios, cuerpos de agua asociados a

vegas de altura, vegas de altura y lagunas, aguas termales) de las regiones de Fiambalá y Chaschuil. Las otras 11 son extrarregionales; cinco provienen de los valles del oriente (Belén y Andalgalá) y seis de la Puna catamarqueña. Asimismo, se cuenta con un análisis preliminar que caracterizó la hidrogeología de la región (Ostera et al. 2005), cuyos datos son incorporados en este trabajo.

En la Tabla 1 se presentan los ambientes y tipos de fuentes muestreadas, y en la Figura 1, la distribución espacial de las muestras de agua. Del total analizado, 37 muestras fueron procesadas en los laboratorios LIECA (CONICET-IANIGLIA y UTN-FRSR) e INGEIS (CONICET-UBA). Otras 12 también fueron analizadas en el INGEIS y publicadas en Ostera et al. (2005), mientras que las 11 restantes son producto de un proyecto paleoambiental realizado en la Estación Experimental de El Zaidín, CSIC-Granada, España (Valero-Garcés et al. 2000, 2011).

Asimismo, 33 de las 39 muestras humanas analizadas provienen de diferentes ambientes de la Cordillera de Narvéez y San Buenaventura (CSBV), valle alto y fondo de valle de la región de estudio, mientras que las seis restantes corresponden a

individuos recuperados en los valles extrarregionales del oriente (Tabla 1). La ubicación temporal de las muestras difiere, ya que 12 individuos en edad reproductiva remiten al primer milenio de la era cristiana o siglos anteriores, mientras que los restantes 27 se ubican en el segundo milenio de la era; de estos últimos, solo 18 están en edad reproductiva. Los datos isotópicos de algunas muestras humanas (N=24) fueron presentados en un trabajo previo (Ratto et al. 2020), aunque sin relacionarlos con las características isotópicas de las aguas. Los restantes, reportados aquí por primera vez (N=15), fueron obtenidos en el LIECA y en el Center for Applied Isotope Studies (CAIS), Universidad de Georgia, Estados Unidos. En todos los casos, los individuos cuentan con análisis bioarqueológicos, de los cuales aquí se consigna el sexo, la edad y la ubicación temporal (Tabla 2). Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ (VPDB) fueron transformados a valores de $\delta^{18}\text{O}$ (VSMOW) para realizar la comparación entre los resultados de aguas y de tejidos humanos, expresándose en partes por mil (‰) y siguiendo la siguiente fórmula (Friedman y O’Neil 1977):

$$\delta^{18}\text{O}_{(\text{VSMOW})} = 1,03086 \times \delta^{18}\text{O}_{(\text{VPDB})} + 30,86$$

Tabla 1. Proveniencia de las muestras de agua y humanas.
Provenance of water and human samples.

Región	Ambientes	Fuentes de agua muestreadas							Muestras bioarqueológicas
		Agua termal/ manantial	Curso permanente	Curso temporario	Cuerpo de agua y vega de altura	Vega de altura	Laguna	Total	
Chaschuil (n=29)	Cordillera andina	1	0	6	3	0	3	13	0
	Puna Transicional	1	8	0	0	6	0	15	0
Fiambalá (n=20)	Cordillera SBV	0	6	0	0	0	0	6	3
	Valle alto	0	7	0	0	1	0	8	7
	Fondo de valle	1	6	0	0	0	0	7	23
Muestras regionales		3	27	6	3	7	3	49	33
ANS (n=6)	Puna	0	2	0	1	0	3	6	0
Belén (n=3)	Valle alto	0	2	0	0	0	0	2	3
	Fondo de valle	0	1	0	0	0	0	1	0
Andalgalá (n=2)	Valle alto	0	2	0	0	0	0	2	3
Muestras extrarregionales		0	7	0	1	0	3	11	6
Total muestras de agua		3	34	6	4	7	6	60	39

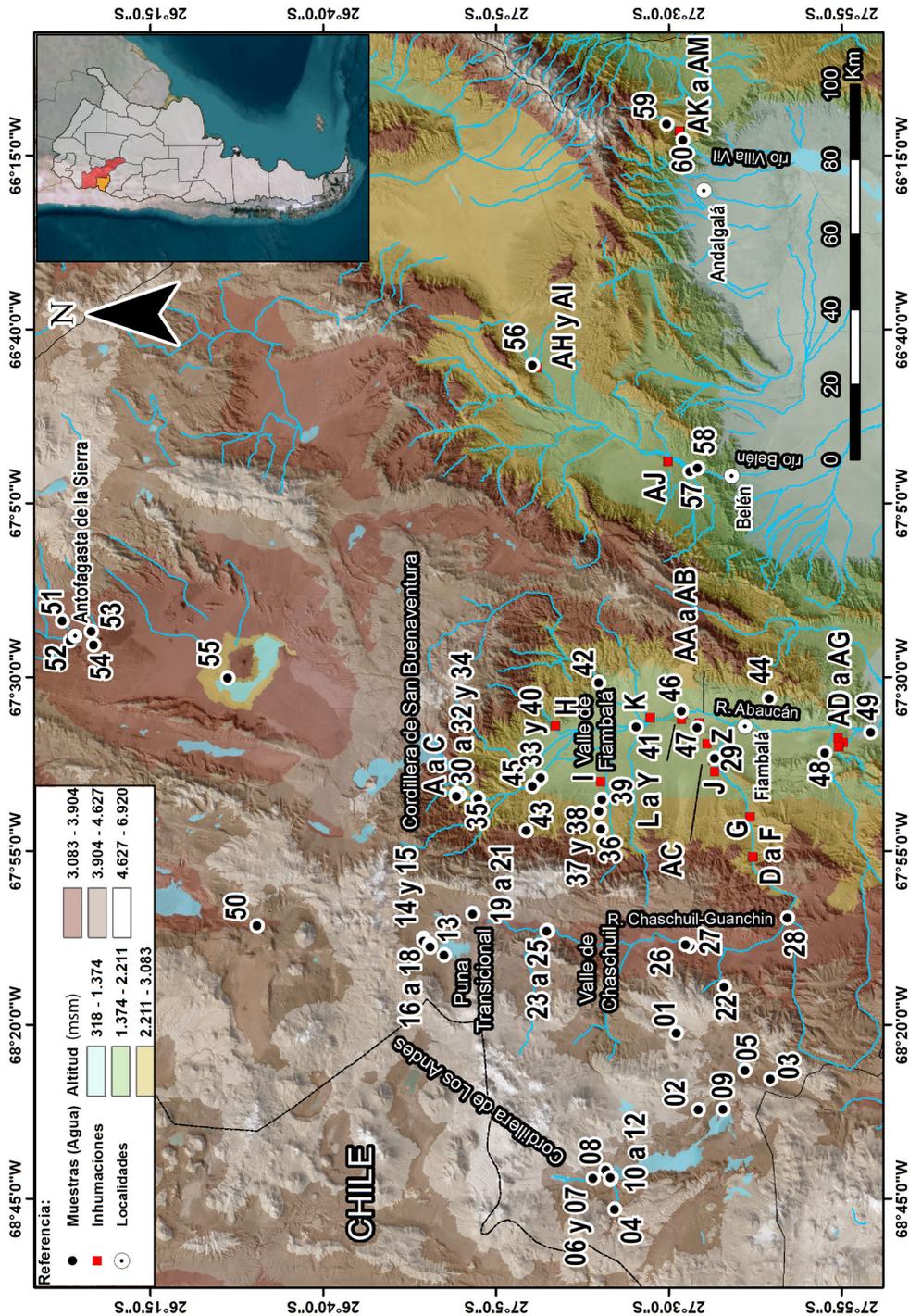


Figura 1. Localización espacial de las muestras de agua y de los individuos inhumados (ver Tabla 2 y Tabla Suplementaria 1).
Spatial location of water samples and buried individuals (see Table 2 and Supplementary Table 1).

Tabla 2. Localización geográfica, sexo, edad, altitud, fechados radiocarbónicos y valores de $\delta^{18}\text{O}$ de huesos y dientes de individuos regionales y extrarregionales. Referencias: No a: no adulto; Juv: juvenil; A: adulto; Aj: adulto joven; Ame: adulto medio; sd: sin dato; *: individuos con datos isotópicos de $\delta^{18}\text{O}$ publicados en Ratto et al. (2020).

*Geographic location, sex, age, altitude, radiocarbon dates, and $\delta^{18}\text{O}$ values of bones and teeth from regional and extra-regional individuals. References: No a: non-adult; Juv: juvenile; A: adult; Aj: young adult; Ame: middle-age adult; sd: no data; *: individuals with $\delta^{18}\text{O}$ isotopic data published in Ratto et al. (2020).*

Provincia	Sigla entierro	Sitio	Sexo	Edad	Datación radiocarbónica		Altitud (msm)	Código lab. (isótopos)	$\delta^{18}\text{O}$ ‰ VPDB		$\delta^{18}\text{O}$ ‰ VSMOW	
					Código Lab.	años AP			hueso	diente	hueso	diente
Regional	A	Las Papas-I*	M	Juv	MT121402	1243 ± 22	2780	MSR-530; MSR-546	-6,3	-4,8	-6,19	-4,64
	B	Las Papas-II*	M	Aj	LP-3015	780 ± 50	2780	MSR-939; MSR-548	-3,6	-1,9	-3,40	-1,65
	C	Las Papas-III*	M	Ame	LP-3200	2770 ± 60	2780	MSR-532; MSR-1262	-6,5	-0,07	-6,39	0,24
	D	La Angostura* Ind. 1	F	Aj	YU-1528	2065 ± 22	2554	MSR-982; MSR-1347	-0,11	0,38	0,20	0,70
	E	La Angostura* Ind. 2	M	Ame	YU-1529	2069 ± 23	2554	MSR-978; MSR-1348	-0,51	0,40	-0,22	0,72
	F	La Angostura* Ind. 3	M	Ame	YU-1530	2118 ± 23	2554	MSR-981; MSR-1350	-0,19	0,11	0,11	0,42
	G	Hormicat	M	Ame	LP-3431	1800 ± 60	2200	MSR-985; MSR-1348	-1,76	0,07	-1,51	0,38
	H	Cardoso*	M	Ame	LP-3005	1360 ± 60	1943	MSR-526; MSR-543	-3,80	-4,20	-3,61	-4,02
	I	Finca Justo Peryra* (Ent 1, Tb 1)	F	Ame	MT121401	548 ± 21	1900	MSR-979	-3,92	sd	-3,73	sd
	J	Las Champas*	M	Aj	MTC-15597; AA89939	563 ± 41	1859	MSR-535	-4,10	sd	-3,92	sd
	K	Puesto Quiroga	F	Ame	LP-3619	1190 ± 60	1700	MSR-980; MSR-1351	-1,25	-0,99	-0,98	-0,71
	L	Estación XI Medanitos (Cr. 1A)	M	Ame	UGAMS-50298	640 ± 20	1670	MSR-983 UGAMS-50298	-4,56	4,06	-4,39	4,49
	M	Estación XI Medanitos (Cr. 1B)	M	A	UGAMS-50295	670 ± 20	1670	MSR-976; UGAMS-50295	-2,56	-0,47	-2,33	-0,18
	N	Estación XI Medanitos (Cr. 2B)	M	A	sin dato	XIV-XV	1670	MSR-1352	sd	-0,75	sd	-0,46
	O	Estación XI Medanitos (Cr. 3)	M	A	sin dato	XIV-XV	1670	MSR-987; MSR-1353	-2,03	-0,98	-1,78	-0,70
	P	Estación XI Medanitos (Cr. 4)	M	Aj	sin dato	XIV-XV	1670	MSR-989; MSR-1354	-4,53	-2,43	-4,36	-2,20
	Q	Estación XI Medanitos (Cr. 5)	M	Aj	UGAMS-50296	520 ± 20	1670	UGAMS-50296	sd	-2,63	sd	-2,40
	R	Estación XI Medanitos (Cr. 6)	M	A	sin dato	XIV-XV	1670	MSR-1355	sd	-1,03	sd	-0,75

Continuación Tabla 2.

Prociencia	Sigla entierro	Sitio	Sexo	Edad	Datación radiocarbónica		Altitud (msm)	Código lab. (isótopos)	$\delta^{18}\text{O}$ ‰ VPDB		$\delta^{18}\text{O}$ ‰ VSMOW	
					Código Lab.	años AP			hueso	diente	hueso	diente
Regional	S	Estación XI Medanitos (Cr. 7)*	M	No a (10-14 a.)	MT121410	553 ± 21	1670	MSR-547; MSR-977	-3,70	-2,40	-3,51	-2,17
	T	Estación XI Medanitos (Cr. 8)	M	Ame	sin dato	XIV-XV	1670	MSR-988; MSR-1350	-3,98	-0,48	-3,79	-0,19
	U	Estación XI Medanitos (Cr. 9)	M	Aj	UGAMS-50297	560 ± 20	1670	UGAMS-50297	sd	-0,85	sd	-0,57
	V	Estación XI Medanitos (Cr. 10)	M	Aj	sin dato	XIV-XV	1670	MSR-1357	sd	-1,52	sd	-1,26
	W	Medanito 1A*	M	Ame	LP-3423	1040 ± 50	1630	MSR-539; MSR-1359	-5,40	-1,37	-5,26	-1,10
	X	Medanito 1B*	M	SA	MT121404	676 ± 21	1630	MSR-537; MSR-545/1360	-5,70	-2,33	-5,57	-2,09
	Y	Medanito 2*	M	Aj	LP-3667	770 ± 50	1630	MSR-538	-5,10	sd	-4,95	0,00
	Z	CP-Sj-Cr-05-2	F	No a (8-12 a)	UGAMS-50294	480 ± 25	1600	UGAMS-50294	sd	1,23	sd	1,58
	AA	CP-Sj-Cr-4-05-1	IN	No a (7-11 a)	UGAMS-54250	560 ± 20	1600	UGAMS-54250	-4,43	sd	-4,26	sd
	AB	Saujil, Tinogasta*	M	Aj	MT121403	1091 ± 22	1594	MSR-531; MSR-544	-4,8	-3,7	-4,64	-3,51
	AC	Entierro Guanchincito	M	A	UGAMS-54251	990 ± 20	1580	UGAMS-54251	-4,11	sd	-3,93	sd
	AD	Bebé del Cauce*	F	No a (0-0,5 a.)	MTC-15594	559 ± 27	1400	MSR-527	-2,60	sd	-2,37	sd
	AE	Bebé de los Olivares*	F	No a (2-3 a)	MTC-15593	607 ± 30	1400	MSR-536	-3,90	sd	-3,71	sd
	AF	Bebé La Troya II	IN	No a (0 a.)	UGAMS-54249	1320 ± 20	1365	MSR-990; UGAMS-54249	-0,20 -1,50	sd	-0,57	sd
AG	Bebé de La Troya*	M	No a (1-2 a.)	AA92176	533 ± 31	1350	MSR-542	-3,1	sd	-2,89	sd	
Extra-regional (Belén)	AH	Los Nacimientos 1*	F?	No a (0-1 a.)	AA92177	1000 ± 36	2000	MSR-541	-2,50	sd	-2,27	sd
	AI	Los Nacimientos 2*	F	A	AA92175	954 ± 36	2000	MSR-528; MSR-1358	-3,30	-1,57	-3,09	-1,31
	AJ	La Ciénaga*	IN	No a (7-8 a.)	AA72748	922 ± 33	1466	MSR-533	-2,80	sd	-2,58	sd
Extra-regional (Andalgalá)	AK	Barranca Villavil*	M	No a (12-16 a.)	LP-3019	2070 ± 80	1730	MSR-540; MSR-1361	-3,20	-4,01	-2,99	-3,83
	AL	WP 546-Esq 1*	M	A	LP-3437	1780 ± 50	1730	MSR-534	-8,40	sd	-8,35	sd
	AM	WP546-Esq. 3*	F	A	MTC-15599	1419 ± 33	1730	MSR-984	-4,39	sd	-4,22	sd

Por último, además de la información primaria de $\delta^{18}\text{O}$ de agua y humanos, también se reportan los datos de Deuterio (H), de utilidad paleoambiental, aunque su análisis no está contemplado en este trabajo. Con respecto al instrumental utilizado, en el INGEIS las muestras fueron analizadas en un equipo Picarro con el método CRDS (Cavity Ring Down Spectroscopy), mientras que en el LEICA el equipo utilizado fue Thermo Gasbench coupled a Thermo Delta Plus XL IRMS o Flash 2000 Analizador Elemental, acoplado a Thermo Delta Advantage IRMS. En ambos casos se utilizó el método UWSIF.

La georreferenciación de la información de $\delta^{18}\text{O}$ de las muestras de agua permitió efectuar un modelado de interpolación espacial, el cual utiliza valores conocidos en el espacio para estimar valores en puntos desconocidos, creando de esta forma una superficie ráster de un área determinada (Conolly y Lake 2009). En este caso, se aplicó el método de interpolación IDW (Inverse Distance Weihging), el cual asigna a los puntos de muestra conocidos una prioridad para la construcción de la capa ráster del modelo isotópico del oxígeno (Conolly y Lake 2009; Mitas y Mitasova 1999). El modelado para la generación

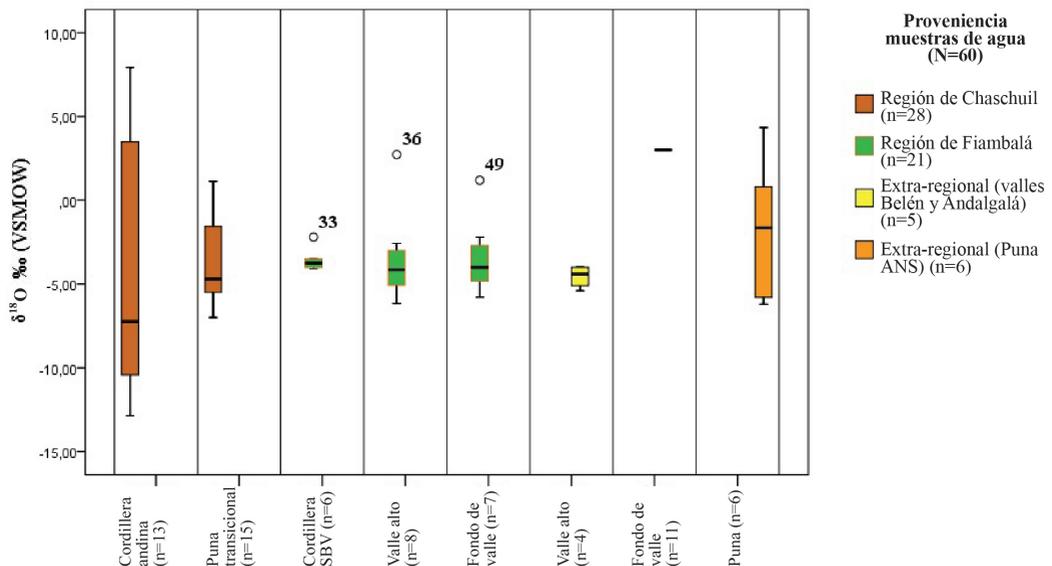
de la cartografía isotópica se realizó considerando los datos isotópicos de $\delta^{18}\text{O}$ (VSMOW) de las aguas muestreadas aptas para el consumo humano, sin tener en cuenta por el momento las extrarregionales hasta que no se amplíen los muestreos.

Resultados

Isótopos de $\delta^{18}\text{O}$ (VSMOW) en muestras de agua

En la Tabla Suplementaria 1 se presentan los datos isotópicos del oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$) de todas las muestras de agua y en la Tabla 3 se incluye la estadística descriptiva del $\delta^{18}\text{O}$ en función del ambiente y de la cota altitudinal de las muestras. Asimismo, la Figura 2 indica la dispersión de esos valores en función del tipo de geoforma. Los valores isotópicos de las muestras de agua presentan las siguientes tendencias según el ambiente de recuperación (Figuras 1 y 2) y su relación con la altitud (Figura 3):

(a) En la región de Chaschuil, las muestras de agua de cotas mayores a 3.000 msm (alta cordillera y Puna transicional) presentan valores con amplia



Ambientes de proveniencia de las muestras de aguas regionales (49:60) y extrarregionales (11:60)

Figura 2. Dispersión de datos de $\delta^{18}\text{O}$ en función de los ambientes regionales y extrarregionales de proveniencia de las muestras de agua. Referencias: CSBV: Cordillera San Buenaventura; N° 33: Río Las Papas, curso superior; N° 36: Río Ojo del Agua; N° 49: Río Abaucán (Tabla Suplementaria 1).

Dispersion of $\delta^{18}\text{O}$ data according to the regional and extra-regional environments from which the water samples were collected. References: CSBV: Cordillera San Buenaventura; No. 33: Río Las Papas, upper course; No. 36: Río Ojo del Agua; No. 49: Río Abaucán (Supplementary Table 1).

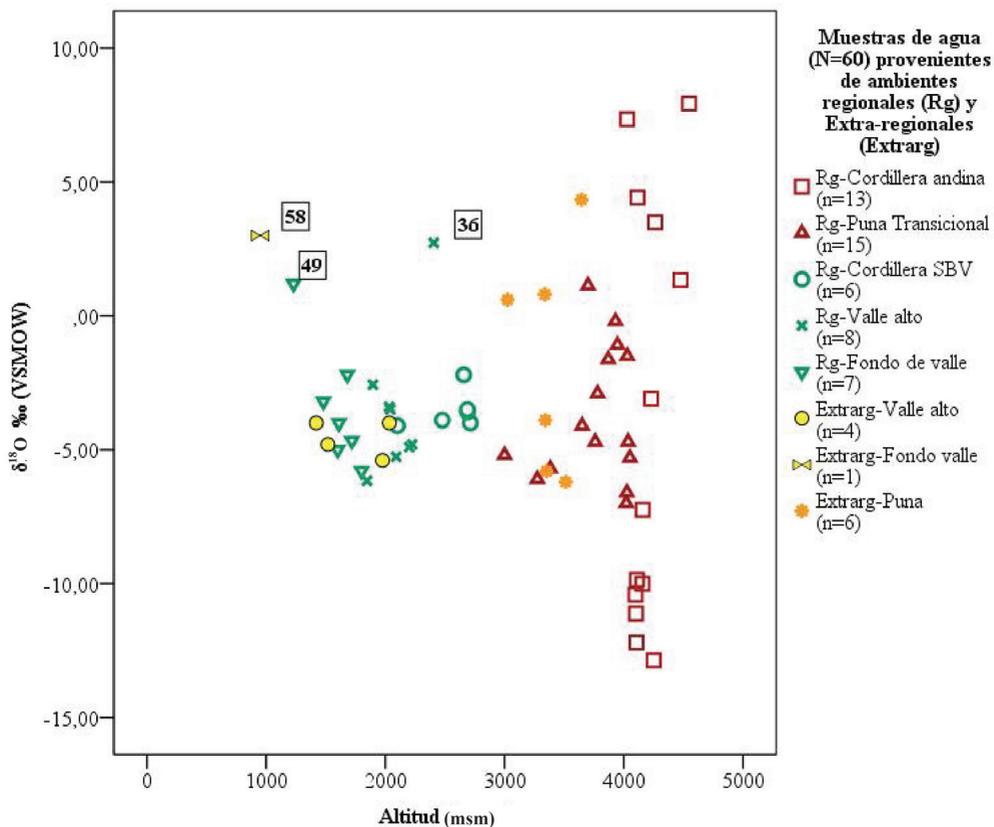


Figura 3. Relación entre los valores de $\delta^{18}\text{O}$ de las aguas regionales y extrarregionales muestreadas en función de la altitud y el ambiente (ver Tabla Suplementaria 1).

Relationship between $\delta^{18}\text{O}$ values of sampled regional and extra-regional waters according to altitude and environment (see Supplementary Table 1).ra; No. 33: Río Las Papas, upper course; No. 36: Río Ojo del Agua; No. 49: Río Abaucán (Supplementary Table 1).

Tabla 3. Estadística descriptiva de los valores de $\delta^{18}\text{O}$ de las muestras de agua regionales y extrarregionales (ver Figura 2). Referencias: SBV: San Buenaventura; ANS: Antofagasta de la Sierra; DE: desviación estándar.

Descriptive statistics of $\delta^{18}\text{O}$ values from regional and extra-regional water samples (see Figure 2). References: SBV: San Buenaventura; ANS: Antofagasta de la Sierra; DE: standard deviation.

Proveniencia	N	$\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ (VSMOW)					
		Media	DE	Mediana	Mín.	Máx.	
Regional (Fiambalá y Chaschuil)	Cordillera andina	13	-4,02	7,88	-7,25	-12,87	7,93
	Cordillera SBV	6	-3,55	0,70	-3,75	-4,10	-2,20
	Puna Transicional	15	-3,70	2,51	-4,70	-7,00	1,13
	Valle alto	8	-3,48	2,76	-4,15	-6,16	2,73
	Fondo de valle	7	-3,38	2,34	-4,01	-5,79	1,20
Extra-regional	Valles altos (Andalgalá y Belén)	5	-4,55	0,68	-4,40	-5,40	4,00
	Fondo de valle (Belén)	1	3,00	-	-	-	-
	Puna (ANS)	6	-1,69	4,24	-1,65	-6,20	4,34
Total	60						

dispersión respecto de los datos isotópicos de las muestras de cursos temporarios, cuerpos de agua, lagunas de altura y vegas de altura. Según Ostera y colaboradores (2005), esta situación es producto de las diferencias altitudinales y de los procesos de evapotranspiración propios de la aridez de los ambientes de altura. Las muestras de cuerpos de agua y/o lagunas presentan valores positivos de $\delta^{18}\text{O}$, mientras que las de cursos de agua temporarios y/o permanentes son más livianas, con valores negativos. Los valores mínimos varían entre $-7,00$ y $1,13\text{‰}$, y los máximos, entre $-12,87$ y $7,93\text{‰}$ para las muestras que provienen de la cordillera andina y de la Puna transicional, respectivamente. Asimismo, la única muestra del fondo de valle del Río Guanchín (nombre que recibe el Chaschuil luego de atravesar la Cordillera de Narváez) registra un valor de $-4,66\text{‰}$ (Tabla 2; Tabla Suplementaria 1; Figuras 2 y 3).

(b) En contraste, en la Región de Fiambalá las muestras provienen de CSBV, que presenta un desarrollo oeste-este y constituye el límite norte de la región de estudio, así como de distintas cotas altitudinales del bolsón de Fiambalá (valle alto y fondo de valle). Los valores isotópicos de $\delta^{18}\text{O}$ de las muestras tomadas en cotas de 2.713 y 2.101 msm presentan valores que varían entre $-4,10$ y $-2,20\text{‰}$, incluyendo un *outlier* (muestra 33). Por su parte, las muestras del valle también tienen una amplia variación, aunque no tan acentuada como la de las tierras altas. Las que provienen del valle alto (entre 1.846 y 2.405 msm) presentan valores entre $-6,16$ y $2,73\text{‰}$; el valor más enriquecido también es un *outlier* (muestra 36). Finalmente, las muestras de fondo de valle (entre 1.800 y 1.230 msm) registraron valores entre $-5,79$ y $1,20\text{‰}$; nuevamente, el dato más enriquecido es un *outlier* (muestra 49). En los tres ambientes, los valores están comprendidos entre $-6,16$ y $2,73\text{‰}$ (Tabla 2; Tabla Suplementaria 1; Figura 2).

(c) Las muestras extrarregionales de cursos de agua permanente en ambientes de valle alto de Belén y Andalgalá registran valores de $\delta^{18}\text{O}$ entre $-5,40$ y $-4,00\text{‰}$, mientras que la única que proviene del fondo de valle aportó un valor positivo ($3,00\text{‰}$). Por su parte, las procedentes de la Puna catamarqueña registran una alta dispersión, entre $-6,20$ y $4,34\text{‰}$, no tan empobrecidos como algunos registrados en la cordillera andina (Tabla 3; Figuras 2 y 3).

(d) Las diferencias en el comportamiento de los valores de $\delta^{18}\text{O}$ de las aguas provenientes de cotas altitudinales menores y mayores a 3.000 msm son notorias. En los valles regionales y extrarregionales,

los valores oscilan entre $-6,16$ y $2,73\text{‰}$, rango que también es abarcado por CSBV (entre $-4,1$ y $2,2\text{‰}$). En cambio, en alturas superiores a los 3.000 msm (cordillera andina, Puna y Puna transicional) los resultados se dispersan más, variando entre $-12,87\text{‰}$ y $7,93\text{‰}$; en este caso, tanto los más bajos como los más altos provienen del área cordillerana (Tabla 3; Figura 3).

(e) Además, las 34 muestras de los cursos de agua permanente presentan valores de $\delta^{18}\text{O}$ entre $-6,20$ a $-0,2\text{‰}$, independientemente de la cota altitudinal y ambiente de recuperación, con excepción de tres *outliers* con valores positivos que provienen de muestreos realizados en los valles de Fiambalá y de Belén (muestras 36, 49 y 58; Tabla Suplementaria 1; Figura 4). Cinco de las siete muestras de vegas de altura y dos de las tres de aguas termales/manantiales se localizan dentro del rango de dispersión mencionado para los valores de $\delta^{18}\text{O}$ de las aguas de cursos permanentes.

En resumen, los valores de las aguas muestreadas indican que la altura es un determinante fundamental que influye en la mayor dispersión de los valores provenientes de la región de Chaschuil, con respecto a los de Fiambalá (Tabla Suplementaria 1; Figuras 2 y 3), tendencia identificada inicialmente por Ostera et al. (2005) para la región de estudio y concordante con los patrones propuestos por las investigaciones desarrolladas por Poca et al. (2022) para diferentes sectores de los Andes (ver también Pederzani y Britton 2019). Asimismo, esta particularidad se observa en los datos registrados en los ambientes de valle y Puna extrarregionales, donde la dispersión no es tan acentuada porque no se cuenta con valores de aguas cordilleranas. De esta manera, las muestras extrarregionales, aunque aún escasas, ofrecen un primer panorama de las particularidades de las aguas provenientes de iguales geoformas separadas espacialmente, como los cursos de agua permanente en ambientes de valle. Dentro del rango de dispersión registrado para los ríos de cursos permanentes están incluidas las aguas muestreadas en vegas de altura (Figura 4). De las 60 muestras de agua, solo siete son salobres, principalmente por su conexión con salares (N° 1, 2, 3, 9, 13, 50 y 55; Tabla Suplementaria 1), mientras que el resto es apto para el consumo humano, independientemente de la cota altitudinal y del ambiente de proveniencia (Figuras 2, 3 y 4). Así, las muestras de agua aptas para el consumo humano se reducen a 53 muestras, de las cuales 44 son regionales y nueve, extrarregionales. Es importante resaltar que el oeste

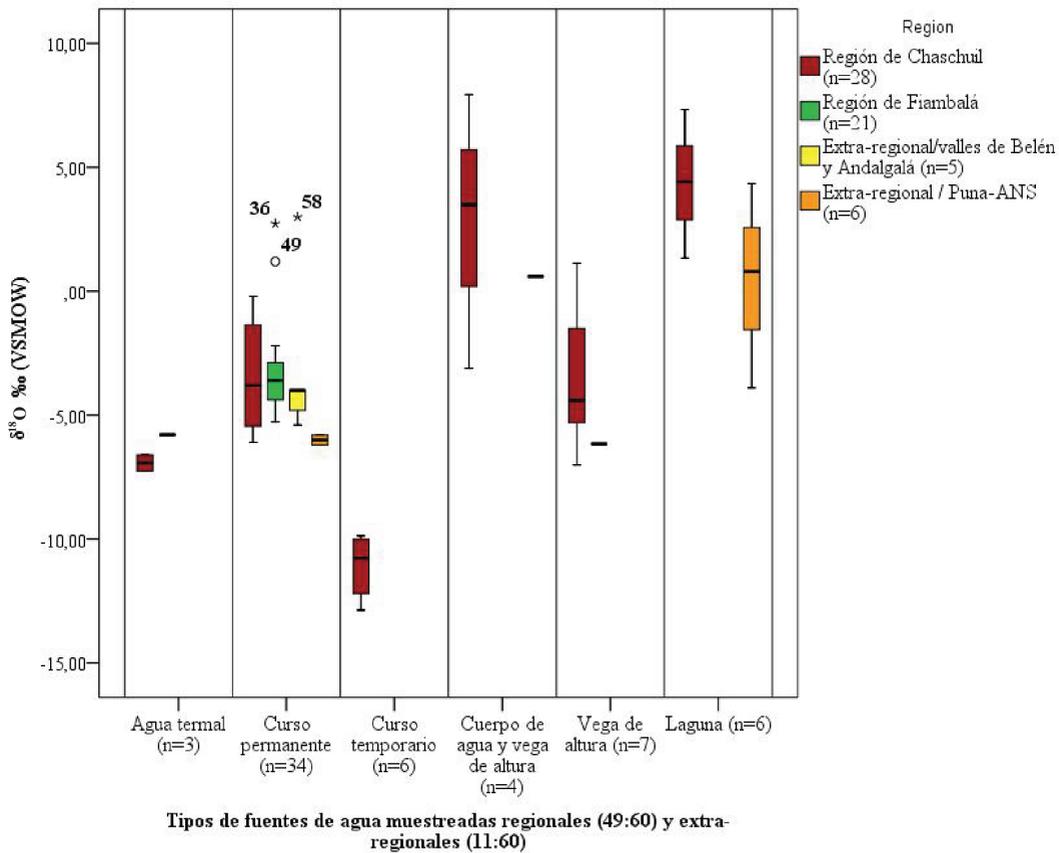


Figura 4. Valores de $\delta^{18}\text{O}$ de las aguas regionales y extrarregionales en función de los tipos de fuentes de agua muestreadas. Referencia: ANS: Antofagasta de la Sierra; N° 36: Río Ojo del Agua; N° 49: Río Abaucán; N° 58: Río Belén (Tabla Suplementaria 1).

$\delta^{18}\text{O}$ values of regional and extra-regional waters according to the types of sampled water sources. References: ANS: Antofagasta de la Sierra; No. 36: Río Ojo del Agua; No. 49: Río Abaucán; No. 58: Río Belén (Supplementary Table 1).

tinogasteño tiene actualmente una economía focalizada en la agricultura de vid y el turismo de escala mediana. Además, solo un único emprendimiento minero (Proyecto Tres Quebradas) se encuentra en etapa de construcción en la zona de estudio y los muestreos de aguas se realizaron previamente a su inicio. Por lo tanto, puede considerarse que a las fechas de la obtención de los muestreos de agua no existían factores actuales que pudieran haber alterado los resultados obtenidos.

Isótopos de $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ (VPDB) en muestras bioarqueológicas

De los 39 individuos analizados, 20 cuentan con valores isotópicos de huesos y dientes; para el resto, solo se dispone de datos de huesos (13:39) o de dientes (6:39). La muestra proviene de inhumaciones

realizadas en el fondo de valle, en el valle alto y en CSBV, mientras que a nivel extrarregional solo están representados los primeros dos ambientes. No se cuenta aún con inhumaciones ubicadas en la cordillera andina, Puna y Puna transicional.

La Figura 5 presenta la distribución de los valores de $\delta^{18}\text{O}$ en huesos y dientes humanos según la localización de la inhumación, y en la Tabla 4 se incluyen los datos agrupando a los individuos según la zona de procedencia o el tipo de ambiente (fondo de valle, valle alto o CSBV), diferenciándolos por edad (adultos vs. no adultos), sexo y cronología, lo cual también es acompañado por la estadística descriptiva de los valores isotópicos obtenidos, discriminando entre huesos y dientes. Se observa que la mediana del $\delta^{18}\text{O}$ óseo está por debajo de $-2,5\text{‰}$, con excepción de tres individuos regionales que provienen de la zona de La Angostura (casos D, E y F; Tabla 2),

mientras que, en contraste, la mediana de $\delta^{18}\text{O}$ dental se ubica por encima de $-2,5\%$, exceptuando el individuo regional del sitio Cardoso (H; Tabla 2) y de otro extrarregional de Andalgalá (AK; Tabla 2).

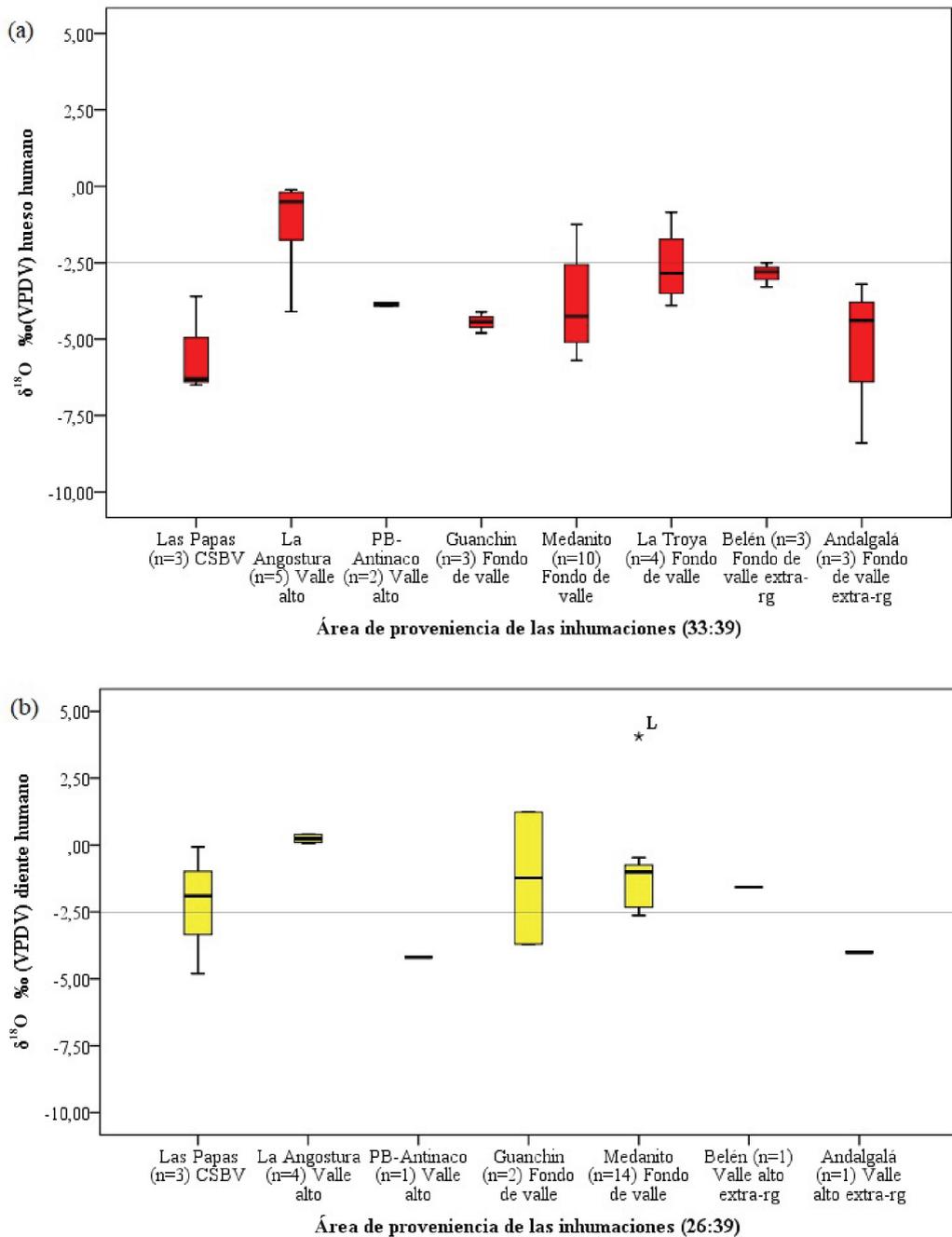


Figura 5. Dispersión de los valores de $\delta^{18}\text{O}$ de las muestras bioarqueológicas (a) óseas (hueso) y (b) dentales, en función del paraje de localización de la inhumación.

Dispersion of $\delta^{18}\text{O}$ values from bioarchaeological samples, (a) bones and (b) teeth, according to the burial location.

Tabla 4. Sexo, edad y valores y dientes de individuos regionales y extrarregionales, en función de los parajes y ambientes de proveniencia. Referencias: Amb.: Ambiente; NInd.: Cantidad de individuos; CSBV: Cordillera de San Buenaventura; VA: Valle alto; FV: Fondo de valle; FA: Femenino adulto; MA: Masculino adulto; FNa: Femenino no adulto; MNa: Masculino no adulto; IA: Indeterminado adulto.

Sex, age, and $\delta^{18}\text{O}$ values of bones and teeth from regional and extra-regional individuals, according to their localities and environments of origin. References: Amb.: Environment; NInd.: Number of individuals; CSBV: Cordillera de San Buenaventura; VA: Upper Valley; FV: Valley floor; FA: Adult female; MA: Adult male; FNa: Non-adult female; MNa: Non-adult male; IA: undetermined adult.

Ubicación regional	Paraje de la inhumación	Sexo y edad								Ubicación temporal			$\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ VPDB (hueso)			$\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ VPDB (diente)			
		Amb.	NInd.	FA	MA	FNa	MNa	IA	1° mil. a.C.	1° mil. d.C.	2° mil. d.C.	NInd.	Mediana	Mín.	Max.	NInd.	Mediana	Mín	Máx
Región de estudio (Chaschuil y Fiambalá)	Las Papas	CSBV	3	-	2	0	1	0	1	1	1	3	-6,30	-6,50	-3,60	3	-1,90	-4,80	-0,07
	La Angostura	VA	5	1	4	0	0	0	3	1	1	5	-0,51	-4,10	-0,11	4	0,24	0,07	0,40
	Palo Blanco-Antinaco	VA	2	1	1	0	0	0	0	1	1	2	-3,86	-3,92	-3,80	1	-4,20	-4,20	-4,20
	Medanito	FV	15	1	10	0	4	0	0	1	14	10	-4,26	-5,70	-1,25	14	-1,01	-2,63	4,06
	Guanchín-Saujil	FV	4	0	2	1	1	0	0	1	3	3	-4,43	-4,80	-4,11	2	-1,24	-3,70	1,23
Extra-regional	La Troya	FV	4	0	0	2	1	1	0	0	4	4	-2,85	-3,90	-0,85	0	-	-	-
	Belén	VA	3	1	0	1	0	1	0	0	3	3	-2,80	-3,30	-2,50	1	-	-1,57	-1,57
	Andalgalá	VA	3	1	1	0	1	0	0	3	0	3	-2,80	-8,40	-3,20	1	-	-4,01	-4,01
Totales			39	5	20	4	8	2	4	8	27	33	-	-	-	1	-	-	-

Por su parte, en la Figura 6 se relacionan los datos isotópicos de $\delta^{18}\text{O}$ en huesos y dientes con el ambiente de proveniencia, la cronología de las inhumaciones y su condición de individuo incluido o no dentro de la etapa reproductiva. Diferenciando las inhumaciones que provienen de valle, regionales y extrarregionales (36:39), y del área de CSBV (3:39), se observa que las 36 inhumaciones provienen del ambiente de valle (alto y fondo de valle), tanto regionales como extrarregionales. De estas, 10 (ocho masculinos y dos femeninos) se ubican dentro del primer milenio de la era cristiana, excepto un caso cronológicamente anterior (C; Tabla 2). Todos estos individuos son juveniles y/o adultos, considerados reproductivos. Los 26 restantes se ubican temporalmente entre los siglos XI y XV; 17 están en edad reproductiva, 15 son masculinos y dos femeninos, y nueve son niños o lactantes (cuatro femeninos, tres masculinos y

dos de sexo indeterminado). Respecto de la señal isotópica según el corte temporal mencionado, se observa que (Figura 6):

(a) Los 10 individuos del primer milenio procedentes del valle presentan una señal de $\delta^{18}\text{O}$ en hueso con una mediana de $-2,48\text{‰}$, un mínimo de $-8,40\text{‰}$ y un máximo de $-0,11\text{‰}$, mientras que la señal dental de ocho de ellos tiene una mediana de $-0,46\text{‰}$, un mínimo de $-4,20\text{‰}$ y un máximo de $0,40\text{‰}$.

(b) Asimismo, 20 de los 26 individuos de la primera mitad del segundo milenio (12 reproductivos y 8 no reproductivos) presentan señales de $\delta^{18}\text{O}$ en hueso con una mediana de $-3,91\text{‰}$, un mínimo de $-5,70\text{‰}$ y un máximo de $-0,85\text{‰}$. De los 15 individuos con señal isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ en diente, 13 están en edad reproductiva y presentan una mediana de $-1,03\text{‰}$, un mínimo de $-2,63\text{‰}$ y un máximo de $4,06$, siendo

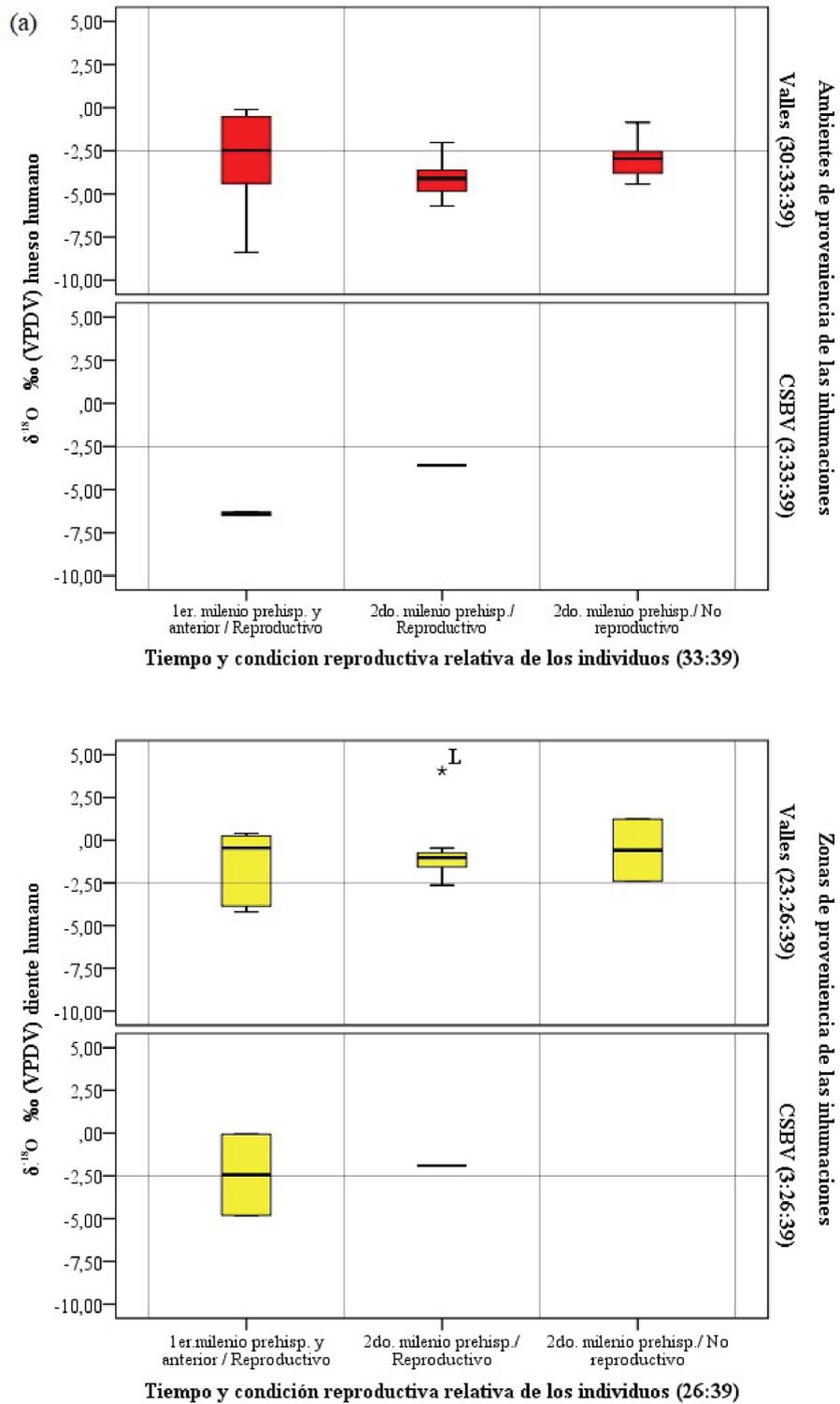


Figura 6. Relación isotópica $\delta^{18}O\text{‰}$ (a: hueso; b: diente), en relación con el ambiente de proveniencia, la ubicación temporal y la condición reproductiva relativa de los individuos. Referencia: CSBV: Cordillera San Buenaventura; prehisp.: prehispánico.

$\delta^{18}O\text{‰}$ isotopic relationship (a. bone; b. tooth), concerning the individuals' environment of origin, temporal location, and relative reproductive status. Reference: CSBV: Cordillera San Buenaventura; prehisp.: pre-Hispanic.

el mayor valor un *outlier* proveniente del área de Medanita (L; Tabla 2; Figuras 5 y 6).

Por otra parte, los tres individuos que provienen de CSBV son masculinos y reproductivos y muestran una clara diferenciación cronológica (Arcaico, Formativo y Desarrollo Regionales). Los dos más antiguos (A y C; Tabla 2) presentan señales isotópicas en hueso con una mediana de $-6,40\%$, un mínimo de $-6,50\%$ y un máximo de $-6,30\%$, mientras que las señales en diente presentan una mediana de $-2,43\%$, un mínimo de $-4,80\%$ y un máximo de $-0,07\%$. En contraste, el individuo que se ubica en el segundo milenio (B; Tabla 2) arroja valores en hueso y diente de $-3,60\%$ y $-1,90\%$, respectivamente, contrastando claramente con los anteriores (Figura 6).

Discusión: Ecología Isotópica de las Aguas y Expectativas de Movilidad de Grupos Humanos Prehispánicos

Distintas líneas de investigación desarrolladas dentro del Proyecto Arqueológico Chaschuil-Abaucán sostienen la articulación e integración entre las tierras altas y bajas de las regiones de Chaschuil y Fiambalá, con fines sociopolíticos y económicos diversos a lo largo del tiempo, previos a la conquista española (Lantos et al. 2015; Miyano 2020; Orgaz y Ratto 2015; Ratto 2013). La construcción de una ecología isotópica de las aguas es fundamental para discutir el movimiento de individuos, voluntario o forzado, dentro o entre regiones que se caracterizan por presentar ambientes contrastantes, tanto por sus topografías como por sus cotas altitudinales.

Perfiles isotópicos $\delta^{18}\text{O}$ (VSMOW) de las muestras de agua

La distribución de los valores del $\delta^{18}\text{O}$ para las 49 muestras de aguas regionales (Chaschuil y Fiambalá) dan cuenta de un perfil ecológico contrastante. Estas provienen tanto de cuencas endorreicas (N=18) como exorreicas (N=31), localizadas en cotas altitudinales que varían entre 4.548 msm (cuerpos de agua en cordillera andina; $\delta^{18}\text{O}=7,93\%$) y 1.230 msm (curso de río permanente; $\delta^{18}\text{O}=1,23\%$). Estos datos permiten afirmar que se trata de aguas pesadas, independientemente de la altitud y del tipo de fuente muestreada. Las muestras que provienen de ambientes cordilleranos andinos y del área de la vega de San Francisco (Puna transicional de Chaschuil), por encima de los 4.000 msm, se encuentran dentro de

cuencas endorreicas, mientras que las procedentes de ríos, afluentes directos o indirectos del Río Abaucán, conforman la cuenca exorreica. Se identificaron las siguientes tendencias (Figura 7):

(a) Las 18 muestras de agua de cuencas endorreicas de la Región de Chaschuil, con alturas de registro entre 4.000 y 4.548 msm, presentan valores de $\delta^{18}\text{O}$ entre $-12,87$ y $7,93\%$, con una media de $-4,30\%$ y una mediana $5,95\%$. Los valores registrados muestran una muy alta dispersión producto de la altitud y de la evapotranspiración. Los cuerpos de agua asociados a vegas y vegas de altura presentan valores positivos, dando cuenta de aguas más pesadas que se relacionan con cotas altitudinales altas y una mayor evapotranspiración, mientras que los cursos de agua temporarios son característicos de las cuencas endorreicas de altura y presentan valores muy empobrecidos (aguas livianas). Las vegas de altura también muestran un comportamiento diferencial, ya que registran valores positivos cuando están asociadas a cuerpos de agua, mientras que si estos no están presentes, los valores son negativos.

(b) Para las 31 muestras de agua que provienen de cursos permanentes de la cuenca exorreica regional, los distintos afluentes discurren por las regiones de Chaschuil y Fiambalá hasta desagotar sus aguas en el río homónimo, cubriendo cotas altitudinales desde las nacientes de uno de sus afluentes principales (Río Chaschuil-Guanchín, 3.900 msm) hasta el sector medio del Río Abaucán (1.200 msm). Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ varían entre $-6,10$ y $2,73\%$, con una mediana de $-3,90\%$ y una media de $-3,33\%$; el valor máximo es un *outlier* (Río Ojo del Agua, muestra 36; Tabla Suplementaria 1), en ambiente de valle alto. Esta cuenca se caracteriza por presentar aguas livianas, predominando los resultados negativos sobre los positivos. Los valores registrados aumentan a medida que el río discurre por cotas más bajas respecto a la de sus nacientes.

Asimismo, las 11 muestras de agua extrarregionales están compuestas por: (i) las que forman parte de las cuencas exorreicas de Belén y Andalgala (5:11:60), en cotas altitudinales entre 950 y 2.000 msm, y (ii) otras que provienen de la cuenca endorreica de la Puna Sur catamarqueña, Antofagasta de la Sierra (6:11:60), en cotas altitudinales entre 3.000 y 3.600 msm (Figura 7). Los ríos de cursos permanentes arrojan valores entre $-5,40$ y $3,00\%$, con una mediana de $-3,55\%$, comparables con los registrados en muestras de la cuenca del Abaucán (Región de Fiambalá), ya que el

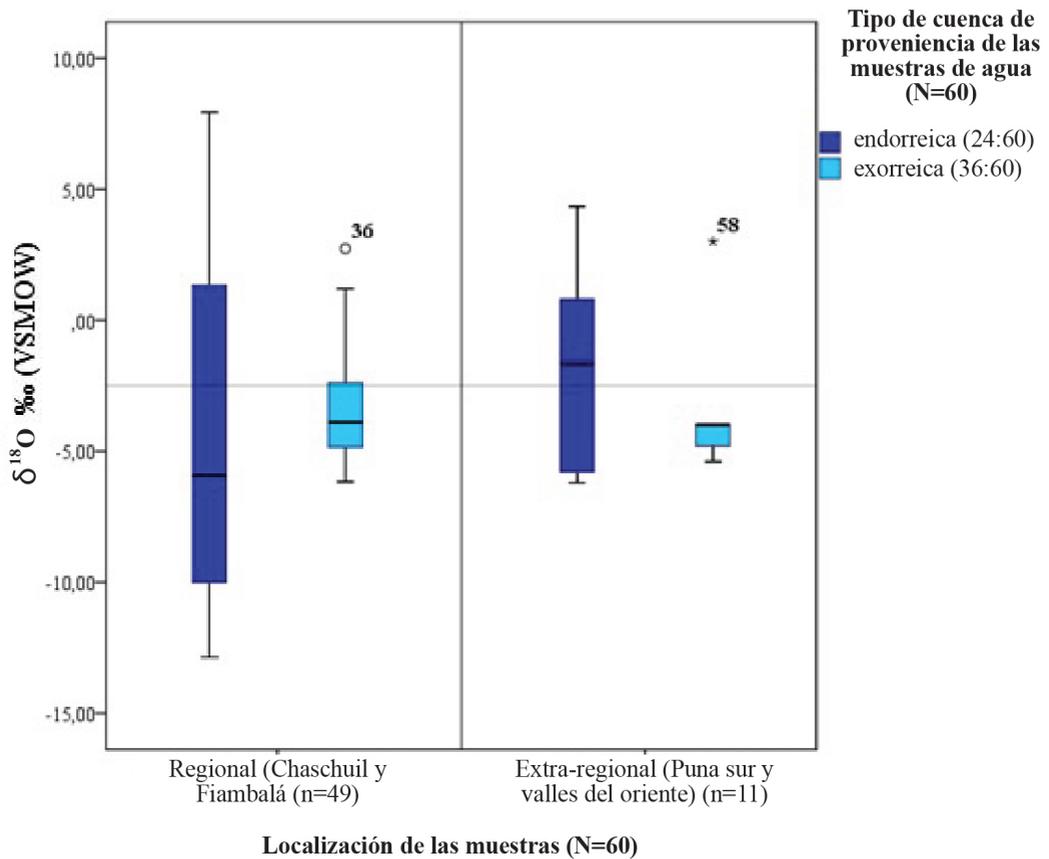


Figura 7. Valores de $\delta^{18}\text{O}$ en función del tipo de cuenca (endorreica o exorreica, regional o extrarregional). *$\delta^{18}\text{O}$ values according to basin type (endorheic or exorheic, regional or extra-regional).*

rango de dispersión de valores es semejante y también presenta un valor de agua pesada de 3,00‰ en cota de 950 msm. Nuevamente, los valores enriquecidos (aguas pesadas) no son exclusivos de las tierras altas, por lo que deben existir otros factores que interactúan con la altitud y la geoquímica de las aguas. Posiblemente esto tenga relación con el encauzamiento de los ríos por las economías productivas que provocan que las aguas discurren más lentamente, exponiéndolas a mayores niveles de evapotranspiración (p.ej., McGuire y McDonnell 2007; Pederzani y Britton 2019). Por último, las seis muestras de la cuenca endorreica de Antofagasta de la Sierra presentan valores de $\delta^{18}\text{O}$ entre -6,20 y 4,34‰, con una mediana de -1,65‰ y una media de -1,69‰. La mayor dispersión es hacia valores de aguas pesadas, lo cual puede estar relacionado con las geoformas y las altitudes de muestreo (Tabla Suplementaria 1).

En resumen, de las 60 muestras de agua analizadas, aquellas asociadas a cuerpos de agua y/o lagunas localizadas en cotas altitudinales altas, tanto en la cordillera andina como en la Puna Sur, presentan valores positivos, lo cual generalmente corresponde a aguas salobres; las restantes registran valores con tendencia negativa, son consideradas aptas para consumo y provienen de cursos de ríos (permanentes y/o temporarios) y de vegas de altura, emplazadas en distintas cotas altitudinales. En la Figura 7 se observa que dos muestras procedentes de cuencas exorreicas regionales y extrarregionales se comportan como casos extremos u *outliers* provenientes de cursos de agua permanentes (N° 36 -Río Ojo del Agua- y N° 58 -Río Belén-; Tabla Suplementaria 1) en distintas cotas altitudinales. Esta situación puede deberse a la estación de toma de las muestras, lo que requerirá de mayor análisis a futuro.

Las similitudes y diferencias entre los valores de $\delta^{18}\text{O}$ de aguas regionales y extrarregionales son importantes para evaluar las características de la movilidad de los individuos. Por lo tanto, en la próxima sección se articulan las muestras de agua aptas para consumo, no salobres, con los datos provenientes de los restos óseos y dientes humanos (Tabla 2).

Perfiles isotópicos integrados de $\delta^{18}\text{O}$ (VSMOW): aguas y consumidores

En la Figura 8 se presentan las dispersiones de los valores de $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ en muestras de agua apta para el consumo humano, así como de huesos y dientes humanos, para los diferentes ambientes de recuperación (Tabla 2; Tabla Suplementaria 1). La comparación permite identificar varias tendencias interesantes:

(a) Las ocho muestras provenientes de la cordillera andina (cotas superiores a 4.000 msm) registran los

valores VSMOW de $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ más empobrecidos respecto del rango de dispersión registrado en otros ambientes, inclusive la Puna transicional de Chaschuil (regional) y la Puna de Antofagasta de la Sierra (extrarregional). En la cordillera andina, los valores varían entre -12,87 y -3,10 ‰, aunque el máximo es un outlier (muestra N° 5, Laguna Aparejos, 4.230 msm; Tabla Suplementaria 1), ubicándose la mediana en -10,21‰. Si bien no se han recuperado inhumaciones para este ambiente, sería esperable que los individuos de estos espacios presenten valores de oxígeno empobrecidos.

(b) Existen diferencias en las medianas de los valores VSMOW de $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ de los huesos y dientes de las tres inhumaciones de Las Papas en CSVB (individuos A, B y C; Tabla 2). Esto podría estar ofreciendo información sobre los rangos de movilidad de esos individuos al compararlos con los resultados de las seis muestras de agua provenientes de distintos

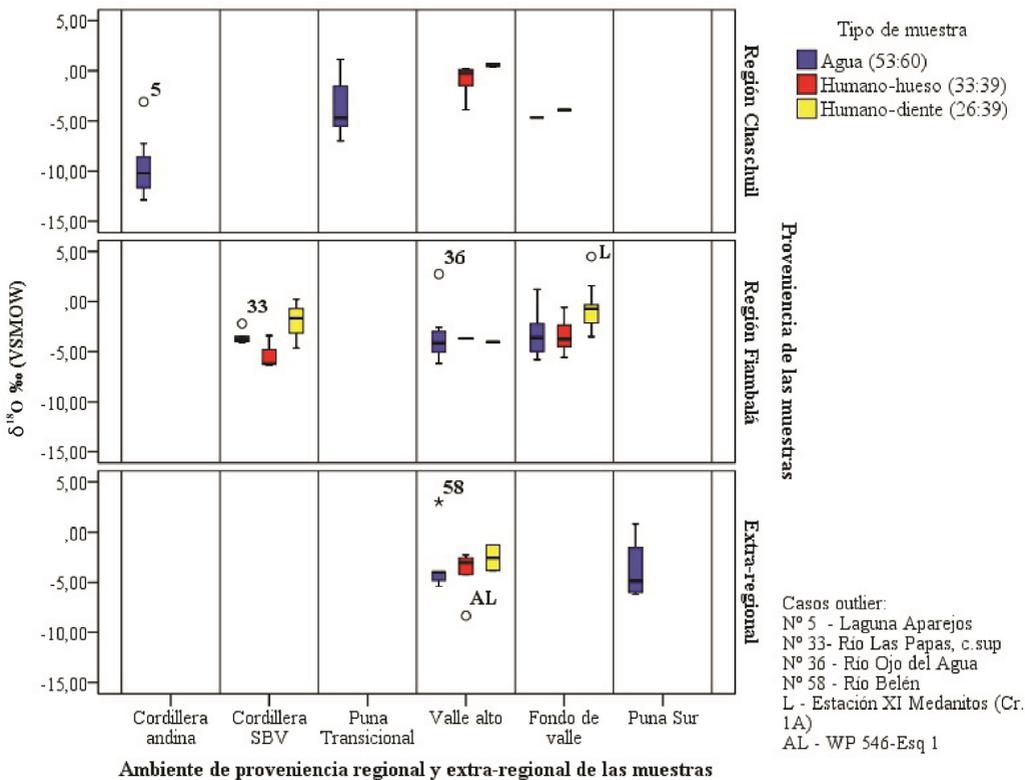


Figura 8. Dispersión de valores de $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ (VSMOW) de las muestras de agua aptas para el consumo humano, y de huesos y dientes humanos, tanto para las regiones de Chaschuil y Fiambalá (regionales) como para las extrarregionales, según los ambientes de recuperación (Tabla 2; Tabla Suplementaria 1).

Dispersion of $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ (VSMOW) values from water samples suitable for human consumption, and from human bones and teeth, for both regional (Chaschuil and Fiambalá) and extra-regional areas, according to recovery environments (Table 2; Supplementary Table 1).

ríos de curso permanente (con un único *outlier*; muestra N° 33, Río Las Papas curso superior). La mediana de los valores VSMOW de $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ para los ríos de la zona (cota 2.780 msm) es de $-3,75\text{‰}$, mientras que la de los huesos y dientes es de $-6,19\text{‰}$ y $-1,65\text{‰}$, respectivamente. En conjunto, esta información podría estar indicando que sus lugares de inhumación no fueron los de crianza.

(c) El rango de dispersión de los valores VSMOW de $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ de las muestras de agua aptas para consumo humano de la Puna transicional de Chaschuil ($-7,00/1,13\text{‰}$; mediana= $-4,70\text{‰}$) es diferente al de las recuperadas en la cordillera andina ($-12,87/-3,1\text{‰}$; mediana= $-10,21\text{‰}$), aunque incluye los valores que provienen de CSBV ($-4,1/2,2\text{‰}$; mediana= $-3,75\text{‰}$). Si bien hasta el momento no se han recuperado inhumaciones en la Puna transicional de Chaschuil (3.000-4.000 msm), la superposición de valores VSMOW de $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ entre distintos ambientes de altura alerta sobre la dificultad de las interpretaciones isotópicas relacionadas con la movilidad de los individuos que pueden alternar entre diferentes pisos ecológicos de valles y Puna-cordillera.

(d) El perfil de las aguas que provienen del valle alto está representado tanto en Fiambalá como en los valles extrarregionales del oriente. Se observa una dispersión semejante de valores VSMOW de $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ en las muestras de agua que provienen de ese valle ($-6,16/2,73\text{‰}$; mediana= $-4,15\text{‰}$; *outlier* N° 36, Río Ojo del Agua; Figura 8), con respecto a las extrarregionales de los valles de Belén y Andalgalá ($-5,40/3,00\text{‰}$; mediana= $-4,00\text{‰}$; *outlier* N° 58, Río Belén; Figura 8). Por su parte, de las 13 inhumaciones recuperadas en el ambiente de valle alto, siete son regionales (Fiambalá y Chaschuil) y seis, extrarregionales. Las primeras presentan valores VSMOW de $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ huesos y dientes entre $-3,92$ y $0,20\text{‰}$ (mediana= $-1,51\text{‰}$) y entre $-4,02$ y $0,72\text{‰}$ (mediana= $0,42\text{‰}$), respectivamente. Por su parte, los seis individuos extrarregionales arrojan valores VSMOW de $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ entre $-8,35$ y $-2,27$ (mediana= $-3,04\text{‰}$) y $-4,02$ y $0,72\text{‰}$ (mediana= $0,38\text{‰}$) para huesos y dientes, respectivamente; el valor mínimo de hueso se comporta como un *outlier* (AL, WP546-Esq-1, Valle de Andalgalá). De esta manera, los datos isotópicos VSMOW de $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ de huesos y dientes de individuos de los valles altos regionales presentan dispersiones similares, en concordancia con las de las aguas para consumo humano del área de recuperación. En cambio, los individuos extrarregionales muestran diferencias más acentuadas, especialmente en el caso

de AL (WP546-Esq-1), del que solo se cuenta con información isotópica de hueso, con un valor VSMOW de $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ muy empobrecido, característico de las aguas de ambientes de altas cotas altitudinal, como el área cordillerana (Tabla 2; Tabla Suplementaria 1).

(e) Por último, el ambiente de fondo de valle está representado solo a nivel regional. Seis de las siete muestras de agua provienen del Valle de Fiambalá y la restante del de Chaschuil, con cotas entre 1.230 y 1.800 msm. La dispersión de los valores VSMOW de $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ en agua oscilan entre $-5,79$ y $1,20\text{‰}$ (mediana= $-4,10\text{‰}$), muy similar a la calculada para el ambiente de valle alto, tanto de muestras regionales como extrarregionales (ver más arriba). Por su parte, 23 inhumaciones proceden del ambiente de fondo de valle en Fiambalá, con excepción de un individuo de Chaschuil (Entierro Guanchincito; individuo AC; Tabla 2). Los valores VSMOW de $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ en hueso varían entre $-5,57$ y $-0,57\text{‰}$ (mediana= $-3,79\text{‰}$), mientras que los dentales lo hacen entre $-3,51$ y $4,49\text{‰}$ (mediana= $-0,73\text{‰}$) (Figura 2). Se observó un único *outlier*, con un alto valor positivo, correspondiente a la muestra dental del individuo L (Estación XI Md-Cr.1A; Tabla 2; Figura 8). Al respecto, los valores positivos altos se comparten como *outliers* en las muestras de los ríos permanentes, tanto de la región (Río Ojo del Agua) como extrarregionales (Río Belén). También se destaca la similitud entre las medianas de los valores en las aguas y en huesos de los individuos inhumados en el fondo de valle, mientras que la mediana de los dientes indica valores más enriquecidos respecto de la de los huesos.

Para el modelado de los datos de agua según su distribución espacial (Figura 9), solo se consideraron 44 muestras aptas para consumo humano de los ambientes regionales de Chaschuil y Fiambalá, asociadas mayormente con cursos de ríos permanentes y temporarios, como así con vegas de altura. Se excluyen del análisis las extrarregionales provenientes de los valles de Andalgalá y Belén (5:53) y de la Puna Sur (4:53), dado que existen amplios espacios intermedios sin muestrear entre el Valle de Fiambalá y los del oriente (Belén y Andalgalá). En la Figura 10 se articulan los datos de huesos y dientes humanos (Tabla 2) según las siete zonas definidas en el modelo isotópico. Se observa que la información para un mismo individuo (hueso y/o diente) puede ubicarse en la misma zona isotópica de recuperación de la inhumación o en diferentes áreas. Esto da indicios de algunos individuos que podrían haber tenido una baja movilidad regional a lo largo de sus vidas, y de

otros que fueron recuperados en un lugar cuyas aguas presentan un perfil isotópico diferente al reportado por los datos óseos y dentales, lo cual permitiría interpretar rangos de movilidad mayores.

La interrelación entre los datos de la Tabla 2 y de las Figuras 9 y 10 permite destacar algunas particularidades del perfil isotópico de $\delta^{18}\text{O}$ (VSMOW) de las 44 muestras de agua y de los 33 individuos analizados:

(a) Los individuos B (Las Papas-II) y C (Las Papas-III) exhumados en CSBV se ubican en momentos crono-culturales del periodo Tardío y del Arcaico, respectivamente. Presentan señales isotópicas de huesos y dientes diferentes a las aguas de la zona de sus inhumaciones, que se encuentra en un área ecotonal entre las Zonas 4 (-6,25/-3,75‰) y (-3,75/-1,97‰), definidas por el modelo isotópico teórico de las aguas. Esto permite inferir que provienen de otros ambientes, cuyas aguas se relacionan con las Zonas 3 (-8,75/-6,25) y 6 (-1,97/1,25‰). En cambio, el individuo A (Las Papas-I; Tabla 2) presenta un perfil isotópico acorde a las aguas de su lugar de exhumación.

(b) Los seis individuos que provienen del Valle de Chaschuil se comportan diferencialmente. Cuatro (D, E, F, G) remiten a inicios del primer milenio de la era cristiana y presentan señales isotópicas de hueso y diente que no coinciden con las aguas de sus lugares de recuperación (Zona 4; -6,25/-3,75‰), sino que se relacionan con los valores de la Zona 6 (-1,97/1,25‰); en cambio, los casos J y AC presentan señales isotópicas que corresponden a la Zona 4 de sus inhumaciones, aunque se ubican cronológicamente en el segundo milenio de la era. En consecuencia, y aunque el tamaño de la muestra es pequeño, esta primera aproximación indicaría una mayor movilidad en el primer milenio de la era respecto del segundo.

(c) Las Zonas 4 (-6,25/-3,75‰) y 5 (-3,75/-1,97‰) son las de mayor preeminencia en el Valle de Fiambalá, aunque también están representadas las Zonas 6 (-1,97/1,25‰), especialmente en los sectores norte y sur del amplio valle, y 7 (1,25/3,75‰), con una notoria restricción areal. De este ambiente provienen 24 individuos que remiten mayormente al segundo milenio de la era cristiana, los cuales presentan varias particularidades: (i) 12 tienen un perfil isotópico comparable con las Zonas 4 y 5 (H, I, P, Q, S, X, Y, AA, AB, AD, AE, AG), coincidiendo con las características de sus lugares de exhumación (esto permite sostener que la movilidad dentro de la región fue muy baja); (ii) siete individuos (K, N, O,

R, U, V, AF) presentan el perfil isotópico teórico de la Zona 6 (-1,97/1,25‰), pero fueron exhumados en lugares cuyas aguas tienen características de las Zonas 4 y 5, indicando un rango de movilidad mayor; (iii) cuatro individuos del área de Medanito (L, M, T, W) presentan perfiles isotópicos en hueso comparables con el lugar de sus inhumaciones (Zona 4; -6,25/-3,75‰), aunque los valores dentales se relacionan con las Zonas 6 (-1,97/1,25‰) y 7 (1,25/3,75‰), lo que sugiere que habrían vivido su niñez en un lugar diferente al de su muerte; y (iv) el individuo CP-Sj-Cr-05-2 (caso Z) registra un valor dental comparable a los de la Zona 7 (1,25/3,75‰), aunque su lugar de inhumación corresponde a la Zona 4 (-6,25/-3,75‰), lo cual también indicaría que vivió su infancia en un lugar diferente al de su muerte.

En la Tabla Suplementaria 2 se articula la información para las 44 muestras de agua regionales y de huesos y/o dientes para los 33 individuos exhumados en Chaschuil y Fiambalá, mediante el uso del modelo isotópico generado. Cada individuo es relacionado con la zona que caracteriza, por un lado, a las aguas del lugar de entierro, y por otro, a la que remiten sus datos isotópicos (óseo y/o diente). Asimismo, esa información se compara con la región de recuperación, la ubicación temporal y la condición reproductiva de cada individuo. La información generada permite identificar que los datos isotópicos de los individuos son mayormente asignados a las dos zonas que caracterizan a las aguas de los ambientes de valle, Puna transicional y CSBV (Zonas 4 y 5), independientemente de su ubicación cronológica y su condición reproductiva. Sin embargo, la Zona 6 es más representativa en valores isotópicos dentales en ambos bloques temporales, con excepción de los individuos exhumados en Chaschuil (D, E, F, G), de inicios de las sociedades productivas, y en Fiambalá (K, O), del segundo milenio de la era cristiana. En estos casos, se trataría de individuos no locales.

Otro caso interesante es el individuo más antiguo de la región (caso C), único que remite al Arcaico, ya que las zonas asignadas por sus valores isotópicos de huesos (Zona 3) y dientes (Zona 6) no solo difieren entre sí, sino también con las características de las aguas del lugar de entierro (Zona 4). El caso Z también es destacable porque por sus datos isotópicos se relaciona con la Zona 7, muy distinta a las aguas del lugar de su recuperación (Zona 4). Finalmente, los 11 individuos del sitio Estación XI Medanito (De Stéfano et al. 2021) constituyen un caso particular, dado que ocho de ellos presentan valores VSMOW de $\delta^{18}\text{O}$ en dientes que

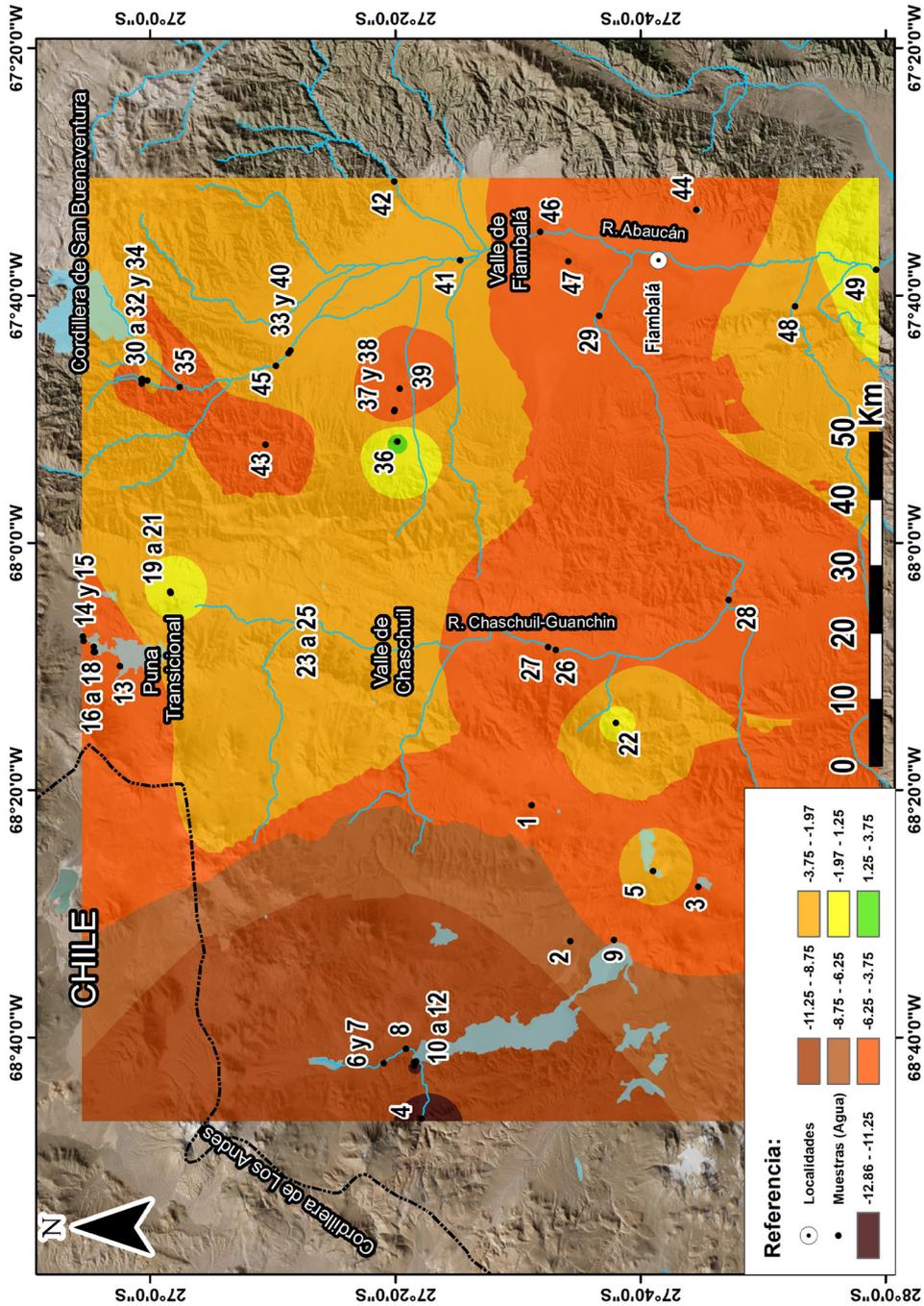


Figura 9. Modelado isotópico. Análisis espacial de los valores isotópicos de $\delta^{18}O$ en función de la distribución espacial de las 44 muestras de aguas regionales aptas para el consumo humano (44:53;60).
Isotopic modeling. Spatial analysis of $\delta^{18}O$ isotopic values according to the spatial distribution of the 44 regional water samples suitable for human consumption (44:53;60).

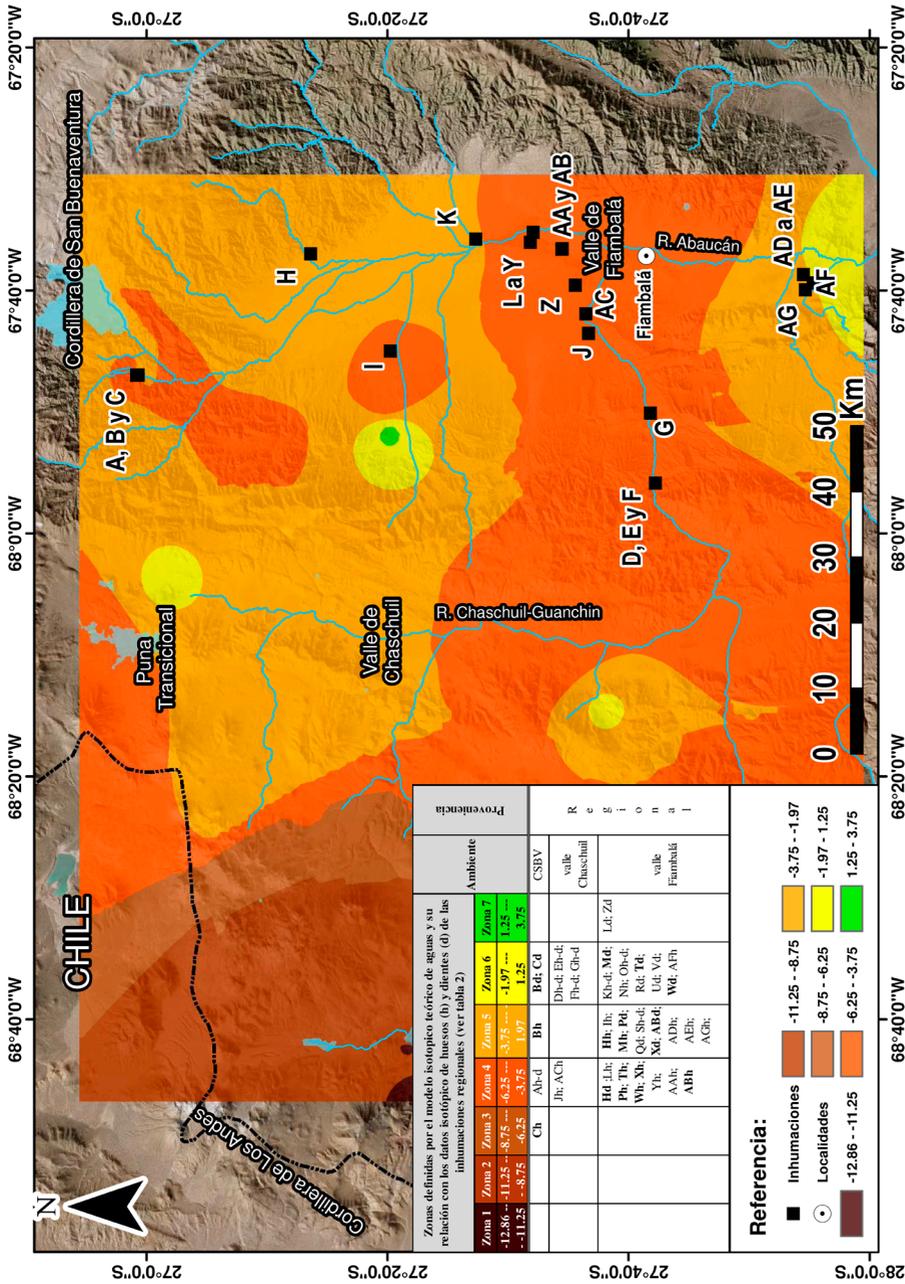


Figura 10. Relación de los valores isotópicos de $\delta^{18}O_{\text{‰}}$ (hueso y/o dientes) de los 33 individuos exhumados en el oeste tinogasteño según las zonas creadas por modelado isotópico de las aguas consumibles. La ubicación espacial de los individuos da cuenta de los lugares de exhumación. Cada sigla de la tabla incluye la letra del entierro y a continuación el tipo de muestra (h: hueso; d: diente) (ver Tabla 2).
Relationship of $\delta^{18}O_{\text{‰}}$ isotopic values (bones and/or teeth) of the 33 exhumed individuals in western Tinogasta according to the zones, created by isotopic modeling, of consumable waters. The spatial location of individuals reflects the exhumation sites. Each table label includes the burial letter followed by the sample type (h: bone; d: tooth) (see Table 2).

remiten a las Zonas 6 y 7, muy distintas a las aguas del lugar de su exhumación (Zona 4). Este dato, sumado a las particularidades rituales del entierro, refuerza la propuesta acerca del desarrollo de prácticas funerarias insertas en estrategias de dominación en tiempos incaicos (Garrido et al. 2023).

Respecto de los individuos extrarregionales, la baja cantidad de muestreos de aguas extrarregionales ($n=9$) y las grandes distancias entre ambientes imposibilitaron la realización de un modelado isotópico. Siete muestras de agua (casos 51, 52, 53, 56, 57, 59 y 60; Tabla Suplementaria 1), provenientes de ambientes de Puna Sur y valles orientales, presentan valores isotópicos dentro del rango de la Zona 4 ($-6,25/-3,75\%$), mientras que una muestra de Puna Sur (caso 54; Tabla Suplementaria 1) y otra del sector bajo del Valle de Belén (caso 58; Tabla Suplementaria 1) se ubican en las Zonas 6 y 7, respectivamente. Por su parte, entre los tres individuos del oriente andalgalense destaca WP546-Esq 1 (AL; Tabla 2) porque el valor isotópico en hueso remite a la Zona 3, característica de cotas altitudinales altas, mientras que los otros dos casos (AK y AM; Tabla 2) se localizan en las Zonas 4 y 5. Por su parte, los tres individuos procedentes de Belén (AH, AI y AJ; Tabla 2) presentan valores de $\delta^{18}\text{O}$ óseo que se relacionan con la Zona 5, mientras que solo AI ofrece un dato en diente asociado a la Zona 6. Se destaca la necesidad de aumentar la cantidad de muestreos de agua, dado que iguales ambientes distanciados espacialmente presentan valores isotópicos de $\delta^{18}\text{O}$ semejantes.

Conclusiones

La presente reconstrucción de la ecología isotópica del agua es la primera generada para el oeste tinogasteño, por lo que no se cuenta con antecedentes previos al respecto; lamentablemente, los generados por la actividad minera no están disponibles para uso público. Los resultados de $\delta^{18}\text{O}\%$ obtenidos de las 60 muestras de aguas provenientes de distintos ambientes de la región permiten comenzar a identificar similitudes y diferencias isotópicas entre ambientes, requisito base para discutir la movilidad de las poblaciones del pasado a partir de la evaluación conjunta de la información isotópica de las aguas y sus lugares específicos de muestreo. La construcción de una ecología isotópica regional resulta de suma importancia para proponer modelos sobre movilidad, al mismo tiempo que alerta sobre la necesidad de

contar con esa información ambiental para arribar a interpretaciones adecuadas, ya que el primer abordaje al tema está mostrando que los perfiles isotópicos de aguas para consumo humano no varían notoriamente entre valles mesotérmicos (altos y fondos de valle), distantes a más de 100 km unos de otros. Tampoco se observa una amplia diversidad en los valores isotópicos de las aguas provenientes de la cabecera norte de la cuenca de Abaucán (CSBV, 2.780 msm), con respecto a las muestras que conforman la misma cuenca y fueron tomadas en cotas altitudinales más bajas (ca. 1.400 msm). El panorama se complejiza cuando al análisis se incorporan las muestras de agua de la Puna transicional de Chaschuil, en cuya cabecera nace el Río Chaschuil-Guanchín, que es afluente del Río Abaucán y conforma su extensa cuenca (Figura 1), ya que el rango de dispersión incluye las muestras provenientes de CSBV, valle alto y fondo de valle (Figura 8). Este solapamiento parcial se contrapone y diferencia de las aguas que provienen del ambiente cordillerano andino, ya que son las más empobrecidas en valores VSMOW de $\delta^{18}\text{O}\%$ dentro del esquema isotópico generado en esta investigación.

Asimismo, se destaca la alta variabilidad de los valores VSMOW de $\delta^{18}\text{O}\%$ de las aguas regionales, inclusive dentro de las mismas geoformas muestreadas, por lo que resulta necesario profundizar en otros aspectos que pueden ocasionar esa diversidad, como la época de muestreo, el caudal y la velocidad de las aguas, y las transformaciones humanas por canalización. También es necesario ampliar la ecología isotópica a los valles orientales, muestreando especialmente las áreas intermedias entre el Valle de Fiambalá y los del oriente (Belén y Andalgalá).

Mas allá de estas limitaciones, fue posible generar un modelo isotópico de las aguas regionales que permitió caracterizar el perfil del $\delta^{18}\text{O}\%$ para los diversos ambientes de las regiones consideradas. Esta modelación permitió relacionar los perfiles de las aguas consumibles con los valores isotópicos de 33 individuos exhumados de la región. De esta forma, comenzaron a vislumbrarse algunos contrastes interesantes entre la data isotópica de aguas e individuos, lo cual es una primera vía de entrada para discutir la movilidad de grupos a grandes escalas espaciales y temporales que abarcan ambas regiones. Las tendencias identificadas deben ser complementadas con otras líneas de trabajo para discutir en mayor detalle la movilidad de las poblaciones prehispánicas, como los isótopos de estroncio (p.ej., Barberena et al. 2021), análisis

que se encuentran en curso en colaboración con el INGEIS y la CNEA-Constituyentes. Asimismo, es necesario ampliar la muestra bioarqueológica para discutir en clave temporal las variaciones isotópicas de $\delta^{18}\text{O}$ en aguas y sus consumidores. También se pondrá énfasis en la comparación de los resultados obtenidos de los tejidos óseos y dentales de un mismo individuo, para poder abordar esta problemática en profundidad.

Agradecimientos: Este trabajo ha contado con la financiación de los proyectos PICT-2019-0618 y UBACYT-20020220300065BA-(2023-2025). Agradecemos a Adolfo Gil, Gustavo Neme y Alejandro Serna por aclarar dudas ante consultas realizadas. También a los dos evaluadores anónimos, cuyos comentarios han contribuido a mejorar la calidad de la presentación, de los análisis y de las interpretaciones efectuadas.

Referencias Citadas

- Barberena, R., A. Tessone, M. Cagnoni, A. Gasco, V. Durán, D. Winocur, A. Benítez, G. Lucero, D. Trillas, I. Zonana, P. Novellino, M. Fernández, M.A. Bavio, E. Zubillaga y E.A. Gautier 2021. Bioavailable strontium in the Southern Andes (Argentina and Chile): A tool for tracking human and animal movement. *Environmental Archaeology* 26 (3):323-335.
- Bashkin, V.N. 2003. *Modern Biogeochemistry*. Kluwer Academic, Nueva York.
- Bowen, G.J. 2010. Isoscapes: Spatial pattern in isotopic biogeochemistry. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 38:161-187.
- Bowen, G.J. y J.B. West 2008. Isotope landscapes for terrestrial migration research. En *Terrestrial Ecology*, editado por K. Hobson y L. Wassenaar, Vol. 2, pp. 79-105. Academic Press, Nueva York.
- Chala-Aldana, D., H. Bocherens, C. Miller, K. Moore, G. Hodgins y K. Rademaker 2017. Investigating mobility and highland occupation strategies during the Early Holocene at the Cuncaicha rock shelter through strontium and oxygen isotopes. *Journal of Archaeological Science: Reports* 19:811-827.
- Conolly, J. y M. Lake 2009. *Sistemas de Información Geográfica Aplicados a la Arqueología*. Ediciones Bellaterra, Barcelona.
- Daux, V., C. Lécuyer, M.A. Hérán, R. Amiot, L. Simon, F. Fourel, F. Martineau, N. Lynnerup, H. Reyhler y G. Escarguel 2008. Oxygen isotope fractionation between human phosphate and water revisited. *Journal of Human Evolution* 55 (6):1138-1147.
- De Stefano, J., C. Aranda, L. Luna y N. Ratto 2021. Análisis bioarqueológico e historia tafonómica del rescate del sitio Estación XI Medanitos (Tinogasta, Catamarca, Argentina): una aproximación desde la arqueotanatología. *Revista Mundo de Antes* 15 (2):39-64.
- Fernández, J. y H.O. Panarello 1990. Isótopos en arqueología. I. 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. *Runa* 19 (1):47-58.
- Friedman, I., y J.R. O'Neil 1977. Compilation of stable isotope fractionation factors of geochemical interest. En *Data of Geochemistry*, editado por M. Fleischer, pp. 1-49. U.S. Geological Survey Professional Paper 440-KK.
- Garrido, F. y C. Morales 2020. Using oxygen 18 isotope to problematize the presence of resettled laborers in the far provinces of the Inca empire. *PLoS ONE* 15 (8):e0237532.
- Garrido, F., N. Ratto, C. Montero, J. De Stefano, C. Aranda y L. Luna 2023. Imperial ritual appropriation and violence: the severed heads from Fiambalá (Argentina) and Copiapó (Chile) valleys. *World Archaeology* 54 (3):464-476.
- Gil, A.F., G.A. Neme, R. Tykot, P. Novellino, V. Cortegoso y V. Durán 2009. Stable isotopes and maize consumption in central western Argentina. *International Journal of Osteoarchaeology* 19 (2):215-236.
- Gil, A.F., G.A. Neme, A. Ugan y R.H. Tykot 2014. Oxygen isotopes and human residential mobility in central western Argentina. *International Journal of Osteoarchaeology* 24 (1):31-41.
- Horton, T.W., F.D. William, A.K. Tripathi y C. Oze 2016. Evaporation induced ^{18}O and ^{13}C enrichment in lake systems: A global perspective on hydrologic balance effects. *Quaternary Science Reviews* 131 (Part B):365-379.
- Jobbágy, E.G., M.D. Nosetto, E. Villagra y R.B. Jackson 2011. Water subsidies from mountains to deserts: their role in sustaining groundwater-fed oases in a sandy landscape. *Ecological Applications* 21 (3):678-694.
- Lantos, I.J., E. Spangenberg, M.A. Giovannetti, N. Ratto y M.S. Maier 2015. Maize consumption in pre-Hispanic south-central Andes: microscopic and chemical evidence from organic residues in pottery from west Tinogasta (Catamarca, Argentina). *Journal of Archaeological Science* 55:83-99.
- McGuire, K. y J. McDonnell 2007. Stable isotope tracers in watershed hydrology. En *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science*, editado por R. Michener y K. Lajtha, pp. 334-374. Blackwell Publishing Ltd, Oxford.
- Mitas, L. y H. Mitasova 1999. Spatial Interpolation. En *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications*, editado por P. Longley, M.F. Goodchild, D.J. Maguire y D.W. Rhind, pp. 481-492. GeoInformation International, Wiley, Nueva York.
- Miyano, J.P. 2020. Estrategias de caza y pastoreo de camélidos entre las sociedades agropastoriles (ca. siglos IV a.C.-XVI d.C.) del oeste tinogasteño (Catamarca, Argentina). Una aproximación desde los isótopos estables. *Intersecciones en Antropología* 21 (1):17-28.
- Neme, G., L. Nagaoka, A. Gil, C. Otaola y E. Peralta 2018. $\delta^{18}\text{O}$ spatial pattern in Argentinean Centro Occidente waters: Rediscussing their potential to model human mobility in archaeological scale. *Libro de Resúmenes del III Taller de Arqueología e Isótopos en el Sur de Sudamérica*. 27. Pica, Iquique.

- Orgaz, M. y N. Ratto 2015. Estrategias de ocupación incaica en el sur del Noroeste Argentino (Departamento Tinogasta, Catamarca): la apropiación de paisajes sagrados y la memoria social. *Revista Ñawpa Pacha. Journal of Andean Archaeology* 35 (2):217-235.
- Ostera, H., C. Laprida, C. Dapeña y N. Ratto 2005. Caracterización hidroquímica e isotópica preliminar de aguas superficiales, Departamento Tinogasta, Catamarca, Argentina. Proxym paleoclimático. *Actas del XV Congreso Geológico Argentino III*:711-716. La Plata.
- Panarello, H.O., A. Tessone, V.A. Killian Galván, C.T. Samec, S. Kochi, M. Pirola, C. Chaile, S. Pérez, B.P. Sandoval, A.F. Zangrando, E. Ducos, N. Guida y N. Piperissa 2021. Treinta y cinco años de análisis de isótopos estables en la arqueología argentina: conceptos, fundamentos, metodología y aplicaciones. *Cuadernos del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano* 30 (1):1-41.
- Panarello, H.O., A. Tessone y F.A. Zangrando 2006. Isótopos estables en Arqueología: principios teóricos, aspectos metodológicos y aplicaciones en Argentina. *Xama* 19 (23):115-133.
- Pederzani, S. y K. Britton 2019. Oxygen isotopes in bioarchaeology: Principles and applications, challenges and opportunities. *Earth-Science Reviews* 188:77-107.
- Pellegrini, M., J. Pouncett, M. Jay, M. Parker Pearson y M.P. Richards 2016. Tooth enamel oxygen "isoscapes" show a high degree of human mobility in prehistoric Britain. *Scientific Reports* 6:1-9.
- Pezo-Lanfranco, L., P. Mut, J. Chávez, T. Fossile, A. Colonese y R. Fernandes 2024. South American Archaeological Isotopic Database, a regional-scale multi-isotope data compendium for research. *Scientific Data* 11 (336):1-26.
- Poca, M., M. Nosetto, S. Ballesteros, G. Castellanos y E. Jobbágy 2020. Isotopic insights on continental water sources and transport in the mountains and plains of Southern South America. *Isotopes in Environmental and Health Studies* 56 (5-6):586-605.
- Ratto, N.R. 2013. *Delineando Prácticas de la Gente del Pasado. Los Procesos Sociohistóricos del Oeste Catamarqueño*. Sociedad Argentina de Antropología, Buenos Aires.
- Ratto, N.R., L.H. Luna, C.A. Aranda, J.P. Miyano, I. Lantos, M. Takigami, M. Yoneda, H. Matsuzaki, F. Tokanai y A.F. Gil 2020. First results on diet and mobility of the agropastoral societies of western Catamarca, Argentina. *Quaternary International* 548:95-108.
- Serna, A., D.C. Salazar García y L.O. Valenzuela 2019. Back to the bases: Building a terrestrial water d¹⁸O baseline for archaeological studies in North Patagonia (Argentina). *Quaternary International* 548:4-12.
- Tessone, A., A.F. Zangrando, G. Barrientos, R.A. Goñi, H.P. Panarello y M. Cagnoni 2009. Stable isotope studies in the Salitroso Lake basin (Southern Patagonia, Argentina): Assessing diet of Late Holocene hunter-gatherers. *International Journal of Osteoarchaeology* 19:695-710.
- Turner, B.L. 2021. Residential mobility in the Inka sacred valley: oxygen, strontium, and lead isotopic analysis at Patallaqta, Peru. *Journal of Archaeological Science: Reports* 37:102930.
- Valero-Garcés, B., A. Delgado-Huertas, N. Ratto, A. Navas y L. Edwards 2000. Paleohydrology of Andean Saline Lakes from Sedimentological and Isotopic Records, Northwestern Argentina. *Journal of Paleolimnology* 24 (3):343-359.
- Valero-Garcés, B., N. Ratto, A. Moreno, A. Navas y A. Delgado-Huertas 2011. Los lagos del Altiplano de Atacama y el Noroeste Argentino como sensores de cambios hidrológicos durante el Holoceno. En *Escenarios de Cambio Climático: Registros del Cuaternario en América Latina*, editado por M. Caballero y B. Ortega Guerrero, pp. 185-208. Unión Mexicana de Estudios del Cuaternario (UMEC) y Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México D.F.
- Yurimoto, H. 2018. Oxygen isotopes. En *Encyclopedia of Geochemistry*, editado por W. White, pp. 1-7. Encyclopedia of Earth Sciences Series, Springer, Cham.

