



NUEVOS DATOS ACERCA DE LAS PRÁCTICAS MORTUORIAS DURANTE EL FORMATIVO EN QUEBRADA DEL TORO (SALTA, ARGENTINA) A PARTIR DEL USO DE MEB-EDX SOBRE UNA MUESTRA ÓSEA CON TINCIÓN VERDE

NEW DATA ABOUT MORTUARY PRACTICES DURING THE FORMATIVE PERIOD IN QUEBRADA DEL TORO (SALTA, ARGENTINA) USING SEM-EDX ON BONE SAMPLES WITH GREEN STAINING

María Eugenia De Feo¹

En este trabajo se dan a conocer los resultados del estudio arqueométrico de restos óseos humanos hallados en el sitio Tres Cruces I (Quebrada del Toro, Salta) del periodo Formativo Superior (400-1000 DC), que presentan una coloración verde intensa en su superficie. Los mismos son examinados mediante espectroscopía de rayos X de energía dispersiva y microscopio de barrido (MEB-EDX). También se indaga sobre la distribución de este fenómeno en los cuerpos y su representación en los diferentes sexos y grupos de edad. Los altos valores de cobre registrados en las muestras sugieren que dicha tinción pudo deberse al contacto postmortem de los huesos con piezas de este mineral, que no se han registrado in situ. Este fenómeno está presente en cuatro individuos, dos adultos y dos subadultos y se ubica mayormente en las extremidades superiores. La localización observada, en conjunto con otros registros del área, indica que pudo ser causado por el uso funerario de brazaletes de cobre, colocados en la zona del antebrazo en individuos adultos y juveniles, tanto masculinos como femeninos.

Palabras claves: espectroscopía de rayos X, microscopio de barrido, huesos verdes, cobre, periodo Formativo.

This work presents the results of an archeometric study of human skeletal remains found at the Tres Cruces I site from the Upper Formative Period (AD 400-1000), which exhibit an intense green coloration on their surface. The remains were examined using energy dispersive X-ray spectroscopy and a scanning microscope (SEM-EDX). The study also presents an analysis and discussion of the distribution of this phenomenon in bodies and its representation in different sexes and age groups. The high values of copper recorded in the samples suggest that the staining could be due to the postmortem contact of the bones with objects/artifacts made from this mineral, which have not been recorded in situ. The phenomenon is present in four individuals, two adults and two sub-adults, and is mostly concentrated in the upper extremities. The observed location, together with other records from the area, indicate that it could have been caused by the postmortem use of copper bracelets, placed on the forearms, in adults and juveniles, both male and female.

Key words: X-ray spectroscopy, scanning microscope, colored bones, copper, Formative period.

El sitio Tres Cruces I está ubicado en el extremo norte de la Quebrada del Toro (Salta, Argentina). Posee alrededor de 270 estructuras de variada morfología y tamaño, destinadas a la vivienda y a la producción agrícola (De Feo 2014). En el año 2007 se llevaron a cabo excavaciones en un recinto circular semisubterráneo de unos 7 m de diámetro, la estructura E3, cuyos contextos permiten inferir que se trató de una vivienda parcialmente techada donde se realizaron actividades domésticas que incluyeron el almacenamiento, molienda y cocción de alimentos, la talla lítica, la manufactura cerámica y el procesamiento

de pigmentos, entre otras. Por debajo del piso de ocupación se hallaron 20 enterratorios, mayormente primarios (a excepción del entierro secundario A), simples (A, A1, A2, B, C, D, F, G, H, I, J, K, M, N, N1, P, P1 y Q) o múltiple no simultáneos (L y O), que incluían un conjunto de 24 individuos en el que están representados ambos sexos y diferentes rangos etarios (De Feo 2012) (Figura 1). Los fechados obtenidos para el fogón de la estructura y los entierros G y M, sitúan su ocupación en el periodo Formativo Superior (400-1000 DC) (Tabla 1), a la vez que confirman que el recinto continuó siendo utilizado como espacio

¹ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) - División Arqueología, Museo de La Plata, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina. eugeniadefeo@yahoo.com.ar, ORCID ID: 0000-0002-4619-6921

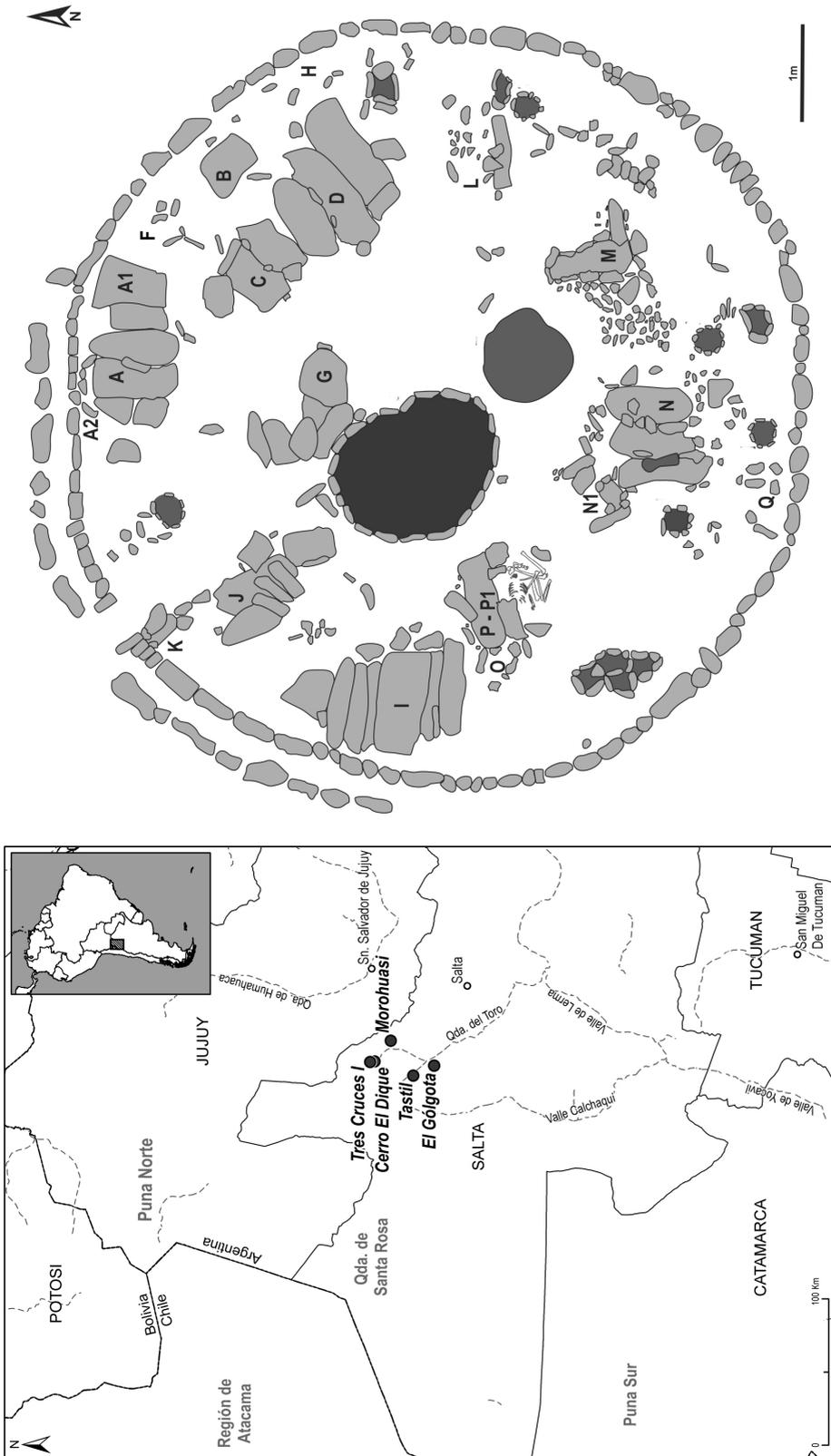


Figura 1. Área de estudio y contextos de procedencia de las muestras estudiadas. Las letras corresponden a cada enterratorio. Study area and contexts of the analyzed samples. The letters correspond to each burial.

Tabla 1. Fechados de la estructura E3 de Tres Cruces I (calibrado con Calib 8.1.0 usado en conjunción con Stuiver y Reimer 1993).

Tres Cruces I - E3 dates (calibrated using Calib 8.1.0 in conjunction with Stuiver and Reimer 1993).

Procedencia	Material	Edad C14 convencional	Edad Calibrada 1 σ	Edad Calibrada 2 σ	Código Laboratorio
Entierro M	Óseo humano	1320 \pm 80 AP	669 - 868nAD	637-969 AD	LP-2066
Fogón	Carbón vegetal	1380 \pm 80 AP	637 - 830 AD	551-887 AD	LP-2038
Entierro G	Óseo humano	1500 \pm 60 AP	544 - 649 AD	435-676 AD	LP-3389

doméstico con posterioridad a su uso funerario. La presencia en el piso de la vivienda y en entierros de piezas cerámicas del tipo chileno Negro Pulido de San Pedro de Atacama, así como fragmentos del estilo Candelaria III (Molleyaco-Choromoro) de las Selvas Occidentales argentinas, asignables ambos a la segunda mitad del primer milenio DC, respaldan los fechados radiocarbónicos obtenidos y permiten estimar la cronológica de los contextos aún no datados. Además de las piezas cerámicas, los cuerpos se presentaban acompañados por manos y morteros, puntas de proyectil líticas, cuentas de minerales, esculturas líticas, objetos de hueso, contenedores y pigmentos¹.

Durante la excavación se advirtió la presencia de una tinción verde en algunas partes esqueléticas de cinco individuos, dos adultos, L1 y L2 (del entierro L) y tres subadultos, L3, P y O1 (del entierro L, P y O respectivamente), asociada en todos los casos a la desarticulación anatómica parcial de los cuerpos. Sin embargo, esta coloración no estaba presente en los sedimentos adyacentes a los huesos ni se hallaron asociados objetos que pudieran ser el motivo evidente de este fenómeno, a excepción del cuerpo O1, que fue hallado junto a una cuenta metálica. A fin de evaluar la posible causa de la tinción en los restos óseos de los otros cuatro individuos, se llevaron a cabo análisis en un espectrómetro de rayos X de energía dispersiva adosado a un microscopio de barrido (MEB-EDX). Además, se indagó sobre su localización en los diferentes cuerpos donde fue registrada y si estaba asociada con individuos de determinado sexo o grupo etario y tipo deformativo craneano.

Antecedentes

La presencia de huesos con tinción verde es frecuentemente asociada en la bibliografía al contacto postmortem de los individuos con materiales metálicos de cobre o bronce, así como también con las características sedimentológicas del contexto de depositación (Armentano et al. 2014; Balázs et al. 2018; Zapata Osorio 2012).

Los altos valores de metales (Cu, Fe) obtenidos en restos anatómicos humanos a partir de análisis físico-químicos también suelen atribuirse a procesos diagenéticos (Armentano et al. 2014; Fialová et al. 2017; Güner et al. 2011; Zimmermann y Yıldırım 2007), más que a hábitos en vida de las personas, justamente porque las concentraciones de dichos minerales en huesos y dientes son altamente sensibles al entorno (Djingova et al. 2004; Lambert et al. 1984; Millard 2006; Yusuf et al. 2013).

En momentos prehispánicos, el entierro de individuos acompañados por objetos de cobre ha sido recurrente en el área Andina desde fechas muy tempranas (Arriaza 1995; Cortés y Scattolin 2017; González 1979; González 2007; Núñez et al. 2006; Scattolin et al. 2005), mientras que piezas manufacturadas en aleaciones intencionales de este mineral con estaño, arsénico, y arsénico y níquel, se presentan de manera frecuente a partir de la segunda mitad del primer milenio DC (González y Gluzman 2009; Macfarlane y Lechtman 2016; Shimada 1994; Shimada y Craig 2013; Vetter Parodi 2011).

Pese a la recurrencia del fenómeno en el área Andina Meridional, son escasas las referencias

bibliográficas sobre la presencia de huesos con tinción verde como resultado del contacto postmortem con objetos metálicos de cobre o bronce. Scattolin et al. (2010) mencionan carbonatos de cobre que resultan en una coloración verdosa en huesos asociados a una máscara de este mineral hallada en la Tumba 1 del sitio Bordo Marcial (Catamarca, Argentina), datada en 1398–1054 años AC (Scattolin et al. 2010). También para el Noroeste argentino, Seldes (comunicación personal, 2022) informa la existencia de huesos con coloración verde en colecciones procedentes del sitio Ojo de Agua o Morohuasi, en Quebrada del Toro, aunque más tardío que Tres Cruces I (ca. 1000-1420 DC). En la vertiente occidental de los Andes, este fenómeno fue registrado en momias Chinchorro de sitios como Pisagua Viejo y Patillos (ca. 5000-1000 AC), y se sugiere pudo ser consecuencia de la corrosión de delgadas láminas de cobre usadas como ornamentos faciales o de los suelos ricos en este material (Arriaza 1995). También Núñez (2006) hace referencia a tres cráneos con una coloración verde en tumbas tardías (ca. 950-1450 DC) en el oasis de Pica, al norte de Chile, que, según el autor, fue causada por piezas de cobre que habrían sido sustraídas en un tiempo cercano al presente.

En la Quebrada del Toro la presencia de objetos de cobre fue registrada en sitios del Formativo Inferior (700 AC-400 DC). Cigliano et al. (1976) informan al hallazgo de piezas manufacturadas sobre cobre nativo por martillado en excavaciones de la aldea Cerro El Dique. Objetos de cobre y bronce, tales como cinceles, cuchillos, punzones y pinzas, fueron recuperados en recintos, basurales y entierros del sitio Santa Rosa de Tastil, del periodo Tardío e Inka (1000-1536 DC) (Boman 1908; Cigliano 1973). Boman (1908) halla en Morohuasi, un sitio contemporáneo al último, en el sector del cementerio, dos cinceles y una placa de cobre perforada. Raffino (1972) también menciona para Morohuasi cinceles de cobre en la Tumba 1. Para el Formativo Superior (400-1000 DC), periodo al que corresponden los contextos analizados en este trabajo, la información sobre prácticas funerarias proviene exclusivamente de los sitios Tres Cruces I y El Gólgota, y solo el primero de ellos fue excavado sistemáticamente. Ambrosetti (1904) y Boman (1908) publican dos ornamentos corporales de cobre hallados en el sitio El Gólgota. Mientras que, en Tres Cruces I, como se mencionó antes, solo se recuperó, asociado al entierro O, una cuenta circular de cobre. No se han hallado, por otra parte, objetos metálicos en contextos domésticos o en basurales de estos dos sitios. Tampoco

se tiene conocimiento para el Formativo Superior de piezas manufacturadas en aleaciones de cobre.

Dado que en el caso analizado la tinción no es generalizada, sino que se presenta restringida a algunas partes anatómicas, particularmente en los miembros superiores, y que el sedimento no mostró esta misma coloración, nos inclinamos a pensar que el color verde podría deberse al contacto con objetos metálicos que no se conservaron in situ.

A fin de corroborar si esta tinción en huesos podía deberse a la presencia de carbonatos de cobre producto de la oxidación de piezas de este material, se decidió llevar a cabo análisis físico-químicos. La técnica utilizada fue la espectroscopía de rayos X de energía dispersiva (EDX), junto con un microscopio de barrido electrónico (MEB o SEM en inglés). Esta técnica, aplicada sobre material óseo humano, ha demostrado gran potencial para generar información sobre su composición y sobre los hábitos en vida y muerte de las personas, tales como dieta, exposición a minerales y acompañamientos mortuorios, entre otros (Akeson et al. 1994; Fialová et al. 2017). En el área Andina Meridional ya cuenta con algunos antecedentes de su utilización sobre materiales depositados sobre restos humanos, por ejemplo, para la determinación de pigmentos rojos en la piel (Silva-Pinto et al. 2013) o materiales arcillosos que recubren las momias de la tradición Chinchorro (Arriaza et al. 2012).

Por otra parte, se analizó el patrón de distribución de dicha coloración en los huesos y su ocurrencia en los diferentes grupos de sexo y edad, con el fin de inferir qué tipo de objeto pudo ser el causante, y de vislumbrar posibles regularidades en los patrones de inhumación relacionados con este fenómeno en el sitio Tres Cruces I durante el Formativo Superior.

Materiales y Métodos

Como se mencionó, los estudios se llevaron a cabo a partir de la combinación del uso de microscopio de barrido electrónico y análisis de espectroscopía de rayos X de energía dispersiva, lo que hizo posible obtener imágenes de las muestras y su composición elemental. Se optó por este análisis por tratarse de una técnica no invasiva, de sencilla preparación de las muestras y que brinda alta especificidad en los resultados (Meizel-Lambert 2012).

Dicho estudio consiste en dirigir un haz de electrones que incide sobre la muestra generando la dispersión de energía. Por un lado, el microscopio electrónico de barrido lleva a cabo una visualización de

todos los rayos X y crea una imagen de gran aumento que, asimismo, permite una aproximación precisa al sitio donde se concentran los elementos específicos que se desea cuantificar. Por otro, los detectores del espectrómetro de rayos X de energía dispersiva capturan en un único espectro, la radiación emitida a diferentes longitudes de onda y simultáneamente por todos los elementos que componen la muestra. Estos sensores crean un histograma de ese espectro e identifican cada elemento detectado según la posición de los picos y por las intensidades relativas según energías de excitación conocidas. Finalmente, esta información se semicuantifica, expresándose en el porcentaje atómico y el peso relativo (wt%) de cada elemento registrado en la muestra (Barrientos et al. 2016; Scimeca et al. 2018).

En el conjunto funerario excavado en Tres Cruces I, cinco individuos presentaron algunos de sus huesos con tinción verde: L1, L2 y L3 (entierro L), P (entierro P) y O1 (entierro O). Todas las muestras óseas analizadas proceden del entierro L (Figura 2) e incluyen huesos

con y sin tinción, de un tamaño reducido impuesto por las limitaciones del equipamiento: un radio derecho con tinción verde (Muestra 1) y un metatarso izquierdo sin tinción (Muestra 5), ambos del individuo L2; un hueso escafoides derecho con tinción verde (Muestra 3) y una falange distal de la mano izquierda sin tinción (Muestra 4) del individuo L1. Además, se analizó la cuenta hallada en el entierro O (Muestra 2) (Figura 3a) y sedimento adyacente al entierro L, que fue recolectado durante la excavación (Muestra 6).

Los estudios se llevaron a cabo en dos etapas. El análisis de las muestras 1 y 2 se efectuó en el Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas (Cindecá-CONICET) de La Plata y se empleó un microscopio electrónico de barrido marca Philips Scanning Electron Microscope 505 y un detector EDS marca EDAX de ventana ultrafina (UTW). Las muestras 3 a 6 fueron analizadas en el Laboratorio de Investigaciones de Metalurgia Física (LIMF-CONICET-Facultad de Ingeniería, UNLP) y se utilizó un microscopio electrónico de barrido



Figura 2. Muestras analizadas con MEB-EDX: radio derecho con tinción (Muestra 1) y metatarso izquierdo sin tinción (Muestra 5) del individuo L2; escafoides derecho con tinción (Muestra 3) y falange distal izquierda sin tinción (Muestra 4) del individuo L1.

Samples analyzed using SEM-EDX: right radius with staining (Sample 1) and left metatarsus without staining (Sample 5) of individual L2; right scaphoid with staining (Sample 3) and left distal phalanx without staining (Sample 4) of individual L1.

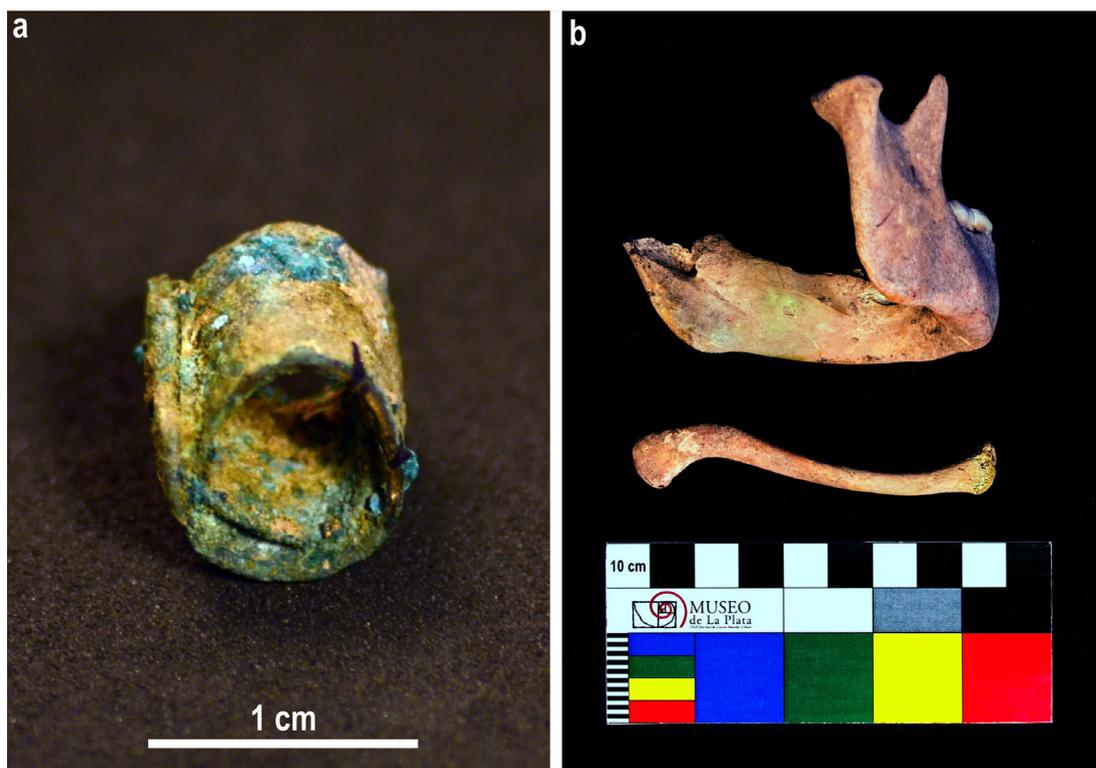


Figura 3. (a) Muestra 2 (cuenta de cobre); (b) mandíbula y clavícula con tinción verde en individuo O1.
 (a) Sample 2 (copper bead); (b) mandible and clavicle with green staining in individual O1.

ambiental FEI ESEM Quanta 200 con detector modelo Oxford SDD X-Act.

Las muestras se montaron directamente, excepto el sedimento (Muestra 6), que se sujetó mediante cintas de carbono de doble cara. En ambas instancias se trabajó en bajo vacío (entre 0,1 y 1 Torr), lo que permitió analizar las muestras de baja conductividad eléctrica, como los huesos y el sedimento, sin la necesidad de metalizarlas (Goodhew et al. 2001). Es decir, que en todos los casos fueron analizadas sin cubierta ya que se trata de la opción no destructiva que, asimismo, permite registrar los elementos presentes y su semicuantificación (Fialová et al. 2017). Se optó por un voltaje de aceleración de 25 kV que aseguró la excitación de los elementos pesados sin penetrar completamente la muestra, considerando que la gran mayoría de los materiales que componen el hueso poseen bajos pesos atómicos, entre 1 y 20 u (Meizel-Lambert 2012).

Se midió la composición elemental para cada muestra. Para la Muestra 2, la cuenta de cobre, se tomaron tres mediciones a distinta profundidad. Para

la Muestra 1, a diferencia de las otras, la diáfisis del radio fue levemente pulida en un área de alrededor de 1 cm². En la Muestra 3 la medición se realizó en la concavidad del hueso carpiano que presentaba una marcada coloración verde; en la Muestra 4, en un sector medio de la falange; y en la Muestra 5, en la diáfisis del metatarso. Finalmente, para la Muestra 6, correspondiente al sedimento, se tomaron dos mediciones: una que incluía toda la ventana y otra más puntual, de forma tal que se eliminara en la medición el carbono de la cinta de doble cara.

Resultados de los Análisis MEB-EDX

En la Tabla 2 se presentan los espectros elementales obtenidos para las distintas muestras óseas analizadas. En todas ellas se detectaron calcio, fósforo y oxígeno, minerales constituyentes mayoritarios de los huesos, que conforman la hidroxiapatita. Los valores obtenidos para el calcio rondan entre el 19 y el 26 wt% y los del fósforo entre el 8 y el 11 wt%, hallándose dentro de los parámetros registrados en análisis similares (Akesson

Tabla 2. Composición elemental en las muestras óseas 1, 3, 4 y 5.
Elemental composition for bone samples 1, 3, 4, and 5.

	Muestra 1	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Elementos	wt %			
Ca	26,09	22,54	19,27	3,96
O	33,92	42,51	51,03	56,99
C	14,80	16,57	14,33	-
P	10,87	8,03	9,3	1,08
K	0,72	0,26	0,36	3,49
S	1,27	0,81	1,35	0,45
Mg	0,43	0,27	0,24	1,48
Mn	-	-	0,15	0,24
Zn	-	-	-	-
Al	1,16	0,31	0,71	8,48
Si	2,51	0,79	1,34	18,81
Fe	0,75	0,37	0,37	4,18
Cu	5,85	7,31	0,70	-
Cl	0,44	0,22	0,36	0,00
Na	1,18	-	0,50	0,51
Ti	-	-	-	0,33

et al. 1994), a excepción de la Muestra 5 que mostró bajos valores de calcio y fósforo (3,96 y 1,08 wt%), posiblemente debido a procesos diagenéticos y al mayor peso relativo de otros elementos (ver adelante). Además, se identificaron carbono, sílice, aluminio, azufre, potasio, hierro, cobre, magnesio, zinc, manganeso, cloro, sodio y titanio. Varios de estos elementos, como el sílice, el aluminio, el hierro, el magnesio y el titanio, posiblemente se deban a las arcillas del contexto de entierro, ya que están presentes en la muestra de sedimento (ver adelante) y poseen los valores más altos en la Muestra 5, la cual registra mayor cantidad de residuo en superficie. En varios espectros se registró también cloro y sodio, como consecuencia de las sales adheridas a la muestra, que son frecuentes en todo el conjunto. Mientras que en las muestras 4 y 5 se observó manganeso, lo cual puede explicar la presencia de manchas de coloración negra, tanto en huesos humanos como en los conjuntos arqueofaunísticos. Los espectros elementales de las muestras 1, 3 y 4 (esta última sin coloración) mostraron la presencia de cobre en concentraciones entre 0,7% y 7,31 wt%. En cambio,

la Muestra 5, que al igual que la Muestra 4 no posee tinción, no arrojó cobre en su composición.

La Tabla 3 detalla los tres espectros obtenidos para la cuenta metálica (Muestra 2). En todos ellos se registró una composición dominante de cobre, seguida por plomo; de este último elemento, se desconoce si fue agregado intencionalmente o se presenta de forma natural en la fuente de aprovisionamiento. Dado que la muestra no recibió ningún tratamiento previo, los análisis de EDX indican la presencia de oxígeno y carbono, producto de la corrosión superficial del material de cobre, como así también, de sílice, magnesio y cloro, que pueden provenir del entorno de depositación.

Finalmente, en los dos espectros obtenidos para la muestra de sedimento se observó la presencia de oxígeno, sílice, aluminio, hierro, magnesio, manganeso, azufre, titanio, sodio y cloro, además de potasio, calcio y fósforo (Tabla 4). En el espectro 1, el carbono está sobrerrepresentado debido a la composición de la cinta de sujeción, error que fue eliminado en el espectro 2. Además, este segundo espectro arrojó cobre, aunque en valores muy bajos (0,08 wt%).

Tabla 3. Composición elemental de la Muestra 2, cuenta hallada en el entierro O. Se presentan los tres espectros elementales.

Elemental composition for Sample 2, bead found in burial O, showing the three elemental spectra.

Elemento	Muestra 2-1	Muestra 2-2	Muestra 2-3
	wt%		
O	15,97	15,39	-
Mg	4,79	5,55	-
Cl	7,74	7,18	-
Cu	55,09	54,21	69,86
Pb	16,4	17,66	15,64
C	-	-	14,5

Discusión de los Resultados de MEB-EDX

Además de su matriz orgánica, los huesos humanos se componen de hidroxiapatita: $[Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2]$, junto a sales y oligoelementos menores que son incorporados en vida (Meizel-Lambert 2014). Carbono, calcio, fósforo, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, cloro, potasio, sodio, azufre y magnesio son elementos esenciales, aunque los huesos están constituidos también por aluminio, hierro, cobre, plomo, estroncio, zinc, flúor, cadmio y cobalto, entre otros (Lyengar y Tandon 1999).

Dicha composición elemental e isotópica de los huesos está influenciada por la dieta, aunque también se ve afectada por procesos postmortem. Luego de la muerte de los individuos, como consecuencia de la interacción con el medio circundante, es posible que la representación de varios oligoelementos aumente o disminuya a causa de la erosión o la lixiviación, e incluso que otros minerales se adicione al hueso, produciendo cambios en su composición y en sus características físicas. Esto ocurre, por ejemplo, con el cobre. Este mineral es un componente vital para el funcionamiento y metabolismo del cuerpo humano, por lo que se halla presente en la matriz ósea, aunque en muy baja proporción (Byrne y Parris 1987), pero además puede incorporarse al hueso como resultado del contacto peri y postmortem con objetos de cobre o de aleaciones que lo contengan (Carvalho et al. 2004; Güner et al. 2011). La humedad y el dióxido de carbono resultantes de la descomposición de los cuerpos favorece la oxidación de los objetos de

Tabla 4. Composición elemental de la Muestra 6 (sedimento). Se presentan los dos espectros obtenidos.

Elemental composition for the Sample 6 (sediment), showing the two obtained elemental spectra obtained.

Elemento	Muestra 6-1	Muestra 6-2
	wt %	
C	-	24,61
O	57,52	50,26
Mg	1,77	1,02
Al	8,2	4,9
Si	21,17	11,76
K	3,4	1,77
Ca	2,71	1,8
Fe	3,58	2,61
P	0,66	0,33
Ti	0,34	0,21
S	-	0,06
Mn	-	0,08
Na	0,45	0,41
Cl	0,17	0,1
Cu	-	0,08

cobre y la formación de carbonatos de este mineral, conocidos como pátina; esta última se deposita sobre el hueso o se incorpora al mismo a través de los espacios porosos (Zapata Osorio 2012). La diagénesis es capaz también de alterar la hidroxiapatita, así como la concentración de elementos de la fracción inorgánica ósea (Carvalho et al. 2004; Lambert et al. 1984; Rasmussen et al. 2019; Yusuf et al. 2013). En este proceso, el cobre sustituye al calcio de los huesos, en cuyo caso se obtiene una coloración verde más grisácea, a diferencia de la depositación del carbonato de cobre que resulta en un color verde intenso o azulado (Zapata Osorio 2012).

Balázs et al. (2018:687) realizan una síntesis bibliográfica de las concentraciones de cobre obtenidas por métodos variados, como la fluorescencia de rayos X (FRX), la espectroscopía de absorción atómica (AAS), o la espectrometría de masas con fuente de plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS), en huesos y tejidos blandos de restos humanos momificados. Cabe destacar que dichas técnicas, a

diferencia de la aplicada en este trabajo, permiten identificar y cuantificar elementos presentes en concentraciones muy inferiores al 0,1 % detectable por EDX. No obstante, brindan un panorama general de la presencia de cobre en muestras óseas, que según se aprecia en la literatura, es inferior al 0,00238 wt% (Balázs et al. 2018:687). Como se desprende de la Tabla 2, el presente estudio mostró concentraciones muy superiores a los valores normales, e incluso a las registradas en estudios de ICP-AES (espectroscopía de emisión atómica con fuente de plasma de acoplamiento inductivo) sobre restos óseos con tinción verde en cuerpos momificados por presencia de cobre en forma de objetos, que rondan entre el 1,74 y el 3,99 wt% (Balázs et al. 2018:690).

La Muestra 1, que corresponde al radio del individuo L2 con una coloración verde intensa en su superficie, mostró valores de cobre de 5,85 wt%. La Muestra 3, el carpiano del individuo L1, también de color verde, presentó valores superiores, de 7,31 wt%. Por su parte, la Muestra 4 de este último individuo, si bien no posee tinción, tiene una concentración de cobre considerablemente superior a lo normal, de 0,7 wt%. Es preciso aclarar que los valores arrojados corresponden a una semicuantificación, es decir, permiten conocer el peso relativo de los elementos presentes en cada muestra ósea, los cuales varían en función de la edad de las personas, sus hábitos en vida, e incluso, pueden ser afectados por procesos diagenéticos actuando diferencialmente en distintos huesos o porciones de los mismos (Byrne y Parris 1987), o según las características del entorno o de los objetos presentes en este (tamaño, estructura, composición, proximidad y tiempo de contacto con el hueso). Por tal motivo los porcentajes obtenidos no son comparables en términos absolutos. Sin embargo, los valores de cobre registrados en los diferentes espectros de las muestras 1, 3 y 4 enseñan concentraciones cientos de veces superiores a los parámetros observados en restos humanos que son mencionados en la bibliografía de referencia. Estos resultados apuntan entonces, a la incorporación postmortem de cobre en los huesos analizados.

La Muestra 6 de sedimento, si bien evidenció la presencia de cobre en uno de los espectros (0,08 wt%), su concentración es muy inferior a la de los huesos, por lo que no puede explicar los altos porcentajes observados en los últimos. El hecho de que no se hayan registrado trazas de cobre en la Muestra 5, correspondiente al hueso metatarsiano del pie del individuo L2, respalda la interpretación de que este

mineral hallado en las restantes muestras óseas no proviene del suelo.

Una vez determinado que la coloración verde se debe a la presencia, en gran concentración, de cobre en el material óseo y se descarte la posibilidad de que este fenómeno sea causado por la composición elemental del sedimento y su filtración hacia los huesos, se explora la hipótesis de que la tinción sea consecuencia del contacto con objetos de este metal, aunque los mismos no se hayan conservado in situ.

Localización de la Tinción Verde en el Conjunto Osteológico

Como se hizo referencia en un principio, la localización de la tinción verde no es homogénea en el conjunto óseo bajo estudio, como tampoco lo es la presencia de trazas de cobre según se determinó por EDX. Es interesante remarcar la correlación entre una mayor presencia de cobre y una tinción más intensa de la superficie ósea de las muestras 1 y 3, y el registro de trazas del mineral en partes anatómicas sin coloración (Muestra 4) pero próximas a las teñidas. Esta distribución no generalizada es coherente con un patrón generado por contacto postmortem con objetos de cobre (Balázs et al. 2018; Carvalho et al. 2004; Güner et al. 2011; Scattolin et al. 2010; Zapata Osorio 2012).

Cercana al área del cuello de uno de los individuos del entierro O, el subadulto O1, se halló una cuenta de cobre (Muestra 2) que explica la presencia de una mancha de color verde en su mandíbula y clavícula. No obstante, este el único caso del conjunto funerario de Tres Cruces I que poseía un objeto de cobre asociado.

A continuación, se describen las características de los diferentes entierros donde se registró la tinción verde y se analiza la localización anatómica de este fenómeno en los cuerpos², considerando, además, sexo, edad y tipo deformativo craneano de los individuos. En el apartado final se sintetiza la información brindada y se propone una interpretación acerca del tipo de objetos que pudo causar la coloración registrada, así como también, sobre los motivos por los cuales no fueron hallados in situ.

Entierro O

Consiste en un entierro primario de tipo múltiple, no simultáneo, que contenía dos niños, uno de ellos de entre 3,5 y 4 años (O1) parcialmente completo y

articulado, con deformación craneana tabular erecta; y otro de 4 años (O2) representado exclusivamente por un cráneo, también con deformación del tipo tabular erecta. El primero presentó una mancha verde en la cara interna del cuerpo de la mandíbula, en su lado izquierdo, y en la extremidad medial de la clavícula derecha (Figura 3; Tabla 5), huesos que se encontraban próximos a la cuenta de cobre.

Entierro L

Otro entierro donde está presente la coloración verdosa en huesos es el L, pero en este, a diferencia del anterior, no se hallaron objetos de cobre. Se trata de un entierro múltiple primario que incluye dos individuos adultos masculinos (L1 y L2), restos parciales de un subadulto juvenil femenino (L3) y dos subadultos, uno de ellos perinato y el otro infantil. Todos ellos parecen haber sido enterrados en sucesivos eventos, lo cual se infiere de la ausencia de algunos elementos anatómicos y de su desarticulación.

El individuo L2, adulto masculino, se halló en posición genuflexa apoyado sobre su lado derecho y en dirección N-S. Presentó signos de deformación craneana, aunque esta no puede ser asignada a los tipos definidos. El individuo posee una coloración verde en el cúbito y radio derechos, tanto en la cara anterior como posterior de las diáfisis y las epífisis distales, aunque la tinción no se extiende por las carillas articulares con los carpos (Figura 4; Tabla 5). Estos dos huesos se encontraban desarticulados

parcialmente y no estaban presentes, por ejemplo, la mayoría de los huesos de las manos, parte de la pelvis, costillas derechas, rótulas y otros elementos óseos de miembros inferiores del lateral derecho (fémur, tibia, peroné y huesos del pie). Ubicado de forma transversal, por encima de su esternón, se encontró el cuerpo del subadulto perinato, el cual no mostró tinción verde en sus huesos.

Por debajo del individuo L2, alineado a este, se halló el cuerpo de L1, con su cráneo dispuesto a la altura de la cadera del primero. Entre ambos, sobre la pelvis de L1 se encontraba el subadulto infantil que tampoco estaba teñido. El individuo L1 se disponía en posición genuflexa, también con orientación N-S y apoyado sobre su lateral derecho. Se trata de un individuo masculino adulto, con deformación craneal tabular erecta. Las partes anatómicas afectadas en su coloración son: cuatro costillas, tres derechas y una izquierda, que presentan una suave tinción verde en la superficie exterior del extremo anterior; la epífisis distal del húmero derecho, tanto en su cara anterior como posterior; cúbito y radio derechos, los cuales poseen en toda su extensión un fuerte color verde en ambas caras, mientras que en cúbito y radio izquierdos la tinción es más suave y se presenta también en las dos caras, pero es más intensa en las diáfisis y la articulación con la mano. Las dos manos están teñidas de verde, con mayor intensidad en la derecha que tiene afectados en cara anterior y posterior carpos, metacarpos y falanges, excepto las distales que en su mayoría no están presentes; los huesos de la mano

Tabla 5. Individuos que presentan tinción verde. Se detalla sexo y edad, deformación craneana y partes anatómicas afectadas.
Individuals with green staining, detailing sex and age, cranial deformation, and affected anatomical parts.

Individuo	Edad	Sexo	Deformación craneana	Partes anatómicas verdes
O1	Niño	ND	Tabular erecta	Mandíbula y clavícula derecha
L2	Adulto	Masculino	No asignable	Cúbito y radio derechos
L1	Adulto	Masculino	Tabular erecta	Costillas, húmero derecho, cúbito y radio derechos (más intenso) e izquierdos, manos derecha (más intenso) e izquierda
L3	Juvenil	Femenino	Sin cráneo	Húmero izquierdo
P	Juvenil	Femenino	Sin cráneo	Cúbito, radio derechos (más intenso) e izquierdos, manos derecha e izquierda (más intensa)

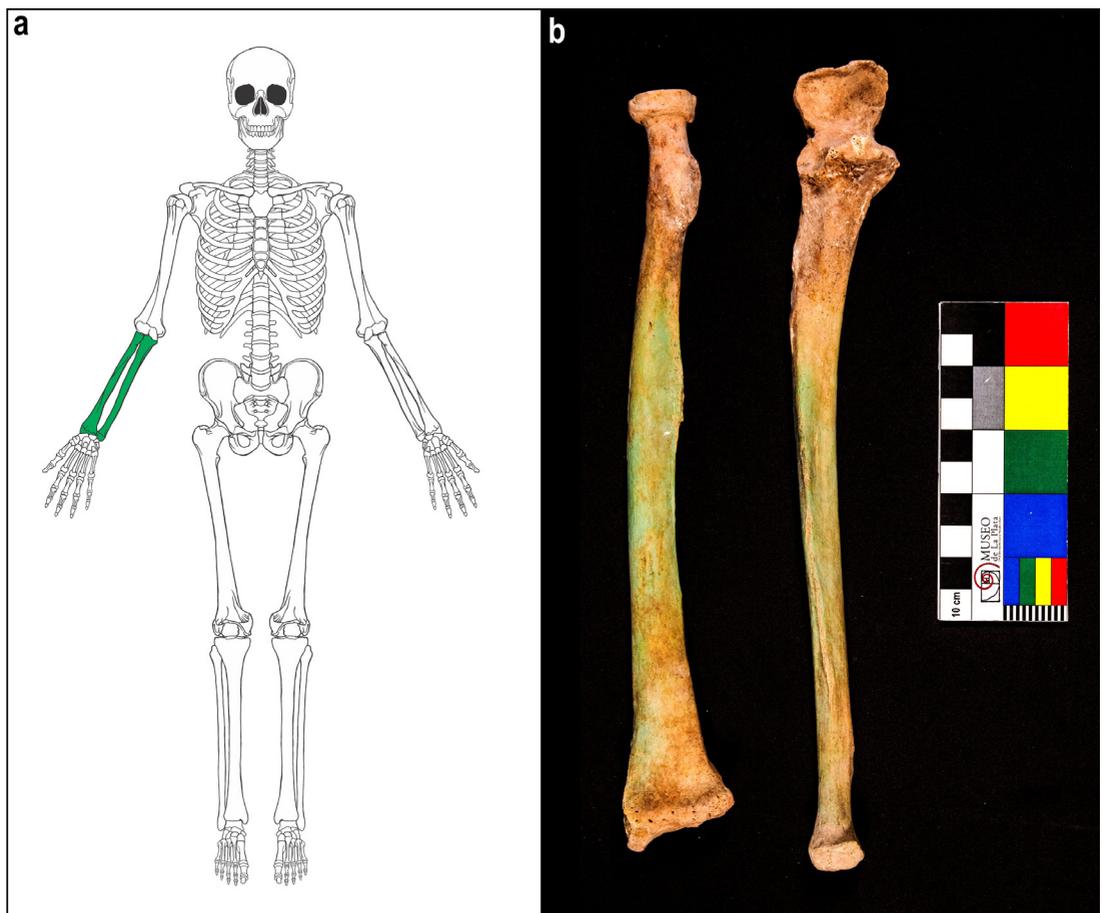


Figura 4. (a) Distribución de los huesos con tinción verde en el individuo L2; (b) cúbito y radio derechos con tinción verde.
 (a) *Distribution of bones with green staining in individual L2.* (b) *Right ulna and radius with green staining.*

izquierda enseñan un color muy suave en ambas caras, en carpos, metacarpos y falanges, sin embargo, en algunas falanges medias el color es intenso, y las distales pueden o no presentar tinción (Figura 5; Tabla 5). Durante la excavación se observó que las partes anatómicas teñidas no se encontraban en su posición original, y algunos huesos, como clavículas y escápula y otros de miembros inferiores (tibia y peroné derechos y huesos de ambos pies), estaban ausentes.

Por último, se hallaron en esta misma fosa los restos parciales de un individuo femenino juvenil (L3), del cual no está clara su posición original, ya que se conservan solamente algunas pocas piezas como cadera, coxis y húmero izquierdo, este último está teñido de forma marcada en la epífisis distal (Figura 6; Tabla 5).

Entierro P

El restante entierro donde se recuperaron huesos con coloración verde es el P (Figura 7; Tabla 5). Se trata de un individuo juvenil femenino, en posición genuflexa, sin cráneo. También es un entierro primario, pero a diferencia de otros de la estructura, se halló a pocos centímetros del piso de ocupación, colocado sobre la cámara del entierro P1 y donde debía ir su cráneo se ubicó la fosa del entierro O. Inicialmente se propuso que los tres entierros podían corresponder a una inhumación de tipo múltiple por el uso compartido de algunas de las paredes de las tumbas (De Feo 2012), sin embargo, una revisión de la evidencia, principalmente la ausencia y remoción de partes esqueléticas, indicaría que se trata de eventos sucesivos, que comenzarían con el

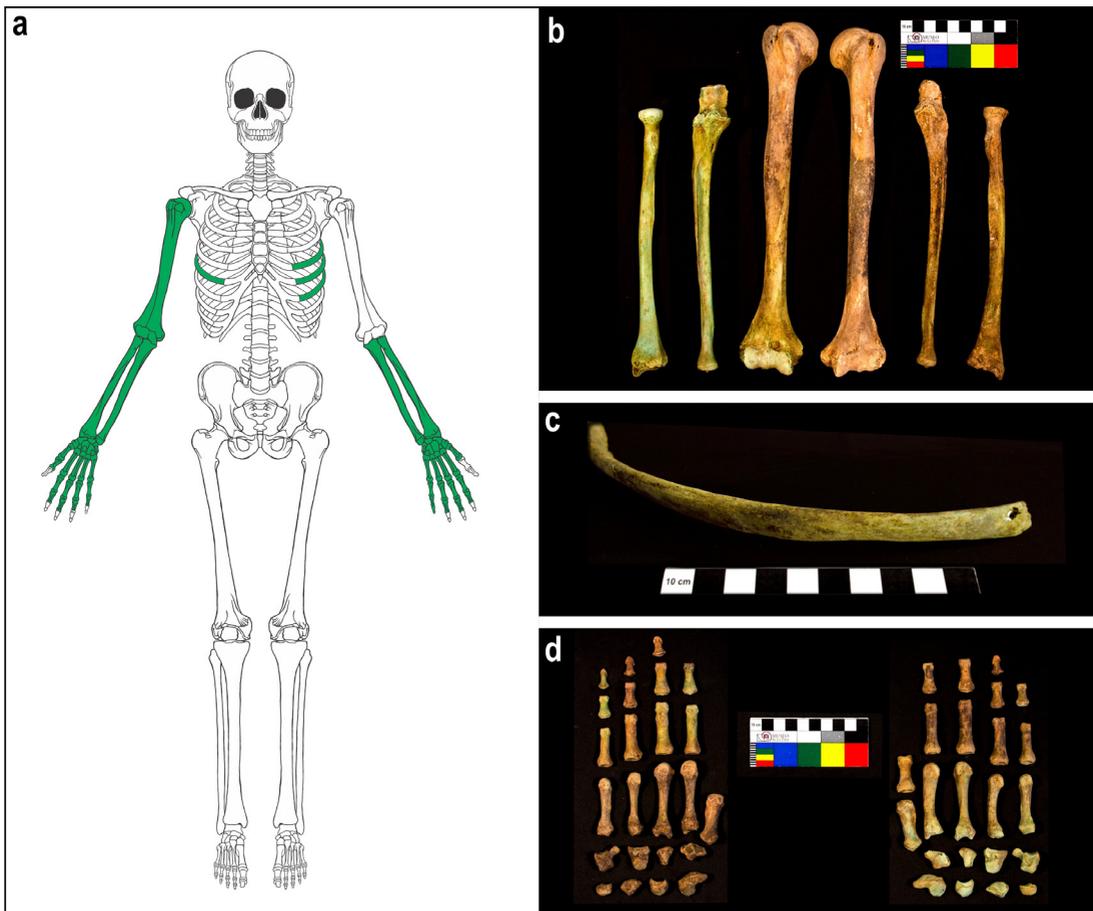


Figura 5. (a) Distribución de los huesos con tinción verde en individuo L1; (b) húmero derecho, cúbitos y radios con tinción verde; (c) costilla derecha con tinción verde; (d) manos derecha e izquierda con tinción.

(a) *Distribution of bones with green staining in individual L1; (b) right humerus, ulna, and radius with green staining; (c) right rib with green staining; (d) right and left hands with staining.*

entierro P1, seguidos por el P y posteriormente el O que, como se mencionó, también incluye dos cuerpos enterrados en diferentes momentos.

En este caso la tinción aparece en las diáfisis de cúbito y radio derechos, casi imperceptible en el primero y fuerte en el último, de ambos lados; en cúbito y radio izquierdos el color verde se registra en la diáfisis y en la epífisis distal, llegando hasta las caras articulares; en la mano derecha se conservan solo algunos huesos. Los carpianos hallados (escafoides y ganchoso) no presentan coloración, aunque algunos metacarpos poseen un tono verdoso claro (cuarto y quinto). Los carpianos del lateral izquierdo son de un verde intenso; metacarpianos y falanges también están teñidos. Este individuo carece de otras partes anatómicas además del cráneo, y algunas estaban

desarticuladas y desplazadas, entre ellas el húmero y otros huesos de los miembros superiores.

Síntesis de los Resultados y Conclusiones

Los resultados obtenidos de los análisis de EDX respaldan la hipótesis de que la tinción verde es consecuencia de la depositación e incorporación de carbonatos de cobre en las partes anatómicas estudiadas. Se propone que estos procesos diagenéticos ocurrieron en momentos postmortem, como resultado de la presencia de piezas de cobre como acompañamiento funerario de los cuerpos. Se desecha la posibilidad de que las trazas de cobre y la coloración verdosa resulten de la infiltración del mineral desde el suelo, ya que la muestra de sedimento presentó muy bajo porcentaje

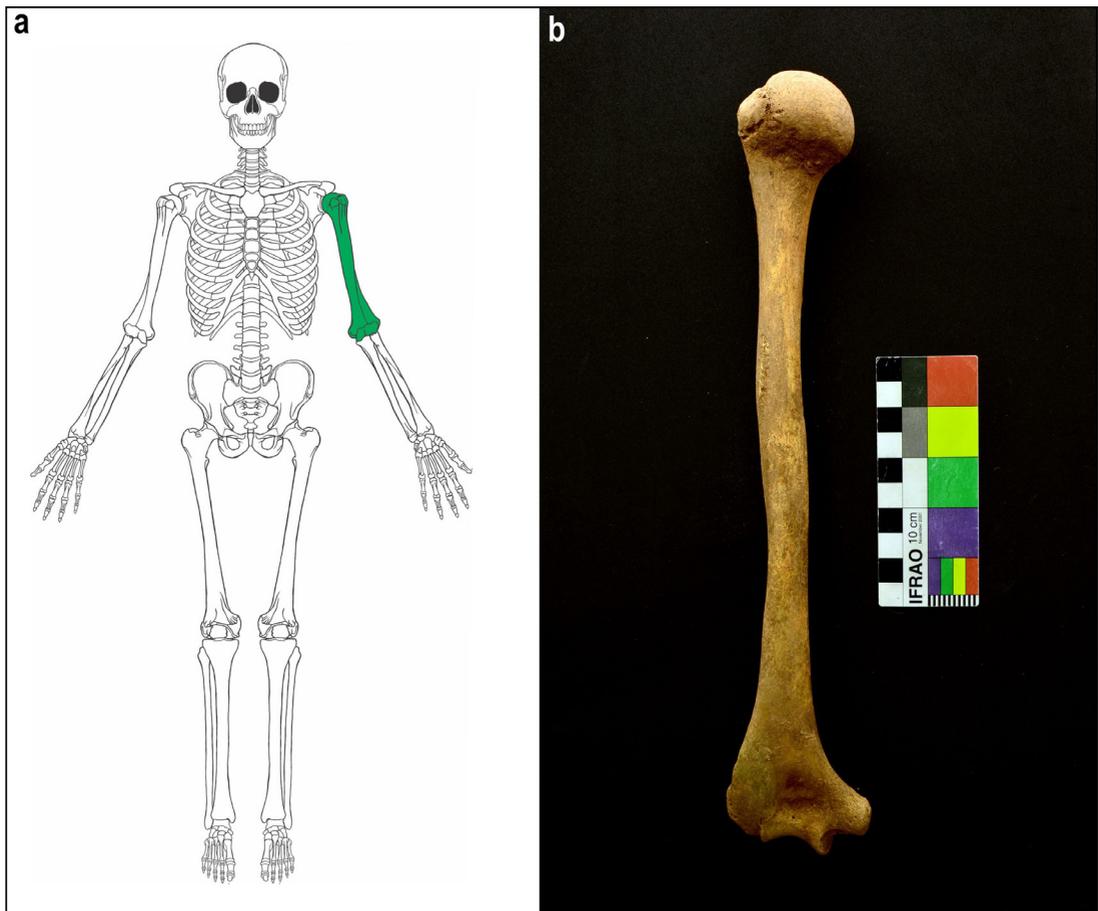


Figura 6. (a) Distribución de los huesos con tinción verde en individuo L3; (b) húmero izquierdo con tinción verde.
(a) *Distribution of bones with green staining in individual L3; (b) left humerus with green staining.*

en uno de los espectros analizados, mientras que en el segundo, está ausente. Asimismo, la ausencia de trazas de cobre en la muestra ósea 5, así como el patrón no homogéneo de distribución de la tinción en los cuerpos, respaldan la hipótesis de que el mineral debió transferirse a los huesos a partir de objetos. Por último, el hecho de que los sedimentos adyacentes a los huesos no presentaran coloración verdosa, ni cobre en su composición, apunta a que estos objetos metálicos fueron retirados, descartando su posible descomposición.

Por otra parte, la ausencia de trazas de arsénico o estaño en los resultados obtenidos se presenta acorde a las prácticas metalúrgicas registradas para el periodo Formativo Superior en Quebrada del Toro (De Feo 2014), donde predomina el uso del cobre nativo, sin aleaciones intencionales.

La realización de estudios sobre láminas transversales de los huesos afectados permitiría

dimensionar con mayor precisión la manera en que los carbonatos de cobre del entorno interactuaron con el material bioantropológico bajo análisis y, por ejemplo, conocer la profundidad a la que penetró el compuesto mineral en cada muestra. Sin embargo, estos estudios de tipo destructivos no necesariamente aportarán información nueva y relevante al objetivo propuesto en este trabajo, que es determinar la causa de la tinción verde en huesos. Los altos valores de cobre registrados en las muestras 1, 3 y 4 avalan una incorporación postmortem, y la observación macroscópica y mediante MEB muestra la presencia de cobre en poros e intersticios, señalando que no es un fenómeno superficial y que, por el contrario, el mineral ha penetrado algunos milímetros la porción cortical del hueso. No es posible afirmar, basado en los resultados del EDX, si el cobre ha reemplazado parcialmente al calcio de los huesos, ya que el tipo de análisis realizado solo permite la cuantificación

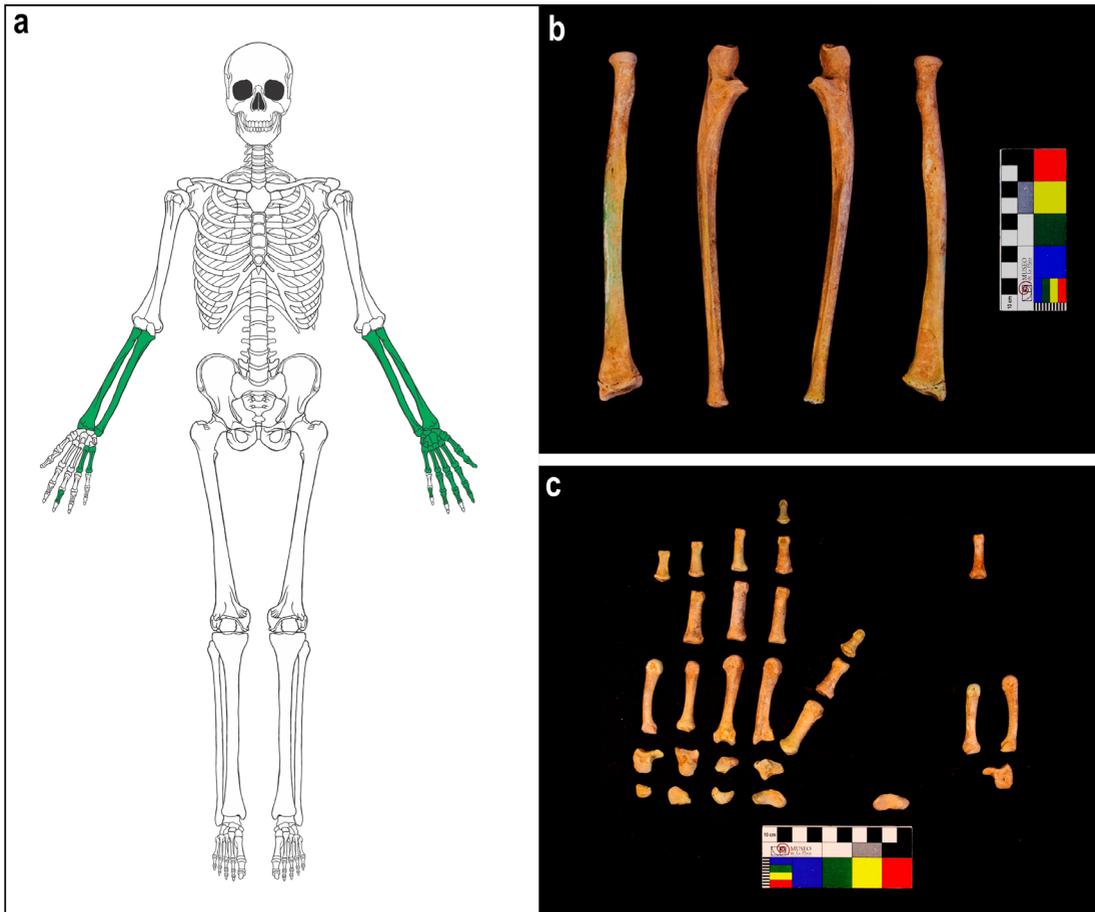


Figura 7. (a) Distribución de los huesos con tinción verde en individuo P; (b) cúbitos y radios con tinción verde; (c) manos con tinción verde.

(a) Distribution of bones with green staining in individual P; (b) ulnae and rays with green staining; (c) hands with green staining.

relativa de cada elemento, y como se ha mencionado anteriormente, estos valores pueden variar de acuerdo a los procesos diagenéticos, que actúan de manera desigual dependiendo del tamaño, forma, porosidad, etc., de cada pieza ósea (Boaz y Behrensmeyer 1976). Es decir, que valores inferiores de calcio no necesariamente serían consecuencia de este reemplazo. No obstante, la coloración verde clara más grisácea observada en la Muestra 3, coincidente con los valores más altos de cobre registrados, según se sugiere en la bibliografía (Zapata Osorio 2012), podría indicar la sustitución parcial del calcio de la hidroxiapatita por el cobre.

Si bien el conjunto analizado es acotado para establecer generalizaciones para el periodo, la información existente a la fecha indica que no existe una relación estricta entre la aparición de manchas verdes en huesos y determinado sexo o grupo etario. Este fenómeno ha sido registrado en adultos y

subadultos de ambos sexos. Tampoco parece haber relación con el tipo de deformación craneana, ya que está presente en individuos con deformación tabular erecta, pero también en otro tipo no asignable a las modalidades preestablecidas.

Los elementos anatómicos afectados, en cambio, sí muestran algunas diferencias según el grupo etario considerado (Tabla 5). Por ejemplo, la tinción verde se presenta en el individuo infantil O1 en mandíbula y clavícula, mientras que en adultos y juveniles (L1, L1, L3 y P) aparece predominantemente en las extremidades superiores, con mayor intensidad en cúbito y radio, y solo afecta de modo leve a los huesos más próximos a estos, o que estuvieron en contacto con ellos como resultado de la posición de entierro, tales como el húmero, las manos y las costillas.

Con respecto a la lateralidad, la tinción verde se registra de manera más intensa en huesos derechos

(Tabla 5). En los individuos L1 y P, que presentan ambos cúbitos y radios teñidos, la coloración es siempre más intensa en dicho lateral. En L1, además, se ve afectado el húmero derecho y la tinción de la mano derecha es más fuerte. En el individuo L2, que también poseía ambos cúbitos y radios, solo los derechos están teñidos de color verde. Y en L3, el lado afectado es el izquierdo (húmero) pero en este caso no se hallaron otros huesos contralaterales.

En el individuo O1 sabemos que la tinción de la mandíbula y clavícula se dio por contacto con una cuenta de cobre que, posiblemente por la ubicación, correspondía a un collar³. Los análisis de EDX realizados sobre dicho artefacto confirmaron su composición predominante de cobre.

No se han hallado en Tres Cruces I, en contextos domésticos o de descarte, otras piezas utilitarias o de uso corporal que permitan proponer cómo fueron los objetos que no se conservaron in situ y que causaron la tinción en los huesos hallados en los entierros L y P, aunque la evidencia procedente de otros sitios de la quebrada y de distintos sectores del Noroeste argentino aporta información sobre el asunto.

El patrón distributivo de la tinción observado en individuos adultos o juveniles L1, L2, L3 y P -que se concentra en miembros superiores, y es más intenso en cúbitos y radios- podría deberse al entierro con algún tipo de objeto similar a una pulsera o brazaletes. Al respecto, Boman (1908:figura 54) menciona para el sitio El Gólgota un cuerpo que presentaba tres brazaletes de cobre in situ sobre el cúbito y radio de un individuo que interpreta como femenino. Este sitio se ubica más al sur en la Quebrada del Toro, y posee contextos cerámicos similares y del mismo periodo que Tres Cruces I. Lamentablemente no hace referencia a la presencia de tinción verde en los huesos hallados. Tampoco se cuenta con mayor información sobre el contexto en el que fue recuperada, en El Gólgota, una pieza de cobre muy deteriorada que publicó Ambrosetti (1904:figura 39), quien propone también podría tratarse de un brazaletes. El uso de este tipo de objetos y de anillos de cobre como acompañamiento funerario, y como objetos de uso cotidiano, se reitera en sitios de la segunda mitad del primer milenio DC de los Valles Calchaquíes (p.ej., El Bañado y Lampacito), también en asociación con individuos juveniles y adultos (Cortés 2022) y en la Quebrada de Humahuaca (p.ej., Til 22 y Flores) (Seldes y Gheggi 2016). En este sentido, la información de Tres Cruces I amplía las evidencias sobre el uso extendido de brazaletes durante el Formativo Superior y respalda

su asociación con individuos adultos y subadultos juveniles propuesta para otros sectores del Noroeste argentino (Cortés 2022).

Los análisis realizados también posibilitaron delinear la forma en que se configuraron los diferentes espacios de inhumación estudiados. La presencia y ausencia de tinción en los cuerpos de los entierros aquí analizados, conjuntamente con la información obtenida en excavación sobre la representación de diferentes partes esqueléticas y la localización de estos hallazgos, aportaron elementos para conocer con mayor precisión la forma en que se sucedieron los distintos eventos de entierro. La ausencia de varios huesos y la desarticulación observada en miembros superiores de los esqueletos con tinción verde L1, L2, L3 y P sugieren que los objetos de metal fueron retirados al realizar nuevas inhumaciones (o quizás previamente) y que el lapso entre un entierro y otro debió ser bastante extenso como para permitir la reducción esquelética de los primeros cuerpos. Es posible que el individuo L1 fuera desarticulado durante la apertura de la fosa para inhumar los cuerpos del subadulto infantil o de individuo L2. Este último fue afectado durante la inhumación del subadulto perinato ubicado sobre su pecho, mientras que el cuerpo del individuo P sufrió la desarticulación en la apertura de la tumba O, que además tuvo como consecuencia la remoción del cráneo. El hecho de que no se registre sedimento verdoso próximo a los huesos es coherente con la reapertura de las tumbas, la remoción de piezas de cobre, la desarticulación de partes esqueléticas, el entierro de nuevos individuos y el cierre posterior de las mismas.

En suma, los resultados alcanzados permitieron inferir la secuencia de entierros y sugerir, a grandes rasgos, un lapso considerable necesario para la reducción esquelética el que deberá ser afinado a partir de nuevos fechados.

Recordemos que en el conjunto analizado la tinción verde en huesos solo está presente en entierros primarios múltiples sucesivos en una misma estructura o tumba (entierros L y O) o que han sido disturbados por nuevas inhumaciones cercanas (entierro P), los únicos del conjunto que presentaron partes esqueléticas parcialmente desarticuladas; o en el caso de las manos, por ejemplo, pueden faltar carpos, metacarpos o falanges. La presencia de objetos de cobre -o de evidencias indirectas de estos como son los huesos verdes- en entierros múltiples con individuos incompletos o desarticulados también fue registrada en sitios de la Quebrada del Toro posteriores al primer

milenio DC, como Morohuasi (Raffino 1972; Seldes comunicación personal, 2022; Soria et al. 2016). Si bien la evidencia es acotada en la actualidad y se requieren muestras numéricamente más grandes y de análisis sistemáticos de los contextos, la remoción de piezas de cobre y la desarticulación de partes esqueléticas al reutilizar los espacios de entierro parecieran ser prácticas que perduran en el tiempo.

Se concluye que el estudio desarrollado hizo posible reconstruir algunos aspectos de la historia tafonómica del conjunto de entierros de Tres Cruces I. Los análisis físico-químicos sobre restos bioarqueológicos, y del contexto, brindaron información sobre artefactos del conjunto que no se hallaron en excavación, así como también, aportaron a la interpretación de las prácticas relacionadas con la muerte durante el periodo Formativo Superior en Quebrada del Toro.

Asimismo, los resultados alcanzados testimonian el potencial del uso conjunto de MEB-EDX para el estudio de restos óseo humano, que en arqueología ya cuenta con copiosos antecedentes de aplicación sobre distintas materialidades (p.ej., metales, pigmentos, arcillas, etc.), y que como otros investigadores han señalado antes, se trata de una tecnología relativamente

accesible (Barrientos et al. 2016). En este trabajo se ha contribuido a explicar la presencia de la tinción verde observada en contextos funerarios del sitio Tres Cruces I, no obstante, este es un fenómeno que se presenta con relativa frecuencia en colecciones bioantropológicas del Noroeste argentino⁴, y que no ha sido abordado de forma sistemática en el pasado. Profundizar en su caracterización físico-química, así como conocer su ocurrencia en el espacio y a través del tiempo, nos permitirá ofrecer interpretaciones más precisas acerca de su ocurrencia.

Agradecimientos. Estos estudios fueron financiados con los siguientes proyectos: PPID UNLP N/036 y PICT 2027 ANPCYT. Quisiera agradecer a la Lic. Azpeitia y a las Dras. Boneto y Canafoglia por los análisis realizados; a las Dras. Cortés y Simoneto; a los Dres. Plischuk, Desántolo y García Mancuso por las determinaciones bioantropológicas; a Luciano Vercesi y al Lic. Gobbo por las imágenes; a las comunidades de Tres Cruces y las autoridades del Museo de Antropología de Salta, y a los evaluadores por sus sugerencias. No obstante, todo lo expresado es responsabilidad de la autora.

Referencias Citadas

- Akesson, K., M.D. Grynpras, R., G.V. Hancock, R. Odselius y K.J. Obrant 1994. Energy-dispersive X-ray microanalysis of the bone mineral content in human trabecular bone: A comparison with ICPEs and neutron activation analysis. *Calcified Tissue International* 55:236-239.
- Ambrosetti, J.B. 1904. El bronce en la Región Calchaquí. *Anales del Museo Nacional de Buenos Aires* Tomo XI:163-314.
- Armentano, N., X. Jordana y A. Malgosa 2014. Estudio tafonómico e interpretación del gesto funerario de los restos óseos de la Cova de Montanissell (Alt Urgell, Lleida). *Trabajos de Prehistoria* 71 (1):156-172.
- Arriaza, B.T. 1995. Chinchorro bioarchaeology: Chronology and mummy seriation. *Latin American Antiquity* 6 (1):35-55.
- Arriaza, B.T., L. Cornejo, H. Lienqueo, V.G. Standen, C.M. Santoro, N. Guerra, J. Van Hoesen y M. Santos 2012. Caracterización química y mineralógica de los materiales grises de los cuerpos chinchorro modelados. *Chungara Revista de Antropología Chilena* 44 (1):177-194.
- Balázs, J., Z. Bereczki, A. Bencsik, G.V. Székely, L. Paja, E. Molnár, A. Fogl, G. Galbács y G. Pálfi 2018. Partial mummification and extraordinary context observed in perinate burials: a complex osteoarchaeological study applying ICP-AES, μ XRF, and macromorphological methods. *Archaeological and Anthropological Sciences* 10:685-695.
- Barrientos, G., M. Sarmiento y P. Galligani 2016. Evaluación de la diagénesis ósea mediante el uso de microscopía electrónica de barrido (MEB): Aproximaciones analíticas aplicables a muestras arqueológicas. *Revista Argentina de Antropología Biológica* 18 (2): <https://dx.doi.org/10.17139/raab.2016.0018.02.03>.
- Boaz, N.T. y A.K. Behrensmeyer 1976. Hominid taphonomy: Transport of human skeletal parts in an artificial fluvial environment. *American Journal of Physical Anthropology* 45:53-60.
- Boman, E. 1908. *Antiquités de la Région Andine de la République Argentine et du Désert d' Atacama*. Tome Second. Imprimerie Nationale, París.
- Byrne, K.B. y D.C. Parris 1987. Reconstruction of the Diet of the Middle Woodland Amerindian Population at Abbott Farm by Bone Trace-Element Analysis. *American Journal of Physical Anthropology* 74 (3):373-384.
- Carvalho M.L., A.F. Marquesa, M.T. Lima y U. Reuse 2004. Trace elements distribution and post-mortem intake in human bones from Middle Age by total reflection X-ray fluorescence. *Spectrochim Part B: Atomic Spectroscopy* 59:1251-1257.
- Cigliano, E. 1973. *Tastil: Una Ciudad Preincaica Argentina*. Ediciones Cabargón, Buenos Aires.
- Cigliano, E., R. Raffino y H. Calandra 1976. Nuevos aportes para el conocimiento de las entidades alfareras más tempranas

- del noroeste argentino. *Revista Relaciones, Nueva Serie* Tomo VI:225-236.
- Ciprian Quispe, J. y H. Gayoso Rullier 2022. Catacresis funeraria: uso de objetos de metal como artilugios en tumbas chimúes en Huaca de la Luna, costa norte de Perú. *Boletín del Museo Chileno de Arte Precolombino* 27 (2):111-127.
- Cortés, L.I. 2022. Objetos de uso corporal del período Formativo en el sur de los Valles Calchaquíes. *Estudios Atacameños. Arqueología y Antropología Surandinas* 68:e5082. doi:10.22199/issn.0718-1043-2022-0021
- Cortés, L.I. y M.C. Scattolin 2017. Ancient metalworking in South America: A 3000-year-old copper mask from the Argentinian Andes. *Antiquity* 91 (357):688-700.
- De Feo, M.E. 2012. Prácticas funerarias en el sitio formativo tardío Tres Cruces I, Quebrada del Toro, Salta, Argentina (Siglo V al X DC). *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología* 37 (1):43-64.
- De Feo, M.E. 2014. Paisajes aldeanos de la Quebrada del Toro, Salta, durante el Período Formativo tardío (s. V al IX d. C.). *Revista de la Escuela de Historia* 13 (2): http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1669-90412014000200002&lng=es&tlng=es.
- Djingova, R., B. Zlateva y I. Kuleff 2004. On the possibilities of inductively coupled plasma mass spectrometry for analysis of archaeological bones for reconstruction of paleodiet. *Talanta* 63 (3):785-789.
- Fialová, D., R. Skoupý, E. Drozdová, A. Paták, J. Piňos, L. Šín, R. Beňuš y B. Klíma 2017. The Application of Scanning Electron Microscopy with Energy-Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDX) in Ancient Dental Calculus for the Reconstruction of Human Habits. *Microscopy and Microanalysis* 23 (6):1207-1213.
- González, A. R., 1979. La metalurgia precolombina del NOA. Secuencia histórica y proceso cultural. *Actas Jornadas del Noroeste*, pp. 88-136. Universidad del Salvador, Buenos Aires.
- González, L. 2007. Tradición tecnológica y tradición expresiva en la metalurgia prehispánica del noroeste argentino. *Boletín del Museo Chileno de Arte Precolombino* 12 (2):33-48.
- González, L. y G. Gluzman 2009. Innovación y continuidad en la metalurgia del Noroeste argentino. *Mundo de Antes* 5:187-210.
- Goodhew P.J., J. Humphreys y R. Beanland 2001. *Electron Microscopy and Analysis*. Taylor & Francis, Londres.
- Güner, C., V. Aliyev, D. Atamtürk, I. Duyar y T. Söylemezoğlu 2011. Retention of Zn, Cu, Cd, Pb, and As on human bones unearthed at a Central Anatolian Early Bronze Age excavation site (Resuloğlu, Turkey). *Eurasian Journal of Anthropology* 2 (1):27-39.
- Lambert, J. B., S.V. Simpson, C.V. Szpunar y J.E. Buikstra 1984. Copper and Barium as Dietary Discriminants: The Effects of Diagenesis. *Archaeometry* 26 (2):131-138.
- Lyengar, G.V. y L. Tandon 1999. *Minor and Trace Elements in Human Bones and Teeth*. NAHRES-39 Report, International Atomic Energy Agency, Viena.
- Macfarlane, A. y H.N. Lechtman 2016. Andean Ores, Bronze Artifacts, and Lead Isotopes: Constraints on Metal Sources in Their Geological Context. *Journal of Archaeological Method and Theory* 23 (1):1-72.
- Meizel-Lambert, C.J. 2012. *Chemical Differentiation of Human Osseous, Non-human Osseous, and Non-osseous Materials using Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-ray Spectrometry (SEM/EDX) and Multivariate Statistical Analysis*. Thesis Master of Arts, Department of Anthropology, University of Central Florida, Orlando.
- Millard A. 2006. Comment on Martínez-García et al. "Heavy metals in human bones in different historical epochs". *The Science of the Total Environment* 354 (2-3):295-297.
- Núñez, L. 2006. La orientación minero-metalúrgica de la producción atacameña y sus relaciones fronterizas. En *Esferas de Interacción Prehistóricas y Fronteras Nacionales Modernas: los Andes Sur Centrales*, editado por H. Lechtman, pp. 205-251. Instituto de Estudios Peruanos de Lima e Institute of Andean Research, Lima-New York.
- Núñez, L., I. Cartajena, C. Carrasco, P. De Souza y M. Grosjean 2006. Emergencia de comunidades pastoralistas formativas en el sureste de la Puna de Atacama. *Estudios Atacameños* 32:93-117.
- Raffino, R. 1972. Las sociedades agrícolas del Período Tardío en la Quebrada del Toro y alrededores (Pcia. de Salta, Argentina). *Revista del Museo de La Plata. Nueva serie. Tomo VII. Antropología* 45:157-221.
- Rasmussen, K.L., G. Milner, L. Skytte, N. Lynnerup, J.L. Thomsen y J.L. Boldsen 2019. Mapping diagenesis in archaeological human bones. *Heritage Science* 7 (41): doi.org/10.1186/s40494-019-0285-7
- Scattolin, M.C., M.F. Bugliani, L.I. Cortés, L. Pereyra Domingorena y M. Calo 2010. Una máscara de cobre de tres mil años. Estudios arqueometalúrgicos y comparaciones regionales. *Boletín del Museo Chileno de Arte Precolombino* 15 (1):25-46.
- Scattolin, M.C., M.F. Bugliani, L. Pereyra Domingorena y L.I. Cortés 2005. La Señora de los Anillos, entre otras tumbas presantamarianas de Yocavil. *Intersecciones en Antropología* 6:29-41.
- Scimeca, M., S. Bischetti, H. Kaur Lamsira, R. Bonfiglio y E. Bonanno 2018. Energy dispersive X-ray (EDX) microanalysis: A powerful tool in biomedical research and diagnosis. *European Journal of Histochemistry* 62 (1):2841. doi: 10.4081/ejh.2018.2841.
- Seldes, V. y S. Gheggi 2016. Prácticas mortuorias en Quebrada de Humahuaca ca. 500-1550 AD. *Andes. Antropología e Historia* 27: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1668-80902016000200005&lng=es&tlng=es.
- Shimada, I. 1994. Prehispanic metallurgy and mining in the Andes: Recent advances and future tasks. En *In Quest of Mineral Wealth: Aboriginal and Colonial Mining and Metallurgy in Spanish America*, editado por A.K. Craig y R. West, pp. 37-73. Geoscience Publications, Dept. of Geography and Anthropology, Louisiana State University, Baton Rouge.
- Shimada, I. y A. Craig 2013. El estilo, la tecnología y la organización de minería y metalurgia de Sicán, Norte del Perú: Perspectivas del estudio holístico. *Chungara Revista de Antropología Chilena* 45 (1):3-31.
- Silva-Pinto, V., D. Valenzuela y M. Sepúlveda 2013. Osteoartritis poliarticular en Chinchorro. Revisión de un caso y discusión sobre el autocuidado en la prehistoria de Arica, norte de Chile. *Revista Médica de Chile* 141 (5):644-650.
- Soria, S., P. Mercolli, C. Macoritto, F. López, M. Durán y N. Aguilar 2016. Un mundo que vuelve: nuevos resultados en el sitio

Ojo de Agua, Quebrada del Toro, Salta. Trabajo presentado en el *XIX Congreso Nacional de Arqueología Argentina*, Tucumán.

Stuiver, M. y P.J. Reimer 1993. Extended 14C data base and revised CALIB 3.0 14C age calibration program. *Radiocarbon* 35 (1):215-230.

Vetter Parodi, L. 2011. El status quo de la tecnología metalúrgica en la costa central y norte del Perú durante el periodo Intermedio Tardío. *Arqueología y Sociedad* 23:133-157.

Yusuf, I., S. Kaya, O. Erdem, C. Akay, C. Kural, B. Soykut, O. Başoğlu, Y. Şenyurt, C. Kılıç y C. Temiz 2013. Paleodietary Analysis of Human Remains from a Hellenistic-Roman Cemetery at Camihöyük, Turkey. *Journal of Anthropology* 2013: Article ID 534186- <https://doi.org/10.1155/2013/534186>

Zapata Osorio, S. 2012. *El Conocimiento de las Poblaciones del Pasado a través de los Restos Óseos: Presencia de Manchas de Óxido de Cobre y su Posible Relación con el Sexo del Individuo en Poblaciones Hispanomusulmanas*. Proyecto de Fin de Carrera Biología evolutiva y Biodiversidad, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid.

Zimmermann, T. y T. Yildirim 2007. Land of Plenty? New archaeometric insights into Central Anatolian Early Bronze Age metal consumption in funeral contexts. *Antiquity Project Gallery* 81 (314): <http://www.antiquity.ac.uk/projgall/zimmerman314/> (Acceso 16 de abril de 2020).

Notas

¹ Para mayor detalle de los contextos funerarios aquí analizados puede consultarse De Feo 2012.

² Una nueva evaluación del conjunto descartó la presencia de tinción verdosa en huesos del individuo J que se mencionaba en De Feo 2012, siendo esta de color gris o negro, probablemente debido al manganeso.

³ Otra posibilidad es que la cuenta se hallara dentro de la boca del individuo como existe registro en la costa del Perú (Ciprian Quispe y Gayoso Rullier 2022).

⁴ Si bien las referencias bibliográficas sobre la presencia de huesos con tinción verde en colecciones bioantropológicas del Noroeste argentino son limitadas, como se ha mencionado en los antecedentes, varios colegas comentan su hallazgo en colecciones de museos y excavación: en Salvatierra (Valle Calchaquí, Salta) y en Flores (Quebrada de Humahuaca, Jujuy) (Seldes comunicación personal, 2022); y en Ingenio del Arenal (Catamarca) (Pereyra Domingorena comunicación personal, 2021). Todos ellos sitios del periodo Formativo (ca. 1000 AC-1000 DC).