

RESEARCH ADVANCE

SOBRE LA EDAD DE LOS HIPOGEOS DE TIERRADENTRO, COLOMBIA: INTENTO DE DATACIÓN DIRECTA DE LA PINTURA ROJA MEDIANTE LA MAGNETIZACIÓN REMANENTE PICTÓRICA

About the Age of the Tierradentro Hypogea, Colombia: A Direct Dating Attempt of the Red Paint through Pictorial Remanent Magnetization

Rubén Cejudo,¹ Fernando Montejo,² Avto Goguitchaichvili,¹ Juan Morales,¹ Francisco Bautista,³ Carlos Reina²

¹ Servicio Arqueomagnético Nacional, Instituto de Geofísica, Unidad Michoacán, Universidad Nacional Autónoma de México

² Instituto Colombiano de Antropología e Historia, Colombia; ³ Laboratorio Universitario de Geofísica Ambiental, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México

(✉ ruben@igeofisica.unam.mx)

RESUMEN. *El conjunto de tumbas subterráneas de Tierradentro (Colombia), talladas en roca blanda de origen volcánico, contiene múltiples manifestaciones artísticas elaboradas con pintura roja. A pesar de su enorme importancia arqueológica y patrimonial, aún existe una fuerte controversia sobre la edad de estos hipogeos. La magnetización remanente pictórica, mayormente portada por granos de hematita, fue analizada para los hipogeos del Alto de Segovia. Los experimentos de ciclo de histéresis y las curvas termomagnéticas continuas indican que los responsables de la magnetización son tanto minerales ferromagnéticos como antiferromagnéticos. La desmagnetización por campos alternos reveló la declinación magnética media únicamente para el hipogeo Segovia 30, arrojando un intervalo temporal de 1070-1150 DC para la elaboración de la pintura. Esta datación es contemporánea de un entierro similar encontrado en el sitio de Rancho Grande, en la región de La Cumbre-Pavas.*

PALABRAS CLAVE. *Tierradentro; Colombia; hipogeos; pintura roja; arqueomagnetismo; magnetización remanente pictórica.*

ABSTRACT. *The series of underground tombs from Tierradentro, Colombia, carved in the soft volcanic rock, contains multiple artistic manifestations made of red paint.*

Despite their enormous archaeological and heritage importance, there is still a strong controversy about the age of these hypogea. The pictorial remanent magnetization, mostly carried by hematite grains, was analyzed for the Alto de Segovia hypogea. Hysteresis cycle experiments and continuous thermomagnetic curves indicate that both ferromagnetic and antiferromagnetic minerals are responsible for the magnetization. Alternating field demagnetization revealed the mean magnetic declination only for the Segovia 30 hypogea, yielding an AD 1070–1150 time interval for the elaboration of the painting. This dating is contemporary to a similar burial found at the Rancho Grande site, in the La Cumbre-Pavas region.

KEYWORDS. *Tierradentro; Colombia; hypogea; red paint; archaeomagnetism; pictorial remanent magnetization.*

INTRODUCCIÓN

Tierradentro corresponde geográficamente al área del municipio caucano de Inzá en Colombia. Se presenta como el macizo montañoso delimitado por el Nevado del Huila, el Páramo de Guanacas, el filo de la Cordillera Central y el río Negro de Narváz. Después de la

Recibido: 10-4-2022. Modificado: 14-4-2022. Aceptado: 22-4-2022. Publicado: 2-5-2022.



Figura 1. Proceso de muestreo de la pintura roja del hipogeo Segovia 30. Ver el texto para mayores detalles.

ocupación indígena prehispánica, Tierradentro fue incorporada a la Corona española a comienzos del siglo XVII, luego de varias campañas fallidas debidas, en especial, a la topografía escarpada y la eficiencia militar de los indígenas Páez y Pijao (Paredes 2017). El sitio arqueológico fue distinguido por la UNESCO en 1994 como parte del Patrimonio Cultural de la Humanidad. Los denominados «hipogeos» son las estructuras más representativas y asombrosas de Tierradentro. Esas tumbas subterráneas (figura 1), talladas en roca blanda de origen volcánico (tobas andesíticas), aunque reciben el nombre de hipogeos, podrían corresponder, en términos meramente arqueológicos, a tumbas de pozo y cámara o tumbas de tiro. También contamos con el término atribuible a los indígenas nasa: *ju'gtewé'sx çxab*, «la ciudad de nuestros mayores antepasados» (Sevilla-Casas 2009, 2010).

A pesar de su enorme importancia arqueológica y cultural, aún existe una fuerte controversia sobre los aspectos cronológicos absolutos del sitio (Langebaek y Dever 2009). Chaves y Puerta (1980, 2004) obtuvieron dos fechas contrastantes de 770 ± 240 AC y 850 ± 220 DC. Además, dos dataciones obtenidas de muestras de restos humanos en hipogeos del Alto de Segovia (Langebaek y Dever 2009) resultaron contaminadas por material proveniente de la toba volcánica (4470 ± 130 AC y 2770 ± 110 AC). Esta controversia motivó el presente estudio para analizar las tres estructuras de los hipogeos Segovia con el objetivo de obtener las direcciones magnéticas (inclinación y declinación) a través del análisis de la magnetización remanente pictórica (PiRM, por sus siglas en inglés) registrada en el momento de la elaboración de la pintura roja.

EXPERIMENTOS DE LABORATORIO

Las investigaciones arqueomagnéticas de las pinturas rojas son aún escasas debido a las notables dificultades relacionadas con las mediciones precisas en laboratorio. Otro gran problema reside en el protocolo de muestreo de la orientación, ya que en algunas ocasiones es imposible separar la pintura de la pared (soporte o roca en caso de pinturas rupestres) por la total adherencia a esta. Basándose en algunos estudios realizados hasta ahora, Goguitchaichvili *et al.* (2016), en su artículo de revisión, señalaron que algunos murales pueden conservar su magnetización remanente durante miles de años y abogaron por la factibilidad de la remanencia pictórica como herramienta arqueomagné-

tica fiable. Las pinturas murales son elementos artísticos ampliamente distribuidos por el mundo y, a pesar de su gran importancia, todavía no se dispone de una metodología para su datación. Beck *et al.* (2020) lograron resultados alentadores sobre algunas pinturas que contenían ^{14}C en pigmentos inorgánicos. Sin embargo, esta situación no ocurre de forma sistemática.

La magnetización remanente de las pinturas murales se adquiere generalmente gracias a la existencia de hematitas en la pintura de color rojo (Chiari y Lanza 1997). Los pioneros de este tipo de estudios mostraron que, cuando se aplica el pigmento rojo a la pared, los granos tienen libertad de movimiento y alinean su momento magnético en la dirección del campo magnético terrestre del momento. Cuando la pintura se seca, los minerales magnéticos mantienen su orientación, al menos parcialmente, resultando una magnetización remanente «pictórica» (PiRM) (ver también los artículos de revisión de Goguitchaichvili *et al.* 2016 y 2021). Por lo tanto, las pinturas murales pueden actuar como una fuente alternativa de información sobre la variación secular del campo geomagnético (Chiari y Lanza 1997, 1999; Lanza *et al.* 2009; Goguitchaichvili *et al.* 2016, 2021).

La metodología de muestreo utilizada en este estudio fue descrita originalmente por Chiari y Lanza (1999) y puede consultarse igualmente en el artículo de revisión de Goguitchaichvili *et al.* (2016). Consiste en aplicar tiras de cinta adhesiva de doble cara a una película de plástico rígido de 18 mm de diámetro. Estos pequeños discos se colocan en la pared y se traza la dirección horizontal con un nivel de burbuja, mientras que la orientación se mide con una brújula magnética y un inclinómetro similar a la orientación paleomagnética estándar de las rocas (Goguitchaichvili *et al.* 2021). Se retiran los discos orientados que contienen partículas rojas de pintura y se colocan en *portamuestras* especialmente elaborados para el magnetómetro de giro JR6 usado para medir la magnetización remanente pictórica. Las muestras fueron tomadas de esta manera en tres áreas principales de los hipogeos Segovia 12 y 30 (tabla 1).

La mineralogía magnética de las muestras se determinó utilizando una balanza de Curie de campo variable de traslación horizontal (VFTB, por sus siglas en inglés). Estos experimentos tienen como objetivo identificar los principales portadores magnéticos, su estado de dominio magnético y estabilidad térmica. Las medidas incluyeron: a) curvas de adquisición progresiva de magnetización remanente isotérmica (IRM), b) ci-

Tabla 1. Registro de lugares con pintura roja intervenidos arqueomagnéticamente.

Número	Etiqueta	Localización	Ubicación	Tipo
1	TA_2019_HS12_M1	Tierradentro (hipogeo Segovia 12)	Techo	Rojo con enlucido
2	TA_2019_HS12_M2	Tierradentro (hipogeo Segovia 12)	Columna	Arrastre
3	TA_2019_HS30_M6	Tierradentro (hipogeo Segovia 30)	Pilastra	Rojo con soporte pétreo

culos de histéresis magnética registrados hasta 0.75 T, c) las denominadas curvas *Back Field* y d) curvas termomagnéticas continuas hasta 600 °C. Las temperaturas de Curie de las curvas termomagnéticas se determinaron con el método de la doble tangente de Grommé *et al.* (1969). Los parámetros de histéresis magnética, tales como la magnetización de saturación remanente (Mrs), la magnetización de saturación (Ms) y el campo coercitivo (Hc), se obtuvieron de las curvas de histéresis después de corregir por fracción paramagnética y/o diamagnética. El campo coercitivo remanente (Hcr) se determinó a través de las curvas obtenidas al aplicar campos magnéticos opuestos.

La desmagnetización de la MRN (magnetización remanente natural) se llevó a cabo mediante la aplicación progresiva de campos magnéticos alternos (AF, por sus siglas en inglés) con valores pico de hasta 95 mT. El pigmento se fijó en una cinta de plástico durante los experimentos de limpieza magnética, aunque para los de histéresis y termomagnéticos se separaron cuidadosamente bajo el microscopio (Goguitchaichvili *et al.* 2021). La dirección de la magnetización remanente característica de todas las muestras se determinó mediante el análisis de componentes principales (Kirschvink 1980), mientras que las direcciones medias se calcularon siguiendo la estadística de Fisher (1953).

PRINCIPALES RESULTADOS

La curva de adquisición de la magnetización remanente isothermal indica una aparente saturación entre 250 y 300 mT (figura 2a), que podría deberse a la presencia de minerales ferromagnéticos, muy probablemente de magnetita. Posterior a 300 y hasta 750 mT, se observa un aumento monótono sin llegar a la saturación. Es probable que los granos antiferromagnéticos de hematitas provoquen este comportamiento. El

valor de la coercitividad de remanencia obtenida en la curva (figura 2b), conocida como *Back Field*, es atribuible a la fase ferromagnética. La forma del ciclo de histéresis magnética (figura 2c) está dominada por una fuerte contribución diamagnética. Sin embargo, la parte inicial muestra un comportamiento *Wasp Waisted*, o de «cintura de avispa», según Tauxe *et al.* (1996). Si bien esta forma se interpreta frecuentemente como una mezcla de granos de dominio magnético sencillo con supermagnéticos, se ha detectado el mismo comportamiento por la presencia de minerales ferromagnéticos y antiferromagnéticos.

Técnicamente hablando, los parámetros de histéresis mediante los cocientes Mr/Mrs e Hcr/Hc apuntarían a la estructura de pseudodominio sencillo (Day *et al.* 1977; Dunlop y Özdemir 1997). Las curvas termomagnéticas continuas muestran un comportamiento caótico y ruidoso debido a la baja señal inicial. Los ciclos de calentamiento y enfriamiento son aparentemente reversibles, indicando la presencia de una fase cercana a la magnetita. No se logra evidenciar la presencia de hematita (figura 2d).

Aunque las muestras de los tres fragmentos de pinturas (tabla 1) fueron desmagnetizadas por campos alternos, únicamente el hipogeo Segovia 30 arrojó resultados técnicamente satisfactorios. Cabe resaltar que el máximo campo alterno disponible de 95 mT no logra desmagnetizar la muestra (figura 3). Es evidente que el portador de la magnetización remanente es la hematita. Debido a que no se produce un segmento lineal tendente al origen, aquí se consideraron las paleodirecciones correspondientes a la etapa de desmagnetización de 60 mT como direcciones características. Solo cuatro especímenes mostraron un agrupamiento aceptable y, por lo tanto, fueron considerados para el cálculo de las paleodirecciones medias, obteniendo los siguientes resultados: inclinación = -52.1°, declinación = 170.1°, α_{95} = 3.4°. Las direcciones medias se han comparado con

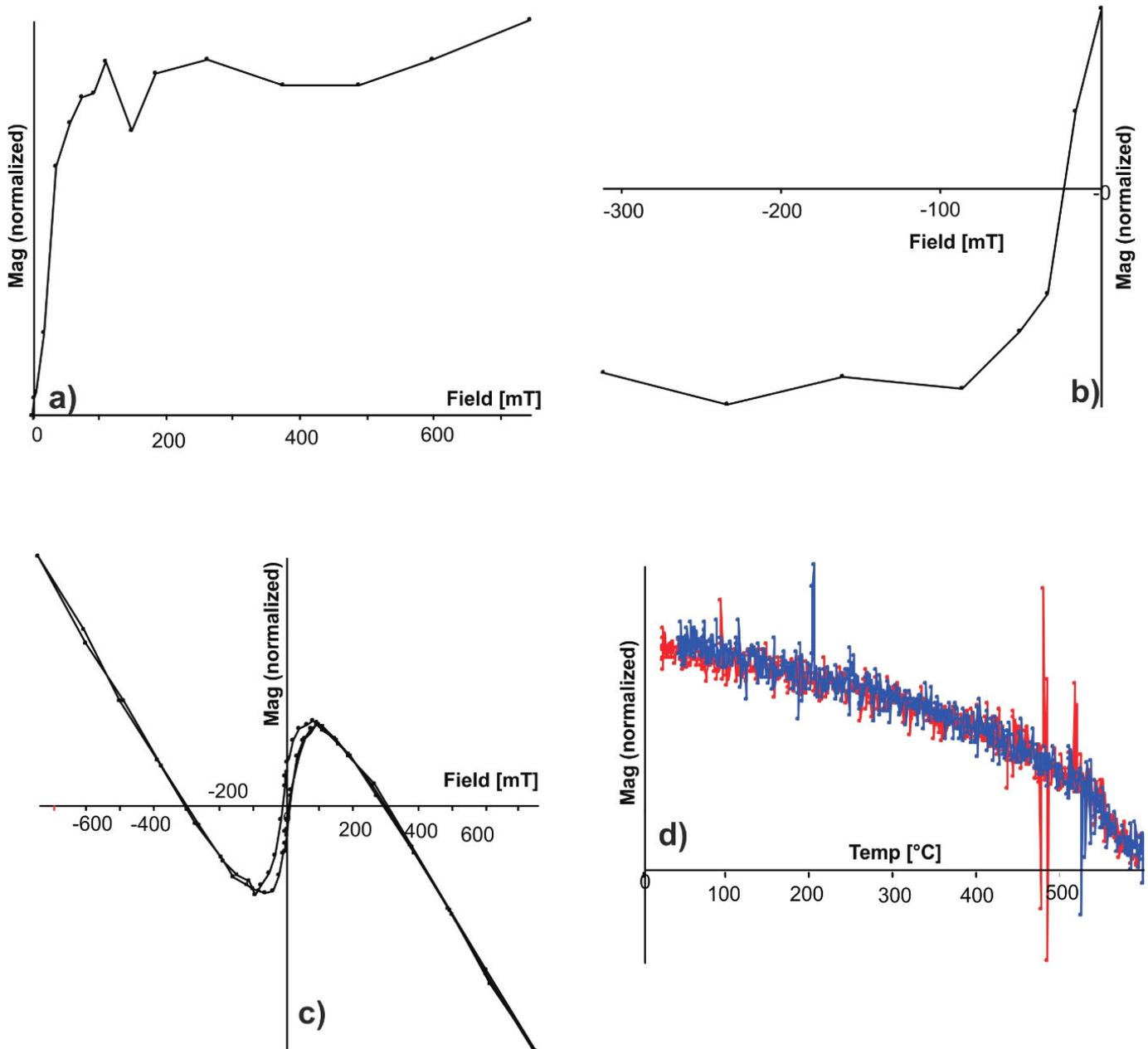


Figura 2. Caracterización magnética de la pintura roja mediante la balanza de Curie VFTB: a) curva de adquisición de la magnetización isothermal (IRM), b) curva *Back Field* para determinar la coercitividad de remanencia, c) ciclo de histéresis y d) curva termomagnética continua mostrando el tramo de calentamiento (en rojo) y enfriamiento (en azul).

el modelo geomagnético SHA.DIF.14k (Pavón-Carrasco *et al.* 2014) utilizando el *software archaeo_dating* de Pavón-Carrasco *et al.* (2011).

CONCLUSIONES Y LIMITACIONES DEL TRABAJO

La inclinación media obtenida en este estudio es anormalmente alta para la latitud del lugar de muestreo y, definitivamente, no refleja la propiedad intrínseca del campo magnético terrestre. La razón de esta

anomalía está vinculada probablemente al mecanismo de adquisición de la magnetización remanente pictórica. Por otro lado, y por razones obvias, no es posible obtener la intensidad absoluta geomagnética. Se optó por realizar un ejercicio de datación arqueomagnética empleando únicamente la declinación magnética.

La declinación media se ha comparado con el modelo geomagnético SHA.DIF.14k (Pavón-Carrasco *et al.* 2014) utilizando el *software archaeo_dating* de Pavón-Carrasco *et al.* (2011). El intervalo más probable se sitúa entre los años 1070 y 1150 DC (figura 4) aproximadamente. Se debe mencionar que el hecho de in-

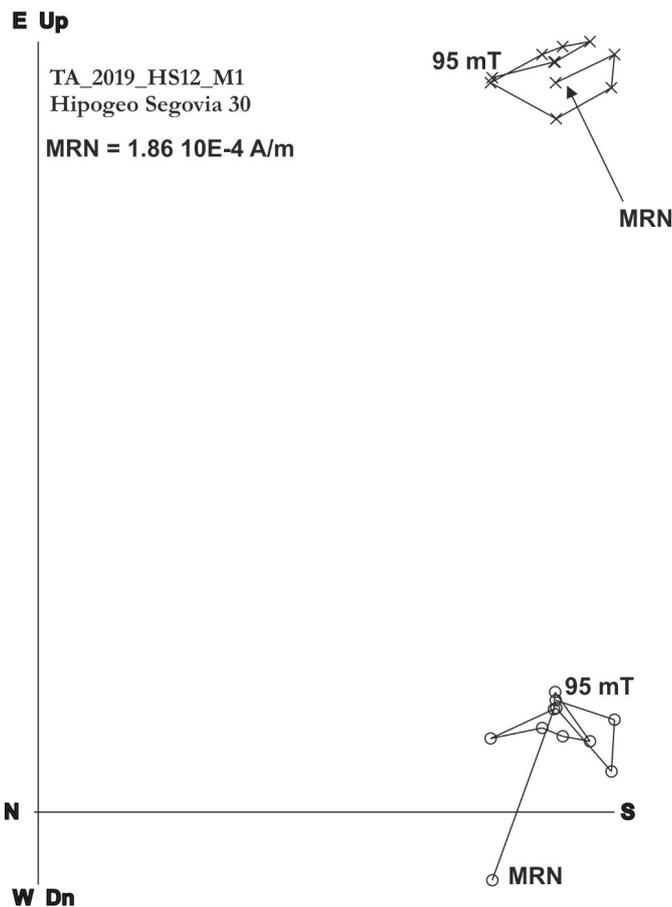


Figura 3. Ejemplo representativo de diagramas ortogonales ilustrando el proceso de desmagnetización por campos alternos.

tentar datar con un solo elemento geomagnético usando el modelo global en vez de la curva arqueomagnética local, aún inexistente en Colombia, representa una limitación del trabajo.

Por lo tanto, este primer dato obtenido debe ser verificado por futuras investigaciones. Sin embargo, existe un elemento alentador proveniente de estudios anteriores: Langebaek y Dever (2009) analizaron la cerámica encontrada dentro de los hipogeos y se inclinaron a considerar que estos corresponden a la parte más tardía del Periodo Medio, o incluso al Periodo Tardío. Es decir, que son contemporáneos de un entierro similar encontrado por el Proyecto Calima en el sitio de Ran-

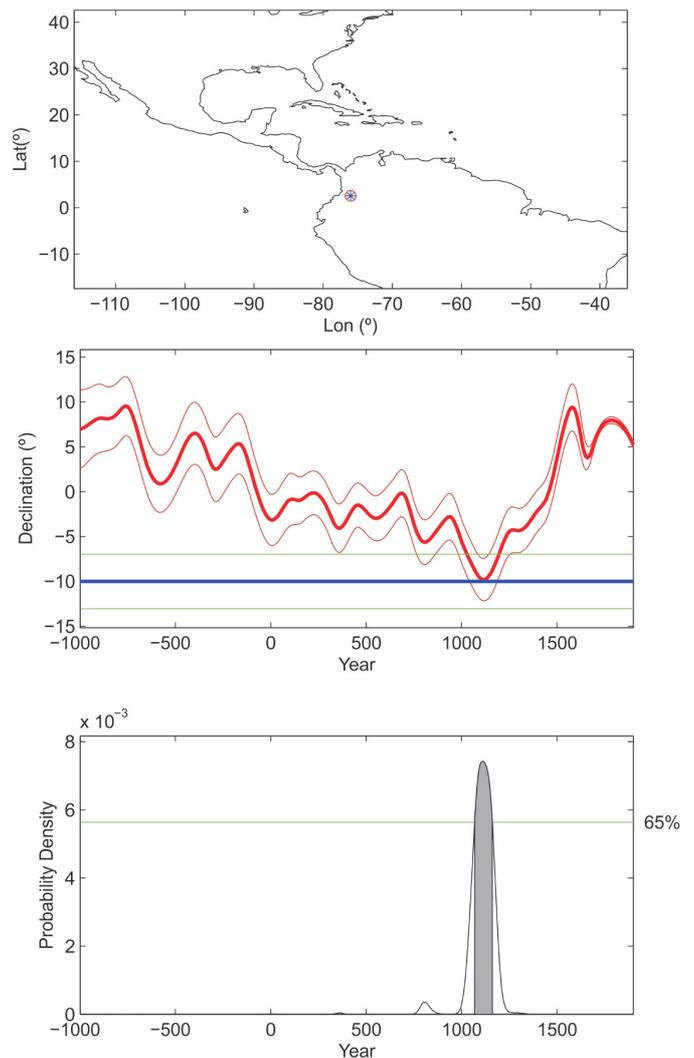


Figura 4. Ejercicio de datación utilizando el modelo geomagnético global SHA.DIF.14k.

cho Grande, en la región de La Cumbre-Pavas, asociado a la fecha de 1060 ± 70 DC (Gähwiler-Walder 1988).

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), proyectos n.º 252149 y DGAPA-PAPIIT n.º IN101920.

REFERENCIAS

- BECK, L.; C. MESSEGER; I. CAFFY; E. DELGUÉ-KOLIČ; M. PERRON; J. P. DOMOULIN; C. MOREAU; C. DEGRIGNY; V. SERNEELS. 2020. Unexpected presence of ^{14}C in inorganic pigment for an absolute dating of paintings. *Scientific Reports* 10: 9582. <<https://doi.org/10.1038/s41598-020-65929-7>>.

- CHIARI, G.; R. LANZA. 1997. Pictorial remanent magnetization as an indicator of secular variation of the Earth's magnetic field. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 101, 1-2: 79-83. <[https://doi.org/10.1016/S0031-9201\(96\)03222-0](https://doi.org/10.1016/S0031-9201(96)03222-0)>.
- CHIARI, G.; R. LANZA. 1999. Remanent magnetization of mural paintings from the Bibliotheca Apostolica (Vatican, Rome). *Journal of Applied Geophysics* 41, 2-3: 137-143. <[https://doi.org/10.1016/S0926-9851\(98\)00038-X](https://doi.org/10.1016/S0926-9851(98)00038-X)>.
- CHAVES, A.; M. PUERTA. 1980. *Entierros primarios de Tierradentro*. Bogotá: Fundación de Investigaciones Arqueológicas Nacionales.
- CHAVES, A.; M. PUERTA. 2004. Una nueva fecha para la cultura de Tierradentro. *Universitas Humanística* 33: 31-38.
- DAY, R.; M. FULLER; V. A. SCHMIDT. 1977. Hysteresis properties of titanomagnetites: grain-size and compositional dependence. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 13, 4: 260-267.
- DUNLOP, D. J.; O. ÖZDEMİR. 1997. *Rock Magnetism: Fundamentals and Frontiers*. Nueva York: Cambridge University Press.
- FISHER, R. A. 1953. Dispersion on a sphere. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences* 217, 1130: 295-305. <<https://doi.org/10.1098/rspa.1953.0064>>.
- GÄHWILER-WALDER, T. 1988. Archaeological Investigations in the Pavas-La Cumbre Area. ProCalima. Archäologisches Projekt im Westlichen Kolumbien/Sudamerika. *Periodische Publikation der Vereinigung Pro Calima* 5: 50-60.
- GOGUITCHAICHVILI, A.; J. MORALES; J. URRUTIA-FUCUGAUCHI; A. M. SOLER; G. ACOSTA; J. CASTELLETTI. 2016. The use of pictorial remanent magnetization as a dating tool: state of the art and perspectives. *Journal of Archaeological Science: Reports* 8: 15-21. <<https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.05.042>>.
- GOGUITCHAICHVILI, A.; Y. HUEDA-TANABE; F. MARTÍNEZ-CAMACHO; R. CEJUDO; J. MORALES; V. A. KRAVCHINSKY; R. GARCÍA. 2021. Pictorial remanent magnetization retrieved from the Santo Domingo Convent (Isthmus of Tehuantepec, Oaxaca, Mexico): An attempt to directly date mural paintings based on geomagnetic field variation. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 321: 106803. <<https://doi.org/10.1016/j.pepi.2021.106803>>.
- GROMMÉ, C. S.; T. L. WRIGHT; D. L. PECK. 1969. Magnetic properties and oxidation of iron-titanium oxide minerals in Alae and Makaopuhi lava lakes, Hawaii. *Journal of Geophysical Research* 74, 22: 5277-5293. <<https://doi.org/10.1029/JB074i022p05277>>.
- KIRSCHVINK, J. L. 1980. The least-squares line and plane and the analysis of palaeomagnetic data. *Geophysical Journal International* 62, 3: 699-718. <<https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1980.tb02601.x>>.
- LANGENBAEK, C. H.; A. DEVER. 2009. Arqueología regional en Tierradentro, Cauca, Colombia. *Revista Colombiana de Antropología* 45, 2: 323-367. <<https://doi.org/10.22380/2539472X.1003>>.
- LANZA, R.; E. ZANELLA; S. SAUDINO. 2009. Magnetic remanence of hematite-bearing murals. *Geophysical Research Letters* 36: L24302. <<https://doi.org/10.1029/2009GL041198>>.
- PAREDES, S. 2017. Tierradentro Prehispánica. *Credencial Historia* 335. <<https://www.banrepcultural.org/biblioteca-virtual/credencial-historia/numero-335/tierradentro-prehispanica>>.
- PAVÓN-CARRASCO, F. J.; M. L. OSETE; J. M. TORTA; A. DE SANTIS. 2014. A geomagnetic field model for the Holocene based on archaeomagnetic and lava flow data. *Earth and Planetary Science Letters* 388: 98-109. <<https://doi.org/10.1016/j.epsl.2013.11.046>>.
- PAVÓN-CARRASCO, F. J.; J. RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ; M. L. OSETE; J. M. TORTA. 2011. A Matlab tool for archaeomagnetic dating. *Journal of Archaeological Science* 38, 2: 408-419. <<https://doi.org/10.1016/j.jas.2010.09.021>>.
- SEVILLA-CASAS, E. 2009. Arte en la necrópolis prehispánica de Tierradentro. *Revista Colombiana de Antropología* 45, 2: 369-397. <<https://doi.org/10.22380/2539472X.1004>>.
- SEVILLA-CASAS, E. 2010. Shaft-and-Chambers Tombs in the Necropolis of Tierradentro, Colombia. *International Journal of South American Archaeology* 6: 36-44.
- TAUXE, L.; T. A. T. MULLENDER; T. PICK. 1996. Potbellies, wasp-waists, and superparamagnetism in magnetic hysteresis. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 101, B1: 571-583. <<https://doi.org/10.1029/95JB03041>>.