

# Arqueometría de materiales constructivos en tierra de la aldea de Palo Blanco (Catamarca, Argentina)

Gisela Spengler y Norma Ratto

Recibido 18 de febrero 2020. Aceptado 28 de mayo 2020

## RESUMEN

En el presente trabajo se dan a conocer los resultados de distintos estudios arqueométricos llevados a cabo sobre muestras de materiales constructivos en tierra correspondientes a vestigios de tapia, concreciones, derrumbe y sedimentos de control. Estos proceden de la aldea de Palo Blanco, ubicada en el valle de Fiambalá (departamento de Tinogasta, Catamarca, Argentina), cuyo desarrollo se extendió a lo largo del primer milenio de la era. Los análisis consideraron la composición química y mineralógica, así como la determinación de diversas propiedades físicas y mecánicas. Estas tareas se realizaron con el objetivo de contribuir a caracterizar los materiales y las técnicas constructivas, a fin de comprender mejor las decisiones tecnológicas involucradas en la selección de materias primas y la preparación de las mezclas. Finalmente, se discuten los resultados obtenidos en función de estudios similares realizados sobre materiales constructivos en tierra provenientes de otras áreas del sudoeste catamarqueño y del noroeste riojano que presentan gran afinidad tanto regional como cronológica.

**Palabras clave:** Arquitectura con tierra; Técnicas constructivas; Tapia; Primer milenio de la era; Catamarca.

## ABSTRACT

ARCHAEOLOGY OF EARTHEN BUILDING MATERIALS FROM PALO BLANCO VILLAGE, CATAMARCA, ARGENTINA. This paper presents the results of archaeometric studies carried out on samples of earthen building materials corresponding to rammed earth, concretions, collapsed walls, and control sediments from Palo Blanco village, Fiambalá Valley, Department of Tinogasta, Catamarca, Argentina, which was occupied throughout the first millennium AD. Chemical and mineralogical composition were analyzed and physical and mechanical properties determined. The objective of the study was to contribute to the characterization of building techniques and the understanding of technological choices involved in raw material selection and preparation. The results obtained are discussed based on similar studies carried out on earthen building materials from other areas of southwestern Catamarca and northwest La Rioja.

**Keywords:** Earthen architecture; Building techniques; Rammed earth; First millennium of the Era; Catamarca.

## INTRODUCCIÓN

La aldea de Palo Blanco (APB) se emplaza sobre el fondo de valle del sector norte del valle de Fiambalá, departamento de Tinogasta, Catamarca,

Argentina. Si bien actualmente el ambiente local presenta condiciones desérticas y se encuentra rodeado de grandes acumulaciones de arena, los estudios paleoambientales han informado que el escenario físico con el cual interactuaron las

Gisela Spengler. Instituto de Arqueología, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires (UBA)- CONICET. 25 de Mayo 217, 3er. piso, Oficina I (CP C1002ABE), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. E-mail: giselaspengler@gmail.com  
Norma Ratto. Instituto de las Culturas (IDECU), CONICET - Universidad de Buenos Aires (UBA), Facultad de Filosofía y Letras. Moreno 350 (CP C1091AAH), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. E-mail: nratto@filo.uba.ar

sociedades prehispánicas fue muy diferente. Estos cambios están vinculados con la ocurrencia de movimientos sísmicos, eventos catastróficos de actividad explosiva y cambios en la dinámica fluvial (Ratto, 2013). Entre ellos destacan los episodios de soterramiento de varias instalaciones arqueológicas como consecuencia de aluviones de grandes masas de sedimentos no consolidados que acarrearón fangos y materiales volcánicos.

El complejo arquitectónico de APB está conformado por seis núcleos habitacionales (NNHH) confeccionados íntegramente mediante técnicas constructivas con tierra, cuyo desarrollo se extendió a lo largo del primer milenio de la era. Mientras que los primeros cinco siglos muestran evidencias de ocupación en NH1-2 y NH7, a partir de la segunda mitad del primer milenio se registra actividad en NH3, NH4, NH5 y NH6 (Ratto *et al.*, 2019). Las investigaciones realizadas en el área han planteado que el año 500 d.C. parece haber representado una suerte de bisagra dentro del ciclo de vida de la aldea. Esto ha sido interpretado como resultado de: a) la sucesión de distintos episodios de corrimientos de piedra pómez que sepultaron algunos NNHH y generaron un entorno de inestabilidad ambiental; y b) la emergencia de algunos cambios arquitectónicos que fueron acompañados por el ingreso de nuevos materiales, lo que indica mayor interacción con otros ambientes y pisos ecotonales (Ratto *et al.*, 2019).

Recientemente se articularon los datos provenientes de las distintas intervenciones realizadas en la APB, con el objeto de definir su desarrollo arquitectónico. Para ello se consideraron los registros generados inicialmente por Sempé (1976), las intervenciones arqueo-geofísicas realizadas a partir de la década del 2000 (e.g., Osella *et al.*, 2009; Bonomo *et al.*, 2010) y el análisis de los procesos de formación naturales y culturales que afectaron a la localidad arqueológica (e.g., derrumbes, sepultamientos, vandalismo) (Ratto, 2013). De esta manera fue posible establecer que la arquitectura de la aldea mantuvo algunas características distintivas a lo largo de los 1000 años durante los cuales se extendió su ocupación (Ratto *et al.*, 2019). Este es el caso de: 1) la ausencia de estructuras con función ceremonial (e.g., montículos y plataformas) características de las arquitecturas del Período Medio en áreas vecinas; 2) la delimitación externa de los NNHH mediante un muro perimetral, cuya superficie aumentó progresivamente con el transcurso del tiempo; 3) la configuración de estructuras

arquitectónicas de morfología regular con ángulos rectos; y 4) el uso generalizado de la tapia como principal técnica constructiva.

Particularmente, la existencia de las construcciones en tapial fue observada *in situ*, a partir de la identificación de grandes módulos de tierra compactada de sección rectangular. En varias oportunidades se registró la presencia de marcas horizontales y verticales que separan los módulos entre sí, lo cual da cuenta de la huella de las cajas de encofrado que cumplieron la función de molde. De esta manera pudo observarse que los módulos se suceden repetidamente a lo largo de las estructuras murarias y muestran dimensiones de aproximadamente 1,20 m de largo, alturas variables y espesores de entre 0,60-1,00 m para los muros externos y 0,35-0,45 m para los internos (Ratto *et al.*, 2019). Por su parte, en algunas estructuras de pequeño tamaño también se han recuperado fragmentos de concreciones de tierra con improntas vegetales, que fueron inicialmente interpretados como posibles vestigios de techumbres (Sempé, 1976) y/o revestimientos (Spengler, 2017).

A partir de lo expuesto y a fin de aportar información para discutir otros aspectos vinculados con las prácticas arquitectónicas, el presente trabajo tiene por objetivo abordar el análisis de las técnicas y materiales de construcción utilizados para la edificación de la APB. Para ello fue necesario realizar distintos estudios arqueométricos que permitieran contribuir a caracterizar las técnicas utilizadas y comprender las decisiones tecnológicas vinculadas con la selección de las materias primas y la preparación de las mezclas. Dichos análisis consideraron la composición química y mineralógica y la determinación de diversas propiedades físicas y mecánicas de los materiales.

## LAS ARQUITECTURAS CON TIERRA

Los sistemas constructivos pueden entenderse como todos aquellos procedimientos técnicos y prácticas culturales que contribuyen a la materialización de los espacios edilicios. Dentro de ellos, se denominan como sistemas constructivos con tierra a las manifestaciones arquitectónicas que emplean a la tierra cruda como material principal para su manufactura. Entre ellos pueden distinguirse tres tipos básicos: monolíticos, de mampostería y mixtos (Houben y Guillaud, 2005; Chiappero y Supische, 2006). Además, existe una amplia gama de técnicas



constructivas complementarias que involucran el trabajo en cubiertas, revestimientos, morteros y solados de tierra (Chiappero y Supische, 2006; Pastor Quiles, 2017). Dentro de los sistemas monolíticos destaca la técnica del tapial, consistente en la elaboración de estructuras macizas realizadas mediante el apisonado de tierra húmeda dentro de encofrados de gran tamaño, que son luego superpuestos por medio de sistemas de andamiaje para la elevación de los paramentos. Esta técnica suele ofrecer buena resistencia mecánica y muy buena aislación térmica a las edificaciones, como resultado de la homogeneidad de las masas y de los grandes espesores alcanzados por los muros (Maniatidis y Walker, 2003).

No obstante, el reconocimiento de los vestigios de arquitecturas con tierra en el registro arqueológico ha sido siempre un problema en todo el mundo, puesto que con frecuencia su estado de preservación resulta notoriamente precario en comparación con la evidencia de las arquitecturas confeccionadas con piedra y materiales cerámicos (De la Torre López, 1995; Pastor Quiles, 2017). De hecho, su hallazgo en contextos arqueológicos suele manifestarse como acumulaciones monticulares de tierra, de aspecto similar a los sedimentos naturales del área, que presentan gran dificultad para ser identificadas a partir de su morfología, tamaño y características macroscópicas (Spengler *et al.*, 2010; Pastor Quiles, 2017; Spengler, 2017). Esto ocurre puesto que estas arquitecturas son extremadamente vulnerables frente a las inclemencias climáticas y especialmente sensibles a la erosión pluvioeólica (Houben y Gillaud, 2005; Rainer, 2008; Pastor Quiles, 2017).

Si bien existen numerosos estudios sobre la arquitectura arqueológica, la mayoría de ellos se ha centrado en las construcciones en piedra en detrimento de las evidencias constructivas con tierra cruda y elementos vegetales (De la Torre López, 1995). Esta situación ha llevado a que la literatura arqueológica tendiera a subvalorar la presencia de esas técnicas y a sobrerrepresentar el uso de la piedra para la construcción (Spengler, 2017). Como consecuencia, muchas investigaciones suelen emplear de modo confuso la terminología específica para referirse a este tipo de técnicas constructivas, lo cual dificulta el establecimiento de comparaciones regionales y cronológicas (Ribotta 1998; Pastor Quiles, 2017; Spengler, 2017; Guerrero Baca, 2018).

Sin embargo, a pesar de que las construcciones con tierra suelen ser las arquitecturas peor

representadas del registro arqueológico, su presencia en el pasado ha sido mucho más significativa de lo que suele reconocerse. De hecho, se trata de tecnologías muy extendidas y desarrolladas a lo largo de todo el mundo desde épocas muy antiguas (Pastor Quiles, 2017; Guerrero Baca, 2018). En los Andes centrales su uso ha sido registrado al menos desde el horizonte Temprano, tanto en arquitecturas domésticas como monumentales (e.g., Adán *et al.*, 2013; Guerrero Baca, 2018). En el caso particular del Noroeste argentino, su empleo ha sido informado a lo largo de toda la secuencia agroalfarera, desde el período Temprano hasta momentos inkaicos e hispano-indígenas. Al respecto, de las construcciones de tapia existen referencias para los períodos Temprano y Medio en los valles de Fiambalá, Ambato y Campo del Pucará (e.g., Ribotta, 1998; Gordillo, 2004; Ratto *et al.*, 2019), y para épocas tardío-inkaicas en los valles Guandacol, Jachal e Iglesia (e.g., García 2010; Iniesta y Bárcena 2014, Spengler, 2017). Por su parte, en épocas poshispánicas el uso de la tierra para la construcción fue mucho más frecuente, puesto que han sido tecnologías de uso común durante la colonia (Viñuales *et al.*, 2003).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se examinaron un total de 10 muestras procedentes de los núcleos habitacionales NH1-2, NH3 y NH6 de la APB (Figura 1 y Tabla 1). Siete de ellas comprenden fragmentos de tapia de muros recuperados *in situ* (Figura 2A, 2B, 2C y 2D) y las tres restantes corresponden a muestras de concreciones, derrumbe y sedimentos de control. Tanto la muestra de concreciones (NH6-CAB26) como la de derrumbe (NH6-CAB18) provienen del sector sudoeste de NH6. En el primer caso, la muestra fue tomada en un área alterada por el saqueo parcial del muro externo. En el segundo, se recuperaron sedimentos resultantes del colapso de muros de tapia que fueron alterados por la actividad fluvioeólica.

Con respecto a la selección de la muestra de sedimento de control es importante mencionar que actualmente los sedimentos del área a nivel superficial no parecen representar las condiciones ambientales vinculadas con la ocupación de la APB (Ratto *et al.*, 2019). De hecho, estos suelen estar conformados por sedimentos arenosos sueltos de origen eólico, con presencia frecuente de material pumíceo vinculado con eventos aluvionales, que

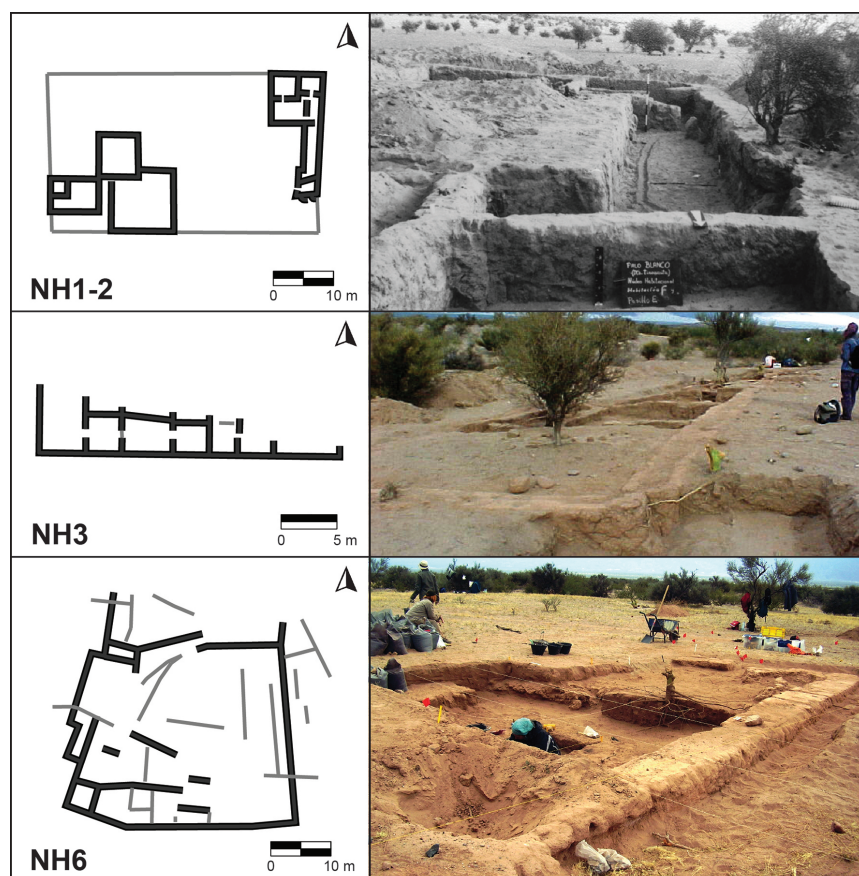


Figura 1. Planimetría y fotografía de los NNHH de la APB bajo análisis.

alcanzan potencias de entre 0,2 y 1 m (Ciccioli y Ratto, 2019). Por este motivo, la muestra de control (NH3-CAB62) fue extraída del área extramuros al sur del NH3, a una profundidad de 1,25 m respecto del nivel actual del terreno.

Ahora bien, para aproximarnos a la comprensión de las elecciones técnicas involucradas en la selección de materias primas y en la manufactura de las

estructuras y los materiales constructivos en tierra (MCT), se aplicaron diversos estudios arqueométricos mediante los cuales se buscó caracterizar la composición química y mineralógica, así como las propiedades físicas y mecánicas de las muestras<sup>1</sup>. A fin de realizar una primera aproximación se identificó su coloración en seco a través de la Carta de Colores Munsell (1994), atendiendo a la observación del matiz, el brillo y la intensidad. Por su parte, el estudio mineralógico y petrográfico de las muestras se realizó a partir de análisis de difracción por rayos X (DRX) y microscopía electrónica de barrido con espectrometría de rayos X dispersiva en energías acopladas (SEM-EDX). A su vez, los análisis de DRX se realizaron sobre la muestra total, por medio

del método de polvo, y sobre la fracción arcilla (<2 $\mu$ m), a partir de difractogramas sobre agregados orientados (Moore y Reynolds, 1997). Con el objetivo de determinar la proporción de agregados orgánicos en las mezclas de los MCT se analizó el contenido de fósforo (P) y materia orgánica (MO). Mientras que para la determinación del P se aplicó el método de Kurtz y Bray I –que estima

Muestra	Material	Color	MO (%)		P (ppm)	Granulometría (%)			$\delta$ (g/cm <sup>3</sup> )	IP	CA
			COS	CT		Arena	Limo	Arcilla			
NH6-CAB18	Concreción	7.5YR6/4	3,3	2,9	1	7	64,2	28,8	1,24	*	*
NH6-CAB26	Derrumbe	7.5YR6/4	2,1	1,8	7,1	47,6	34,9	17,5	1,53	*	*
NH1-CAB25	Tapia	7.5YR6/4	2,3	1	2,6	52,5	31,2	16,3	1,66	*	*
NH3-CAB20	Tapia	7.5YR6/4	1,5	0	2,5	61,6	27,1	11,3	1,67	*	*
NH3-CAB22	Tapia	7.5YR6/4	2,1	1,3	2,1	64	22,2	13,8	1,74	*	*
NH3-CAB23	Tapia	7.5YR6/4	1	1,2	1	62,4	26,3	11,3	1,63	9	0,8
NH3-CAB24	Tapia	7.5YR6/4	1,2	0,7	1	69,9	20,8	9,3	1,52	*	*
NH6-CAB16	Tapia	7.5YR6/3	2,5	0,5	1	36,6	47,1	16,3	1,52	*	*
NH6-CAB17	Tapia	7.5YR6/4	2,1	0,1	1	65,7	21,8	12,5	1,59	*	*
NH3-CAB62	Sedimento	7.5YR7/2	2,4	1,7	1	14,3	61,9	23,8	*	9,3	0,39

Tabla 1. Resultados de los análisis de los MCT de la APB. \*=sin datos por muestra insuficiente.

la disponibilidad de P asimilable para las plantas (Boschetti *et al.*, 2003)–, el contenido de MO se obtuvo a partir de dos parámetros: el carbono orgánico ligado a la fracción mineral del suelo (COS) y el carbono orgánico total de la muestra (CT). La proporción de COS se determinó mediante el método de combustión húmeda de Walkley-Black, que mide el porcentaje de materia orgánica humificada de cada muestra (La Manna *et al.*, 2007). Dado que esta técnica solo cuantifica una parte del carbono orgánico y excluye del análisis entre un 90-95% del carbono elemental (Kligmann, 2009), también se estimó la proporción de CT a partir del método de calcinación o *loss on ignition* (La Manna *et al.*, 2007). Este procedimiento incluyó el secado de las muestras mediante mufla a 100 °C y su posterior exposición hasta llegar a 450 °C durante 24 horas, a fin de conseguir la combustión completa de la MO.

El examen de las propiedades físicas de los materiales comprendió la determinación de la composición granulométrica y de la densidad aparente ( $\delta$ ). Los análisis granulométricos se realizaron a fin de determinar las características texturales a partir de la medición del porcentaje de granos de distinto tamaño<sup>2</sup> (De la Torre López, 1995). La determinación de la  $\delta$  respondió a la necesidad de medir el grado de compactación diferencial de los distintos MCT. Dado que la medición de este parámetro no se encuentra estandarizada, su determinación se basó en el principio de Arquímedes, considerando a  $\delta$  como el cociente entre la masa y el volumen. No obstante, al tratarse de materiales sumamente friables, porosos y susceptibles a la humedad, la medición de esta variable debió ser cautelosa con los métodos que incluyeran la exposición al agua. En función de ello, las muestras que presentaron volumen y cohesión suficientes fueron cortadas en seco hasta obtener probetas de dimensiones regulares, para luego ser impregnadas con una delgada capa de barniz acrílico.

Finalmente, se procedió a examinar las propiedades mecánicas de los materiales, puesto que estas condicionan el desempeño del sistema estructural ante condiciones dinámicas por sometimiento a cargas verticales, presiones laterales y movimientos del basamento (Rivera Torres, 2012). No obstante, dado que este tipo de ensayos es completamente destructivo y requiere gran cantidad de material, su estudio solo pudo llevarse a cabo sobre algunas muestras que presentaron volumen suficiente, buen estado de conservación y coherencia estructural interna. En primer lugar se determinó la plasticidad, en tanto la propiedad de un cuerpo para deformarse y permanecer deformado.

A efectos de su determinación se calcularon los límites de Atterberg mediante el método de indentación, con el objeto de definir los límites líquido y plástico y el índice de plasticidad (IP) resultante (Ginés *et al.*, 1997). A su vez, a partir del cociente entre el IP y el porcentaje de arcilla se calculó el coeficiente de actividad (CA), a fin de evaluar el comportamiento de los sedimentos en términos de su potencial de cohesión, expansividad y plasticidad (Houben y Guillaud, 2005).

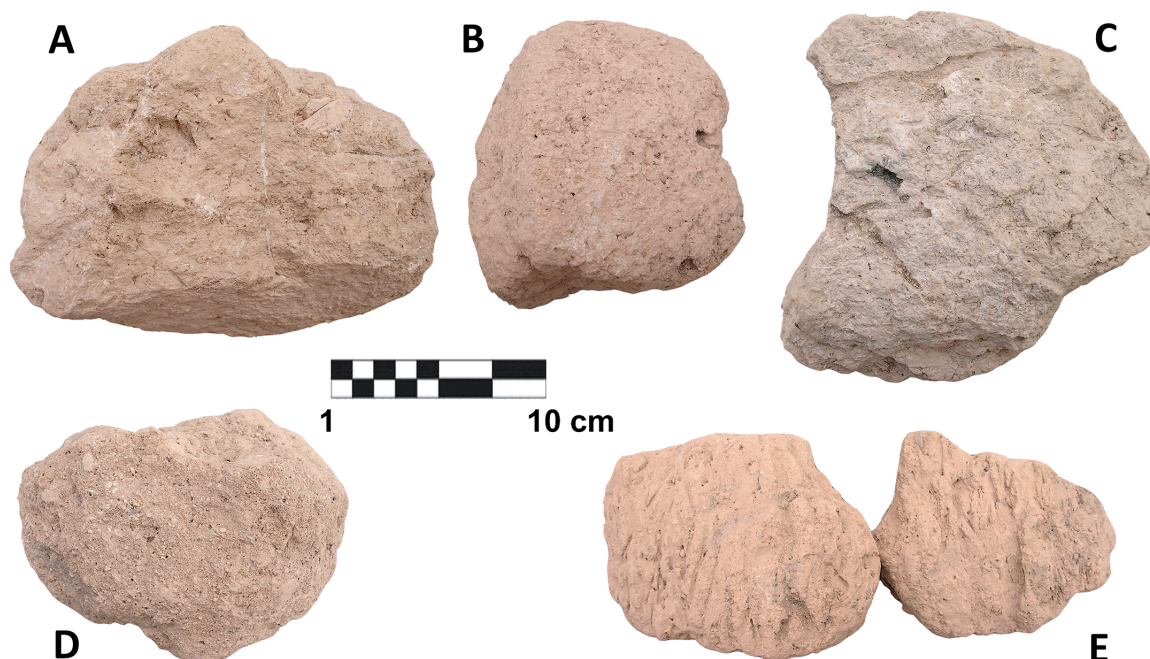
En segunda instancia, se determinaron las resistencias mecánicas a la flexión (RF) y a la compresión (RC), con el objetivo de estimar la capacidad de los materiales para soportar distinto tipo de fuerzas que pueden deformarlos antes de su fractura. Mientras que en la RF la deformación responde a la acción de fuerzas transversales, en la RC lo hace respecto de fuerzas longitudinales (Rivera Torres, 2012). Para su determinación se cortaron en seco, mediante sierra circular, diez probetas de dimensiones regulares. Previamente secadas en mufla a 105 °C durante 24 horas, con el objetivo de eliminar el contenido de humedad ambiental, todas ellas fueron luego sometidas a distintos tipos de cargas a fin de calcular el módulo de rotura<sup>3</sup>. Para la determinación de la RF, el módulo de rotura se obtuvo como resultado de la distribución de cargas perpendiculares al plano. Por su parte, para determinar la RC se aplicó una carga axial, y el cálculo resultante consideró el cociente entre la carga máxima obtenida durante el ensayo y el área de la sección transversal de la muestra (Ginés *et al.*, 1997; Rivera Torres, 2012).

## RESULTADOS

A nivel macroscópico, es importante destacar que la mayoría de las tapias procedentes de NH6 muestran la presencia de gravas y espículas de carbón como parte de la mezcla utilizada; no obstante, estos elementos se encuentran ausentes en los vestigios procedentes de NH3. Por su parte, la muestra de concreciones presenta improntas de elementos vegetales longitudinales en uno de los laterales, posiblemente como resultado del apoyo de fibras y ramillas sobre la mezcla aún en estado plástico (Figura 2E).

En líneas generales, la coloración de las muestras presenta gran homogeneidad, con predominio del color 7.5YR 6/4 (Tabla 1). De manera consecuente con estas observaciones, los análisis de DRX realizados sobre siete muestras indican que todas ellas

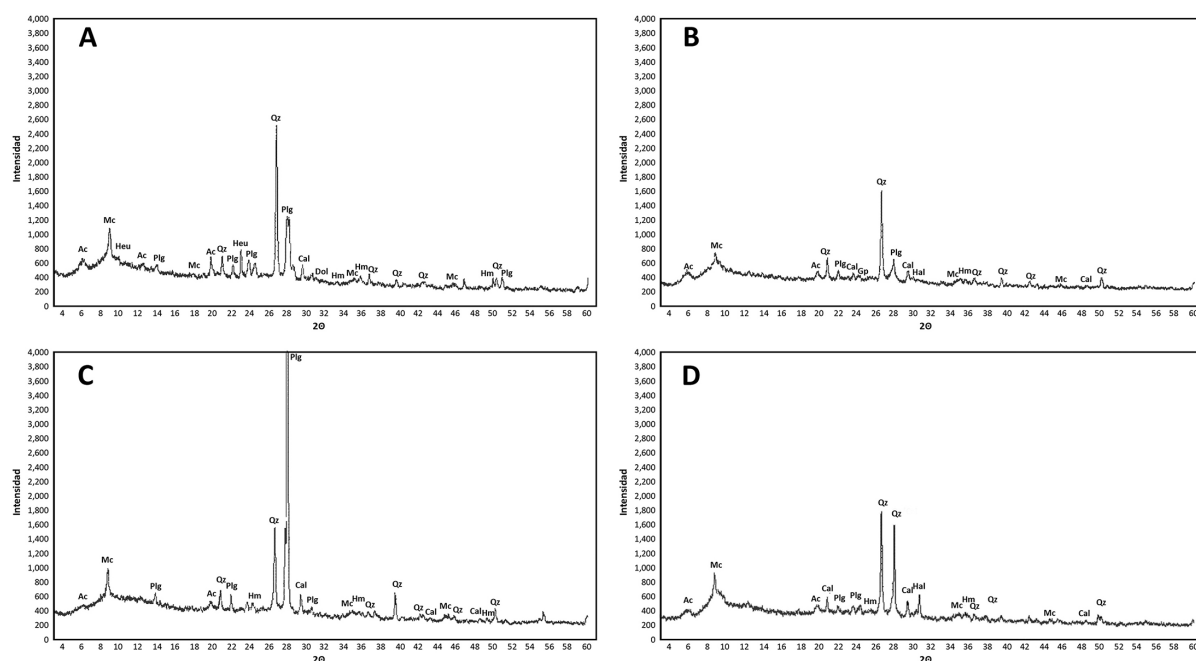




**Figura 2.** Muestras de MCT: A) NH3-CAB23, B) NH3-CAB24, C) NH6-CAB16, D) NH6-CAB17 y E) NH6-CAB26.

presentan composiciones mineralógicas bastante similares entre sí, aunque observamos que las mismas fases presentan leves diferencias respecto de la abundancia relativa de los minerales registrados (Figura 3). En general, se componen principalmente de cuarzo, plagioclasa y mica, con contenidos variables de hematita, calcita y feldespato potásico. Se destaca la presencia recurrente de minerales de arcilla en la selección de las materias primas de todas las muestras. En menor medida, en algunas muestras

de tapia también se observó la presencia probable de yeso y halita (NH6-CAB16), así como la presencia de heulandita (NH3-CAB23 y NH3-CAB24) (Figura 3). Además, la muestra de concreciones con improntas exhibió una mayor abundancia de cuarzo y ausencia de halita. A su vez, se observó que todos los materiales analizados contienen otros minerales del grupo de las arcillas. Para su identificación específica se realizaron análisis de DRX sobre los agregados orientados de la fracción arcilla.



**Figura 3.** Gráficos de DRX: A) NH3-CAB23, B) NH6-CAB16, C) NH6-CAB18 y D) NH6-CAB26. Ac = arcillas; Mc = mica; Cal = calcita; Qz = cuarzo; Plg = plagioclasa; Hm = hematita; Gp = yeso; Heu = heulandita; Dol = dolomita; Hal = halita.

De esta manera fue posible determinar la presencia abundante de illita-mica y esmectita, así como cantidades subordinadas de caolinita. Solamente se identificó la presencia de clorita en NH6-CAB18, NH3-CAB23 y NH3-CAB24.

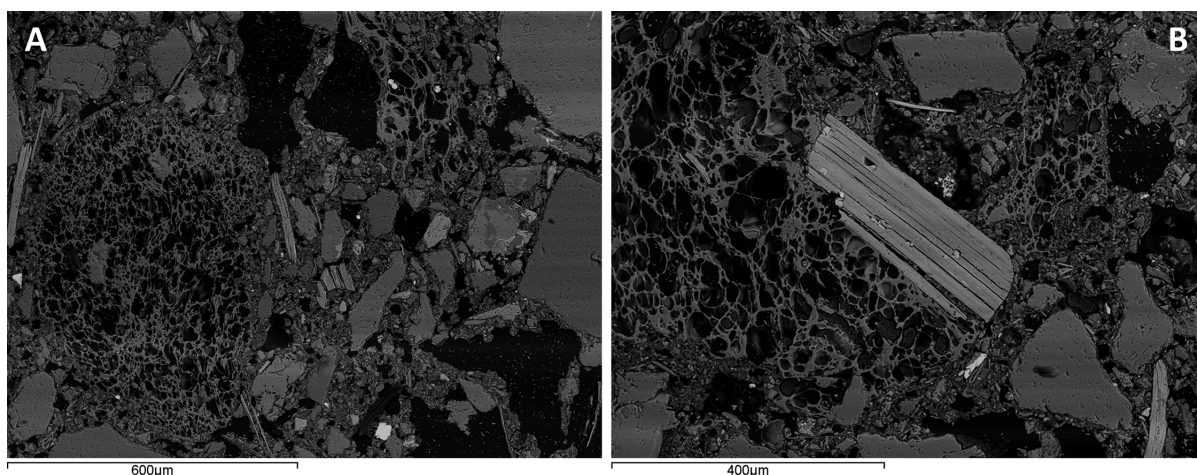
A partir de estudios petrográficos realizados mediante SEM-EDX fue posible observar que todos los materiales muestran una matriz de grano fino de textura intergranular apenas orientada, compuesta por minerales de arcilla, fragmentos líticos y fibras vegetales. Los fragmentos líticos consisten principalmente en la presencia de rocas sedimentarias ricas en cuarzo de grano muy fino (especialmente areniscas), fenocristales de feldespato potásico, fragmentos de rocas metamórficas de textura bandeada y foliada y ocasionalmente fragmentos de rocas volcánicas. Estos últimos se caracterizan por presentar una textura vesicular desarrollada sobre una matriz vítrea alta en silicio, de composición traquítica y riolítica, que, con frecuencia, incluyen fenocristales de biotitas y anfíboles (Figura 4). Las texturas vesiculares muestran morfologías subesféricas y alargadas que suelen estar ocupadas por zeolitas.

En cuanto a la composición química, los análisis permitieron observar que los contenidos de MO presentan proporciones muy bajas, con rangos de 1-3,5% para el caso de COS y entre 0 y 3% para CT. Mientras que los valores más altos corresponden a una muestra de sedimento de colapso de muros, el resto de los materiales se ubica por debajo del 2,5% y 1,8%, respectivamente. Cabe aclarar que, en el caso de las muestras de NH6 que presentaban espículas de carbón, los resultados de MO no mostraron diferencias significativas, puesto que dichos fragmentos ya se encontraban carbonizados al momento de ser incluidos en las mezclas, con lo cual no fueron reactivos ante los ensayos de COS y CT. Por su parte, la correlación

entre ambos métodos de medición no parece arrojar resultados significativos respecto de la existencia de tendencias entre ambos parámetros de determinación de MO. A su vez, los contenidos de P también mostraron valores muy bajos, con un promedio de 2 ppm y rangos de 1-7 ppm. El valor más alto corresponde a la muestra de concreciones con 7 ppm, y solamente en tres casos las tapias presentaron contenidos entre 2-2,6 ppm. En el resto de las muestras, los valores de P fueron de 1 ppm. Tampoco se observaron vínculos significativos entre los contenidos de P y las proporciones de MO (Tabla 1).

Con respecto a los análisis texturales, la mayoría de los materiales muestran texturas franco-arenosas. Se observa que, mientras la variación en la composición textural presenta correlaciones negativas para el caso de la asociación entre arena-limo y arena-arcilla, la correlación limo-arcilla muestra una tendencia positiva. En líneas generales, los vestigios de tapia se manifiestan más arenosos (>61%), con contenidos de limo entre 20-27% y de arcilla inferiores al 14%. La excepción a esta tendencia está representada por las muestras NH6-CAB16 y NH1-CAB25, que presentan valores de arena entre 36-53%, contenidos de limo superiores al 30%, y de arcilla, por encima del 16%. A su vez, mientras que la muestra de concreciones presenta valores intermedios para las tres clases texturales, las muestras de derrumbe y sedimento de control manifiestan una tendencia completamente diferente, con valores relativamente bajos de arena (7-14%), altos de limo (62-64%) e intermedios de arcilla (23-29%).

La determinación de  $\delta$  arrojó valores sumamente variables, que se ubicaron en un rango de 1,24-1,74 g/cm<sup>3</sup> (Tabla 1). El rango es más acotado si se consideran únicamente las muestras de tapial, con valores entre 1,52 a 1,74 g/cm<sup>3</sup>. Si bien los sedimentos de derrumbe mostraron resultados inferiores y los sedimentos



**Figura 4.** Microfotografías de SEM-EDX que ilustran la presencia de material vitrificado: A) NH3-CAB23 y B) NH3-CAB24.



de control no pudieron ser medidos por carecer de cohesión suficiente, en líneas generales, los valores de  $\delta$  no mostraron tendencias significativas con respecto a las demás muestras.

Por su parte, la determinación del IP solamente pudo ser practicada sobre dos muestras que presentaban cantidad suficiente de material. El IP arrojó resultados relativamente similares para ambos casos, con valores de entre 9-9,3%, lo que implica una plasticidad de tipo débil. Como consecuencia, la determinación de CA permitió identificar al sedimento de control con un comportamiento de tipo inactivo, y a la muestra de tapia con valores relativamente superiores, lo que caracteriza a los sedimentos utilizados como de actividad media (Tabla 1).

Finalmente, solo en la muestra NH3-CAB23 pudo determinarse la resistencia mecánica del material, dado que guardaba los requerimientos de volumen y cohesión necesarios para el ensayo. Los estudios realizados sobre distintas probetas extraídas de esa muestra aportaron valores bajos en RF y altos en RC, con rangos que van entre 3-5 kg/cm<sup>2</sup>, promedio de 3,8 kg/cm<sup>2</sup>; y 10-18 kg/cm<sup>2</sup>, promedio de 13,4 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente (Tabla 2).

Probeta	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	
	RF	RC
NH3-CAB23-P1	3	-
NH3-CAB23-P2	5	-
NH3-CAB23-P3	4	-
NH3-CAB23-P4	3	-
NH3-CAB23-P5	3	-
NH3-CAB23-P6	-	10
NH3-CAB23-P7	-	12
NH3-CAB23-P8	-	12
NH3-CAB23-P9	-	15
NH3-CAB23-P10	-	18

**Tabla 2.** Resultados de los ensayos de RF y RC sobre NH3-CAB23.

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos permitieron aportar información analítica sobre la selección de los materiales y la preparación de las mezclas. En primer lugar, destaca la relativa uniformidad en la coloración general del sedimento, probablemente como consecuencia de las similitudes en la composición mineralógica de las materias primas y de los contenidos de

MO y óxidos de hierro adquiridos por meteorización. Si bien distintos minerales pueden presentar coloraciones casi idénticas, en general el color de los sedimentos puede utilizarse como indicativo indirecto del contenido de ciertos minerales, principalmente férricos (Kligmann, 2009). De hecho, desde el punto de vista mineralógico, es notoria también la gran homogeneidad en las composiciones. Esta situación es esperable dado que todas ellas proceden de la misma localidad y comparten el contexto geológico y ambiental de depositación. Por otra parte, la presencia de minerales de origen volcánico como la heulandita en dos muestras correspondientes a NH3 probablemente se encuentre vinculada con los eventos de corrimiento que sepultaron a dicho conjunto arquitectónico (Ratto *et al.*, 2019).

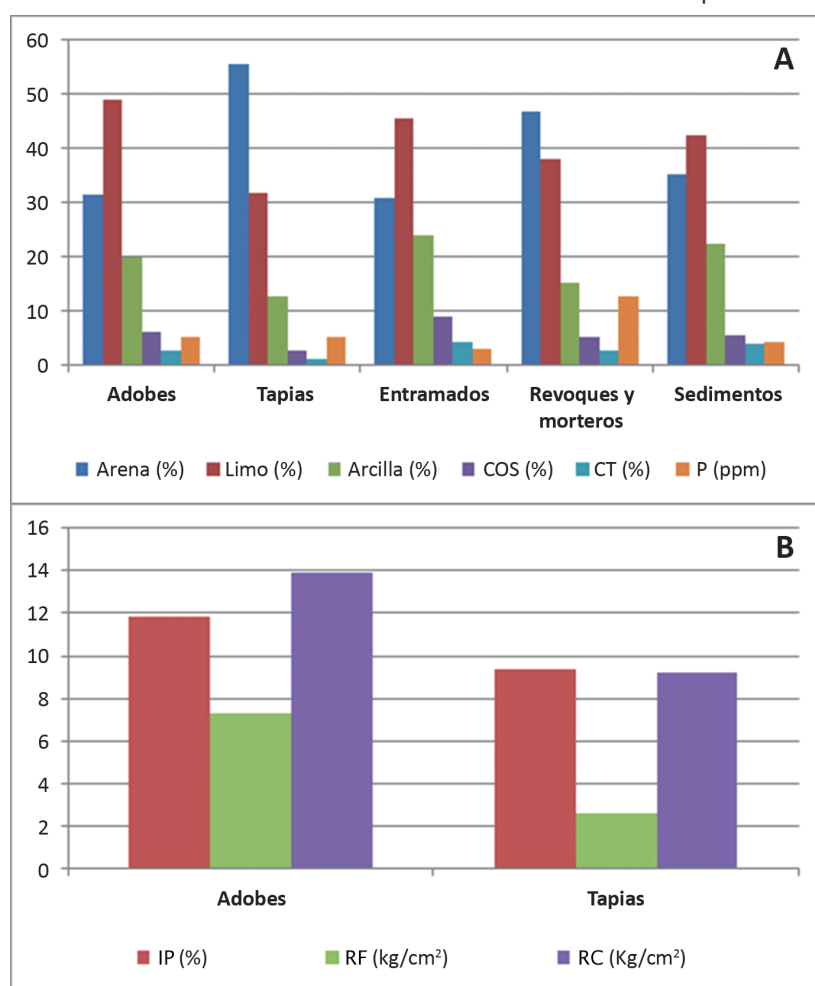
Con respecto a la composición química y granulométrica, en líneas generales los materiales analizados mostraron contenidos muy bajos de MO y P y texturas franco-arenosas. En principio, esta situación resulta relativamente similar a las características actuales de los sedimentos de fondo de valle del sudoeste catamarqueño, como consecuencia de los escasos niveles de precipitaciones, la baja disponibilidad de desechos vegetales y el predominio de texturas arenosas que impiden el desarrollo de procesos de humificación (Kligmann, 2009; Cruzate *et al.*, 2011). No obstante, es importante destacar que las condiciones paleoambientales locales han variado significativamente en los últimos 1500 años. Si bien se estima que los procesos de aridización comenzaron hacia inicios de la era, tal como se registra a partir de los cambios en la dinámica fluvial (Valero-Garcés *et al.*, 2011), estos se potenciaron en las últimas centurias como consecuencia de la intervención antrópica, especialmente vinculada con la deforestación indiscriminada (Rojas, 2013).

Ahora bien, la presencia de un escaso contenido de MO y P es esperable para el caso de los vestigios de tapias, en donde los antecedentes regionales sobre MCT prehispánicos e históricos informan sobre la exigua proporción de agregados orgánicos intencionales para esta técnica (Figura 5A) (Ribotta, 1998; Spengler *et al.*, 2010; Spengler, 2017). Sin embargo, llaman la atención las bajas proporciones de MO correspondientes a las muestras de tapia de NH6, que presentaron pequeños fragmentos de carbón. De hecho, los contenidos de MO de esta muestra son relativamente similares a los del resto de los vestigios de tapia analizados procedentes de otros NNHH. Es esperable que no existan diferencias significativas en los valores de COS puesto

que esta variable solamente cuantifica la materia orgánica humificada. Sin embargo, los valores de CT tampoco observan diferencias notables entre los materiales y, de hecho, la muestra con espículas de carbón arroja valores de 0% para esta variable. Probablemente, esta situación responda a que estos agregados ya se encontraban calcinados una vez que se incorporaron a las mezclas, por cuanto la masa correspondiente a la MO original ya había sido eliminada previamente. Es posible que la presencia de estas inclusiones esté vinculada con el agregado intencional de vestigios de combustión, especialmente ceniza, a modo de estabilizante o aglutinante constructivo. Este fenómeno ha sido mencionado por algunos autores como una práctica relativamente común que permite mejorar la consolidación de otros tipos de MCT (e.g., Chiappero y Supiche, 2006; Pastor Quiles, 2017). De hecho, los pobladores actuales han informado acerca del uso de ceniza con esa finalidad para la preparación de las mezclas de adobe.

Por su parte, en el caso de la muestra de sedimento de derrumbe, los contenidos mayores de MO pueden vincularse con la remoción y el lavado de los materiales desprendidos, lo que habría provocado la adquisición de materiales más finos y compuestos orgánicos como consecuencia de la acción de los procesos de formación. Por otro lado, los valores superiores de P correspondientes a la muestra de concreciones son relativamente similares a los informados para vestigios de revoques de tierra procedentes de áreas vecinas (Spengler, 2017). Este tipo de técnicas, así como los materiales utilizados para morteros y cubiertas, suelen contener importantes agregados orgánicos intencionales, a fin de obtener mezclas más plásticas, coherentes y ligeras (De la Torre López, 1995) (Figura 5A). En el caso de la muestra NH6-CAB26, la presencia de elementos orgánicos es confirmada como resultado de la observación macroscópica de improntas de fibras y ramillas sobre la masa aún en estado plástico. Por este motivo, no se descarta que pueda corresponder a vestigios de revestimientos o cubiertas que estuvieron en contacto con elementos vegetales.

En cuanto a los análisis texturales, estos mostraron importantes diferencias entre los distintos materiales analizados. Mientras que las tapias manifestaron texturas muy arenosas, los sedimentos resultantes del colapso de los muros y los sedimentos de control presentaron muy bajas proporciones de arena y elevados contenidos de limo-arcilla. En el caso particular de las tapias, esta situación es coherente con las características generales informadas para este tipo de técnica, tanto en estudios generales como en investigaciones similares a nivel regional, que caracterizan distintivamente a estos materiales con proporciones de arena mayores que para otras construcciones con tierra (Ribotta, 1998; Maniatidis y Walker, 2003; Spengler, 2017) (Figura 5A). Por su parte, la textura más fina que caracteriza a los sedimentos de derrumbe puede estar vinculada



**Figura 5.** A) Valores promedio de distintos parámetros analizados en muestras de MCT procedentes de contextos regionales (adaptado de Spengler, 2017): A) granulometría, P y MO (COS y CT); B) IP, RF y RC.

con la remoción y el lavado de los materiales desprendidos de los paramentos, como resultado de procesos erosivos de carácter fluvioeólico.

Al respecto, los análisis mineralógicos también permitieron identificar la presencia recurrente de minerales de arcilla, y especialmente aquellas expansibles como la esmectita. Si bien estos materiales se manifiestan en bajas proporciones y su asociación también es común en el ambiente de depositación local, ocasionalmente su mayor proporción podría estar vinculada con agregados intencionales que influyeron en las propiedades plásticas de los MCT (Spengler *et al.*, 2012; Spengler, 2017). Esto ocurre puesto que la plasticidad resulta directamente proporcional al contenido de arcilla presente en las mezclas e influye notoriamente en la cantidad de agua requerida en su preparación. A mayor IP será necesario adicionar más agua para obtener una masa moldeable, lo que condicionaría mayores retracciones y podría provocar fisuras del material en seco, una vez que la humedad se haya evaporado (Giné *et al.*, 1997). Esta situación resulta especialmente significativa en el caso de técnicas que precisan mayor plasticidad, como es el caso de revoques y morteros, pero no así en las tapias, cuya preparación suele requerir escasa cantidad de agua (Maniatidis y Walker, 2003; Pastor Quiles, 2017; Guerrero Baca, 2018). En este sentido, aunque la muestra de tapia analizada presentó valores de IP similares a los del sedimento de control, el CA da cuenta de la existencia de ciertas diferencias en el grado de actividad del material arcilloso de ambas muestras (*sensu* Houben y Gillaud, 2005), que se traduce en un comportamiento más activo para los materiales que conforman la tapia. Esta situación podría interpretarse alternativamente como consecuencia de dos factores: a) como resultado del uso de otro tipo de materias primas para su elaboración<sup>4</sup>, con proporciones texturales distintas a las de los sedimentos de control; o b) como evidencia de un proceso de adición intencional de cierta proporción de arcillas a las mezclas, con el objetivo de mejorar las propiedades cohesivas de los MCT.

Por su parte, el rango de valores de  $\delta$  obtenidos para las tapias resultó relativamente más bajo que los informados por otros autores para este tipo de técnica (Maniatidis y Walker, 2003). Probablemente esta situación responda a las severas condiciones de deterioro que han alterado la integridad de los materiales. Sin embargo, tampoco se descarta la posibilidad de que estos vestigios correspondan a otras modalidades constructivas de los sistemas monolíticos, como es el

caso del modelado a mano, que requiere de mayor humedad en las mezclas y, consecuentemente, puede presentar  $\delta$  menores que los tapiales propiamente dichos (Guerrero Baca, 2018).

Finalmente, si bien los ensayos de resistencia mecánica solamente pudieron realizarse sobre una muestra de tapia, estos dan cuenta de bajos valores para la flexión y de un comportamiento intermedio ante las fuerzas de comprensión. Nuevamente, estos datos son consistentes con la información conocida para este tipo de técnicas (Maniatidis y Walker, 2003; Alejandro *et al.*, 2012). De hecho, estudios regionales sobre MCT prehispánicos e históricos han caracterizado a los tapiales con IP y RF bastante bajos, así como con valores relativamente variables para la RC (Spengler, 2017) (Figura 5B).

Nuevamente, a la hora de interpretar estos datos es fundamental considerar los procesos de formación locales, puesto que los MCT de la APB han estado expuestos a distintas alteraciones posdeposicionales que han afectado su integridad estructural, lo que habría disminuido notoriamente su capacidad para resistir ante deformaciones y fracturas. Entre ellas pueden mencionarse la bioturbación, como resultado del crecimiento de raíces en el subsuelo; y el deterioro y socavamiento de paramentos y fundaciones, producto de la erosión fluvial, pluvial y eólica (Ratto *et al.*, 2019), que han afectado significativamente el volumen y la cohesión de los MCT. Además, es de destacar la incidencia de la actividad telúrica recurrente, que ha ejercido cargas laterales y movimientos en el basamento, a la vez que alterado significativamente la estabilidad estructural de los materiales (Fernández-Turiel *et al.*, 2019). Atendiendo a los agentes de deterioro mencionados, los análisis del comportamiento de las muestras frente a condiciones dinámicas deben ser tomados con cautela, puesto que los resultados no necesariamente representen la resistencia original de las arquitecturas al momento de su producción y uso por parte de las sociedades prehispánicas.

## CONSIDERACIONES FINALES

El análisis arqueométrico detallado de los MCT permitió contribuir a la caracterización integral de los materiales y técnicas constructivas empleadas en la APB. Fue posible, por un lado, determinar la composición de las materias primas utilizadas y, por otro, identificar algunas decisiones tecnológicas particulares involucradas en la preparación de las mezclas.

En primer lugar, es posible afirmar que para la confección de las tapias de la APB se recurrió al uso de materias primas locales, que muestran gran homogeneidad en su preparación. Esta situación es esperable puesto que generalmente la construcción con tierra suele echar mano de la disponibilidad de recursos locales. En el caso de la tapia, dado que se trata de una técnica que implica el alzado *in situ* de estructuras de gran volumen, la proximidad a las fuentes de materiales resulta de vital importancia (Chiappero y Supische, 2006; Pastor Quiles, 2017). Además, el escaso requerimiento de agua para su ejecución hace que sea una actividad especialmente apta para la construcción en climas semiáridos (Viñuales *et al.*, 2003; Pastor Quiles, 2017) como el que impera en la zona.

En segunda instancia, es de destacar la presencia de fragmentos de carbón en las tapias de NH6, interpretados como vestigios de posibles agregados para mejorar la estabilidad de las mezclas. Si bien este tipo de inclusiones no se observó en las muestras de NH3, cabe mencionar que los análisis radiométricos han establecido diferencias cronológicas en la ocupación de ambos NNHH. La actividad de NH3 ha sido ubicada entre el 458-639 d.C. y fue luego afectada por un evento catastrófico que sepultó la mitad norte del conjunto (Ratto, 2013; Ratto *et al.*, 2019). Estudios recientes plantean, como hipótesis, que este fenómeno se relaciona con una erupción volcánica ocurrida entre los años 600-700 de la era, probablemente procedente del Nevado Tres Cruces (Fernández-Turiel *et al.*, 2019). No obstante, la ocupación de NH6 parece haber sido posterior, ya que se habría extendido entre el 693-985 d.C. (Ratto, 2013; Ratto *et al.*, 2019). Por su parte, inclusiones similares de espículas de carbón dentro de los muros de tapia también fueron identificadas en la aldea LT-V50, ubicada 64 km al sur de la APB, con una ocupación datada entre el 677-828 d.C. (Feely y Ratto, 2009). Consideramos que la incorporación de este tipo de elementos aglomerantes en las tapias podría interpretarse como una suerte de innovación tecnológica, resultado de modificaciones en las tradiciones constructivas compartidas entre poblaciones relativamente coetáneas del valle con posterioridad a los episodios aluvionales que provocaron el sepultamiento y abandono de varias instalaciones.

Al respecto, dado que la construcción en tapial representa un trabajo relativamente costoso en términos de tiempo y mano de obra (Pastor Quiles, 2017), es posible pensar que la edificación de los

distintos NH de la APB debió requerir del trabajo colaborativo de grupos de personas que excedieron la organización familiar, así como la competencia de ciertas habilidades y conocimientos técnicos transmitidos de generación en generación. A pesar de que la aldea muestra una amplia ocupación que se extiende a lo largo del primer milenio, la recurrencia en las prácticas constructivas vinculadas con el tapial contribuye a reforzar el modelo de rutinización (*sensu* Giddens, 2006) propuesto recientemente para interpretar la continuidad en las configuraciones arquitectónicas de la APB (Ratto *et al.*, 2019). De esta manera, también se habrían reforzado los sentidos de identidad y pertenencia al territorio, favoreciendo la consolidación de los grupos sociales y la organización del trabajo colectivo.

## REFERENCIAS CITADAS

- Adán, L., Urbina, S., Pellegrino, C. y Agüero, C. (2013). Aldeas en los bosques de Prosopis: Arquitectura residencial y congregacional en el período Formativo tarapaqueño (900 AC-900 DC). *Estudios Atacameños*, 45, 75-94.
- Alejandro, F. J., Martín Del Río, J. J., Blanco, F. J. y Flores, F. (2012). Methodological proposal for rammed-earth Wall characterization: Understanding of material in preliminary studies. En C. Mileto, F. Vegas y C. Cristini (eds.), *Rammed Earth Conservation* (pp. 41-46). Taylor & Francis.
- Bonomo, N., Osella, A. y Ratto, N. (2010). Detecting and Mapping Buried Buildings with GPR at an Ancient Village in Northwestern Argentina. *Journal of Archaeological Science*, 37, 3247-3255.
- Boschetti, G., Quintero, C., Díaz-Zorita, M. y Barroco, M. (2003). Determinación del fósforo disponible en el suelo por el método de Bray. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, 17.
- Chiappero, R. y Supische, M. C. (2006). *Arquitectura en tierra cruda*. Nobuko.
- Ciccioli, P. L. y Ratto, N. (2019) Caracterización textural y composicional del registro de los eventos naturales catastróficos ocurridos en la Aldea de Palo Blanco, siglos I y X (Tinogasta, Catamarca, Argentina): resultados preliminares. Trabajo presentado en el VI Congreso Latinoamericano de Arqueometría, Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia.
- Cruzate, G., Moscatelli, G. y Panigatti, J. (2011). *Suelos y ambientes de Catamarca, Argentina*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).



- De la Torre-López, M. J. (1995). *Estudio de los materiales de construcción en La Alhambra*. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico.
- Feely, A. y Ratto, N. (2009). Variaciones de los conjuntos cerámicos de unidades domésticas: aldeas y puestos formativos del bolsón de Fiambalá (ca. 1500-1300 A.P.). En N. Ratto (ed.), *Entrelazando Ciencias: Sociedad y ambiente antes de la conquista española* (pp. 99-129). EUDEBA.
- Fernández-Turiel, J. L., Pérez-Torrado, F. J., Rodríguez-González, A., Saavedra, J., Carracedo, J. C., Rejas, M., Lobo, A., Osterrieth, M., Carrizo, J. I., Esteban, G., Gallardo, J. y Ratto, N. (2019). The large eruption 4.2 ka BP in Cerro Blanco, Central Volcanic Zone, Andes: Insights to the Holocene eruptive deposits in the southern Puna and adjacent regions. *Estudios Geológicos*, 75(1), 1-31.
- García, A. (2010) *Arqueología prehistórica de San Juan. La conquista indígena de los dominios del cóndor y el guanaco*. Universidad Nacional de San Juan.
- Giddens, A. (2006). *La constitución de la sociedad: Bases para la teoría de la estructuración*. Amorrortu.
- Ginés, F., Feliú, C., García-Ten, J. y Sanz, V. (1997). Análisis de los métodos tradicionales utilizados para evaluar la plasticidad. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 36(1), 25-30.
- Gordillo, I. (2004). Arquitectos del rito. La construcción del espacio público en La Rinconada, Catamarca. *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología*, XXIX, 111-136.
- Guerrero Baca, L. F. (2018). Identificación y valoración del patrimonio precolombino construido con tierra modelada. *Anales del Instituto de Arte Americano e Investigaciones Estéticas*, 48(1), 125-141.
- Houben, H. y Guillaud, H. (2005 [1989]). *Earth Construction: A comprehensive guide*. ITDG Publishing.
- Iniesta, M. L. y Bárcena, J. R. (2014). Investigaciones arqueológicas sobre las sociedades tardías del Valle de Guandacol (Departamento Felipe Varela, oeste de La Rioja): Espacios, estilos tecnológicos cerámicos y cronología. *Arqueología*, 20 (Dossier), 61-82.
- Kligmann, D. (2009). *Procesos de Formación de Sitios Arqueológicos: Tres Casos de Estudio en la Puna Meridional Catamarqueña Argentina*. British Archaeological Reports 1949. Archaeopress.
- La Manna, L., Buduba, C., Alonso, V., Davel, M., Puentes, C. e Irisarri, J. (2007). Comparación de métodos analíticos para la determinación de materia orgánica en suelos de la región Andino-Patagónica: efectos de la vegetación y el tipo de suelo. *Ciencias del Suelo*, 25(2), 179-188.
- Maniatidis, V. y Walker, P. (2003). *A Review of Rammed Earth Construction*. Natural Building Technology Group, University of Bath.
- Moore, D. y Reynolds, R. (1997). *X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals*. Oxford University Press.
- Munsell (1994). *Munsell Soil Color Charts*. New York Munsell Color.
- Osella, A., Bonomo, M y Ratto, N. (2009). Prospección geofísica en la localidad arqueológica de Palo Blanco y alrededores (Departamento Tinogasta, Catamarca). En N. Ratto (ed.), *Entrelazando Ciencias: Sociedad y ambiente antes de la conquista española* (pp. 67-98). EUDEBA.
- Pastor Quiles, M. (2017). *La construcción con tierra en arqueología. Teoría, métodos, técnicas y aplicación*. Publicaciones de la Universidad de Alicante.
- Rainer, L. (2008). Deterioration and Pathology of Earthen Architecture. En E. Avrami, H. Guillaud y M. Hardy (eds.), *Terra Literature Review. An Overview of Research in Earthen Architecture Conservation* (pp. 45-61). The Getty Conservation Institute.
- Ratto, N. (2013). A modo de introducción: la articulación de estudios arqueológicos, paleoambientales e históricos en el oeste tinogasteño (Catamarca). En N. Ratto (ed.), *Delineando prácticas de la gente del pasado: Los procesos sociohistóricos del oeste catamarqueño* (pp. 17-44). Sociedad Argentina de Antropología.
- Ratto, N., Bonomo, M. y Osella, A. (2019). Arquitectura de la aldea de Palo Blanco (ca. 0–1000 dC), departamento de Tinogasta, Catamarca, Argentina. *Latin American Antiquity*, 30(4), 760-779.
- Ribotta, E. (1998). Arquitectura en tierra: reflexiones sobre su estudio en la Arqueología del N.O.A. *Mundo de Antes*, 1, 149-163.
- Rivera Torres, J. C. (2012). El adobe y otros materiales de sistemas constructivos en tierra cruda: caracterización con fines estructurales. *Apuntes*, 25(2), 164-181.
- Rojas, F. (2013). Rol de la minería y el ferrocarril en el desmonte del oeste riojano y catamarqueño (Argentina) en el período 1851-1942. *Población y Sociedad*, 20(2), 99-123.
- Sempé, M. C. (1976). *Contribución a la arqueología del valle de Abaucán* [tesis de doctorado inédita. Universidad Nacional de La Plata].
- Spengler, G. (2017). *Arquitectura y asentamiento de las sociedades del Período Tardío del sector centro-norte del valle de Vinchina, La Rioja* [tesis de doctorado. Universidad de Buenos Aires].



Spengler, G., Do Campo, M. y Ratto, N. (2010).

Caracterización de materiales constructivos en tierra mediante estudios de laboratorio. En S. Bertolino, S. Cattáneo y A. Izeta (eds.), *La arqueometría en Argentina y Latinoamérica* (pp. 311-321). Universidad Nacional de Córdoba.

Spengler, G., Jiménez Millán, J., Campos Suñol, M. J.

y Do Campo, M. (2012). Mineral and Mechanical Characterization of Earthen Building Materials from Argentina. *Macla. Revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, 16, 58-59.

Valero-Garcés, B., Ratto, N., Moreno, A., Navas, A. y

Delgado-Huertas, A. (2011). Los Lagos del Altiplano de Atacama y el Noroeste Argentino como sensores de cambios hidrológicos durante el Holoceno. En M. Caballero y B. Ortega-Guerrero (eds.), *Escenarios de Cambio climático: Registros del Cuaternario en América Latina* (pp. 185-208). Universidad Nacional Autónoma de México.

Viñuales, G. M., Martins Neves, C. M, Flores, M. y Silvio

Ríos, L. (2003). *Arquitecturas de tierra en Iberoamérica*. Red Iberoamericana de Arquitectura y Construcción con Tierra (PROTERRA).

## NOTAS

1.- Los análisis fueron realizados en los laboratorios de Difracción de Rayos X, Arcillas y Agroambiente del Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS, CONICET-UBA), en el Instituto de Suelos del Centro de Investigación de Recursos Naturales del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), en el Centro de Instrumentación Científico Técnica de la Universidad de Jaén y en el Centro Tecnológico Innovarcilla de Bailén.

2.- Para esta investigación, la determinación de la fracción arena no discriminó entre arenas finas y gruesas.

3.- Cinco probetas para cada ensayo de RF y RC, respectivamente.

4.- Los habitantes de la actual localidad de Palo Blanco han informado la existencia de una cantera de tierra ubicada en las inmediaciones de la APB, que es utilizada para el aprovisionamiento de materias primas destinadas a la elaboración de adobes. Se han tomado muestras que se encuentran actualmente bajo análisis.

