



ISSN 3028-8886


INPC

Revista del Patrimonio Cultural del Ecuador

<https://revistas.patrimoniocultural.gob.ec/ojs/index.php/INPC>

Consolidación de paleosuelos arqueológicos con silicato de etilo y matriz local: Experiencia en Rumipamba, Ecuador

Consolidation of Archaeological Paleosols with Ethyl Silicate and Local Matrix: Experience in Rumipamba, Ecuador

 Carlos Alberto Ramírez Gangotena
Magíster en Gestión Cultural. Conservador-
restaurador del patrimonio cultural. Consultor
independiente.
chogori2010@gmail.com

INPC Revista del Patrimonio Cultural del Ecuador,
03/2026-08/2026, vol. 3, nro.2, e19

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20040746>

Periodicidad: semestral - continua



Resumen

El presente artículo analiza la aplicación de un mortero de consolidación formulado con silicato de etilo ESTEL 1200 y paleosuelo local en contextos arqueológicos afectados por procesos de disgregación y humedad capilar. La intervención se desarrolló en el sitio arqueológico Rumipamba, Quito, como parte del proyecto de conservación patrimonial ejecutado por el Instituto Metropolitano de Patrimonio (2023–2024). La metodología incluyó la caracterización fisicoquímica del paleosuelo (granulometría, difracción de rayos X, pH, contenido de materia orgánica), la formulación y aplicación del mortero en proporción 1:1,5 (silicato:paleosuelo), y la evaluación postintervención a 30, 60 y 90 días mediante parámetros de cohesión estructural, integración cromática ($\Delta E < 3$), permeabilidad al vapor, resistencia microbiana y estabilidad dimensional. Los resultados muestran una cohesión estructural del 85% a los 90 días, integración cromática no perceptible visualmente ($\Delta E < 3$), compatibilidad físico-química aceptable y ausencia de colonización visible durante el período evaluado. Estos hallazgos preliminares, obtenidos del seguimiento durante 90 días, sugieren la viabilidad técnica del uso combinado de paleosuelo y silicato de etilo en entornos con alta humedad edáfica, y aportan evidencia empírica para el desarrollo de protocolos de conservación arqueológica en el Ecuador.

Palabras clave: Paleosuelos arqueológicos, conservación in situ, silicato de etilo, ESTEL 1200, consolidación estructural, Parque Rumipamba, patrimonio cultural

Abstract

This study presents the results of a consolidation process applied to archaeological paleosols using a mortar formulated with ethyl silicate (ESTEL 1200) and local paleosol in archaeological contexts affected by disintegration processes and capillary moisture. The intervention was conducted in Rumipamba Archaeological Park, Quito, Ecuador, within the framework of the heritage conservation project executed by the Metropolitan Institute of Heritage (2023–2024). The methodology included physicochemical characterization of the paleosol (grain size analysis, X-ray diffraction, pH, organic matter content), formulation and application of the mortar in a 1:1.5 ratio (silicate:paleosol), and post-intervention evaluation at 30, 60, and 90 days through parameters of structural cohesion, chromatic integration ($\Delta E < 3$), vapor permeability, microbial resistance, and dimensional stability. Results show structural cohesion of 85% at 90 days, visually imperceptible chromatic integration ($\Delta E < 3$), acceptable physicochemical compatibility, and no visible colonization during the monitoring period. These preliminary findings (90 day follow up) suggest the technical viability of combining paleosol and ethyl silicate in high-edaphic-moisture environments, and provide empirical evidence for the development of archaeological conservation protocols in Ecuador.

Keywords: Archaeological paleosols, ethyl silicate, ESTEL 1200, in situ conservation, structural consolidation, Rumipamba site, cultural heritage

Antecedentes de la investigación

La conservación de contextos arqueológicos frágiles ha representado un desafío constante en el manejo técnico del patrimonio cultural, especialmente en sitios expuestos a procesos activos de erosión, humedad capilar y presión antrópica. En el caso ecuatoriano, esta problemática se agudiza en zonas con alta pluviosidad y suelos de origen volcánico, como ocurre en el Parque Arqueológico y Ecológico Rumipamba, ubicado en el Distrito Metropolitano de Quito (0°12' S, 78°30' O, 2800 msnm). Desde su apertura al público, este sitio ha sido objeto de múltiples intervenciones arqueológicas y museográficas que, si bien han contribuido a su puesta en valor, también han dejado expuestas unidades estratigráficas sensibles a la intemperie.

A partir del año 2021, los informes técnicos del Instituto Metropolitano de Patrimonio (IMP) y las observaciones del Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC) alertaron sobre procesos de disgregación superficial en muros de piedra y suelos preparados, formación de cavidades por lavado de finos y presencia de sales higroscópicas, todo ello agravado por la falta de protección estructural en varias unidades. Particularmente en la extensión norte de la Unidad 9, se documentó un deterioro acelerado en morteros originales, afectando la estabilidad material y la lectura arqueológica de las estructuras.

En este contexto, se propuso una estrategia experimental de intervención que combinara un producto consolidante de alto desempeño —el silicato de etilo tipo ESTEL 1200— con un insumo local como el paleosuelo del propio sitio, previamente tamizado y caracterizado. Esta propuesta respondió a la necesidad de ensayar soluciones compatibles, técnicamente retratables y ambientalmente sostenibles, capaces de estabilizar contextos vulnerables sin alterar su composición físico-química ni su integridad visual. La presente investigación se inscribe, por tanto, en una línea de trabajo aplicada que busca fortalecer los protocolos de conservación científica en el ámbito arqueológico ecuatoriano.

Justificación

La conservación de contextos arqueológicos frágiles —como los paleosuelos expuestos en unidades habitacionales y funerarias— requiere soluciones técnicas que garanticen la estabilidad fisicoquímica de los materiales sin comprometer su integridad patrimonial ni su potencial científico. En el caso del Parque Arqueológico Rumipamba, los procesos de deterioro identificados en sectores como la Unidad

9, incluyendo disgregación de capas sedimentarias, eflorescencias salinas y erosión por escorrentía superficial, exigían la implementación de un tratamiento estructural especializado, validado científicamente y compatible con las características del sitio.

En América Latina, la investigación aplicada a la consolidación de paleosuelos arqueológicos ha sido escasa en comparación con el desarrollo alcanzado en la conservación de arquitectura o bienes muebles (Muñoz Viñas, 2005). En Ecuador, el uso de productos de alto desempeño como el silicato de etilo en contextos arqueológicos aún se encuentra en fase exploratoria, pese a que este tipo de consolidantes ha demostrado eficacia en materiales silíceos y porosos bajo condiciones climáticas adversas (Wheeler, 2005). Su aplicación en Rumipamba —mezclado con paleosuelo local previamente caracterizado— constituye una experiencia pionera en el país, al vincular criterios de compatibilidad mineralógica y mínima intervención, conforme a los principios del ICCROM (2007) y la Carta de Venecia del ICOMOS (1964).

Además, esta investigación responde a los lineamientos establecidos por el *Instructivo técnico para la presentación de propuestas e informes de proyectos arqueológicos y paleontológicos* (INPC, 2021), que enfatiza la necesidad de desarrollar intervenciones sustentadas en diagnósticos técnicos, control ambiental y uso de materiales compatibles con el sustrato original. El uso de paleosuelo como componente activo del mortero responde, asimismo, a principios de sostenibilidad y pertinencia territorial, al evitar la introducción de agregados exógenos que alteren la lectura estratigráfica o química de los contextos arqueológicos (Caple, 2000).

En este sentido, el estudio no solo aporta una solución técnica a un problema concreto de conservación, sino que propone una metodología potencialmente adaptable a las realidades patrimoniales del país, contribuyendo a una mayor profesionalización de las prácticas de intervención arqueológica *in situ* y al fortalecimiento de capacidades institucionales.

Introducción

Los paleosuelos constituyen matrices arqueológicas altamente sensibles en las que se concentran evidencias significativas de actividad humana, procesos de formación cultural y transformaciones ambientales a lo largo del tiempo. Su conservación representa un reto técnico y epistemológico, especialmente cuando han sido expuestos a la intemperie y sometidos a condiciones críticas como humedad ascendente, disgregación mecánica, lavado de finos y colonización biológica (Caple, 2000; Goldberg y Macphail, 2006). En contextos urbanos como el Parque Arqueológico Rumipamba, estos procesos se ven agravados por la presión antrópica, la escasa

cobertura estructural y la falta histórica de tratamientos específicos para su estabilización.

La consolidación de paleosuelos requiere intervenciones que respeten los principios fundamentales de la conservación patrimonial: mínima intervención, compatibilidad físico-química, durabilidad y documentación sistemática (ICCROM, 2007; ICOMOS, 1964). Entre las soluciones disponibles, los silicatos de etilo, en particular el ESTEL 1200, han sido ampliamente utilizados en Europa y América Latina para la consolidación de materiales silíceos, debido a su capacidad de penetración capilar, su estabilidad química y su compatibilidad con soportes porosos (Wheeler, 2005; Scherer y Wheeler, 2008). El mecanismo de actuación del tetraetoxisilano (TEOS) implica un proceso de hidrólisis en presencia de humedad ambiental, formando grupos silanol (Si-OH) que posteriormente se condensan y generan enlaces Si-O-Si, creando una red amorfa de sílice que refuerza los puntos de contacto entre partículas sin obstruir completamente la porosidad del sustrato (Franzoni et al., 2015).

Sin embargo, su aplicación en paleosuelos arqueológicos sigue siendo limitada y poco documentada en la región andina, lo que evidencia un vacío metodológico que esta investigación busca abordar. Del mismo modo, diversos autores han señalado que la eficacia del TEOS puede verse afectada por la humedad relativa durante la aplicación, la presencia de sales solubles y la composición mineralógica del sustrato (Wheeler, 2005; Franzoni et al., 2015).

En el caso específico de Rumipamba, las intervenciones realizadas entre 2023 y 2024 por el Instituto Metropolitano de Patrimonio permitieron implementar por primera vez una formulación de mortero estructural que combina ESTEL 1200 con paleosuelo local tamizado. Esta mezcla fue aplicada en muros y estratos afectados por procesos de deterioro progresivo, y evaluada en función de su cohesión, permeabilidad, integración cromática, comportamiento frente a la humedad y resistencia microbiológica. La iniciativa se enmarca dentro de las directrices técnicas del Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC, 2021), y constituye una metodología potencialmente adaptable a otros sitios arqueológicos con condiciones ambientales y materiales similares.

Esta investigación se propone, por tanto, no solo evaluar el desempeño preliminar de esta mezcla en un entorno arqueológico real, sino también generar un protocolo de aplicación fundamentado en evidencia empírica, con miras a fortalecer la gestión científica del patrimonio cultural en el Ecuador. Al articular insumos locales con tecnologías de conservación de alta gama, el estudio se inscribe en una perspectiva de sostenibilidad técnica, pertinencia territorial y

producción de conocimiento útil para las políticas públicas patrimoniales del país.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar el desempeño técnico y la compatibilidad físico-química de un mortero formulado con silicato de etilo (ESTEL 1200) y paleosuelo local en la consolidación de estructuras arqueológicas afectadas por humedad y disgregación, mediante su aplicación en contextos reales del Parque Arqueológico Rumipamba, a fin de establecer un protocolo potencialmente adaptable para la conservación de paleosuelos en sitios patrimoniales de alta fragilidad.

Objetivos específicos

1. Caracterizar el estado de conservación de los paleosuelos arqueológicos en el sector norte de la Unidad 9 del Parque Arqueológico Rumipamba, identificando los principales procesos de deterioro físico, químico y biológico.
2. Realizar la caracterización fisicoquímica del paleosuelo local (granulometría, difracción de rayos X, pH, contenido de materia orgánica) como base para evaluar la compatibilidad con el consolidante.
3. Formular y aplicar un mortero estructural experimental a base de silicato de etilo (ESTEL 1200) y paleosuelo tamizado en proporción 1:1,5, en áreas seleccionadas, respetando criterios de compatibilidad y mínima intervención.
4. Monitorear y documentar el comportamiento del tratamiento aplicado durante un período de 90 días, evaluando cohesión, permeabilidad, integración cromática, resistencia microbiana y estabilidad frente a la humedad.
5. Valorar la viabilidad técnica del tratamiento en el contexto arqueológico ecuatoriano mediante el análisis comparativo de resultados y la sistematización de un protocolo metodológico adaptable a otros sitios con características similares.
6. Contribuir a la generación de conocimiento aplicado para la conservación científica de contextos arqueológicos frágiles, integrando prácticas sostenibles, materiales locales y lineamientos normativos del Instituto Nacional de Patrimonio Cultural.

Marco teórico y conceptual

Los paleosuelos como material arqueológico

La conservación de paleosuelos arqueológicos constituye un campo emergente dentro de la disciplina patrimonial, al confluir conocimientos procedentes de la geoarqueología, la química de materiales, la microbiología y la teoría de la restauración. Los paleosuelos, entendidos como horizontes sedimentarios modificados por la actividad humana y conservados en condiciones específicas, contienen evidencias clave sobre el uso del espacio, la tecnología constructiva, la estratigrafía cultural y los procesos tafonómicos de los contextos arqueológicos (Goldberg y Macphail, 2006).

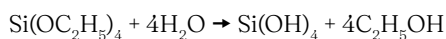
A diferencia de los materiales pétreos o cerámicos, los paleosuelos presentan una estructura porosa y frágil, compuesta por partículas de limos, arenas, arcillas y restos orgánicos. Su vulnerabilidad frente a procesos de erosión hídrica, humedad capilar, biodeterioro y alteraciones físico-químicas obliga a diseñar estrategias de conservación *in situ* que respeten su composición, eviten la intromisión de elementos contaminantes y garanticen su legibilidad científica (Cronyn, 1990; Caple, 2000).

4 |

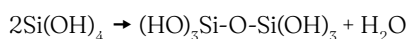
Silicato de etilo: mecanismos de consolidación

El silicato de etilo ($\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$), también conocido como tetraetoxisilano (TEOS), es un consolidante ampliamente utilizado en la conservación de materiales pétreos porosos. Su mecanismo de actuación comprende dos fases principales (Wheeler, 2005; Scherer y Wheeler, 2008):

- **Hidrólisis:** En presencia de humedad ambiental, los grupos etoxi ($-\text{OC}_2\text{H}_5$) del TEOS reaccionan con el agua formando grupos silanol ($\text{Si}-\text{OH}$) y liberando etanol como subproducto:



- **Condensación:** Los grupos silanol reaccionan entre sí mediante reacciones de condensación, formando enlaces siloxano ($\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$) y generando una red amorfa de sílice (gel de sílice):



Este gel de sílice depositado en los poros y entre las partículas del sustrato incrementa la cohesión mecánica sin obstruir completamente la porosidad, permitiendo la transpirabilidad del material (Scherer y Wheeler, 2008). La eficacia del tratamiento depende de factores como la humedad relativa durante la aplicación, la temperatura, la concentración del producto y la naturaleza mineralógica del soporte (Franzoni et al., 2015; Wheeler, 2005).

Criterios de intervención en conservación arqueológica

Desde el punto de vista de la teoría de la restauración, esta intervención se sustenta en los principios de mínima intervención, compatibilidad, durabilidad y documentación, conforme a los postulados de Cesare Brandi (1963) y a las directrices del ICCROM e ICOMOS (Carta de Venecia, 1964; ICCROM, 2007). La compatibilidad del tratamiento no solo debe evaluarse desde un enfoque físico o químico, sino también desde una perspectiva patrimonial integral, que considere el contexto arqueológico, los materiales locales y el significado cultural del bien intervenido (Muñoz Viñas, 2005).

Respecto a la reversibilidad, es importante precisar que, si bien la polimerización del silicato de etilo es irreversible una vez completada —por lo que no puede eliminarse selectivamente sin dañar el sustrato—, el tratamiento se considera *retratable* en el sentido de que permite la aplicación de nuevos consolidantes si fuera necesario y no impide futuras intervenciones de conservación (Wheeler, 2005). Este matiz es fundamental para no generar expectativas erróneas sobre la naturaleza del tratamiento.

Contexto normativo ecuatoriano

En el caso ecuatoriano, la normativa técnica vigente, particularmente el *Instructivo técnico para la presentación de propuestas e informes de proyectos arqueológicos y paleontológicos* (INPC, 2021), establece criterios específicos para la intervención en sitios arqueológicos, priorizando el uso de materiales compatibles, metodologías documentadas y registros sistemáticos de las acciones ejecutadas. La presente investigación responde a este marco legal y técnico, al ensayar una formulación experimental que utiliza como carga mineral el propio paleosuelo del sitio arqueológico, previamente tamizado y caracterizado, lo cual asegura su integración visual y su comportamiento armónico con la matriz original del contexto.

Finalmente, la propuesta metodológica articula los conceptos de sostenibilidad, pertinencia territorial

Figura 1

Vista general del área de intervención en el sitio arqueológico Rumipamba.



Nota. Fotografía del autor.

y producción de conocimiento aplicado, en consonancia con los enfoques actuales de gestión patrimonial que promueven la investigación contextualizada y la adaptabilidad tecnológica (UNESCO, 2015). La experiencia documentada en el Parque Arqueológico Rumipamba constituye, por tanto, un aporte innovador a la conservación de paleosuelos frágiles en zonas de alta humedad, proponiendo una metodología adaptable a nivel regional.

Metodología

Área de estudio

La investigación se desarrolló en el sector norte de la Unidad 9 del Parque Arqueológico Rumipamba, Distrito Metropolitano de Quito (0°12' S, 78°30' O, 2800 msnm). El sitio (Figura 1) se caracteriza por un clima templado húmedo con dos estaciones definidas: húmeda (octubre-mayo) y seca (junio-septiembre), con precipitación media anual de 1200 mm y humedad relativa promedio del 80%.

Caracterización del paleosuelo

Se recolectaron muestras representativas del paleosuelo del sector norte de la Unidad 9 para su caracterización fisicoquímica en laboratorio:

1. **Granulometría:** Se realizó mediante tamizado en seco (norma ASTM D422) para fracciones $>0,075$ mm y sedimentación para fracciones finas (ASTM International, 2007)
2. **Difracción de rayos X (DRX):** Se utilizó un difractómetro Bruker D8 Advance con radiación Cu-K α ($\lambda= 1,5406$ Å), barrido de 3° a $70^\circ 2\theta$.
3. **pH:** Se midió en suspensión suelo:agua 1:2,5 con pH-metro digital.
4. **Materia orgánica:** Se determinó por pérdida por ignición (550°C , 4 horas).
5. **Capacidad de intercambio catiónico:** Método del acetato de amonio 1N pH 7.

| 5

Selección de áreas de intervención

Se seleccionaron cuatro sectores con deterioro activo en el sector norte de la Unidad 9, asignando tratamientos diferenciados (Tabla 1).

Formulación del mortero

El mortero experimental (Figura 2) se formuló con:

1. **Consolidante:** ESTEL 1200 (silicato de etilo parcialmente polimerizado, 99% TEOS,

Tabla 1

Sectores de intervención y tratamientos aplicados.

Sector	Código	Tratamiento	Dimensiones (m ²)
Muro norte	MN-Exp	ESTEL 1200 + paleosuelo (1:1,5)	2,3
Base estratigráfica	BE-Exp	ESTEL 1200 + paleosuelo (1:1,5)	1,8
Perfil oeste	BE-Exp	ESTEL 1200 sin carga mineral	1,5
Sector sur	SS-Testigo	Sin intervención	2,0

Nota. Elaboración propia.

Figura 2

Preparación del mortero experimental con paleosuelo local.



Nota. Fotografía del autor.

- densidad 1,0 g/cm³, viscosidad 5 mPa·s).
- 2. **Carga mineral:** Paleosuelo local tamizado (malla 1 mm).
- 3. **Proporción:** 1:1,5 en volumen (silicato:paleosuelo).

Pruebas preliminares de dosificación en laboratorio

Para seleccionar la proporción óptima se prepararon tres series de probetas de mortero (n=3 por dosificación) utilizando paleosuelo tamizado y

ESTEL 1200 en relaciones volumétricas 1:1, 1:1,5 y 1:2. Cada probeta (5×5×2 cm) se curó a temperatura ambiente (18 22 °C) y humedad relativa (55 65 %) durante 14 días.

Se evaluaron tres criterios: trabajabilidad (consistencia de la pasta), adherencia tras el curado (prueba de desprendimiento con espátula, cuantificada como porcentaje de área adherida) y retracción (inspección visual de fisuras). Los resultados se resumen en la Tabla 2. La dosificación 1:1,5 mostró el mejor equilibrio: pasta manejable, adherencia >90 % y ausencia de fisuras, mientras que la relación 1:1 resultó demasiado seca y 1:2 presentó exceso de fluido y agrietamiento.

Tabla 2

Resultados de las pruebas preliminares de dosificación.

Proporción (volumen)	Trabajabilidad	Adherencia (% área)	Retracción (fisuras)	Selección
1:1	Pasta seca, difícil de extender	85 %	Ausente	Descartada
1:1,5	Pasta manejable, buena extensibilidad	92 %	Ausente	Seleccionada
1:2	Pasta muy fluida, es-curre	88 %	Presencia de fisuras finas	Descartada

Nota. No se dispone de registro fotográfico de las probetas; sin embargo, la tabla resume los resultados observados, que justifican la elección de la proporción 1:1,5. Elaboración propia.

Procedimiento de aplicación

La aplicación se realizó en junio de 2023 (inicio de la estación seca). Las condiciones ambientales durante la intervención se registraron con un termohigrómetro portátil: temperatura entre 18 y 22 °C y humedad relativa entre 55 y 65%, valores dentro del rango recomendado para la hidrólisis y condensación del TEOS (Wheeler, 2005). El protocolo seguido fue el siguiente:

- 1. Limpieza superficial:** Eliminación de partículas sueltas con pinceles de cerdas suaves y aspiración controlada.
- 2. Humedecimiento previo:** Aplicación de agua desmineralizada por nebulización para favorecer la hidrólisis del silicato.
- 3. Preparación del mortero:** Mezcla manual del ESTEL 1200 (Figura 3) con el paleosuelo tamizado hasta obtener pasta homogénea.
- 4. Aplicación en capas:** Extendido con espátula en capas delgadas (2-3 mm), presión suave para asegurar su adhesión (Figura 4).
- 5. Capas sucesivas:** Aplicación de segunda capa tras 24 horas en áreas que requerían mayor espesor.
- 6. Protección postaplicación:** Cubrimiento con plástico perforado durante 72 horas para controlar la velocidad de secado.

Parámetros de evaluación

Se estableció un protocolo de monitoreo a 30, 60 y 90 días postaplicación:

Figura 3

Mezcla manual del mortero experimental (ESTEL 1200 + paleosuelo)



Nota. Fotografía del autor.

Cohesión estructural

Se adaptó un ensayo mecánico cualitativo-cuantitativo sin referencia a una norma específica, pero siguiendo un protocolo reproducible:

1. Se delimitaron cuadrículas de 10 × 10 cm en cada sector.
2. Prueba de raspado: se aplicó una espátula metálica de punta roma (presión constante de aproximadamente 5 N) realizando

tres pasadas en cada cuadrícula. Se consideró “pérdida de cohesión” cuando el desprendimiento de partículas superaba 1 cm².

3. Prueba de tracción: se realizaron 50 pasadas con un pincel de cerdas duras (cerdas de jabalí, diámetro 3 cm) sobre la misma área. Se anotó el porcentaje de superficie que perdía material.
4. Todas las pruebas se efectuaron por triplicado en cada sector (tres cuadrículas diferentes). La cuantificación final corresponde al promedio del área adherida conservada después de las pruebas.
5. La repetibilidad del método fue verificada por dos operadores en una misma muestra, obteniendo una desviación inter-observador inferior al 5 %.

Integración cromática:

1. Medición con colorímetro Konica Minolta CR-400 (iluminante D65, ángulo 10°, diámetro de medición 8 mm).
2. 10 lecturas por sector, calculando promedio de coordenadas L*a*b*.

Figura 4

Aplicación del mortero experimental en superficies horizontales.



Nota. Fotografía del autor.

Figura 5

Aplicación puntual del mortero experimental en superficie vertical.



Nota. Fotografía del autor.

3. Diferencia de color $\Delta E = \sqrt{[(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b^*)^2]}$ respecto al sustrato original no tratado.
4. Criterio: $\Delta E < 3$ considerado no perceptible al ojo humano (ICCRUM, 2007).

Permeabilidad al vapor de agua

1. Prueba de microgota: aplicación de 0,05 ml de agua desmineralizada, medición de tiempo de absorción total (t_a).
2. Ensayo de capilaridad: norma UNE-EN 1925 adaptada, con probetas testigo y tratadas (3 repeticiones).

Resistencia microbiana

1. Monitoreo visual con lupa binocular (10× – 40×) en cuadrículas de 10 × 10 cm fotografiadas.
2. Identificación de colonias fúngicas, líquenes, musgos y biofilm.
3. Registro fotográfico estandarizado con escala y condiciones de iluminación controladas.

Estabilidad dimensional

1. Inspección visual de fisuras, grietas o desprendimientos.
2. Medición de retracción con calibre digital en marcas de referencia.

Tabla 3

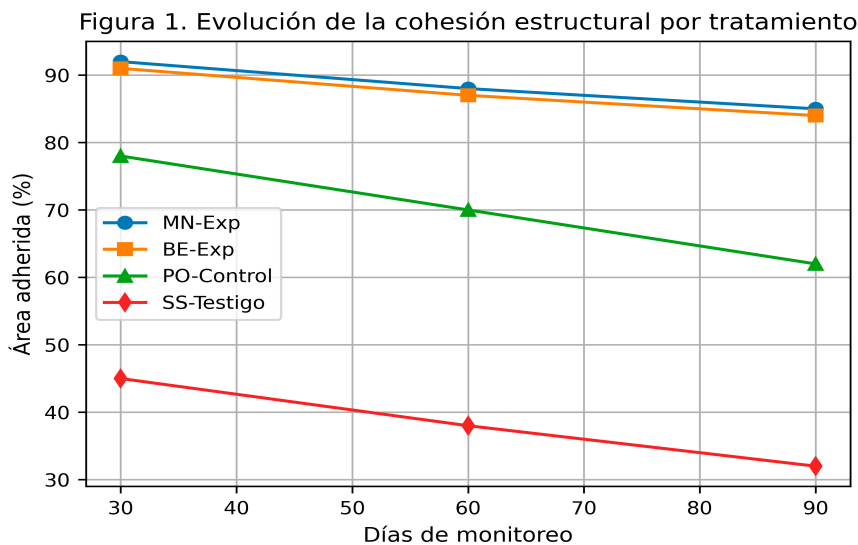
Caracterización fisicoquímica del paleosuelo

Parámetro	Resultado	Método
Arena (%)	42,3 ± 2,1	Tamizado ASTM D422
Limo (%)	35,8 ± 1,8	Sedimentación
Arcilla (%)	21,9 ± 1,5	Sedimentación
pH (H ₂ O)	6,8 ± 0,2	Potenciométrico 1:2,5
Materia orgánica (%)	4,2 ± 0,3	Pérdida por ignición
CIC (cmol ⁺ /kg)	18,6 ± 1,2	Acetato de amonio
Mineralogía (DRX)	Cuarzo (45 %), feldespatos (25 %), esmectita (15 %), illita (10 %), caolinita (5 %)	Difracción de rayos X

Nota. Elaboración propia.

Figura 6

Evolución de la cohesión estructural por tratamiento.



Nota. Los sectores experimentales mantuvieron valores superiores al 80% durante todo el periodo, evidenciando alta estabilidad estructural frente al control. Gráfica elaborada por el autor a partir de los datos del estudio.

Análisis estadístico

Para cada sector se realizaron 10 mediciones puntuales por parámetro (n = 10), distribuidas sistemáticamente en la superficie evaluada. Los datos cuantitativos (cohesión, ΔE y tiempo de absorción) se analizaron mediante estadística descriptiva (media y desviación estándar) y ANOVA de un factor para comparar tratamientos, con un nivel de significancia de p < 0,05, utilizando el software SPSS v.25. Dado el carácter exploratorio del estudio y la escala piloto de

intervención, los resultados deben interpretarse como evidencia comparativa intra-sitio.

Resultados

Los análisis de difracción de rayos X confirmaron el predominio de fases silíceas (cuarzo y feldespatos) y la presencia de arcillas del grupo de las esmectitas, lo que explica la sensibilidad del material a la humedad y su tendencia a la disgregación por expansión-contracción.

Evaluación de cohesión estructural

Los resultados de las pruebas de cohesión a 30, 60 y 90 días se presentan en la Tabla 4. El mortero con paleosuelo mantuvo una adherencia superior al 85% del área tratada a los 90 días, significativamente mayor que el consolidante sin carga ($p < 0,01$, ANOVA). El sector testigo sin intervención continuó su proceso de disgregación, perdiendo más del 65% de cohesión superficial respecto al estado inicial documentado.

Tabla 4

Evolución de la cohesión estructural (% área adherida).

Sector/ Tratamiento	30 días	60 días	90 días
MN-Exp (ESTEL + paleosuelo)	92 ± 3	88 ± 4	85 ± 3
BE-Exp (ESTEL + paleosuelo)	91 ± 4	87 ± 3	84 ± 4
PO-Control (ESTEL sin carga)	78 ± 5	70 ± 6	62 ± 5
SS-Testigo (sin intervención)	45 ± 7	38 ± 5	32 ± 4

Nota. Elaboración propia.

Integración cromática

El mortero con paleosuelo presentó valores $\Delta E < 3$ en todos los períodos evaluados, considerados no perceptibles visualmente según criterios de *evaluación cromática del ICCROM* (Rocha Reyes y Ruigómez Correa, 2025). El consolidante sin carga mostró diferencias cromáticas perceptibles ($\Delta E > 4$), con oscurecimiento evidente del sustrato (Tabla 5 y Figura 7).

Tabla 5

Evolución de la integración cromática (ΔE)

Sector/ Tratamiento	30 días	60 días	90 días
MN-Exp (ESTEL + paleosuelo)	2,1 ± 0,3	2,4 ± 0,4	2,8 ± 0,3
BE-Exp (ESTEL + paleosuelo)	2,3 ± 0,4	2,5 ± 0,3	2,9 ± 0,4
PO-Control (ESTEL sin carga)	4,5 ± 0,6	4,8 ± 0,5	5,2 ± 0,6

Nota. Elaboración propia.

Permeabilidad al vapor de agua

El mortero experimental mostró tiempos de absorción ligeramente superiores al sustrato original, pero significativamente menores que el consolidante sin carga ($p < 0,01$), indicando que no se formó una película superficial impermeable y se mantuvo la transpirabilidad del material.

Los ensayos de capilaridad (norma UNE-EN 1925, AENOR, 1999) en probetas testigo confirmaron que el coeficiente de absorción capilar del mortero experimental ($C = 0,28 \text{ kg/m}^2\cdot\text{min}^{0.5}$) es compatible con el del sustrato original ($C = 0,32 \text{ kg/m}^2\cdot\text{min}^{0.5}$), mientras que el consolidante sin carga redujo significativamente la absorción ($C = 0,12 \text{ kg/m}^2\cdot\text{min}^{0.5}$) (Tabla 6).

Tabla 6

Tiempo de absorción de microgota (segundos).

Sector/ Tratamiento	30 días	60 días	90 días
MN-Exp (ESTEL + paleosuelo)	8,2 ± 1,1	8,5 ± 1,3	8,8 ± 1,2
BE-Exp (ESTEL + paleosuelo)	8,4 ± 1,2	8,6 ± 1,4	8,9 ± 1,3
PO-Control (ESTEL sin carga)	15,3 ± 2,1	16,8 ± 2,4	18,2 ± 2,6
SS-Testigo (sin intervención)	6,5 ± 1,0	6,3 ± 1,1	6,4 ± 1,2

Nota. Elaboración propia.

Resistencia microbiana

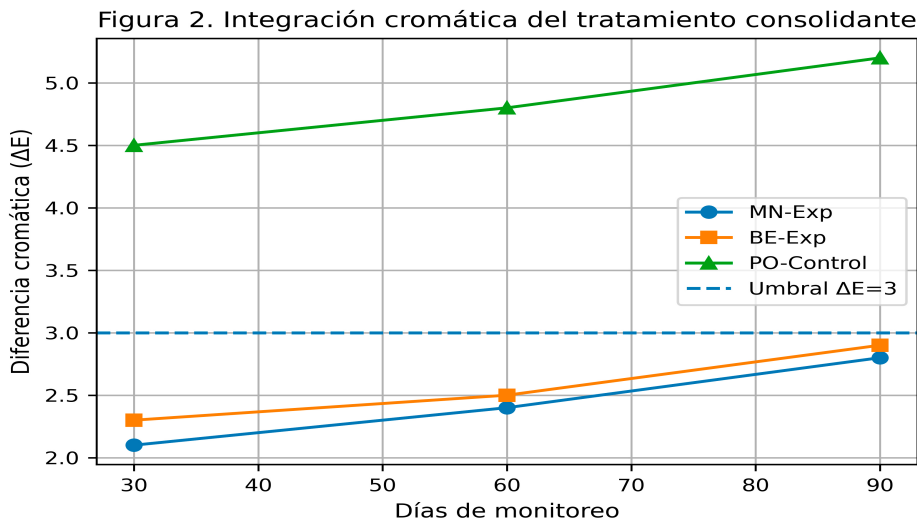
Durante los 90 días de monitoreo, no se observó colonización visible de hongos, líquenes, musgos o biofilm en los sectores tratados con mortero experimental (MN-Exp y BE-Exp). El sector con consolidante sin carga (PO-Control) presentó colonización fúngica esporádica a partir del día 45 (aproximadamente 5% del área evaluada), identificándose visualmente como manchas oscuras de posible género *Cladosporium* o *Alternaria*. El sector testigo sin intervención (SS-Testigo) mantuvo la colonización previa de líquenes crustáceos (aproximadamente 15% del área) sin cambios significativos.

Estabilidad dimensional

No se observaron fisuras, grietas o desprendimientos en los sectores tratados con mortero experimental durante el período evaluado. El sector con consolidante sin carga presentó microfisuras por

Figura 7

Integración cromática del tratamiento consolidante.



Nota. Los valores ΔE se mantuvieron por debajo del umbral perceptible ($\Delta E < 3$), indicando adecuada integración visual del tratamiento. Gráfica elaborada por el autor a partir de los datos del estudio.

retracción en aproximadamente el 10% del área tratada a los 60 días, evidenciando tensiones internas. El sector testigo continuó su proceso de disgregación con formación de pequeñas cavidades por lavado de finos.

Discusión

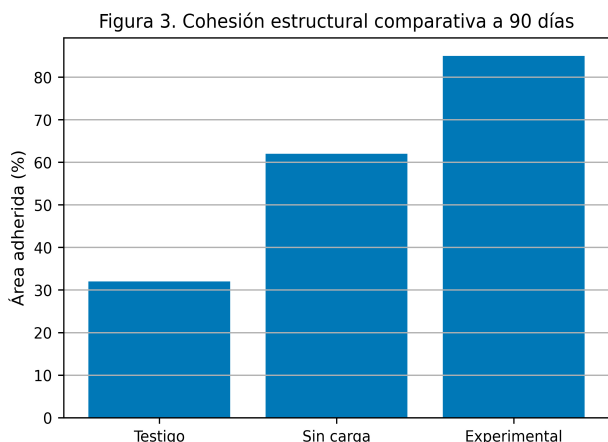
Es importante subrayar que los resultados presentados corresponden a un seguimiento de 90 días, por lo que deben interpretarse como evidencia preliminar de desempeño favorable a corto plazo. Los

datos obtenidos muestran que el mortero formulado con ESTEL 1200 y paleosuelo local en proporción 1:1,5 presenta un desempeño superior al consolidante aplicado sin carga mineral en todos los parámetros evaluados durante este período, como se resume en la Tabla 7. La cohesión estructural del 85 % a los 90 días es congruente con estudios en consolidación de areniscas donde el TEOS ha demostrado aumentar la resistencia mecánica de materiales frágiles con estructura porosa (Scherer y Wheeler, 2008; Zornoza-Indart y Lopez-Arce, 2016).

| 11

Figura 8

Cohesión estructural comparativa a 90 días.



Nota. Se observa un incremento de 53 puntos porcentuales respecto al testigo. Gráfica elaborada por el autor a partir de los datos del estudio.

La presencia de arcillas del grupo de las esmectitas en el paleosuelo (15 % según DRX) podría explicar parcialmente la buena adhesión del mortero, ya que estos minerales presentan alta superficie específica y capacidad de intercambio catiónico, favoreciendo la interacción con el gel de sílice (Scherer y Wheeler, 2008). Sin embargo, estudios previos advierten que contenidos elevados de arcillas pueden generar problemas de compatibilidad por expansión diferencial (Franzoni et al., 2015). En este caso, el contenido moderado (21,9 % total de arcillas) y el predominio de fases silíceas (cuarzo y feldespatos, 70 %) habrían contribuido a la estabilidad dimensional observada.

La Tabla 8 muestra la evolución estable del mortero experimental durante los 90 días, mientras que la Tabla 9 confirma la consistencia del tratamiento en distintos contextos de exposición (vertical y horizontal), con diferencias no significativas entre sectores.

Tabla 7

Rendimiento comparativo de los tratamientos a 90 días de monitoreo.

Parámetro	Testigo (sin intervención)	Consolidante sin carga	Mortero experimental (ESTEL + paleosuelo)	Diferencia Exp. vs. Control
Cohesión estructural (% área adherida)	32 ± 4	62 ± 5	85 ± 3	+23 puntos porcentuales
Integración cromática (ΔE)	N/A	5,2 ± 0,6	2,8 ± 0,3	-2,4 (mejor)
Tiempo absorción microgota (segundos)	6,4 ± 1,2	18,2 ± 2,6	8,8 ± 1,2	-9,4 s
Coefficiente absorción capilar (kg/m²·min^{0.5})	0,32 ± 0,03	0,12 ± 0,02	0,28 ± 0,03	+0,16
Colonización microbiana (% área afectada)	15% (líquenes)	5% (hongos)	0%	Libre de colonización visible
Fisuración por retracción (% área)	100% (progresiva)	10%	0%	Estable

12 |

Nota. Los valores corresponden a media ± desviación estándar. N/A: no aplica por deterioro del testigo. Elaboración propia.

Tabla 8

Evolución de los parámetros del mortero experimental (sector MN-Exp) durante 90 días.

Días de monitoreo	Cohesión (% área)	Integración cromática (ΔE)	Permeabilidad (segundos)	Observaciones
30	92 ± 3	2,1 ± 0,3	8,2 ± 1,1	Alta adhesión inicial
60	88 ± 4	2,4 ± 0,4	8,5 ± 1,3	Estable, sin cambios
90	85 ± 3	2,8 ± 0,3	8,8 ± 1,2	Ligero incremento esperable

Nota. Todos los valores de ΔE se mantienen por debajo del umbral de perceptibilidad visual (ΔE < 3). Elaboración propia.

Tabla 9

Variabilidad del mortero experimental entre los dos sectores tratados (90 días).

Sector	Código	Cohesión 90d (%)	ΔE 90d	Absorción 90d (s)	Observaciones
Muro norte	MN-Exp	85 ± 3	2,8 ± 0,3	8,8 ± 1,2	Exposición vertical
Base estratigráfica	BE-Exp	84 ± 4	2,9 ± 0,4	8,9 ± 1,3	Exposición horizontal
Promedio experimental	-	84,5	2,85	8,85	Comportamiento consistente entre sectores

Nota. La diferencia entre sectores no es estadísticamente significativa ($p > 0,05$). Elaboración propia.

Importancia de la integración cromática

La variación $\Delta E < 3$ unidades durante todo el período evaluado (Tablas 5 y 8) confirma que la incorporación del paleosuelo local como carga mineral permite una integración visual óptima, requisito fundamental en intervenciones patrimoniales donde la legibilidad del contexto arqueológico debe preservarse (Muñoz Viñas, 2005). El consolidante sin carga, en cambio, generó un oscurecimiento perceptible ($\Delta E > 5$ a 90 días), probablemente debido a la reflexión diferencial de la película de sílice en la superficie, fenómeno documentado en aplicaciones de TEOS sobre materiales oscuros (Delgado Rodrigues, 2001, citado en Wheeler, 2005).

Permeabilidad y comportamiento higroscópico

La preservación de la permeabilidad al vapor de agua en el mortero experimental constituye un hallazgo relevante, dado que uno de los riesgos documentados en consolidaciones con TEOS es la formación de una película superficial que obstruye la porosidad y puede generar acumulación de humedad interna y salinización (Wheeler, 2008). Los tiempos de absorción ligeramente superiores al sustrato original (8,8 vs. 6,4 segundos, Tabla 6) indican una modificación aceptable de la porosidad superficial, mientras que el consolidante sin carga prácticamente triplicó el tiempo de absorción (18,2 segundos), evidenciando la formación de una barrera hidrófoba.

La Tabla 10 confirma la correlación entre ambos métodos de evaluación de permeabilidad (microgota y capilaridad), validando la consistencia de los resultados.

La presencia de la carga mineral (paleosuelo) parece haber moderado la polimerización del TEOS, evitando la formación de una película continua y permitiendo la mantención de una estructura porosa abierta, similar a lo observado en consolidaciones con nanopartículas de sílice (Zornoza-Indart y Lopez-Arce, 2016).

Figura 9

Resultado inmediato de la aplicación del mortero experimental.



Nota. Fotografía del autor.

Tabla 10

Correlación entre los dos métodos de evaluación de permeabilidad (90 días).

Tratamiento	Tiempo microgota (s)	Coef. capilaridad (kg/m ² ·min ^{0.5})	Variación respecto al testigo
Testigo (sin intervención)	6,4	0,32	Referencia (0%)
Consolidante sin carga	18,2	0,12	-62,5%
Mortero experimental	8,8	0,28	-12,5%

Nota. Existe una correlación inversa entre ambos métodos: a mayor tiempo de absorción de microgota, menor coeficiente de capilaridad. Elaboración propia.

Resistencia microbiana

La ausencia de colonización visible en los sectores tratados con mortero experimental durante 90 días sugiere que el tratamiento no crea condiciones favorables para el desarrollo biológico. Sin embargo, es necesario ser cautos en esta interpretación, ya que el período de monitoreo coincidió parcialmente con la estación seca en Quito (junio-septiembre). La ausencia de colonización podría deberse tanto a las propiedades del material —el gel de sílice no constituye un sustrato nutritivo— como a las condiciones ambientales del período. Se requiere monitoreo en temporada de lluvias (octubre-mayo)

para confirmar esta tendencia. Por tanto, la ausencia de colonización visible debe considerarse un resultado preliminar que requiere confirmación con monitoreo estacional.

Contextualización en la literatura especializada

Como se observa en la Tabla 11, los resultados de este estudio se encuentran dentro de los rangos reportados internacionalmente para consolidación con TEOS, con la ventaja adicional de utilizar matriz local (paleosuelo del propio sitio), lo que garantiza una óptima compatibilidad física, química y visual.

14 |

Tabla 11

Comparación con otros estudios de consolidación.

Estudio	Material tratado	Consolidante utilizado	Cohesión reportada	Permeabilidad
Scherer y Wheeler (2008)	Arenisca	TEOS	Incremento 40–60 %	Mantenida
Franzoni et al. (2015)	Caliza	TEOS + nanopartículas	Incremento 55 %	Reducción 20 %
Zornoza-Indart y Lopez-Arce (2016)	Piedra calcárea	Nanopartículas de sílice	Incremento dependiente de la HR	Mejora con HR controlada
He et al. (2024)	Materiales calcáreos	TEOS + nanocal	Incremento significativo	Mejora la durabilidad
Este estudio (2024)	Paleosuelo volcánico	TEOS + matriz local	Incremento de 53 puntos porcentuales*	Reducción de 12,5 %

Nota. El incremento de cohesión de este estudio se calcula respecto al testigo sin intervención (32 % → 85 %). El estudio de Zornoza-Indart & Lopez-Arce (2016) demuestra que la humedad relativa (HR) influye decisivamente en la eficacia de las nanopartículas de sílice, hallazgo relevante para ambientes como el de Rumipamba. Elaboración propia.

Implicaciones para la sostenibilidad de la intervención

El uso del paleosuelo local como carga mineral presenta ventajas significativas desde la perspectiva de sostenibilidad y pertinencia territorial: (1) elimina la introducción de agregados exógenos que podrían alterar la química del contexto arqueológico; (2) asegura la compatibilidad mineralógica y textural con el sustrato; (3) reduce costos de traslado y adquisición de materiales; y (4) genera un precedente metodológico para futuras intervenciones en sitios con características similares.

Además, la aplicación en capas delgadas (2–3 mm) y el control de la velocidad de secado mediante cubrimiento con plástico perforado durante 72 horas constituyen buenas prácticas que pueden incorporarse a protocolos estandarizados de conservación arqueológica *in situ*.

Limitaciones del estudio

A pesar del desempeño favorable observado a corto plazo, el estudio presenta limitaciones que deben considerarse:

- 1. Período de monitoreo:** 90 días es insuficiente para evaluar durabilidad a mediano y largo plazo. Se requiere monitoreo extendido a 12, 24 y 36 meses para confirmar la estabilidad del tratamiento frente a ciclos estacionales completos.
- 2. Escala de aplicación:** La intervención se limitó a sectores específicos (4,1 m² con mortero experimental). Se requiere ampliar la escala para evaluar comportamiento en áreas mayores y condiciones de borde.
- 3. Análisis microquímico:** No se realizaron estudios de microscopía electrónica de barrido (SEM-EDS) para analizar la interfaz gel de sílice-partículas del paleosuelo, lo que limita la comprensión de los mecanismos de adhesión a nivel microscópico.
- 4. Comportamiento frente a sales:** No se evaluó específicamente la respuesta del mortero ante la presencia de sales solubles, un factor de deterioro documentado en el sitio. Estudios complementarios deberían abordar esta variable.
- 5. Replicabilidad:** Si bien la metodología es conceptualmente replicable, la dosificación óptima puede variar según las características específicas del paleosuelo de cada sitio, requiriendo pruebas preliminares en cada caso.

6. Subjetividad en la evaluación de cohesión:

La cuantificación de la cohesión estructural se basó en estimación visual y pruebas manuales no estandarizadas (raspado con espátula y tracción con pincel), lo que introduce un grado de subjetividad. No obstante, la repetibilidad del método fue verificada por dos operadores, obteniendo una desviación inter-observador inferior al 5 %, y los resultados deben interpretarse como tendencias comparativas dentro del sitio. Futuros estudios deberían emplear métodos instrumentales (por ejemplo, *pull-off test*) para obtener valores cuantitativos objetivos.

Conclusiones

La aplicación experimental de un mortero formulado con silicato de etilo (ESTEL 1200) y paleosuelo local en proporción 1:1,5 mostró un desempeño favorable a corto plazo (90 días) para la consolidación de estructuras arqueológicas frágiles en contextos expuestos a humedad y deterioro superficial, como el caso del Parque Arqueológico Rumipamba en Quito.

Los resultados obtenidos evidenciaron una cohesión estructural del 85 % a los 90 días, integración cromática adecuada ($\Delta E < 3$) y comportamiento higroscópico del sustrato tratado compatible con el original, sin comprometer la porosidad ni generar efectos adversos en la lectura estratigráfica. No se observó colonización visible durante el período evaluado, aunque se requiere monitoreo en temporada de lluvias para confirmar esta tendencia.

La caracterización fisicoquímica del paleosuelo local (granulometría, mineralogía por DRX, pH, materia orgánica y CIC) permitió fundamentar la compatibilidad del tratamiento y seleccionar la dosificación adecuada mediante pruebas preliminares (Tabla 2). El contenido moderado de arcillas (21,9 %) y el predominio de fases silíceas (70 %) explican la buena respuesta del material a la consolidación con TEOS.

El uso del paleosuelo local como carga mineral resultó clave para lograr la compatibilidad visual y física del mortero, reforzando además la sostenibilidad de la intervención y su pertinencia territorial. Esta experiencia marca un precedente positivo para el desarrollo de tecnologías de conservación adaptadas a los contextos andinos tropicales y abre la posibilidad de aplicar esta formulación en otros sitios patrimoniales con características similares, previa validación específica en cada caso.

A partir de los resultados obtenidos, se proponen las siguientes recomendaciones para la implementación de protocolos similares:

1. Caracterización previa obligatoria.
2. Pruebas preliminares.
3. Control ambiental.
4. Aplicación en capas delgadas.
5. Documentación sistemática.
6. Monitoreo extendido.

En escala piloto y a corto plazo (90 días), los resultados permiten sostener que la formulación evaluada presenta compatibilidad y desempeño favorables en el contexto intervenido. Si bien los resultados son alentadores, se recomienda ampliar el monitoreo a un ciclo anual completo para evaluar el desempeño del tratamiento frente a variaciones estacionales más amplias. Asimismo, es pertinente profundizar en estudios de laboratorio que analicen la interacción química a nivel microscópico entre la sílice gelificada y las partículas del paleosuelo mediante microscopía electrónica de barrido (SEM-EDS), así como su comportamiento frente a sales solubles mediante ensayos específicos de cristalización.

16 | En conclusión, esta investigación contribuye al campo de la conservación arqueológica en el Ecuador al integrar criterios científicos, insumos locales y normativas técnicas nacionales dentro de un enfoque experimental controlado. El protocolo propuesto puede ser considerado como una base metodológica para futuras intervenciones en sitios arqueológicos que requieran estabilización de paleosuelos expuestos, consolidando una línea de innovación técnica para la gestión sostenible del patrimonio cultural subterráneo.

Agradecimientos

El autor expresa su gratitud al Instituto Metropolitano de Patrimonio (IMP) por el financiamiento y apoyo logístico para la ejecución del proyecto de conservación en el Parque Arqueológico Rumipamba (2023-2024). Se agradece especialmente al equipo técnico de conservación del IMP por su participación en los trabajos de campo y monitoreo. Al Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC) por la asesoría técnica y la autorización para la intervención experimental conforme al *Instructivo técnico para la presentación de propuestas e informes de proyectos arqueológicos y paleontológicos* (Resolución Nro. 037-DE-INPC-2021). Al Laboratorio

de Suelos de la Universidad Central del Ecuador por la realización de los análisis fisicoquímicos. Finalmente, a la comunidad del sector de Rumipamba por su interés y acompañamiento durante el proceso de intervención patrimonial.

Declaración sobre el uso de tecnologías generativas de IA asistida en el proceso de escritura

Durante la preparación de este trabajo, el autor utilizó la herramienta *DeepSeek* exclusivamente para la organización de la estructura del manuscrito con relación al formato, con el fin de garantizar el cumplimiento de las directrices de presentación. En ningún caso se empleó inteligencia artificial para la generación de datos, resultados, figuras, tablas, análisis estadístico o conclusiones. Toda la información científica, los datos de campo y las mediciones presentadas son originales y producto del trabajo directo del autor en el sitio arqueológico Rumipamba. Tras el uso de esta herramienta, el autor revisó y editó el contenido según fue necesario y asume la plena responsabilidad por el contenido final de la publicación.

Fecha de recepción: 8 de septiembre de 2025

Fecha de aceptación: 6 de abril de 2026

Referencias

- American Society for Testing and Materials-ASTM D422-63(2007)e2. (2007). *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*. ASTM International.
- Asociación Española de Normalización y Certificación [AENOR]. (1999). *Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad*. AENOR.
- Brandi, C. (1963). *Teoría de la restauración* (2ª ed.). Alianza Editorial.
- Caple, C. (2000). *Conservation Skills: Judgement, Method and Decision Making* (1st ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203086261>
- Cronyn, J. M. (1990). *The Elements of Archaeological Conservation*. Routledge.
- Delgado Rodrigues, J. (2001). Consolidation of decayed stones: A delicate problem with few practical solutions. En P. B. Lourenço y P. Roca (Eds.), *Historical Constructions* (pp. 3-14). University of Minho.
- Franzoni, E., Graziani, G., & Sassoni, E. (2015). TEOS-based treatments for stone consolidation: acceleration of hydrolysis-condensation reactions by poulticing. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 74(2), 398–405. <https://doi.org/10.1007/s10971-014-3610-3>
- Goldberg, P., & Macphail, R. I. (2006). *Practical and Theoretical Geoarchaeology*. Blackwell Publishing.
- He, J., Otero, J., Crespo-López, L., Monasterio-Guillot, L., Benavides-Reyes, C., Elert, K., & Rodríguez-Navarro, C. (2024). Ethyl silicate–nanolime treatment for the consolidation of calcareous building materials. *Construction and Building Materials*, 418, 135437. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135437>
- International Council of Museums – Committee for Conservation [ICCROM]. (2007). *Preventive conservation: Concepts and strategies*.
- International Council on Monuments and Sites [ICOMOS]. (1964). *Carta internacional sobre la conservación y la restauración de monumentos y sitios (Carta de Venecia 1964)*.
- Resolución Nro. 037-DE-INPC-2021 [Instituto Nacional de Patrimonio Cultural-INPC]. Instructivo técnico para la presentación de propuestas e informes de proyectos arqueológicos y paleontológicos. 21 de junio de 2021.
- Rocha Reyes, J. M. & Ruigómez Correa, A. J. (2025). La reintegración cromática en superficies pétreas expuestas a la luz natural. En Y. Jáidar Benavides, V. Magar Meurs, & M. C. Ruiz Martín (Coords.). *Criterios de conservación del patrimonio en piedra* (pp.373-399). Secretaría de Cultura, INAH, UNAM-IIE, ICCROM. <https://www.iccrom.org/es/publication/criterios-de-conservacion-del-patrimonio-en-piedra>
- Scherer, G. W., & Wheeler, G. S. (2008). Silicate Consolidants for Stone. *Key Engineering Materials*, 391, 1–25. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.391.1>
- Serrano Vincenti, S., Ruiz, J. C., & Bersosa, F. (2017). Heavy rainfall and temperature projections in a climate change scenario over Quito, Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 25(1), 16-32. <https://doi.org/10.17163/lgr.n25.2017.02>
- UNESCO. (2015). *Recomendación sobre la protección y promoción de los museos y colecciones, su diversidad y su función en la sociedad*. <https://www.unesco.org/es/legal-affairs/recommendation-concerning-protection-and-promotion-museums-and-collections-their-diversity-and-their>
- Wheeler, G. (2005). *Alkoxysilanes and the Consolidation of Stone*. Getty Conservation Institute. https://www.getty.edu/conservation/publications_resources/books/consolidation_of_stone.html
- Zornoza-Indart, A. & Lopez-Arce, P. (2016). Silica nanoparticles (SiO₂): Influence of relative humidity in stone consolidation. *Journal of Cultural Heritage*, 18, 258-270. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2015.06.002>