Tratamiento realizado hipogeo SA1

Control biológico

Metodología: De acuerdo con la información suministrada por el biólogo Antonio Guarnizo, en la salida de campo del mes de febrero, se realizó la aplicación del producto Alisín en concentración de 2 ml/L en aspersión para control de insectos. En marzo se aplicó ácido piroleñoso al 6% en agua, mediante aspersión de gota fina y de manera paralela a las paredes de la bóveda del hipogeo. De igual forma, se aplicó ácido pelargónico al 3% en las zonas con presencia de algas (Chlorella sp.), musgos o hepáticas. En el caso de las raíces, se realizó aplicación de ácido piroleñoso al 6% y ácido pelargónico al 3% por medio de jeringa y aguja calibre 14 en zonas con raíces, evitando exceso de solución que pudiera escurrir por la superficie pictórica.

Durante la intervención del mes de marzo, se dio crecimiento fúngico algodonoso en el suelo del hipogeo. El crecimiento puede deberse a múltiples factores: las inyecciones o morteros pudieron aportar carga microbiana (tierras de Segovia y San Andrés), la temperatura corporal y ambiental aumentada por presencia humana favoreció la activación de esporas, y los suelos pueden contener nutrientes sedimentarios por inundaciones previas que facilitan la colonización. Se realizaron Intervenciones con ácido pelargónico y plan de seguimiento

Zonas algas: Pilar 2.

Zonas cuerpos fúngicos: Nichos 1 y 2, cámara.



Ilustración 1. Algas en P2 antes (noviembre 2025) y después (marzo 2026). Fotos: Ana Jaimes.

Remoción de Sales

Se ejecutó una limpieza mecánica en medio acuoso utilizando alcohol etílico al 70% como vehículo.

Metodología: Se emplearon cepillos de cerdas suaves para zonas de alta rugosidad o con eflorescencias endurecidas; esponjas de melamina para superficies lisas (aprovechando su capacidad abrasiva suave) e hisopos de algodón limitados estrictamente a zonas delicadas de pintura mural para evitar el depósito de fibras que favorezcan la proliferación fúngica.

Zonas: Nicho 1, nicho 2, cámara (1, 2, 5 y 6), pilastras y pilar 1.



Ilustración 2. Remoción de sales en nicho 1B con esponja de melamina y prueba de limpieza en C5. Fotos: Ana Jaimes y Zaira Zuluaga.



Ilustración 3. Pilastra 2 durante la remoción de sales. Foto: Ana Jaimes.



Ilustración 4. Detalle de nicho 1D antes y después de la remoción de sales. Fotos: Yolanda Pachón.

Eliminación de Sedimentos Arcillosos

Remoción de capas de tierra compacta y depósitos de barro sobre el enlucido y soporte pétreo.

Metodología: En la pilastra 2, se aplicó etanol para reblandecer la costra, seguido de eliminación mecánica con espátula y bisturí. En el nicho 1 (zona C), se realizó limpieza en seco con pincel de cerdas firmes, evaluando la estabilidad de los estratos para evitar desprendimientos.

Zonas: Nicho 1C, pilastra 2, cámara 1 y 2.



Ilustración 5. Detalles de sedimentos arcillosos.



Ilustración 6. Eliminación de sedimentos en seco con brocha



Ilustración 7. Eliminación de sedimentos con hisopo. Fotos: Yolanda Pachón y Ana Jaimes



Ilustración 8. Eliminación de sedimentos con cepillo y etanol. Foto: Yolanda Pachón.

Readhesión de Estratos

Fijación de capas de enlucido suelto, estratos levantados y refuerzo de fisuras.

Metodología: Uso de Tilosa al 1.5% - 2% en agua con ácido piroleñoso al 6% (biocida). Se aplicó etanol al 70% como tensoactivo para facilitar la penetración. La técnica incluyó presión controlada con papel encerado y algodón para devolver el plano. En zonas de "enlucido flotante" sin capacidad de adhesión simple, se procedió a la inyección de mortero fino para recuperar el soporte.

Zonas: Pilar 1 (B y D), Nicho 1C, C5Bóveda Bo2.



Ilustración 9. Aplicación de tilosa en P1B y en C5. Foto: Zaira Zuluaga y Camilo Betancur.

Consolidación del soporte

Se realizaron pruebas de consolidación con Wacker OH en zonas con disgregación arenosa y pérdida de cohesión en la toba.

Metodología: Aplicación del consolidante etil-silicato Wacker OH mediante aspersión o jeringa en la interfaz entre la roca y el enlucido levantado. Se realizó una consolidación puntual previa en el Nicho 1C para permitir la posterior readhesión de estratos.

Zonas: Nicho 1C, fragmentos desprendidos del pilar P2.

Inyección de Mortero - 75 micras

Estabilización de fisuras, grietas capilares y consolidación de estratos pictóricos.

Fórmula: 82.9 g Tierra Segovia (75 µm), 22.5 g Tierra San Andrés (75 µm), 10 g microesferas de vidrio, 90 ml solución ácido piroleñoso (6%) y 2 g Genapol al 1%, batido a punto de nieve.

Metodología: Humectación previa con alcohol al 70%. Inyección con jeringa y sondas de diversos calibres (10 a 14). Una vez aplicado el mortero, puede alisarse con ayuda de una espátula para dar acabado superficial.

Zonas: nicho 1 y 2, cámara, pilastras, columnas, Bóveda Bo2.



Ilustración 10. (izq.) Proceso de inyección de mortero en zona superior de N1B, inyección de etanol al 70% (der.). Fotos: Ana Jaimes.



Ilustración 11. Acabado final del proceso de inyección de mortero. Foto: Ana Jaimes.



Ilustración 12. Proceso de alisado final del mortero aplicado. Fotos: Yolanda Pachón.



Ilustración 13. Aplicación con sonda en zonas de difícil acceso. Foto: Camilo Betancur.

Aplicación de Mortero (250 micras) Ciclópeo (Fragmentos de Toba)

Relleno de diaclasas, oquedades profundas y galerías de insectos.

Fórmula: 97 g toba Segovia (250 µm), 50.41 g toba San Andrés (250 µm), 12 g microesferas de vidrio, 92 ml solución ácido piroleñoso (6%) y 2 g Genapol (1%).

Metodología: En diaclasas de gran apertura (por ejemplo en cámara sección 4 o en zona inferior del nicho 2, secciones A y E), se insertaron manualmente fragmentos de toba triturada para dar estabilidad estructural, seguidos de la inyección del mortero de 250µm.

Zonas: zona inferior nicho 1B, 1C, nicho 2A, 2B, 2E, cámara (secciones 4, 6, 7 y 8), pilar 1, pilastra 1, 2 y 3.



Ilustración 14. Proceso de aplicación de mortero ciclópeo en N1A y N1B. Fotos: Ana Jaimes y María Paula Álvarez.

Eliminación de raíces

Posterior al reblandecimiento de las raíces tras el uso de ácidos para el control de biodeterioro.

Metodología: Eliminación manual de raíces en nichos 1 y 2 y cámaras (secciones 7 y 8) mediante tijeras, priorizando aquellas que comprometen la integridad del soporte pétreo.



Ilustración 15. Eliminación de raíces con tijeras en nicho 1B y con bisturí en C6. Foto: Ana Jaimes y Yolanda Pachón.

Refuerzo estructural en elementos portantes (P2)

Se procedió a la liberación y estabilización de fragmentos desprendidos de gran formato y peso.

Fórmula (para preparar un cuñete de mortero estructural): 2.52 k de toba cernido #4, 2.52 k de toba cernido #8, 1.68 k de arena de peña, 2.40 k de cemento blanco, cal 119 g, 7 g Sika Aer D, 21 g Intraplast Z, 2.64 k solución de ácido piroleñoso en agua al 6%.



Ilustración 16. Preparación de mortero estructural. Fotos: Camilo Betancur.

Metodología:

- Liberación y desmonte controlado: se construyeron formaletas de madera para asegurar los tres fragmentos *in situ* y de esta manera lograr la remoción de sujeciones temporales (lazos y yumbolón), Posteriormente, se realizó el desmonte paulatino utilizando tela quirúrgica como interfaz de protección, disponiendo los elementos sobre camas de yumbolón en el suelo del hipogeo.



Ilustración 17. Equipo durante la planeación del movimiento del fragmento superior en P2 (izq.) y en el desmonte del fragmento superior (der.). Fotos: Zaira Zuluaga y Camilo Betancur.



Ilustración 18. Detalle de formaleta en P2, al fondo se observa el fragmento superior dispuesto en cama de yumbolón. Foto: Yolanda Pachón.

- Tratamiento de fragmentos inferiores: Durante las maniobras de apoyo, el fragmento inferior evidenció una fragilidad crítica, subdividiéndose en cuatro partes. Se procedió a su readhesión inmediata mediante el uso de mortero estructural y el correspondiente puente de adherencia, iniciando por las secciones de menor escala para recuperar la integridad del bloque.



Ilustración 19. Detalle de readhesión del fragmento inferior en P2 Foto: Zaira Zuluaga.

- Estabilización del soporte original: Previo a la reubicación de los fragmentos, se realizó una estabilización del núcleo de la columna mediante la inyección de mortero de 75 µm en fisuras y zonas de roca disgregada, previa humectación con una solución de agua y alcohol (70%) para mejorar la penetración.



Ilustración 20. Labores de estabilización realizados en P2. Fotos: Ana Jaimes, María Paula Álvarez y Zaira Zuluaga.

- Refuerzo de faltante: Se aplicó mortero estructural en la zona posterior del pilar para reforzar el área de carga en zona con gran faltante. Esta aplicación de mortero estructural se hizo en 4 jornadas, dando tiempo a cada capa de mortero de fraguar para recibir la siguiente, previa aplicación de puente de adherencia Sikalatex.



Ilustración 21. Aplicación de mortero estructural como refuerzo en zona de faltante del P2.



Ilustración 22. Resultado final de la aplicación de mortero estructural para devolver estructura al faltante en P2. Foto: Camilo Betancur.

- Readhesión de fragmentos: Se reintegraron dos de los fragmentos principales empleando puente de adherencia Sikalatex y mortero estructural. Se mantuvo el uso de formaletas para garantizar un fraguado estable. Por criterio técnico, se determinó postergar la colocación del fragmento de mayor dimensión hasta verificar el fraguado completo de la base, asegurando así la estabilidad mecánica del conjunto.



Ilustración 23. Proceso de preparación de las superficies de P2 con el puente de adherencia previo a la readhesión del fragmento inferior. Fotos: Yolanda Pachón.



Ilustración 24. Proceso de readhesión del fragmento inferior de P2 y posterior refuerzo con formaleta de madera durante el proceso de fraguado del mortero de pega. Fotos: María Paula Alvarez.



Ilustración 25. Fraguado de readhesión de fragmento inferior. Fotos: Camilo Betancur.



Ilustración 26. Vista diagonal de P2 antes y después de las labores de intervención de marzo 2026 donde se aprecia la estabilización del pilar. Fotos: Yolanda Pachón y Camilo Betancur.

Documentación

De manera transversal a la intervención, se realizó la documentación gráfica y fotográfica de las labores realizadas, así como la verificación de estados de conservación.



Ilustración 27. Documentación de la intervención en SA1 durante salida de campo de marzo 2026. Fotos: Ana Jaimes.

Información importante

Para el año 2027 se deja la intervención de la bóveda. Decisión sobre la intervención de la bóveda y riesgo climático, es deber del elaborar un protocolo en aproximadamente dos meses para manejar el crecimiento fúngico, en el contexto del aumento de riesgo asociado al cambio climático.

Estrategia de control y seguimiento biológico: Se definió una estrategia que combina ácido piroleñoso en SA1 y cloruro de benzalconio en S21.

Se planea intentar una comisión para finales de abril o inicio de mayo para emplazar el fragmento faltante y retirar hongos puntuales en SA1.