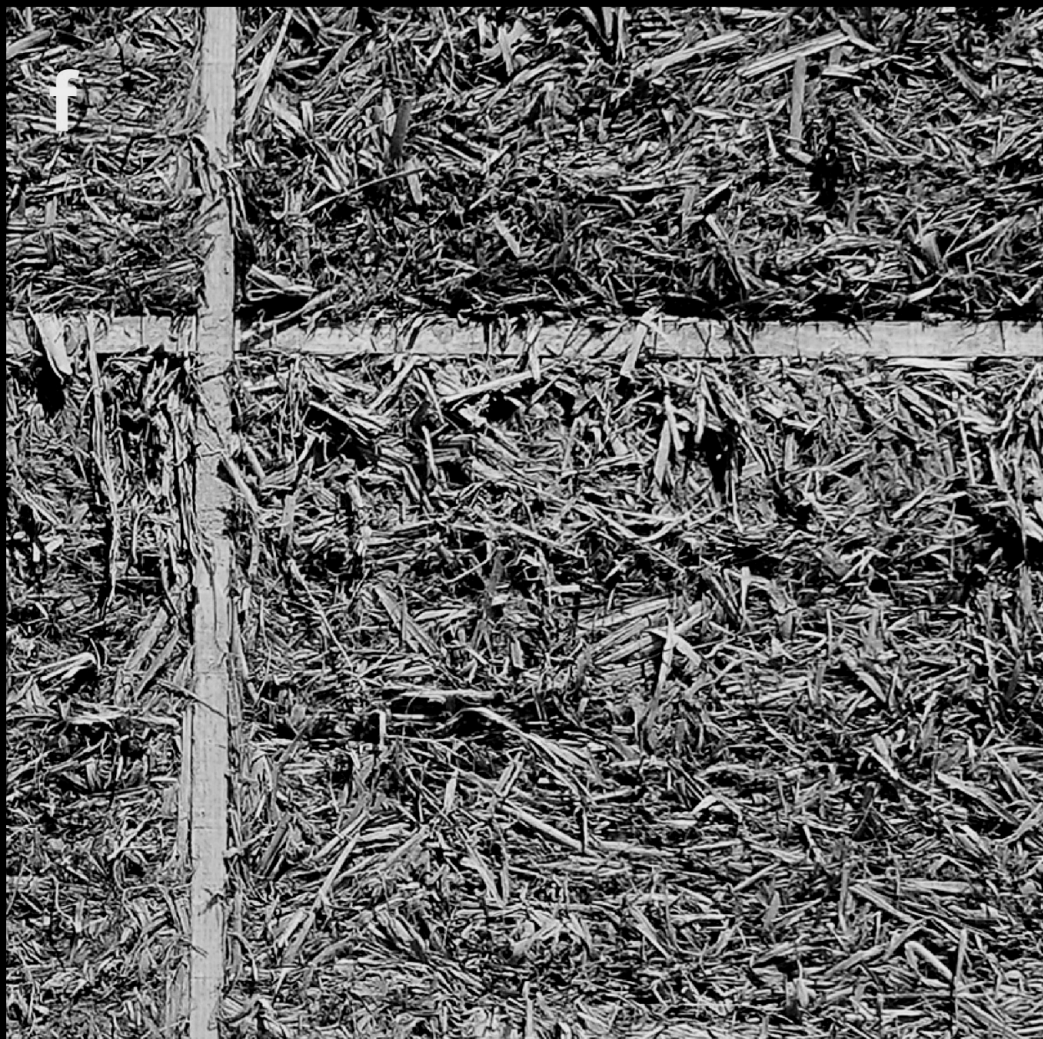


Revoques de tierra frente a la intemperie.
Estrategias de mejora adherente
mediante materiales naturales



ESP Las tecnologías de construcción con tierra se destacan por su alineación con la sostenibilidad ambiental. Los revoques de tierra son esenciales en este tipo de construcción, proporcionando protección contra la intemperie. Sin embargo, en los muros de tierra alivianada encofrada, donde partes de la madera estructural quedan expuestas, surgen desafíos que afectan la adherencia de los revoques. Esto puede dar lugar a fisuras y desprendimientos y comprometer la durabilidad de las estructuras frente a factores ambientales. Esta investigación evaluó la adherencia de los revoques sobre los muros de tierra alivianada encofrada considerando la lluvia, el viento y la radiación solar, así como la orientación y el tipo de pintura de protección. Se propuso implementar capas de agarre de material natural antes de los revoques gruesos en áreas de madera expuesta y someter las muestras a pruebas de arrancamiento tras dos períodos de lluvia. Los resultados respaldan la eficacia de los materiales naturales como revestimientos y protectores de los muros de tierra alivianada encofrada. La elección entre pintura natural o sintética no afecta significativamente la adherencia durante el período evaluado. No obstante, la preparación en seco de las muestras para las pruebas de arrancamiento redujo la adherencia y generó dispersión de datos.

ENG **Earth plasters against weather. Adhesion-improvement strategies using natural materials**

Earth construction technologies are outstanding for their alignment with environmental sustainability. Earth plasters are essential in this type of construction, providing protection against exposure to open sky. However, in light earth walls (LEM, Light Earth Method), where parts of the structural timber are exposed, some challenges affect the adhesion of plaster. This can lead to cracking and detachment, threatening the structure's durability against environmental factors. This research work assessed the adhesion of plasters on LEM walls, considering rain, wind, solar radiation, and the orientation and type of protective paint. The work proposes the use of bonding layers of natural material before thick plasters on areas of exposed wood and samples must be subjected to pull-out tests after two rainy periods of time. The results support the effectiveness of natural materials as plasters and protectors for light earth walls. The choice between natural or synthetic paint does not significantly affect adhesion during the evaluated period. However, dry preparation of samples for pull-out testing reduced adhesion and generated unfocused data.

POR **Rebocos de terra contra o tempo. Estratégias de melhoria de adesão usando materiais naturais**

As tecnologias de construção com terra destacam-se pela sua coerência com a sustentabilidade ambiental. Os rebocos de terra são essenciais neste tipo de construção, proporcionando proteção contra a intempérie. Porém, nas alvenarias de terra aligeirada formatada (TAE), aonde partes da madeira estrutural ficam expostas, surgem desafios que afetam a aderência dos rebocos. Isto pode gerar fissuras e descolamentos comprometendo a durabilidade das estruturas frente a fatores ambientais. Esta investigação avaliou a aderência dos rebocos sobre alvenarias de TAE, considerando a chuva, o vento e a radiação solar, bem como a orientação e o tipo de pintura de proteção. Se sugeriu implementar uma camada de chapisco sobre o material natural antes dos rebocos grossos nas áreas de madeira expostas e submeter as amostras a provas de aderência depois dos períodos de chuva. Os resultados atestam eficácia dos materiais naturais como revestimentos e protetores de muros de TAE. A eleição entre pintura natural ou sintética não afetou significativamente a aderência durante o período avaliado. Porém, a preparação em seco das amostras para os ensaios de aderência reduziu a aderência e gerou dispersão dos dados.

Autores:

Arq. Gonzalo García Villar

Centro Regional de Investigaciones de Arquitectura de Tierra Cruda
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Universidad Nacional de Tucumán
CONICET
Argentina
arqgonzalogv@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-7697-4640>

Dr. Arq. Guillermo Rolón

Instituto de Investigaciones Territoriales y Tecnológicas para la Producción del Hábitat
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Universidad Nacional de Tucumán
CONICET
Argentina
guillerolono2@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-8896-1313>

Palabras clave: arquitectura sustentable, construcción experimental, ensayo de materiales, revestimientos, técnica mixta.

Keywords: sustainable architecture, experimental construction, materials testing, coatings, mixed technique.

Palavras-chave: arquitetura sustentável, construção experimental, ensaio de materiais, revestimentos, técnica mista.

Artículo Recibido: 30/06/2023

Artículo Aceptado: 01/11/2023

CÓMO CITAR

García Villar, G., & Rolón, G. Revoques de tierra frente a la intemperie: Estrategias de mejora adherente mediante materiales naturales. *ARQUISUR Revista*, 13(24), 82–93. <https://doi.org/10.14409/ar.v13i24.13062>

ARQUISUR REVISTA

AÑO 13 | N° 24 | DIC 2023 – MAY 2024

PÁG. 82 – 93

ISSN IMPRESO 1853-2365

ISSN DIGITAL 2250-4206

DOI <https://doi.org/10.14409/ar.v13i24.13062>



INTRODUCCIÓN

El uso de materiales naturales como la tierra, con escaso o nulo procesamiento industrial, constituye un aporte de gran importancia para la sostenibilidad ambiental (Castilla Pascual, 1998:1; Minke, 2006:51; Schroeder & Lemke, 2015:50) en un contexto en el que el rubro de la construcción representa alrededor del 39 % de las emisiones de dióxido de carbono (Ré & Filippín, 2021:2). Teniendo en cuenta que la arquitectura con tierra es la forma en la que al menos un tercio de la población mundial resuelve la producción de su hábitat, este campo de estudio resulta relevante para pensar desarrollos tecnológicos que colaboren en la mitigación del impacto ambiental (Minke, 2005:13). De esta forma, desarrollar sistemas constructivos y diferentes técnicas con tierra que puedan resolverse con la mayor incorporación de materiales naturales, manteniendo adecuadas prestaciones, constituye una estrategia en favor de modificar la matriz productiva de la arquitectura y la construcción. Una de estas técnicas son los revoques con tierra que, por su versatilidad, pueden ser empleados en muros y techos también de tierra, así como sobre otros materiales naturales o industrializados (Santos *et al.*, 2019:322).

Los revoques juegan un papel muy importante en la estética y la durabilidad de las edificaciones (Faria & Lima, 2018:10; Sosa *et al.*, 2013:2). Al exterior actúan como capas de sacrificio para proteger a las construcciones del intemperismo. Diversos fenómenos pueden afectar fundamentalmente a los muros: la acción abrasiva del viento, el desgaste mecánico por lluvia por escurrimiento o goteo, las dilataciones y contracciones del material ante cambios de temperatura, las fracturas por congelamiento del agua al interior del revoque o la degradación por lluvia ácida (Faria & Lima, 2018:35; Mattone, 2011:319; Quiñónez & Ayala, 2014:2). A estos efectos también pueden sumarse, al margen de la acción antrópica, procesos de biodeterioro por acción química o mecánica de insectos y microorganismos (Rolón & Cilla, 2012:37–38; Rolón *et al.*, 2016:4–9).

Asimismo, los revoques pueden ser protegidos para favorecer su durabilidad mediante la implementación de aleros o la estabilización de las mezclas con productos hidrófugos, o su protección luego del secado con pinturas repelentes al agua —pero permeables al vapor— (Castilla Pascual, 2004:27; Minke, 2005:119; Stazi *et al.*, 2016:27).

Ahora bien, la prestación de los revoques de tierra depende de la compatibilidad de los materiales, de la homogeneidad de las superficies de muros a revestir y

de la cohesión alcanzada (Delot, 2015:59–76; García Villar, 2023:9). La mayor compatibilidad entre estos revoques ocurre con muros resueltos con algunas de las técnicas de construcción con tierra. Sin embargo, existen determinados casos en que los muros presentan simultáneamente materiales diferentes, además de la tierra, que hacen heterogénea la superficie muraria y comprometen su compatibilidad y estabilidad. En los sistemas constructivos con técnicas mixtas el empleo de madera o metal en la estructura de sostén genera cambios de materialidad en la superficie (HABYTED & CYTED, 2003:39–43), como el caso específico de la Tierra Alivianada Encofrada (TAE). Esta técnica está compuesta por un armazón de madera relleno con fibras embarradas que conforman bloques sólidos en los espacios vacíos de la estructura (Gaia, 2003:9; Volhard, 2016:72–86; Wieser-Rey *et al.*, 2019:168). Por su conformación, ambos materiales quedan simultáneamente expuestos al momento de aplicar los revoques. Esto provoca adherencias diferenciales del revoque sobre el muro, y estas diferencias pueden verse reflejadas en fisuras paralelas a la estructura de madera y en una reducción de la adherencia general. Por lo tanto, para revocar sobre este tipo de muros es preciso homogeneizar la superficie previamente de manera de garantizar una adherencia uniforme. Al mismo tiempo, esta homogeneización puede colaborar en retardar la absorción del agua que ejerce la madera sobre la mezcla de revoque aplicado, cuestión que también puede derivar en un desprendimiento o un agrietamiento excesivo del revoque (Delot, 2015:59–60; Weismann & Bryce, 2009; Moreteau, 2012).

Frente a estas problemáticas planteadas, y en continuidad con investigaciones anteriores sobre capas de homogeneización o agarre (García Villar, 2023:1–10), el objetivo de esta investigación consistió en evaluar las variaciones en la adherencia de los revoques de tierra aplicando capas de agarre de material natural sobre muros de TAE frente a los factores de intemperie como la lluvia, el viento y la radiación solar, en función de variables como orientación y tipo de pintura de protección.

METODOLOGÍA

El diseño experimental consistió en evaluar las variaciones de adherencia de revoques de tierra aplicados en dos paneles experimentales de TAE que fueron sometidos al intemperismo durante dos períodos de lluvia en el campo experimental del Centro Regional de

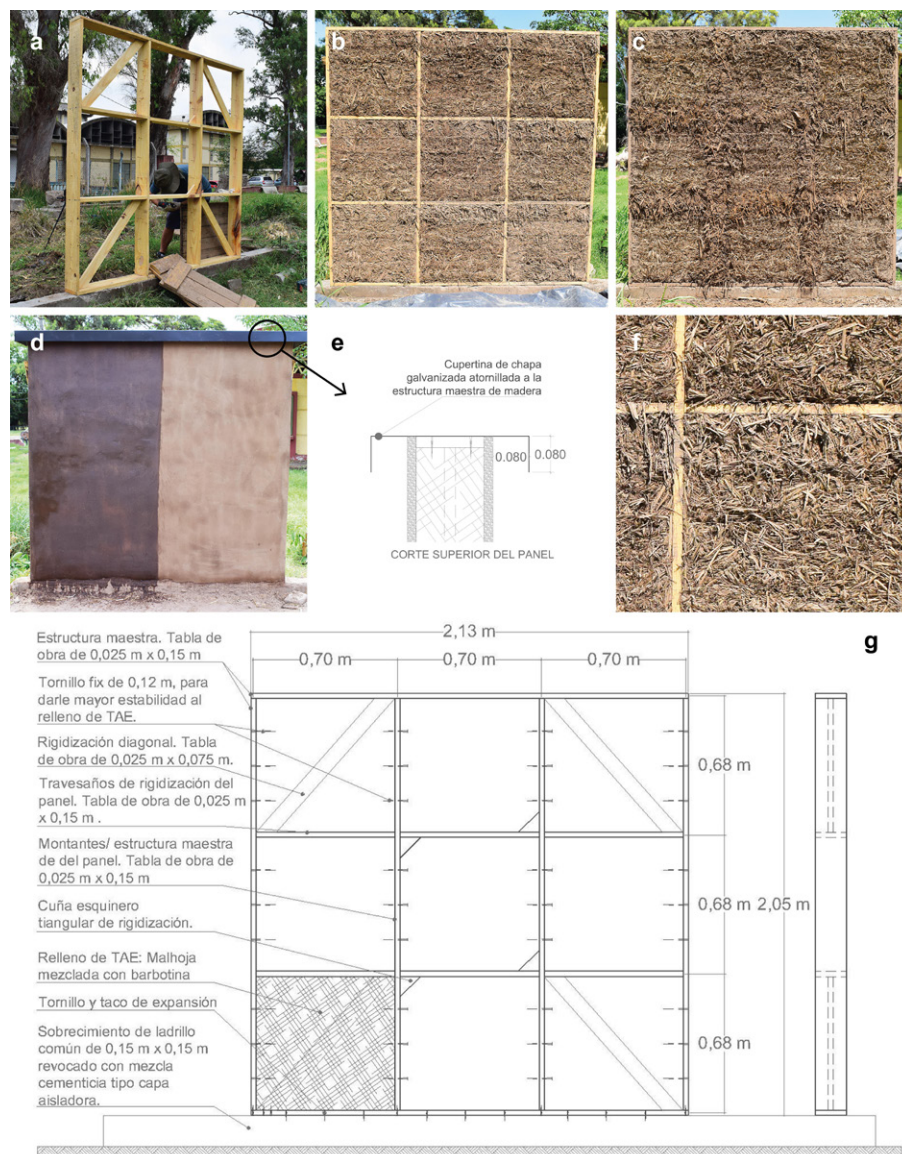


FIGURA 1 | Proceso de ejecución de paneles experimentales de TAE para evaluación en intemperie. Fuente: fotografías y planimetrías de elaboración propia.

Investigaciones de Arquitectura de Tierra Cruda, de la Universidad Nacional de Tucumán. La adherencia fue medida mediante el método de arrancamiento de morteros y sustratos, es decir, rotura por esfuerzo de tracción normalizado según la Norma IRAM 1764 (2003) y considerando los rangos de fuerza adhesiva establecidos en la Norma Alemana DIN 18947 (2013), clase 1 (SI) $\geq 0,05 \text{ N/mm}^2$ y clase 2 (SII) $\geq 0,10 \text{ N/mm}^2$, para evaluar la magnitud de los resultados obtenidos.

1. IMPLANTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE PANELES

Los paneles fueron dispuestos con relación a los cuatro puntos cardinales. Están constituidos por una estructura maestra de tablas de pino de obra de 0,15 m x 0,025 m y montantes y travesaños conformando una trama horizontal y vertical cada 0,70 m aproximadamente de igual escuadría. Cada panel posee un ancho final de 2,13 m y una altura de 2,05 m (Figuras 1a y 1g). Para el relleno se empleó malhoja (nombre local del residuo agrícola de cosecha de la caña de azúcar) humedecida en barbotina (barro líquido). La tierra

para la elaboración del relleno del panel corresponde a un suelo arcillo limoso de la ciudad de San Miguel de Tucumán.

El proceso constructivo del muro consistió en encofrar con tablas sucesivamente cada uno de los cuadros de la estructura e ir rellenando con manojos de malhoja escurridos y presionando con las manos. Luego se dejó secar durante 30 días antes de ser revocados (Figura 1b).

2. PREPARACIÓN Y APLICACIÓN DE REVOQUES

Luego del secado de los paneles, se recubrieron los sectores con maderas expuestas de montantes y travesaños con capas de agarre compuestas por una pintura de tierra, arena y engrudo de harina (puente adherente), y una trama de fibras de malhoja (Figura 1c). Se dejaron secar durante 2 días y se ejecutaron los revoques gruesos de tierra con un espesor de 1,5 cm y finos de 0,5 cm. La dosificación de los revoques fue 1:4:1 (tierra: arena gruesa: malhoja). Los materiales para el revoque fino se tamizaron en tamiz de 0,20 cm, y la malhoja se reemplazó por bosta de vaca seca y desagregada.

Completada la aplicación de revoques se colocó sobre los paneles una cupertina de chapa galvanizada con el fin de evitar el ingreso de agua por la parte superior y su escurrimiento (Figura 1e).

Se esperó dos días para que los revoques finos estuvieran secos y se aplicaron pinturas de protección a los paneles. En cada orientación se dividió la cara del panel en 2 mitades iguales, y se aplicaron dos manos de una pintura sintética¹ de marca comercial Plavicon en una mitad, y dos manos de una pintura natural a base de cera de abeja mezclada con aceite de girasol, 5 g por 300 ml respectivamente diluidos mediante calor leve (Figura 1d).

3. REGISTRO METEOROLÓGICO

El período de exposición propuesto para monitorear fue de dos estaciones de lluvia, correspondiente a dos veranos de la ciudad de San Miguel de Tucumán. Las precipitaciones son el factor de mayor afectación debido a que la ciudad se ubica en la ecorregión de Yungas presentando clima subtropical con estación seca. Las lluvias predominantes se distribuyen entre los meses de diciembre y marzo con un promedio de precipitaciones de 800 mm anuales. Los datos de las variables meteorológicas precipitaciones, viento y radiación solar, se obtuvieron de la estación meteoroló-

gica pública El Colmenar, perteneciente a la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres.

4. ENSAYOS DE ARRANCAMIENTO

Para realizar los ensayos sobre los paneles expuestos a la intemperie se diseñó y construyó un instrumental específico, el cual consiste en una estructura de hierro posible de atornillarse al panel y ejecutar los ensayos. Consta de un armazón de planchuela metálica de 2" x 1/8" preparado para cruzar dos ejes rotatorios paralelos a los paneles (solo un eje se utiliza para el ensayo de arrancamiento, el segundo está diseñado para un ensayo de adherencia denominada cizallamiento), realizados con varilla roscada de 0,8 cm de diámetro donde giran las poleas (Figura 2). Este instrumental es una adaptación del indicado en la norma IRAM 1764 (2003) correspondiente a «Método de ensayo para revoques y carpetas». El procedimiento para ejecutar el ensayo requiere de la preparación de las muestras a ser ensayadas, las cuales se obtienen cortando el revoque en rectángulos de 10 cm de ancho por 8 cm de alto con una amoladora de disco diamantado de 9". Se ensayaron 5 muestras por orientación y por pintura de protección en sectores de madera expuesta (sector con capa de agarre), y 5 en el sector sin madera (sector de relleno de muro) para control. A los rectángulos se adhirió una pieza metálica rectangular de 6 cm x 8 cm que contiene un anillo de agarre. Se empleó como pegamento una resina epoxi para elementos de construcción y anclajes Sikadur-31.

Luego de 24 horas de secado del pegamento, se engancha un cable de acero al anillo de la pieza metálica y este se pasa por la polea que une al recipiente que aplica la carga (Figura 2). La ejecución del ensayo propiamente dicho se realiza colocando 500 g de arena en el recipiente cada 10 segundos hasta desprender la muestra de revoque del muro.

5. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS

Todas las series ensayadas fueron analizadas mediante el software estadístico Rstudio. Para comprobar si las distribuciones resultaron normales se utilizó el test de normalidad de Shapiro-Wilk; y para averiguar si existía homogeneidad de las varianzas, el test de Levene. Luego se realizó un test ANOVA robusto denominado t3way, el cual posee mayor flexibilidad que un ANOVA y menor sensibilidad respecto de los datos. Posteriormente, debido a que la prueba estadística *post hoc* para determinar donde existían diferencias

1. Recubrimiento acrílico de base acuosa de poro abierto con pigmentos transparentes y semitransparentes resistentes a la luz solar. Es hidrorrepelente, pero permite la permeabilidad al vapor sin generar cuarteos o ampollas. Además, contiene funguicidas y antialgas. <https://www.plavicon.com/holas-t/58-tecnica.pdf>

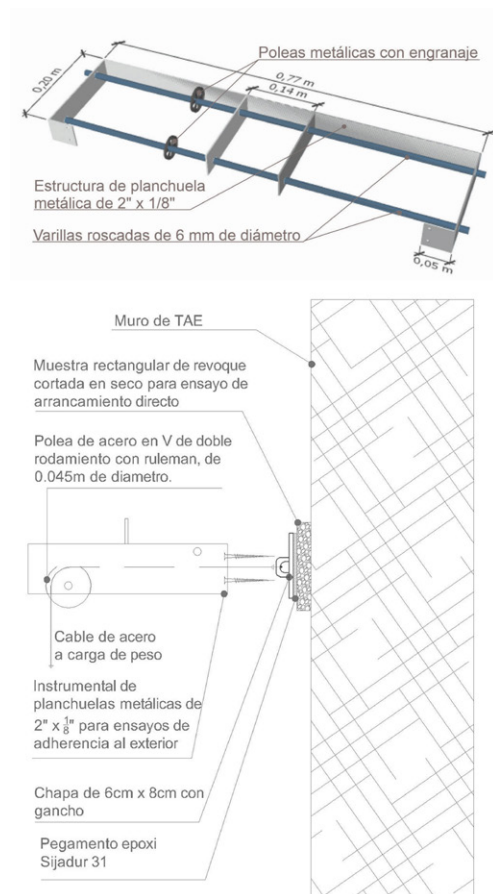


FIGURA 2 | Instrumental de arrancamiento para los muros experimentales de TAE expuestos a la intemperie. Fuente: planimetría y fotografía de elaboración propia.

significativas no se pudo realizar, principalmente por no encontrar el test adecuado, se decidió tomar en cuenta la comparación entre medias y las observaciones realizadas en los gráficos exploratorios de cajas y bigotes.

RESULTADOS

El período experimental considerado abarcó desde el 1 de diciembre de 2020 hasta el 1 de abril de 2022. La Figura 3 muestra las condiciones concretas de emplazamiento de los paneles.

1. REGISTRO METEOROLÓGICO

VIENTO

En la Tabla 1 se muestran los datos de la dirección de los vientos en porcentaje según el total registrado para todo el período (frecuencia de registro corresponde a 15 minutos). El valor correspondiente a SO

(sudeste) es el más alto de todas las orientaciones para el período considerado, con 11,4 %, seguido por la dirección SSO (sudsudeste) con 10,2 %. Estos datos dejan ver que el sector SO–SSO es el más afectado por la acción del viento (Figura 3).

PRECIPITACIONES

Se registraron 147/486 días con lluvia (30 %) con una máxima diaria de 101,9 mm, y una precipitación total para el período considerado de 1612,3 mm.

RADIACIÓN SOLAR

La radiación solar en el período considerado fue de 165,7 W/m², mayor durante los meses de verano y menor durante el invierno. Por la disposición de los muros experimentales, la orientación norte fue la más afectada debido a la cantidad de horas de plena exposición, seguida de la orientación este con menor cantidad. En

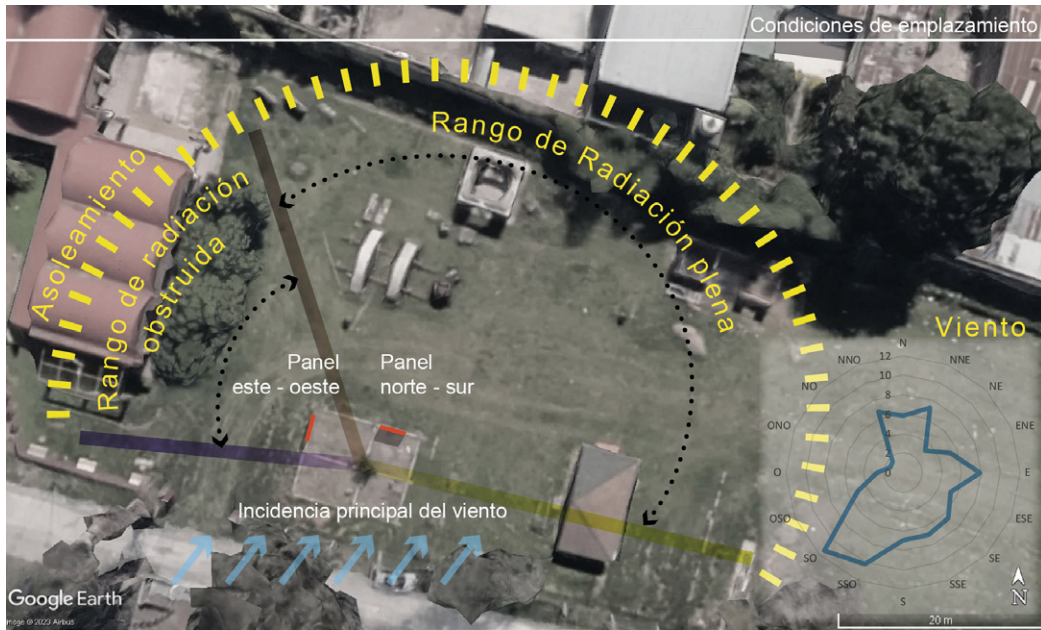


FIGURA 3 | Esquema de emplazamiento de paneles experimentales y factores climáticos analizados. Fuente: imagen satelital Google Earth. Esquematación: elaboración propia. Rosa de los Vientos: elaboración propia en software Microsoft Excel.

N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSO	SO	OSO	O	ONO	NO	NNO	CALMA
5,8	7,2	3,2	5,3	7,9	5,3	6,6	6,9	7,0	10,2	11,4	5,0	2,7	1,4	1,5	6,7	5,9

TABLA 1 | Registro de la dirección de los vientos en porcentaje para el período considerado. Fuente: Estación meteorológica El Colmenar. <https://agromet.eeaoc.gob.ar/index.php>

Orientación	Pintura	Sector de muro			
		Capa de agarre	DS	Relleno	DS
SUR	Cera y aceite	0,003	0,003	0,016	0,009
	Sintética	0,001	0,001	0,009	0,014
NORTE	Cera y aceite	0,002	0,001	0,012	0,005
	Sintética	0,001	0,004	0,011	0,007
ESTE	Cera y aceite	0,001	0,001	0,013	0,012
	Sintética	0,002	0,003	0,005	0,003
OESTE	Cera y aceite	0,003	0,001	0,011	0,012
	Sintética	0,002	0,001	0,007	0,004

TABLA 2 | Resultados de ensayo de arrancamiento. Valores de fuerza adhesiva expresados en N/mm². Fuente: elaboración propia.

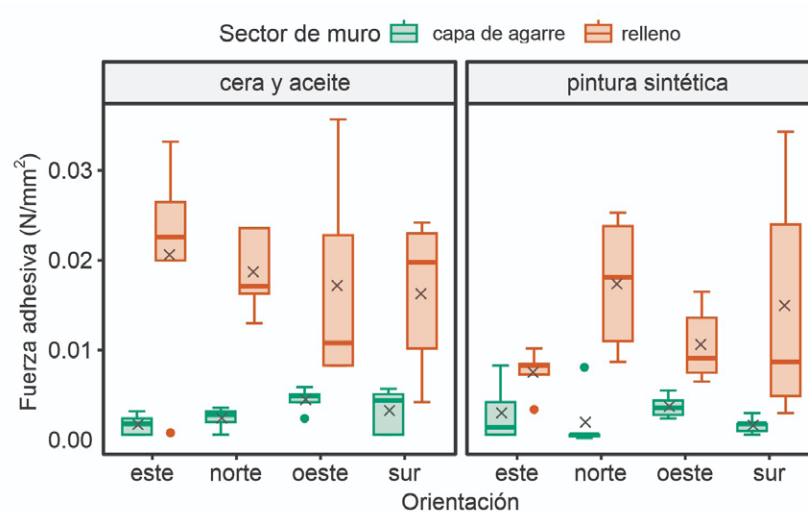


FIGURA 4 | Valores de fuerza adhesiva expresados mediante diagrama de cajas y bigotes. Fuente: elaboración propia.

tercer lugar, lo fue la orientación oeste, con obstrucciones por la presencia de árboles y construcciones cercanas. El sector sur prácticamente no tuvo exposición.

2. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE ARRANCAMIENTO

Los resultados de los ensayos de adherencia se exponen en la Tabla 2 y contemplan las variables pinturas de protección (cera y aceite, sintética), orientaciones (sur, norte, este, oeste), y sector de muro (capa de agarre, relleno).

Del análisis de los datos registrados se observa:

- Los valores de fuerza adhesiva sobre el sector de capa de agarre resultaron en menos de la mitad que los de relleno.
- Entre sectores de pinturas protectoras, los revoques con cera y aceite se comportan mejor que la pintura sintética en el 88 % de las veces.
- Comparados los valores de fuerza adhesiva entre orientaciones, no existen diferencias significativas en ninguno de los dos sectores, pero se destacan la orientación sur y oeste con los valores más elevados.

3. ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO SEGÚN ORIENTACIONES Y TIPO DE PINTURA

Si se analizan comparativamente las orientaciones en interacción con las pinturas, no se observan diferencias significativas (Figura 4); en todos los casos los valores medios fueron similares. La orientación este para la pintura sintética muestra la media más

baja de toda la serie, pero en general las pinturas de cera y aceite son levemente superiores a las de pintura sintética.

4. ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO SEGÚN SECTOR DEL MURO Y ORIENTACIÓN

Si analizamos comparativamente el sector de muro respecto de la orientación (Figura 4) para el ensayo de arrancamiento, nuevamente no se observan diferencias significativas entre los grupos del sector de relleno, por un lado, y los grupos del sector de capa de agarre, por otro. Se advierten nuevamente valores superiores y su mayor dispersión en los datos de relleno de muro con relación a los de capa de agarre.

5. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DEL ENSAYO DE ARRANCAMIENTO

El análisis de normalidad realizado mediante la prueba de Shapiro–Wilk revela que las variables de pintura, sector de muro y orientación, no siguen una distribución normal. Asimismo, al evaluar las interacciones, se observa que las combinaciones de capa de agarre *versus* pintura sintética y sector de muro *versus* pintura sintética tampoco cumplen con la normalidad. De manera similar, en la interacción entre pintura y orientación, los grupos este *versus* cera y aceite, oeste *versus* cera y aceite, sur *versus* cera y aceite, y sur *versus* pintura sintética, también presentan falta de normalidad. Por último, en la interacción entre sector de muro y orientación, los grupos oeste *versus* sector de muro,

Variable	Valor Q	Valor p
Pintura	4,5778	0,0550
Sustrato	54,0086	0,0001
Orientación	0,7581	0,8860

TABLA 3 | Datos estadísticos obtenidos mediante el test de ANOVA robusto T3way. Fuente: elaboración propia.

norte *versus* capa de agarre, y este *versus* capa de agarre, tampoco se ajustan a una distribución normal.

Además, el valor p significativo obtenido en la prueba de Levene, que es de 0,0262 ($\leq 0,05$), indica que existe evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de igualdad de varianzas. En otras palabras, las varianzas no son homogéneas entre los grupos.

Dada esta situación, se optó por llevar a cabo un ANOVA robusto, el cual es más flexible y menos sensible a las desviaciones de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Los resultados del ANOVA robusto confirman que existe una diferencia significativa en la variable sustrato (capa de agarre *versus* sector de muro) en todos los casos analizados, mientras que no se encontraron diferencias significativas en las variables de orientación y pintura (Tabla 3).

DISCUSIONES

En términos generales, los resultados del experimento indican que el empleo de materiales naturales en la aplicación de la capa de agarre (tierra, arena, engrudo y fibras de malhoja) origina que no se observen diferencias estadísticamente significativas en la variación de la fuerza adherente de los revoques en función de la orientación de las caras de los muros, considerando las variables de sector de muro y pintura de protección. En otras palabras, a lo largo de un período de dos años o, más específicamente, dos períodos de lluvia, no se registran alteraciones diferenciales a destacar en la adherencia de los revoques debido a la exposición a la intemperie en diferentes direcciones.

Sin embargo, al analizar las medias de los datos obtenidos sobre la capa de agarre, se advierte que las orientaciones norte y este presentan los valores más bajos en la serie de muestras, sin ser por ello relevantes. Esta coincidencia con las orientaciones menos favorables se relaciona con la exposición a la radiación solar, siendo la orientación sur la que prácticamente no recibe radiación directa del sol (considerando que esta gama de radiación es la más influyente). Además,

la orientación oeste experimenta una radiación obstruida por vegetación y edificios. Es plausible que el calor generado en las caras de los muros más expuestas a la radiación solar cree condiciones propicias para la degradación de los componentes naturales de la capa de agarre, lo que podría favorecer una pérdida gradual de la fuerza adherente de los revoques. Este efecto podría ser detectable en períodos de evaluación más extensos, cuestión que requeriría una nueva evaluación.

Cabe destacar que no se observaron efectos similares en los ensayos realizados en el sector de relleno del muro. Esta diferencia podría atribuirse a la mayor heterogeneidad de la capa de agarre en comparación con el sector de relleno y a la presencia de engrudo, que es un componente diferencial con el sector de relleno y también es susceptible de perder su capacidad adherente debido al calor generado por la radiación solar.

En cuanto a los valores de fuerza adhesiva obtenidos, se constata que son bajos en comparación con los parámetros propuestos por la Norma Alemana DIN 18947 (2013) para la clase 1 (SI), que establece valores mínimos de 0,05 N/mm². Estos valores son incluso inferiores a los obtenidos en condiciones de laboratorio para la misma técnica constructiva (García Villar, 2023:7). No obstante, se podría considerar que la adherencia lograda es suficiente si se pone en relieve el propósito previsto de estos revoques. En tal sentido, se observa que la capa de agarre logra homogeneizar las condiciones de anclaje del revoque y evita la aparición de fisuras en el sector correspondiente al cambio de material del muro de TAE; además, no se registran desprendimientos después del período de evaluación.

Al analizar las razones de los bajos valores obtenidos, se identifican dos posibles motivos. En primer lugar, la naturaleza heterogénea de las superficies a revocar, debido a su composición y a la presencia de vacíos inherentes a la técnica constructiva (Figura 1f).

En segundo lugar, las características del proceso de preparación de las muestras, que involucran un método destructivo de acondicionamiento posterior al período de evaluación, utilizando una amoladora de disco diamantado de 9". Se presume que este procedimiento puede generar vibraciones que debiliten la adherencia de las muestras. En contraste, investigaciones previas que utilizaron el moldeado previo y en húmedo de las muestras en el laboratorio arrojaron resultados de fuerza adhesiva superiores (García Villar, 2023:7). Este tema ha sido observado por otros autores (Faria *et al.*, 2019:51; Santos *et al.*, 2018:10), quienes también señalaron esta problemática al tener que quitar material alrededor de la muestra para colocar el instrumental de ensayo, en algunos casos generando el desprendimiento de la muestra misma durante el corte.

En relación con el diseño experimental propuesto, no se encontraron antecedentes similares que proporcionen indicios sobre el tiempo necesario de exposición adecuada para los ensayos a la intemperie. Si bien algunos estudios han evaluado revoques exteriores, en general no han considerado factores como el paso del tiempo, la posible influencia de la intemperie o la orientación (Hamard *et al.*, 2013; Quiñónez & Ayala, 2014), lo que sugiere una falta de investigaciones en esta área específica.

CONCLUSIÓN

El propósito central de esta investigación fue evaluar si las condiciones de intemperie influyen en la fuerza adherente de los revoques analizados dentro del marco temporal considerado. Los resultados obtenidos en este estudio brindan conclusiones significativas que respaldan la eficacia de los materiales naturales utilizados en este estudio como revestimientos y protectores de los muros de TAE, al mismo tiempo que contribuyen a la sostenibilidad ambiental por la naturaleza de los mismos.

Es fundamental resaltar que, a lo largo de los ensayos de adherencia realizados en el sector de muros con capa de agarre, se observó uniformidad en el rendimiento de los materiales, sin importar la orientación a

la que se expusieron y el valor de fuerza adherente alcanzado. Esta consistencia en los resultados sugiere la versatilidad de los materiales naturales empleados en esta investigación, como revestimientos y protectores de muros de composición mixta, lo cual es de gran relevancia para su aplicabilidad en diversas situaciones y configuraciones arquitectónicas. Adicionalmente, se observó que la adherencia de los revoques, ya sea utilizando pintura natural o sintética, se mantuvo en niveles de rendimiento similares a lo largo del período de evaluación. Este hallazgo indica que los materiales naturales pueden considerarse opciones viables, como alternativa a los sintéticos e industrializados, y funcionales para proteger los muros de TAE, lo que brinda a los diseñadores y constructores una mayor flexibilidad en la elección de los materiales de acabado.

Respecto de la evaluación realizada en cuatro orientaciones distintas durante dos períodos de lluvia, no se identificaron diferencias significativas que sugieran un deterioro debido a la exposición climática en la adherencia de los revoques de tierra en esta técnica constructiva. Por lo tanto, se sugiere la necesidad de llevar a cabo nuevas investigaciones considerando un período de evaluación más prolongado o emplear otro método de evaluación para comprender mejor las posibles afectaciones. Sin embargo, es importante señalar que las orientaciones que reciben una mayor radiación solar mostraron los valores medios más bajos de fuerza adhesiva, específicamente en los revoques del sector de muro con capa de agarre, lo que merece una mayor atención en futuros estudios.

Por último, se observó que el acondicionamiento de las muestras en estado seco tendría impacto en la disminución de la adherencia y en la dispersión de los datos, ello advertido en todo el conjunto, sin distinción significativa según la orientación. Esto se ha evidenciado en los valores notablemente más bajos de los revoques evaluados en condiciones de intemperie en comparación con otras investigaciones que utilizaron revoques preparados en húmedo y evaluados en laboratorio. ■

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castilla Pascual, F. J. (1998). Construcción con tierra, ecología y desarrollo social. *Boletín CF+ S*, 5.
- (2004). *Estabilización de morteros de barro para la protección de muros de tierra*. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Arquitectura.
- Delot, P. (2015). *Les enduits terre intérieur*. L. champs des Artisans.
- DIN (2013). DIN 18947. Lehmputzmörtel – Begriffe, Anforderungen und Prüfverfahren.
- Faria, P. & Lima, J. (2018). *Rebocos de Terra. Cadernos de Construção com Terra*. Argumentum.
- Faria, P.; Lima, J.; Nabais, J. & Silva, V. (2019). Assessment of adhesive strength of an earth plaster on different substrates through different methods. *Rilem*, 139, 51–64. <https://www.rilem.net/publication/publication/494>
- Gaia, A. (2003). Light Earth Construction. En *Draft Report for Milestone 5*.
- García Villar, G. (2023). Variabilidad de la adherencia de revoques sobre paneles de tierra alivianada encofrada según distintos tipos de capa de agarre. *Informes de La Construcción*, 75(571), e507. <https://doi.org/10.3989/ic.6211>
- HABYTED & CYTED (2003). *Técnicas Mixtas de Construcción con Tierra*. Proterra.
- Hamard, E.; Morel, J.-C.; Salgado, F.; Marcom, A. & Meunier, N. (2013). A procedure to assess the suitability of plaster to protect vernacular earthen architecture. *Journal of Cultural Heritage*, 14(2), 109–115. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2012.04.005>
- IRAM (2003). IRAM 1764 Método de ensayo de adherencia de los revoques y carpetas.
- Mattone, M. (2011). Intonaci in terra e gesso per la protezione delle costruzioni in terra cruda. *Construcción Con Tierra. Tecnología y Arquitectura*. Congreso de Arquitectura de Tierra En *Cuenca de Campos*, 315–322. http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2011/2011_9788469481073_p057-068_delrio.pdf
- Minke, G. (2005). *Manual de construcción en tierra: la tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual*. Fin de Siglo.
- (2006). *Building with Earth Design and Technology of a Sustainable Architecture*. B.–P. for Architecture.
- Moreteau, S. (2012). *Enduits de terre crue*. Terre Vivante.
- Quiñónez, F.J. & Ayala, V. (2014). Evaluación de la adherencia de revestimientos en paredes construidas con tierra mediante un equipo de laboratorio autoconstruido. *Twelfth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology «Excellence in Engineering To Enhance a Country's Productivity»*, 1–10.
- 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.; Cavicchioli, A.; Fazio, A.; Cilla, G.; Romiti, M. (2016). Biodeterioro de construcciones de tierra y su interacción con agentes ambientales. En *Actas del 16º Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra, Facultad de Arquitectura, Diseño y Arte, Asunción* (pp. 1–12).

-
- Ré, G. & Filippín, C. (2021). Evaluación energética y rehabilitación de la envolvente edilicia de una escuela en zona bioambiental templada cálida, Argentina. *Informes De La Construcción*, 73(563), e407. <https://doi.org/10.3989/ic.79374>
- Santos, T.; Gomes, M. I.; Coelho, F. & Faria, P. (2018). Eco-efficient earth plasters: influence of clay content, sand particle size and support. *Journal of World Architecture*, 2(6). <https://doi.org/10.26689/jwa.v2i6.634>
- Santos, T.; Faria, P. & Silva, V. (2019). Can an earth plaster be efficient when applied on different masonries? *Journal of Building Engineering*, 23(January), 314–323. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.02.011>
- Schroeder, H. & Lemke, M. (2015). Sustainability of earth building materials – Environmental product declarations as an instrument of competition in building material industry. *Vitruvio – International Journal of Architectural Technology and Sustainability*, 1(1), 45. <https://doi.org/10.4995/vitruvio-ijats.2015.4474>
- Sosa, M. E.; Latina, S. M.; Costellote, M. & Chaila, J. (2013). Monitoreo de revestimientos de muros contruidos con tierra. Caso Amaicha del Valle, Tucumán. *Actas Del 13° SIACOT Valparaiso, Chile. Seminario Iberoamericano de Construcción Con Tierra* (pp. 136–142).
- Stazi, F.; Nacci, A.; Tittarelli, F.; Pasqualini, E. & Munafò, P. (2016). An experimental study on earth plasters for earthen building protection: The effects of different admixtures and surface treatments. *Journal of Cultural Heritage*, 17, 27–41. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2015.07.009>
- Volhard, F. (2016). *Contruire en terre alégée*. Actes Sud.
- Weismann, A.; Bryce, K. (2009). *Enduits y peintures naturels, á base de chaux ou de terre*. La plage.
- Wieser-Rey, M.; Onnis, S. & Meli, G. (2019). Desempeño térmico de cerramientos de tierra alivianada Posibilidades de aplicación en el territorio peruano. *Revista de Arquitectura*, 22(1). <https://doi.org/10.14718/RevArq.2020.2633>