

EVIDENCIAS DE HORMIGÓN GEOPOLIMÉRICO EN LA MAMPOSTERÍA MEGALÍTICA DEL CUSCO

Los análisis de Trevor Hawke (2025–2026) y su lectura a la luz de la obra de Enrico Mattievich

Trevor Hawke



Co-Director de la División de Investigación, Pi Rambla Heritage Foundation. Científico de materiales, técnico de laboratorio y especialista en arqueología forense. *Trabajo de campo, muestras y análisis instrumentales.*

Con aportes de Enrico Mattievich, físico nuclear, Instituto de Física de la Universidad Federal de Río de Janeiro (UFRJ). *Física del acabado, cronología volcánica.*

Síntesis: División de Investigación, Pi Rambla Heritage Foundation.

RESUMEN

La arquitectura megalítica del Cusco se atribuye al tallado de piedra de cantera: andesita, diorita y caliza extraídas, transportadas, labradas y ajustadas con una precisión que no admite una hoja de afeitar. Trevor Hawke, Co-Director de nuestra División de Investigación, ha puesto a prueba otra hipótesis, la de Joseph Davidovits: que parte de esa mampostería sea *piedra artificial*, un hormigón geopolimérico vertido en el lugar. Durante la Expedición Megalítica (agosto 2025 – abril 2026) estudió el Koricancha, Saqsaywaman, el Palacio de Inca Roca y la Huaca Sapantiana con luz ultravioleta de 365 nm, espectrometría gamma portátil, microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido con microanálisis (SEM-EDS). En cuatro muestras del Koricancha y de Sapantiana la relación Si/Al va de 2,17 a 3,12, el índice de saturación catiónica de 0,88 a 1,22 (media $\approx 1,00$) y la relación Ca/Si se mantiene en 0,12–0,13. Las muestras del Koricancha contienen entre 52 y 71 veces más cloro, y hasta el doble de potasio, que la andesita de la cantera de Rumiqolqa. La espectrometría gamma registra una relación Th/U de 2,88–2,89 frente a 3,83 en la cantera. Una muestra de Sapantiana encierra un microartropodo sin rastro de calor. Presentamos los datos, su lectura junto a la obra de Enrico Mattievich y, con la misma claridad, las pruebas que faltan para que la hipótesis quede demostrada.

Palabras clave: geopolímeros, hormigón geopolimérico, SEM-EDS, espectrometría gamma, fluorescencia UV, Koricancha, Saqsaywaman, Inca Roca, Sapantiana.

1. La pregunta

¿Se tallaron las piedras del Cusco en cantera, o se fabricaron? Hay dos respuestas sobre la mesa.

El modelo del tallado. Es el que acepta la arqueología: los bloques se extrajeron de canteras como Rumiqolqa (andesita, a 26,5 km del Cusco) o Huaccoto (a 11,5 km), se arrastraron hasta la ciudad, se labraron con percutores de piedra y se ajustaron por tanteo (Protzen, 1985). Los muros de Saqsaywaman, según la geología oficial, son en su mayor parte de caliza local. Enrico Mattievich señaló el límite de este modelo: la andesita tiene una dureza de 6 a 7 en la escala de Mohs y el bronce de 3 a 4. Las superficies más finas del Koricancha exigirían herramientas o abrasivos más duros que la propia piedra.

El modelo geopolimérico. Joseph Davidovits, pionero de la química de los geopolímeros, demostró en Pumapunku (Tiahuanaco) que bloques de arenisca de 130 a 180 toneladas están formados por granos de arena de una cantera cercana cementados por una matriz geopolimérica, con natrón añadido (Davidovits, Huamán y Davidovits, 2019). Un geopolímero es un polímero inorgánico de aluminosilicato. Se obtiene al disolver material

volcánico en una solución alcalina; al fraguar, da una piedra de tipo cerámico, durísima. Trevor Hawke, que mantiene un intercambio directo de datos con Joseph y Ralph Davidovits, ha llevado esta pregunta al Cusco.

2. Trabajo de campo y métodos

La expedición comenzó en agosto de 2025 y se prolongó hasta abril de 2026. Trevor Hawke distinguió tres tipos de obra en el Cusco. La **poligonal** son bloques de muchas toneladas, de formas complejas y color gris claro, como en Saqsaywaman. La de **sillería** son bloques más rectangulares, de color pardo a gris oscuro y los únicos con relieves (serpientes, llamas, símbolos), como en el Koricancha. La tercera es la **colonial**: piedra reaprovechada y asentada con mortero.

- **Lugares:** Saqsaywaman, templo del Koricancha, Palacio de Inca Roca (calle Hatunrumiyoc), Huaca Sapantiana y muros de la calle Loreto.
- **Fluorescencia ultravioleta (365 nm):** revela eflorescencias, geles y migraciones de sales invisibles a simple vista.
- **Radiometría:** contador Geiger digital y espectrómetro gamma portátil Radiacode-103 (centelleador de CsI(Tl)). Se usaron los fotopicos del ^{40}K , del ^{212}Pb (238,6 keV, serie del torio) y del ^{214}Pb (351,9 keV, serie del uranio).
- **Laboratorio:** microscopía óptica y SEM-EDS de cuatro muestras de sillería: 1A y 1B (Koricancha, puerta 2) y 2A y 2B (Huaca Sapantiana).

3. Resultados

3.1. Química de las cuatro muestras (SEM-EDS)

Muestra	Lugar	Si/Al	Índice de saturación catiónica (Na+K+Ca+Mg)/Al	Otros datos
1A	Koricancha	2,48	0,88	Na 1,49 at% · K 2,18 at% · Cl 0,52 at% · Ca/Si 0,12
1B	Koricancha	3,12	1,00	K 1,68 at% · Cl 0,71 at% · Ca/Si 0,12
2A	Huaca Sapantiana	2,17	0,98	Matriz amorfa que une granos volcánicos
2B	Huaca Sapantiana	2,42	1,22	Mg 2,91 at% (el más alto del estudio) · Ca/Si 0,12 · microartrópodo

Datos de Hawke (2026). En el conjunto de las cuatro muestras, la relación Ca/Si se mantiene en 0,12–0,13.

Una relación Si/Al entre 2 y 3 corresponde a las redes que Davidovits llama poli(sialato-siloxo), y por encima de 3 a las poli(sialato-disiloxo). Son las formulaciones de mayor resistencia de un geopolímero (Davidovits, 2008; Rowles y O'Connor, 2003). El índice de saturación catiónica mide cuántas cargas negativas del aluminio quedan compensadas por sodio, potasio, calcio y magnesio. Vale 0,88, 0,98, 1,00 y 1,22: en torno a 1, el equilibrio exacto de una mezcla bien dosificada. El mapeo EDS muestra silicio, aluminio y oxígeno superpuestos en una matriz amorfa con microporos, la imagen típica de un gel geopolimérico.

3.2. Comparación con la roca de cantera

Parámetro	Andesita de Rumiqlqa (referencia)	Mampostería del Cusco	Lectura
Potasio (EDS)	≈ 1,04 at% (K ₂ O medio 2,31 %, 124 muestras; Ogburn et al.)	2,18 at% (1A) · 1,68 at% (1B)	Hasta +109 %: indicio de un activador potásico (potasa de ceniza vegetal).
Cloro (EDS)	< 0,01 at% (traza)	0,52 at% (1A) · 0,71 at% (1B)	Entre 52 y 71 veces más. Hawke propone como origen las salineras de Maras.
⁴⁰ K (gamma)	≈ 600 Bq/kg	747,7 Bq/kg (Koricancha)	Confirma por otra vía el exceso de potasio.
Relación Th/U (gamma)	3,83	2,89 (Koricancha) · 2,88 (Inca Roca)	Un 25 % menos: el uranio se moviliza en medio alcalino. El valor es casi idéntico en dos obras distintas. <i>Dato preliminar (véase § 5).</i>

Datos de Hawke (2026). Las cifras de potasio y cloro son del Koricancha; las de Th/U, de las medidas en el Koricancha y en el Palacio de Inca Roca.

El recorrido radiométrico del 26 de agosto de 2025 (1,48 km, desde la Plaza de Armas hasta el Koricancha) registró un fondo de 15–16 µR/h, propio de la altitud del Cusco. Junto a los muros de sillería de la calle Loreto la lectura subió a 18,5–19,5 µR/h, y el máximo, 20,71 µR/h, se alcanzó en el Koricancha.

3.3. Cristales que crecieron dentro de la piedra (muestra 1B)

Con el microscopio óptico, la muestra 1B del Koricancha aparece llena de flores minerales blancas dentro de una matriz porosa. El SEM las resuelve en racimos de agujas y cubos de ángulos rectos. Las agujas crecieron en el lugar, dentro de los poros, y son carbonato cálcico.

EDS localizado, muestra 1B (Koricancha)

	Matriz de fondo	Cristal acicular
Si/Al	5,54	3,82
Ca/Si	0,68	7,66
Al/Ca	0,26	0,03
Carbono	≈ 24 at%	≈ 39 at%

El calcio se duplica en el cristal, mientras que el silicio y el aluminio casi desaparecen (–82 % y –75 %). Alrededor de las agujas la matriz está empobrecida en calcio: los cristales tomaron su materia prima del propio aglutinante. Es la carbonatación interna que se documenta en los cementos activados con álcalis (Shi et al., 2006; Zhang et al., 2018). Estructuras tan delicadas no sobreviven a una colada de lava ni a una cocción.

3.4. Un insecto atrapado en la piedra (muestra 2B)

Dentro de la muestra 2B de la Huaca Saptantiana, el microscopio óptico y el SEM muestran un microartrópodo completo, con estructuras semejantes a antenas y un abdomen segmentado. Su exoesqueleto quitinoso está preservado y sin carbonizar. La matriz lo envuelve sin fisuras de acceso. Una andesita cristaliza a más de 900–1.200 °C: ningún organismo sobrevive a eso. Un hormigón que fragua a temperatura ambiente, en cambio, puede atrapar un insecto del suelo durante la mezcla o el vertido. Davidovits describió hallazgos parecidos en los moái de la Isla de Pascua.

3.5. Lo que se ve en los muros

- **Eflorescencias.** Hay depósitos blancos de carbonatos (calcita y natrón) bajo los dinteles del Koricancha y de Saqsaywaman, y a gran escala en los muros exteriores del templo. Bajo luz de 365 nm emiten una fluorescencia azul intensa, con fosforescencia verde en algunos puntos. Es lo que ocurre cuando la lluvia arrastra a la superficie los álcalis que no reaccionaron en un geopolímero (Longhi et al., 2022).
- **Protuberancias («tetones»).** En el Koricancha, Inca Roca y Saqsaywaman están casi siempre en la parte baja de cada bloque y agrupadas por hiladas. La fluorescencia UV se concentra en su cara inferior. Hawke las interpreta como puntos de drenaje por sinéresis: al fraguar, el gel expulsa agua cargada de sales, que escurre hacia el punto más bajo.
- **Marcas de alisado.** En Inca Roca hay huellas de llana en la cara de los bloques poligonales, propias de un material trabajado en estado plástico.
- **Vetas que cruzan la junta.** En un dintel del Koricancha dos bloques contiguos comparten el mismo patrón de estratificación, como si se hubieran vertido juntos. Hay además remolinos de mezcla en bloques de sillería y burbujas semiesféricas en su superficie.
- **Caras almohadilladas.** En Saqsaywaman las caras abombadas y las juntas perfectas se leen como el asentamiento de una masa aún blanda contra el bloque vecino ya endurecido.

4. Discusión: la lectura de Enrico Mattievich

4.1. El acabado especular

Mattievich llamó la atención sobre el acabado de ciertos paramentos del Koricancha, tan liso que refleja la luz. Para que una superficie actúe como un espejo, las irregularidades de su relieve (Δh) deben cumplir el criterio de rugosidad de Rayleigh:

$$\Delta h < \lambda / (8 \cdot \cos \theta)$$

Para luz visible ($\lambda \approx 500$ nm) y a incidencia normal, eso son unos 60 nanómetros. Es un acabado muy difícil de lograr desbastando con piedra o bronce una roca de dureza 6–7. El modelo geopolimérico ofrece otra explicación. Cuando se alisa con llana una pasta que aún está en fase plástica, lo que Hawke observa en Inca Roca, los granos gruesos se hunden y sube a la superficie una película de gel muy fino que, al fraguar, queda lisa como un vidrio. Así, el pulido del que hablaba Mattievich y la química de Hawke no se contradicen: serían dos caras de una misma técnica.

Por comprobar. La rugosidad de estos paramentos aún no se ha medido. La prueba es sencilla: rugosimetría o perfilometría óptica sobre las caras pulidas.

4.2. Cada bloque, molde del siguiente

Si la masa se vierte contra un bloque ya endurecido, copia cada irregularidad de su cara y la junta queda perfecta sin tallar nada. Hawke observa en Inca Roca patrones que se repiten: bloques en «L» que escalonan las hiladas y bloques en cuña que cierran cada tramo. Propone que los muros se levantaban por tramos, con encofrados flexibles de cuero o tela, desde las esquinas hacia el centro.

4.3. La cronología volcánica

Mattievich reunió dos datos sobre el vulcanismo andino en el período formativo. En la cueva de Huargo (Huánuco), Augusto Cardich halló una capa de ceniza volcánica fechada por radiocarbono en 1.620 ± 230 a. C. Junto al templo de Wiracocha, en Raqchi, el volcán Quinsachata tiene en las grietas de su lava cerámica

Marcavalle A, de hacia 1.400–1.200 a. C., según Manuel Chávez Ballón; la erupción es anterior. Mattievich hizo analizar un fragmento de esa lava: resultó ser un silicato de aluminio, calcio, magnesio y sodio, rico en sodio. Mattievich vinculó estas erupciones al mito de Wiracocha. Nuestra lectura es que la región ofrecía en abundancia el material volcánico que un geopolímero necesita.

4.4. Lo que dicen los cronistas

Garcilaso describe los edificios reales como «de cantería maravillosamente labrada», con piedras tan ajustadas que no admitían mezcla. Y añade:

«...y aunque es verdad que se la echaban, era de un barro colorado (que en su lengua le llaman llancac allpa, que es barro pegajoso) hecho leche, del cual barro no quedaba señal ninguna entre las piedras».

Garcilaso de la Vega, *Comentarios Reales*, Libro VI, cap. I (1609)

Pedro Cieza de León (*Crónica del Perú*, cap. XCIV), citado por Garcilaso (Libro VI, cap. V), recoge que en el palacio real o templo del Sol de Tambo se halló oro derretido en lugar de mezcla, «con que, juntamente con el betún que ellos ponen, quedaban las piedras asentadas unas con otras». Los propios cronistas hablan, pues, de un «barro pegajoso» y de un «betún» entre las piedras.

5. Lo que falta por demostrar

Queremos que esta investigación resista cualquier examen. Por eso decimos con claridad qué está medido y qué falta:

- **Más muestras, y autorizadas.** Cuatro muestras de dos lugares son un comienzo. El siguiente paso es un muestreo autorizado y supervisado por el Ministerio de Cultura del Perú, en el Cusco, el Valle Sagrado y las canteras de Rumiqlolqa y Huaccoto.
- **La misma técnica en obra y cantera.** Hay que analizar la roca de cantera con los mismos equipos que la mampostería. Hacen falta difracción de rayos X, petrografía en lámina delgada y un laboratorio independiente.
- **Radiometría de laboratorio.** Las lecturas del espectrómetro portátil de CsI(Tl), en particular la relación Th/U, deben confirmarse en laboratorio con un detector de germanio de alta pureza (HPGe).
- **Datación del microartrópodo** por carbono 14 (AMS). Si su edad coincide con la construcción, la prueba es definitiva.
- **Escala nanométrica:** microscopía electrónica de transmisión (TEM) y difracción de electrones retrodispersados (EBSD), y la medida de la rugosidad de los paramentos pulidos (§ 4.1).

La Chinkana. Cuando se abra el túnel del Proyecto Qosqo, Trevor Hawke dirigirá el estudio de su piedra. Será la primera vez que una obra subterránea intacta del Cusco se analice con estas técnicas desde el primer día.

6. Conclusiones

1. Las cuatro muestras del Koricancha y de Sapantiana tienen la química de un geopolímero bien dosificado. Su relación Si/Al va de 2,17 a 3,12, su índice de saturación catiónica ronda 1 y su relación Ca/Si es constante, de 0,12–0,13, en dos lugares distintos.
2. Frente a la andesita de Rumiqlolqa, la mampostería del Koricancha tiene hasta el doble de potasio y entre 52 y 71 veces más cloro. La relación Th/U es de 2,88–2,89 en dos obras diferentes frente a 3,83 en la cantera. Es difícil explicarlo con piedra tallada; encaja con un activador alcalino y salino.

3. Los cristales crecidos dentro de los poros y el microartrópodo sin carbonizar indican un material que fraguó a temperatura ambiente.
4. El acabado especular señalado por Enrico Mattievich y el hormigón geopolimérico de Trevor Hawke pueden ser la misma técnica: una masa alisada en fase plástica.
5. Si las pruebas del § 5 lo confirman, las piedras del Cusco no se tallaron en cantera: se fabricaron. Sería uno de los hallazgos más importantes de la ciencia de materiales antigua.

Referencias

1. Beckmann, P., y Spizzichino, A. (1963). *The Scattering of Electromagnetic Waves from Rough Surfaces*. Pergamon Press, Oxford.
2. Cardich, A. (1973). Excavaciones en la Cueva de Huargo. *Revista del Museo Nacional*, 39, 11–29. Lima.
3. Cieza de León, P. (1553). *Primera parte de la Crónica del Perú*, cap. XCIV. Sevilla.
4. Davidovits, J. (2008; 5.^a ed. 2020). *Geopolymer Chemistry and Applications*. Institut Géopolymère, Saint-Quentin.
5. Davidovits, J., Huamán, L., y Davidovits, R. (2019). Ancient geopolymer in south-American monument. SEM and petrographic evidence. *Materials Letters*, 235, 120–124.
6. Garcilaso de la Vega, Inca (1609). *Primera parte de los Comentarios Reales de los Incas*, Libro VI, caps. I y V. Lisboa.
7. Hawke, T. (2026). *Evidence of geopolymer concrete in megalithic architecture of Cusco, Perú*. Harmonic Research Group, abril de 2026.
8. Longhi, M. A., Zhang, Z., Rodríguez, E. D., Kirchheim, A. P., y Wang, H. (2022). Influence factors in the wide application of alkali-activated materials: a critical review about efflorescence. *Materials*, 15(18), 6436.
9. Mattievich, E. (1986). Cadmo vence a imensa serpente – Descobrimento do Brasil por Cadmo. *Ciência e Sociedade*, CBPF, 013/86. Rio de Janeiro.
10. Mattievich, E. (2010). *Journey to the Mythological Inferno: America's Discovery by the Ancient Greeks*. Rogem Press, Denver.
11. Ogburn, D., Sillar, B., y Sierra, J. C. (2013). Evaluating effects of chemical weathering and surface contamination on the in situ provenance analysis of building stones in the Cuzco region of Peru with portable XRF. *Journal of Archaeological Science*, 40(4), 1823–1837.
12. Protzen, J.-P. (1985). Inca quarrying and stonecutting. *Journal of the Society of Architectural Historians*, 44(2), 161–182.
13. Provis, J. L., y van Deventer, J. S. J. (eds.) (2009). *Geopolymers: Structures, Processing, Properties and Industrial Applications*. Woodhead Publishing.
14. Rowles, M., y O'Connor, B. (2003). Chemical optimisation of the compressive strength of aluminosilicate geopolymers. *Journal of Materials Chemistry*, 13(5), 1161–1165.
15. Shi, C., Krivenko, P. V., y Roy, D. (2006). *Alkali-Activated Cements and Concretes*. Taylor & Francis.
16. Zhang, Z., Provis, J. L., Reid, A., y Wang, H. (2018). Efflorescence and subflorescence induced microstructural and mechanical evolution in fly ash-based geopolymers. *Cement and Concrete Composites*, 92, 165–177.