

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ENTISOLES SALINIZADOS PARA CONSERVACIÓN DE ESTRUCTURAS DE ADOBE HISTÓRICAS

Guillermo Rolón¹, Gonzalo García Villar², Mariana Romiti³

¹ Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina, guillerolon02@gmail.com

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Centro Regional de Investigaciones de Arquitectura de Tierra Cruda, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de Tucumán, arqgonzalov@gmail.com

³ Programa Manejo de Recursos Culturales – Administración de Parques Nacionales, mromiti@apn.gov.ar

Palabras clave: emulsión asfáltica, conservación, revoque, capa de sacrificio, tasa de degradación

Resumen

El deterioro por intemperismo está entre los problemas de conservación más importantes de las construcciones con tierra, en particular en edificaciones históricas. Para ello, suele recurrirse a métodos de estabilización física y química, individualmente o combinados. En la estabilización química son conocidos diversos aditivos naturales e industrializados que pueden utilizarse. La selección de los métodos depende de las condiciones del suelo a emplear, de aspectos ambientales y de los criterios de intervención considerados. El objetivo de este trabajo consiste en evaluar el desempeño de distintas estabilizaciones de suelos entisoles con presencia de material aluvial salinizado que deberán aplicarse como revoques en la conservación las estructuras de adobe de La Casona que constituye uno de los recursos culturales del Parque Nacional Lihué Calel (PNLC). Este trabajo se realiza en el marco del proyecto “Conservación y manejo del patrimonio cultural vinculado a distintas etapas de poblamiento histórico en las sierras de Lihué Calel” de la Administración de Parques Nacionales de Argentina. Se realizaron ensayos de campo y laboratorio para llevar a cabo la investigación. En campo se ejecutó un muro experimental con distintas mezclas patrón (en adobes y morteros de revoque) a evaluar, se dejó expuesto a intemperismo por un período de dos años y se monitoreó su evolución para estimar la tasa de degradación. En laboratorio se caracterizaron los suelos y se compararon las mezclas patrón con otras alternativas ajustadas granulométricamente y estabilizadas químicamente con mucílago de cactus y emulsión asfáltica de base acuosa. Los ensayos consistieron en absorción de agua por capilaridad y erosión hídrica por goteo. Los resultados muestran una diferencia sustancialmente mejor en la estabilización química con emulsión asfáltica y con una relación igual de suelo y arena incorporada. Por el contrario, el estabilizante natural empeoró la condición inicial de la mezcla base.

1 INTRODUCCIÓN

El deterioro por intemperismo está entre los problemas de conservación más importantes para las construcciones con tierra, en particular en edificaciones históricas (Rainer, 2008). Es por ello que su intervención requiere de importantes estudios para evaluar pertinencia y compatibilidad entre técnicas y materiales originales y de sacrificio (Avrami et al., 2008; Fodde et al., 2007). A este panorama deben sumarse los inconvenientes producidos por biodeterioro, tanto o más peligrosos para la estabilidad de las estructuras arqueológicas (Rolón; Cilla, 2012). En tal sentido existe una vasta producción científica al respecto para distintos contextos ambientales y materiales tanto para el registro y análisis como para la intervención (Fodde, 2007; Fodde et al., 2009; Proyecto COREMANS, 2017). En muchas intervenciones, se acudió al empleo de métodos de estabilización física y química, de manera individual o combinados. En la estabilización química son conocidos diversos aditivos naturales como el mucílago de cactus (Martínez Camacho et al., 2006; Rescic et al., 2021) e industrializados (Daneels; Kita, 2017; Chaudhry; Sikka, 2009).

En las regiones semiáridas de Argentina, los deterioros y biodeterioros son problemas que también afectan de manera incesante a las edificaciones con tierra; su impacto es más significativo cuando estos procesos, al ocurrir en forma simultánea, entran en sinergia (Rolón; Cilla, 2012). Esta situación se observó en tres edificaciones construidas con muros de mampostería de adobe dentro del PNLC, en la provincia argentina de La Pampa. El

PNLC se ubica en el sector centro sur de la provincia mencionada en un área constituida por suelos entisoles con presencia de material aluvial salinizado. Es conocido el efecto de los distintos tipos de sales en los procesos de degradación de las construcciones (Doehne, 2002). La selección de los métodos depende de las condiciones del suelo a emplear, de aspectos ambientales y de los criterios de intervención considerados.

En este estudio se presentan los criterios y decisiones de estabilización evaluados para llevar a cabo la conservación del recurso histórico La Casona (figura 1) mediante un protocolo de intervención destinado a remediar el deterioro y biodeterioro. Esta investigación se realiza en el marco del proyecto “Conservación y manejo del patrimonio cultural vinculado a distintas etapas de poblamiento histórico en las sierras de Lihué Calel” encarado por el Programa Manejo de Recursos Culturales de la Dirección Técnica de Conservación, de la Administración de Parques Nacionales de Argentina (APN).



Figura 1. a) imagen histórica de la capilla de La Casona tomada en el año 1957, b) estado actual (2016) de conservación del mismo sector. Fuente: a) Archivo Histórico provincial Fernando Aráoz - Fototeca Bernardo Graff, b) de los autores

2 OBJETIVO

Evaluar el desempeño de distintas estabilizaciones de suelos entisoles con presencia de material aluvial salinizado que deberán aplicarse como revoques en la conservación las estructuras de adobe de La Casona que constituye uno de los recursos culturales del PNLC en la provincia de La Pampa.

3 METODOLOGÍA

Para llevar a cabo la investigación se realizaron ensayos de campo y laboratorio. Por cuestiones de extensión, en este trabajo se presentan los resultados correspondientes a las mezclas propuestas para el suelo empleado en la edificación de La Casona. En campo se ejecutó un muro experimental con dos mezclas patrón de revoques sometidas a intemperismo por un período de dos años y se monitoreó su evolución para estimar la tasa de degradación. En laboratorio se caracterizaron los suelos empleados (textura, pH, IP, materia orgánica) y se compararon las mezclas patrón con propuestas alternativas ajustadas granulométricamente con arena y estabilizadas químicamente, unas con mucílago de cactus y otras con emulsión asfáltica de base acuosa. Los ensayos consistieron en absorción de agua por capilaridad y erosión hídrica por goteo.

El muro experimental elaborado se construyó según el siguiente procedimiento:

- Los adobes se elaboraron con una mezcla que contenía una parte del suelo procedente del Tajamar cerrado y dos partes del suelo procedente del desmoronamiento de los muros de La Casona. La fibra vegetal empleada fue una especie de pasto duro presente

en el entorno. La paja fue extraída en seco y luego cortada a machete en segmentos de 4 a 5 cm antes de ser empleada. Los muros apoyaron directamente sobre el terreno y sus caras fueron orientadas en dirección N-S (ver Rolón y Romiti 2018 para la ubicación de los suelos).

Para elaborar la mezcla se procedió de la forma habitual, que consistió en ejecutar un pozo para el pisadero, tamizar y mezclar los materiales en seco, volcarlos en el pozo, incorporar agua y mezclarlos. Los muros se construyeron a plomo, nivel y con aparejo a soga con juntas de 2 cm (del mismo material que se empleó para fabricar los adobes). Las medidas finales de los muros fueron aproximadamente de 2,80 m de largo por 0,96 m de alto y 0,24 m de ancho (figura 2). Una vez ejecutado el muro, se elaboraron y aplicaron dos tipos de revocos en ambas caras. Tomando como base la mezcla elaborada para los adobes se incorporó bosta de caballo seca y tamizada en una relación 4:1. El uso de la bosta o estiércol de caballo se introdujo como temperante, con el objetivo de incorporar un entramado de fibra vegetal más pequeño que la fibra vegetal cortada y evaluar su desempeño para reducir la aparición de micro fisuras. La primera mezcla se realizó solo con este acondicionamiento de la tierra y se obtuvieron los revocos AN2 y AS2. En la segunda serie se incorporó el pasto cortado en segmentos más pequeños (2 cm aproximadamente) y mucílago de chupasangre penca (*O. sulphurea var pampeana*) (Prina et al., 2015) y se realizaron los revocos AN3 y AS3. Las mezclas de tierra para los revocos son presentadas en la tabla 1. Cada revoco ocupó un cuarto de la superficie en cada cara del muro (Norte y Sur).

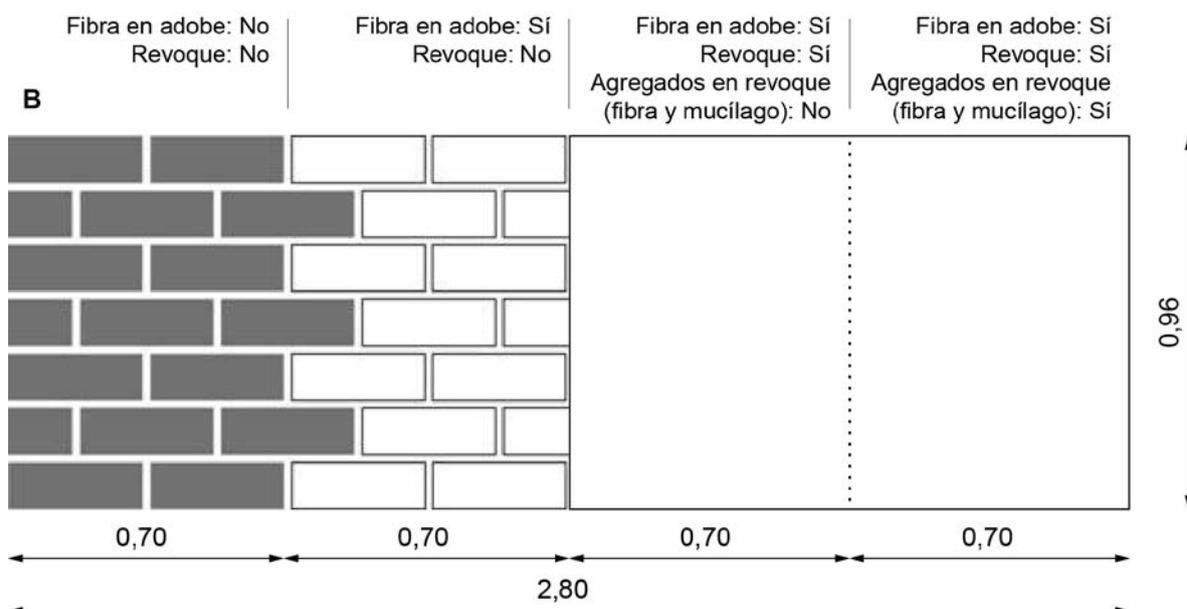


Figura 2. Esquema de construcción de muros experimentales. En gris adobes sin fibra vegetal, en blanco adobes con fibra vegetal. A) distribución de adobes según tipo; B) distribución de revocos

Tabla 1: Proporción de materiales empleados en las mezclas de revocos realizados. Las letras N y S designan la orientación del muro, el número la posición en del paño monitoreado, el valor 1 corresponde al sector no revocado

Ubicación	Materiales	Ubicación (franja)	Proporción en volumen
La Casona	Suelo de La Casona / Suelo del Tajamar cerrado / Bosta de caballo / Pasto cortado (fibra vegetal) / Mucílago	AN2 y AS2 (3º)	4:2:1,5:0:0
		AN3 y AS3 (4º)	4:2:1,5:1:1

La ejecución del revoco se realizó mediante unas guías metálicas hincadas en el terreno apoyada una de ellas sobre el muro a la mitad del mismo y colocadas ambas a plomo. El

espesor de las guías fue de 2 cm y otorgó el espesor del revoque. Para aplicar el revoque, se mojó la pared, y luego se efectuó un azotado o chicoteado de barro con la misma mezcla a revocar, pero en un estado viscoso y con agregado de arena gruesa o suelo arenoso sobre la superficie a revocar. De esta manera se generó una superficie irregular que sirve de capa de agarre del revoque. Se dejó secar y se procedió a aplicar el primer revoque en una sola capa y por cada suelo en cada cara del muro. Para el primer revoque de cada cara se hincó una guía adicional al cuarto de distancia del muro para delimitar la superficie del mismo. Luego se retiró y se completó el segundo revoque tomando como límite el borde del revoque ya aplicado. La superficie resultante de los revoques se fratasó en estado húmedo hasta obtener una superficie bien lisa a la vista.

El monitoreo consistió en registrar la degradación de las superficies de revoque por intemperismo. Esta acción se efectuó en cinco oportunidades a lo largo del tiempo de exposición. El registro implicó marcar las superficies deterioradas en cada muro revocado y la medición de profundidades de deterioro en puntos distribuidos al azar. Los muros revocados estuvieron listos para la experimentación en septiembre de 2017. Por diversos inconvenientes, el monitoreo pudo iniciarse recién en diciembre de 2018 y culminó en diciembre de 2019 dado que debió ser interrumpido durante las restricciones de movilidad por COVID-19 a partir de marzo de 2020. Las fechas de monitoreos válidos realizados fueron en diciembre de 2018, marzo, julio, septiembre y diciembre de 2019.

El procedimiento de monitoreo se realizó en cada campaña de la siguiente manera:

1° se efectuaron registros fotográficos de las superficies expuestas. Con las imágenes obtenidas se construyó un mosaico para generar una fotografía rectificadas mediante el programa Photoshop. Sobre ella se identificaron cualitativamente las formas de deterioro que se desarrollaron en cada uno de los paños y entre cada campaña.

2° Se registró la pérdida de material del revoque dibujando sobre láminas de acetato la superficie degradadas (figura 3). En el primer registro se marcaron puntos al azar sobre las láminas donde se midió la profundidad de deterioro. Estos puntos quedaron fijos para el resto de los monitoreos. La medición se realizó con calibre y se tomó el perfil inicial de revoque como referencia.



Figura 3. Proceso de registro sobre acetato

En laboratorio, la textura se determinó según el método de Bouyoucos para determinar los tenores de arena, limo y arcilla y clasificar el tipo de tierra por medio del diagrama textural. El análisis se realizó en los suelos denominados 1) Tajamar; 2) Cantera; 3) Casona. Los valores de pH se obtuvieron por el método potenciométrico con una relación de tierra / agua de 1:2,5. Según los valores de referencia¹. Para la determinación de la plasticidad de los suelos se tomó como referencia la Norma IRAM 10.501 (2007) (límites de Atterberg) y el

¹ Clasificación adoptada del tipo de suelo en función de su pH: Extremadamente ácido $pH \leq 4,5$, Muy fuertemente ácido $4,5 < pH \leq 5$, fuertemente ácido $5 < pH \leq 5,5$, Medianamente ácido $5,5 < pH \leq 6$, Ligeramente ácido: $6 < pH \leq 6,6$, Neutro $6,6 < pH \leq 7,3$, Medianamente básico $7,3 < pH \leq 7,8$, Básico $7,8 < pH \leq 8,4$, ligeramente alcalino $8,4 < pH \leq 9$, Alcalino $9 < pH \leq 10$, Fuertemente alcalino > 10 .

sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) para clasificarlos. Cada muestra se analizó por cuadruplicado y el valor final se obtuvo promediando las medidas individuales. El contenido de materia orgánica se calculó mediante el método de Walkley y Black².

Para el diseño experimental en laboratorio se propusieron diversas formulaciones de mezclas de suelos y agregados. Tomando la mezcla base con 2 partes del suelo de La Casona y 1 parte de suelo del Tajamar cerrado. Solo la mezcla A5 incorporó además 3/2 partes de tierra de La Cantera. Cada tipo de mezcla se muestra en la tabla 2. La tierra de La Cantera se evaluó debido a que presentaba un alto contenido de carbonatos de calcio y podría favorecer el incremento de resistencia mecánica a las mezclas (Rolón; Romiti 2018).

Tabla 2. Mezcla base y propuestas a evaluar. A1 corresponde a la mezcla base de revoque empleada en el muro experimental.

Mezcla	Suelo				Aditivos				
	Casona	Tajamar	Puesto	Cantera	Arena	Fibra	Bosta	Mucilago	Emulsión
A1	4	2	-	-	-	1	1,5	1	-
A2	4	2	-	-	6	3	3	2	-
A3	4	2	-	-	6	3	3	-	-
A4	4	2	-	-	6	3	3	-	2%
A5	4	2	-	3	3	3	3	-	2%
A6	4	2	-	-	9	4	3	-	2%
A7	4	2	-	-	12	5	4	-	2%

El método de ensayo para evaluar la resistencia de revoques a la erosión hídrica por goteo fue adaptado del ensayo de erosión (método de Geelong) definido en la NZS 4298 (1998). Esta norma fue realizada para elementos constructivos como adobe, tierra apisonada y bloques de tierra comprimida, y en esta adaptación para revoques se modifica el tamaño de las muestras, la cantidad de agua, el tiempo de ensayo y la altura de goteo.

Para el ensayo se fabricaron muestras cilíndricas de 8 cm de diámetro por 2,5 cm de espesor, las cuales fueron secadas a temperatura ambiente durante 28 días. El instrumental utilizado consta de una torre de goteo que permite disponer de una presión continua de agua mediante un tanque de reserva, y permite ser regulado para abastecer una gota de agua por segundo desde una altura de 2 m, impactando en las muestras colocadas a 30° (figura 4). El ensayo concluye cuando el agua perfora la muestra, luego se mide el tiempo y el diámetro de penetración realizado.



Figura 4. Instrumental para ensayo de goteo

² Clasificación adoptada del tipo de suelo en función del contenido de materia orgánica: Extremadamente pobre < 0,6 %, Pobre 0,6 – 1,2 %, Moderadamente pobre 1,21 – 1,8, Medio 1,81 – 2,4, Moderadamente rico 2,41 – 3,0, Rico 3,1 – 4,2, Extremadamente rico > 4,21.

El método para evaluar la absorción de agua por capilaridad en muestras de revoques se realizó siguiendo la norma IRAM 1871 para probetas de hormigón, realizándose ajustes en la dimensión de las probetas. Para el ensayo se fabricaron muestras cilíndricas de 8 cm de altura por 3,5 cm de diámetro. las mismas fueron secadas a temperatura ambiente durante 28 días. Todas las superficies laterales de las muestras fueron selladas con pintura impermeabilizante. Las muestras fueron colocadas en el interior de un recipiente, apoyadas sobre gravilla con una altura de agua de 10 mm (figura 5).

La cantidad de agua absorbida se obtuvo como la ganancia de masa, pesando la muestra a los 3 minutos y 30 segundos, 30 minutos y a 1, 2, 4 y, 8 horas, cuyas determinaciones se realizaron con una balanza con precisión de 0.1g. Cada operación de pesada se completó dentro de los 30 segundos y la temperatura de ensayo se mantuvo a $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Cada punto registrado corresponde al promedio de tres muestras.



Figura 5. Instrumental para ensayo de absorción de agua por capilaridad

4 RESULTADOS

4.1 Caracterización ambiental del área de estudio

El PNLC se encuentra en el sector central de la ecorregión del Monte de Llanuras y Mesetas. La región se caracteriza por ser cálida y seca, y cuenta con tres tipos de ambientes: el jarillal, el serrano y el salitral. El primer grupo se caracteriza por ser un relieve de llanura y por presentar vegetación arbustiva con predominio del género *Larrea* y cuya comunidad vegetal es el jarillal. Esta es la formación clímax de la zona acompañada por cactáceas y otras especies halófilas propias de los suelos salinos. El ambiente serrano es el correspondiente a las sierras de Lihué Calel. El ambiente del salitral se extiende en el sector Norte del área protegida e incluye el salitral Levalle y los alrededores donde la influencia del suelo salino persiste.

Las precipitaciones en el parque se sitúan entre las isohietas de 300 y 400 mm; sin embargo, la media anual registrada es levemente superior con 459,8 mm para la serie 1983-2016 y máximos anuales superiores a 500 mm en 11 oportunidades. El régimen de distribución de las lluvias muestra que las mayores precipitaciones medias mensuales ocurren en el período estival (octubre a abril) con eventos aislados de lluvias torrenciales, siendo julio el mes de menor precipitación media mensual. Las lluvias máximas ocurren en los meses de verano y otoño y las mínimas en los meses de invierno. A pesar de ello, el balance hídrico es especialmente deficitario entre los meses de octubre a marzo, debido a la alta evapotranspiración que ocurre por la elevada temperatura. Asimismo, durante los meses septiembre a noviembre la intensidad del viento es mayor (velocidad media anual de entre 10 y 15 km/h) y al ser coincidente con la finalización de la estación seca, se incrementa la erosión eólica³.

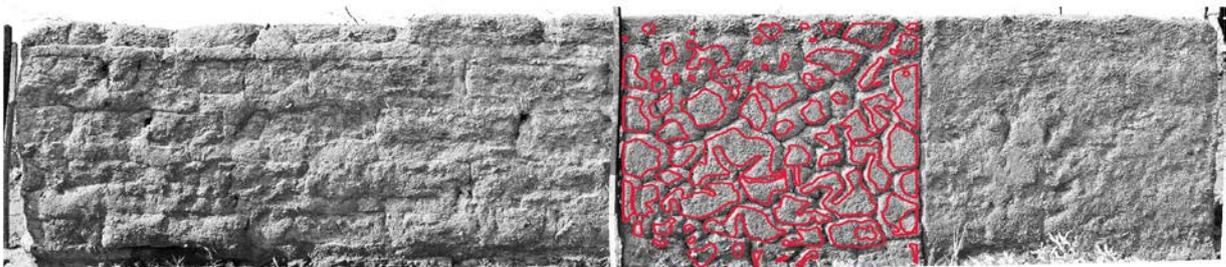
³ Datos suministrados por el área protegida a partir de los registros de la estación meteorológica.

En relación a las características edáficas, las zonas del PNLC está constituido por suelos entisoles con presencia de material aluvial salinizado. La topografía fue recubierta por una capa de sedimentos eólicos (limo, limo-arenoso y areno-limoso) hacia fines del Mioceno en la era Cenozoica. Los sedimentos superficiales más comunes son arenas finas y limosas que descansan sobre cantos rodados y clastos rocosos. Todo el perfil presenta carbonato de calcio en forma pulverulenta. Las formaciones pedemontanas están constituidas por conglomerados muy heteromórficos y brechosos con cementación calcárea (tosca) en superficie.

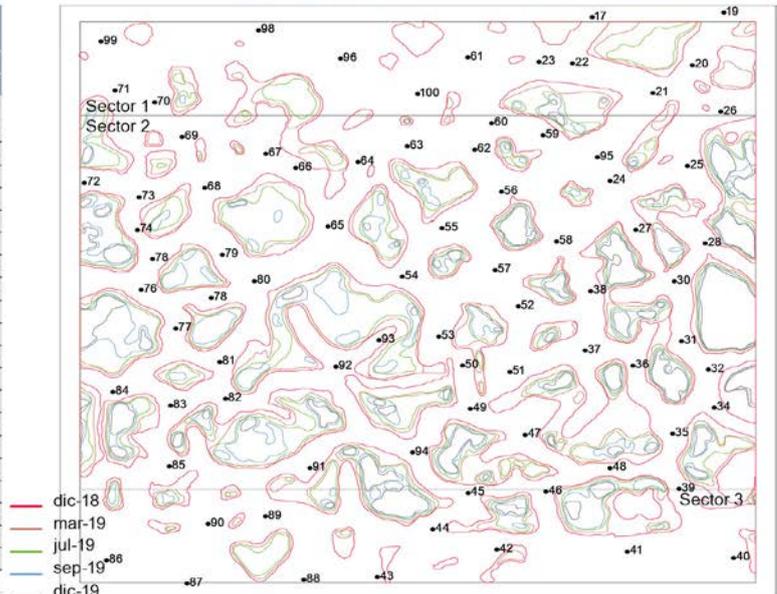
4.2 Registro del deterioro en muros

A partir del monitoreo de los muros se pudo estimar el volumen de material removido por deterioro ambiental. Este deterioro se graficó y los datos fueron procesados estadísticamente mediante Excel y el programa SPSS. La tasa de deterioro se estimó mediante ecuaciones de regresión lineal, cuadrática y cúbica para evaluar el panorama más desfavorable. La figura 6 muestra el ejemplo de procesamiento de datos para AN2 aplicado a los cuatro casos de revoques y las estimaciones de las curvas de regresión lineal, cuadrática o cúbica para cada caso (figura 7). Mediante las ecuaciones obtenidas, se estimó el tiempo medido en meses que se tardaría para alcanzar el deterioro total del revoque, el cual se indica en la tabla 3.

Muro A - Orientación Norte - Sector AN2



Monitoreo de muros						
Sitio	La Casona					
Muro	A Norte					
Acetato	2					
Fecha	Sector	Área	Prof.	Vol.	%	
dic-18	Sector 1	5,5611	1,370	7,619	49,648	
dic-18	Sector 2	16,1900	1,249	20,219	32,939	
dic-18	Sector 3	5,7834	0,933	5,398	35,175	
dic-18	Total	27,5345	1,223	33,663	36,561	
mar-19	Sector 1	6,5639	1,370	8,993	58,600	
mar-19	Sector 2	20,6946	1,267	26,229	42,731	
mar-19	Sector 3	6,6039	1,000	6,604	43,034	
mar-19	Total	33,8624	1,245	42,164	45,794	
jul-19	Sector 1	7,1768	1,400	10,048	65,475	
jul-19	Sector 2	23,1362	1,316	30,454	49,613	
jul-19	Sector 3	6,8821	1,078	7,417	48,336	
jul-19	Total	37,1951	1,295	48,174	52,321	
sep-19	Sector 1	7,6177	1,540	11,731	76,447	
sep-19	Sector 2	26,6026	1,356	36,068	58,760	
sep-19	Sector 3	7,2344	1,222	8,842	57,619	
sep-19	Total	41,4547	1,366	56,632	61,508	
dic-19	Sector 1	7,6663	1,560	11,959	77,934	
dic-19	Sector 2	28,5778	1,386	39,610	64,530	
dic-19	Sector 3	7,4665	1,244	9,292	60,549	
dic-19	Total	43,7106	1,394	60,913	66,157	



Sector	[cm2] Sup.	[cm] e.	[cm3] Vol.
Sector 1	7,6728	2	15,3456
Sector 2	30,6912	2	61,3824
Sector 3	7,6728	2	15,3456
Total	46,0368	2	92,0736

Model Summary						Parameter Estimates		
Equation	R Square	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1	b2
Linear	,998	1846,908	1	4	,000	,119	,082	
Quadratic	,998	716,744	2	3	,000	-,065	,084	-2,829E -6

The independent variable is Dias.

Ecuación de regresión

$$y = 0,082x + 0,119$$

$$y = -2,829E-6x^2 + 0,084x - 0,065$$

Figura 6. Ejemplo de procesamiento de datos de deterioro para el paño AN2

Tabla 3. Ecuaciones de curvas de regresión para estimar la tasa de degradación y el tiempo aproximados, medido en meses, para deteriorar el 100% de la capa de revoque (las ecuaciones cuadráticas que no reflejan el proceso no se completaron en el cuadro)

Sector	Curva de regresión			
	Lineal	Meses	Cuadrática	Meses
AN2	$y=0,082x+0,119$	40	-	-
AN3	$Y=0,048x+3,717$	67	-	-
AS2	$Y=0,077x-1,955$	44	$Y=1,608E-5X^2+0,064X-0,915$	51
AS3	$Y=0,049x+4,700$	65	-	-

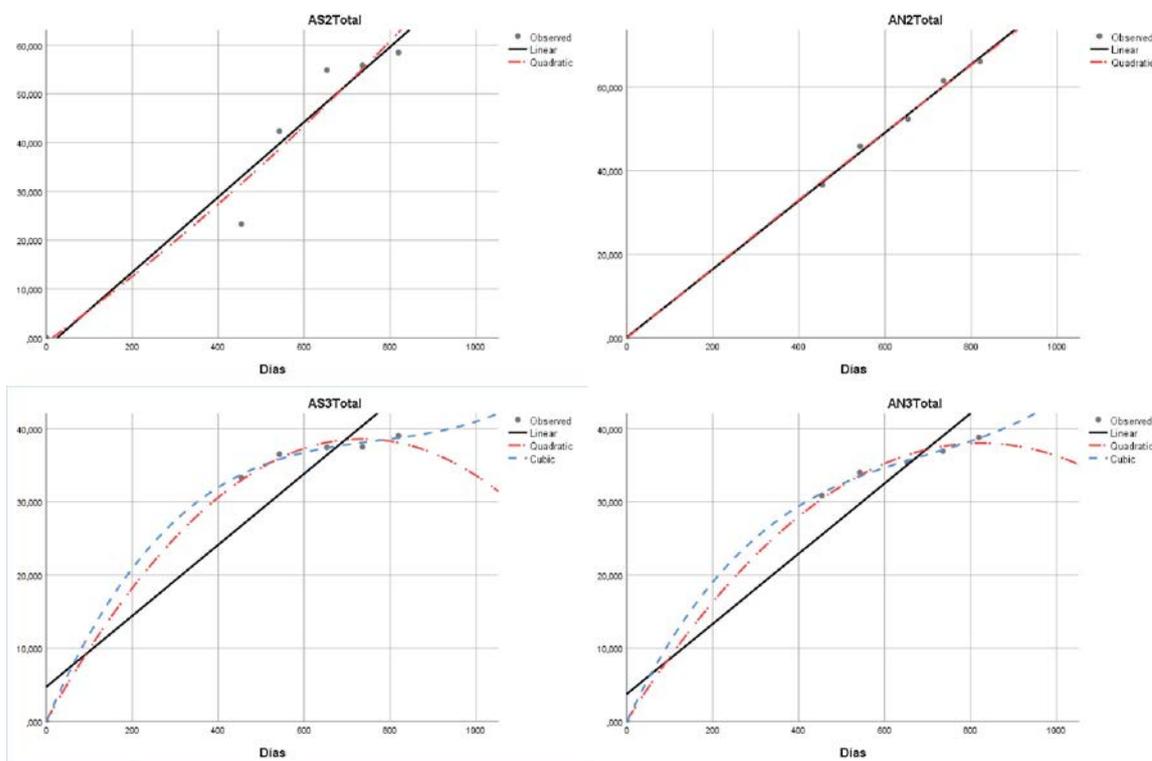


Figura 7. Ecuaciones de regresión lineal, cuadrática y cúbica para estimar el proceso de deterioro. El eje vertical indica el % de material removido acumulado

En el ensayo de erosión hídrica por goteo los mejores desempeños de cada propuesta de mezclas fueron: A4, con un tiempo promedio de perforación de 9hs 26 minutos, y un diámetro de perforado de 2 cm; A5 con un tiempo de perforación de 6hs 38 minutos y un diámetro de perforado de 1,5 cm; en tanto que A6 y A7 se desempeñaron de manera semejante con poca diferencia (tabla 4). El incremento de arena conjugada con el empleo de emulsión asfáltica aparentemente disminuye la desagregación de la muestra.

Tabla 4. Tiempo de goteo para perforación de muestras promediado (sobre tres especímenes) y diámetro de la perforación

Muestra	A 1	A 2	A 3	A 4	A 5	A 6	A 7
Promedio T (h)	1:57	0:38	0:34	9:26	6:38	4:56	5:06
Promedio Ø (cm)	3.5	3.0	2.8	2.0	2.0	1.5	1.5

Las muestras de mayor resistencia son las que contienen un 2% de emulsión asfáltica, y toda la serie se diferencian de forma drástica de las que no contienen este aditivo. Por otro lado, sobre el agregado de mucílago, una parte de este aditivo mejora levemente la resistencia, y dos partes producen la misma resistencia que sin su agregado.

En el ensayo de absorción hídrica por capilaridad los mejores desempeños se ven reflejados también en aquellas muestras que se incorporó emulsión asfáltica siendo las muestras A6 y A7 las que menor porcentaje de agua absorbieron con 22 y 21% respectivamente (figura 8).

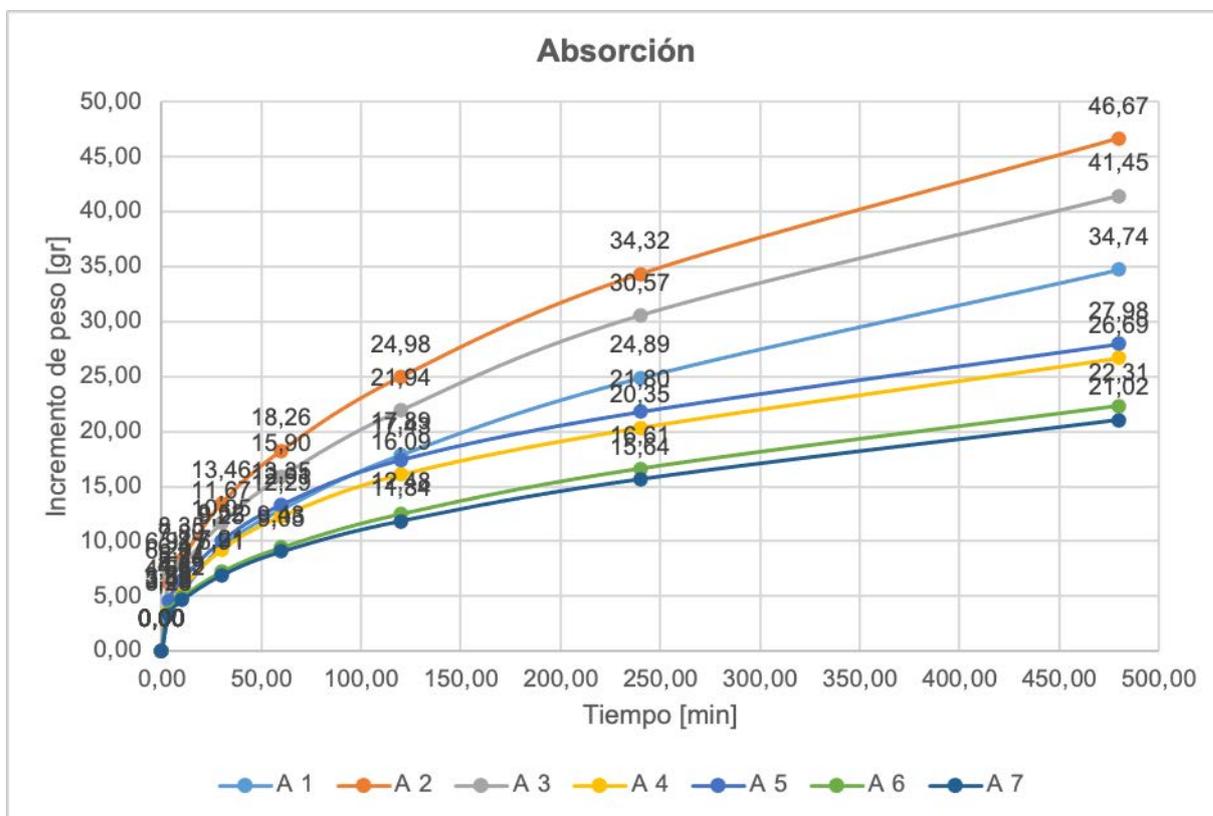


Figura 8. Porcentajes de absorción de agua por capilaridad. Tiempo de duración del ensayo: 8 horas

El análisis de los suelos muestra que la tierra empleada en los adobes de La Casona es un suelo equilibrado en términos granulométricos mientras que la tierra del Tajamar cerrado contenía una importante fracción de arcilla. Esta última se adicionó con la intención de incrementar la cohesión interna del material. En ambos casos nos encontramos con presencias de arcillas de mediana plasticidad, es decir, con buena capacidad de absorber agua. El suelo procedente de la cantera, reconocido localmente como un suelo con carbonatos de calcio, evidencia una textura arenosa.

Tabla 5. Textura, pH, Contenido de materia orgánica e IP de suelo empleados

MUESTRA	Granulometría			pH	Materia orgánica	Indice de plasticidad
	% Arena	% Limo	% Arcilla			
Tajamar cerrado	12	35	53	Moder. alcalino 8,33	Extrem. pobre 0,48%	Arcillas de mediana plasticidad 19%
Cantera	69	28	3	Moder. alcalino 8,00	Moder. pobre 1,23%	Arcillas de baja plasticidad 13%
La Casona	51	36	13	Moder. alcalino 8,28	Extrem. rica 4,23%	Arcillas de mediana plasticidad 28%

5 CONSIDERACIONES FINALES

Como se pudo identificar a lo largo de la investigación, el material empleado en la elaboración de los adobes de La Casona resultó sumamente sensible a la acción del intemperismo. Es posible que la salinidad de los suelos (representadas en cierta forma por el valor de pH medido) conjuntamente con el alto contenido de materia orgánica hayan sido factores que incidieron en la velocidad con la que el material constructivo se degrada. Justamente, Jiménez y Cañas (2007) señalan que los suelos con contenidos elevados de materia orgánica deberían desecharse porque podrían causar inestabilidades indeseables. Este aspecto del acelerado deterioro se constató cualitativamente por el personal de APN, evidenciado mediante el registro fotográfico y luego se determinó experimentalmente mediante la metodología de monitoreo implementada en campo. La parte experimental de campo resultó útil para poder estimar la tasa de degradación que el material utilizado presentaba. Las muestras sin inclusión de fibra presentan una duración estimada de 40 y 44 meses, poco menos de cuatro años. La inclusión de fibra mejora este desempeño a 65 y 67 meses, un poco más de 5 años; la incidencia del intemperismo (viento y lluvia) no parece tener mayor incidencia según se a la orientación Norte o Sur. Esta información sirvió para poder compararla con las distintas mezclas propuestas y evaluar si resultaba posible arribar a una formulación que mejorara la mezcla base. La estrategia de implementar un estabilizante natural y otro industrial reflejó una diferencia sustancial entre ambas. La estabilización natural mediante mucílago de cactus (A1 y A2) de las especies disponibles en el PNLC, sugerida en varios estudios (Martínez Camacho et al., 2008), no resultó adecuada para este tipo de suelo. Incluso el incremento en la cantidad de mucílago en la muestra de laboratorio (A2) resultó contraproducente en tanto aceleró la degradación del material y la velocidad de absorción de agua con respecto a la muestra que prescindió de su incorporación (A3). La estabilización mecánica por agregado de arena, no surtió un efecto de estabilización del material en estas mismas muestras si se compara el desempeño entre las muestras A1 a A3.

Por otra parte, la inclusión de la emulsión asfáltica de base acuosa en las mezclas mejora sustancialmente el desempeño de las mismas en todos los casos (subserie A4 a A7). La muestra A4, con proporciones iguales de suelo y arena, se presenta con la mayor resistencia a la erosión por goteo, pero no con mejor resistencia a la absorción de agua. El reemplazo de una parte de arena por el suelo arenoso de La Cantera no ofrece mejores condiciones que las restante muestras de esta subserie. Finalmente, el incremento de arena en la proporción 1:1,5 en A6 y 1:2 en A7 reduce la resistencia al goteo respecto a A4, pero le incrementa levemente la resistencia a la absorción del agua.

Si tomamos en consideración que las lluvias torrenciales pueden ser un factor importante en la degradación mecánica de las estructuras de tierra, pero que en este ambiente se presentan como eventos cortos, sería conveniente considerar los resultados del ensayo de goteo como primer criterio en la elección de la estabilización más adecuada. En segundo lugar, considerar la velocidad de absorción como factor. Esto nos lleva a considerar la mezcla A4 como la más adecuada para la intervención. Por otra parte, si consideramos que esta mezcla requiere el empleo de agregado de arena, recurso que no es fácil de obtener en el este sitio, restringir su empleo también debería ser un factor a considerar. Este aspecto conduce nuevamente a considerar la muestra A4 como más adecuada.

Finalmente, resta en esta investigación estimar una fórmula más precisa para establecer la tasa de degradación que pueda relacionar los datos obtenidos en campo con los de laboratorio. En este aspecto aún se está trabajando.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Avrami, E.; Guillaud, H.; Hardy, M. (2008). Terra literature review. An overview of research in earthen architecture conservation. Los Ángeles: The Getty Conservation Institute.
- Chaudhry, C.; Sikka, S. (2009). Conservation treatments for earthen structures in the Western Himalayas of India. *APT Bulletin*, Vol. 40 (2): 35-42. <http://www.jstor.org/stable/40284489>
- Daneels, A.; Kita, Y. (2017). Derivados de petróleo para estabilizar cubiertas de sacrificio de arquitectura prehispánica. Congreso Internacional de Arquitectura de Tierra, 14. Ciudad de México. p.267-268.
- Doehne, E. (2002). Salt weathering: a selective review. *Geological Society, Special Publications*, 205, 51-64. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2002.205.01.05>
- Fodde, E. (2007). Analytical methods for the conservation of the buddhist temple II of Krasnaya Rechka, Kyrgyzstan. *Conservation and Management of Archaeological Sites*, 8 (3): 136-153.
- Fodde, E.; Watanabe, K.; Fujii, Y. (2007). Preservation of earthen sites in remote areas: the Buddhist Monastery of Ajina Tapa, Tajikistan. *Conservation and Management of Archaeological Sites*, 9(4): 194-218.
- Fodde, F.; Watanabe, K.; Fujii, Y. (2009). Learning from vernacular wisdom: mud brick construction in Tajikistan. *International Conference on Non-conventional Materials and Technologies*, 11. Proceedings... Bath, UK
- IRAM 1871 (2021). Método de ensayo para la determinación de la capacidad y el coeficiente de succión capilar de agua del hormigón endurecido. Argentina: Instituto Argentino de Normalización y Certificación
- IRAM 10501 (2007). Geotecnia. Método de determinación del límite líquido y del límite plástico de una muestra de suelo. Índice de fluidez e índice de plasticidad. Argentina: Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- Jiménez Delgado, M.C.; Cañas Guerrero, I. (2007). The selection of soils for unstabilised earth building: A normative review. *Construction and Building Materials* 21, 237–251.
- Martínez-Camacho, F.; Vázquez-Negrete, J.; Lima, E.; Lara, V.; Bosch, P. (2008). Texture of nopal treated adobe: restoring Nuestra Señora del Pilar mission. *Journal of Archaeological Science*, 35 (5): 1125-1133.
- NZS 4298 (1998). Materials and workmanship for earth buildings. New Zealand: Standards New Zealand
- Proyecto COREMANS (2017). Criterios de intervención en la arquitectura de tierra. Secretaría General Técnica, Subdirección General de Documentación y Publicaciones. Madrid, España.
- Prina, A.; Muiño, W.; González, M.; Tamame, A.; Beinticinco, L.; Mariani, D.; Saravia, V. (2015). Guía de plantas del Parque Nacional Lihué Calel. *Visión 7*, Santa Rosa, Argentina.
- Rainer, L. (2008). Deterioration and pathology of earthen architecture. En: Avrami, E., Guillaud, H. y Hardy, M. (ed.), *Terra literature review. An overview of research in earthen architecture conservation*, Los Ángeles. The Getty Conservation Institute. p.45-61.
- Rescic, S.; Mattone, M.; Fratini, F.; Luvidi, L. (2012). Earthen plasters stabilized through sustainable additives: an experimental campaign. *Sustainability*, 13, 1090. <https://doi.org/10.3390/su13031090>
- Rolón, G.; Cilla, G. (2012). Adobe wall biodeterioration by the *Centris muralis* Burmeister bee (Insecta: Hymenoptera: Apidae) in a valuable colonial site, the Capayán ruins (La Rioja, Argentina). *International Biodeterioration & Biodegradation* 66:33–38.
- Rolón, G.; Romiti, M. (2018) Pautas consideradas en un diseño experimental para remediar biodeterioros. 17° Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con tierra, La Paz Bolivia.
- Rolón, G.; Romiti, M. (2018) Pautas consideradas en un diseño experimental para remediar biodeterioros. Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra, 17 Memorias... La Paz, Bolivia: PROTERRA/FAADU-UMSA. p.39-52

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al personal del PNLC por su participación en la tarea de campo durante todo el período de la investigación. Al Lic. Enzo Marcial por la determinación de la presencia de carbonatos de calcio en distintas muestras de suelos del PNLC. A Dr. Lucas Peisino y a la Dra. Annick Danniels por el asesoramiento sobre el empleo de emulsión asfáltica en las muestras.

AUTORES

Guillermo Rolón es Doctor por la Universidad de Buenos Aires con especialidad en arqueología, Master en restauración y gestión integral del patrimonio construido, Arquitecto, Investigador Adjunto del CONICET e investigador adscripto del CRIATiC; Integrante del programa de extensión universitaria MHaPa (Mejora del Hábitat Participativo), miembro de la Red Iberoamericana PROTERRA y miembro de la Red Argentina PROTIERRA.

Gonzalo García Villar, Arquitecto, doctorando en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la UNT. Becario doctoral de CONICET con lugar de trabajo en CRIATiC. Diseñador en permacultura por el Instituto Argentino de Permacultura. Diseñador, director y constructor de diversas obras de arquitectura de tierra y bioclimáticas. Miembro de la red argentina PROTIERRA.

Mariana Romiti, licenciada por la Universidad de Buenos Aires en Ciencias Antropológicas con orientación en arqueología. Agente de conservación del Programa "Manejo de Recursos Culturales" de la Dirección Nacional de Conservación de la Administración de Parques Nacionales.