

# ARQUEOLOGÍA IBEROAMERICANA

VOLUMEN 53 • JUNIO 2024 • AÑO XVI • ISSN 1989-4104



SOBRE LA CRONOLOGÍA DE LA CERÁMICA DE IHUATZIO, OCCIDENTE DE MESOAMÉRICA. *On the Chronology of Ihuatzio Pottery, Western Mesoamerica* (pp. 3-9).

DATACIÓN POR RESONANCIA PARAMAGNÉTICA ELECTRÓNICA (RPE) DE CERÁMICAS DEL SITIO ARQUEOLÓGICO DE SUTA, COLOMBIA. *Electron Paramagnetic Resonance (EPR) Dating of Pottery from the Suta Archaeological Site, Colombia* (pp. 10-17).

APPROACHES FOR ANCESTRY STUDIES IN ARCHAEOGENOMICS (pp. 18-28).

AVANCE PARA UNA NECESARIA AMPLIACIÓN DEL POLÍGONO PATRIMONIAL PROTEGIDO DE LOURDES MACAJÍ (RIOBAMBA, ECUADOR). *Advance for a Needed Expansion of the Protected Heritage Site of Lourdes Macají, Riobamba, Ecuador* (pp. 29-34).

LAJEDO DO RIACHO BRAÇO FORTE: UM REPOSITÓRIO DE MARCAS ANTIGAS DE ATIVIDADE HUMANA NO CAMINHO DAS ÁGUAS, BRASIL. *Lajedo do Riacho Braço Forte: A Repository of Ancient Marks of Human Activity on the Path of the Waters, Brazil* (pp. 35-45).

ANCLAS LÍTICAS Y PLÚMBEAS EN EL MUNDO ANTIGUO: UN ESTADO DE LA CUESTIÓN. *Lithic and Leaded Anchors in the Ancient World: A State of the Art* (pp. 46-51).

SOBRE LA LEY DEL COLAPSO DE LAS CIVILIZACIONES SEGÚN LA ARQUEOLOGÍA DE LOS FENÓMENOS SOCIALES (FE DE ERRATAS). *On the Law of Collapse of Civilizations according to the Archaeology of Social Phenomena (Erratum)* (p. 52).

CHARACTERIZATION AND DATING OF ARCHAEOLOGICAL EXCAVATED HUMAN BONE FROM JORDAN BY HIGH-RESOLUTION <sup>31</sup>P AND <sup>14</sup>C NMR AND FOURIER TRANSFORMATION INFRARED (ERRATUM) (p. 53).

OTRO ÍNDICE BIBLIOMÉTRICO QUE MIDE CON MAYOR OBJETIVIDAD LA RELEVANCIA CIENTÍFICA DE LAS REVISTAS ACADÉMICAS SIN USAR LAS CITAS. *Another Bibliometric Index that Measures More Objectively the Scientific Relevance of Academic Journals without Using Citations* (pp. 54-60).

ARQUEOLOGÍA, OCUPACIONES CAZADORAS-RECOLECTORAS Y EL CERRADO DEL BRASIL CENTRAL: PROPOSICIÓN DE UN MODELO SOCIOCULTURAL Y ECONÓMICO EN CORRELACIÓN CON LOS PUEBLOS CONTEMPORÁNEOS DE LOS BOSQUES TROPICALES. *Archaeology, Hunter-Gatherer Occupations and the Cerrado of Central Brazil: Proposing a Sociocultural and Economic Model in Correlation with Contemporary Tropical Forest Peoples* (pp. 61-71).

MATERNAL DEATH AS A REPRESENTATION OF THE WAR WITH LIFE IN WESTERN MEXICO: ANALYSIS OF TOMB II AT TINGAMBATO, MEXICO, FROM THE PERSPECTIVE OF THE BIOARCHAEOLOGY OF CARE AND THE MODEL OF THE PALIMPSEST IN HEALTH (pp. 72-82).

DOCUMENTACIÓN DIGITAL DEL PATRIMONIO EDIFICADO: MODELADO EN NUBES DE PUNTOS 3D DE LA IGLESIA DE BALBANERA, ECUADOR. *Digital Documentation of Built Heritage: 3D Point Cloud Modeling of the Balbanera Church, Ecuador* (pp. 83-94).

PEDRA DAS LETRAS: ARTE RUPESTRE NO CENTRO-OESTE DE PIRIPIRI, BRASIL. *Pedra das Letras: Rock Art in the Central West of Piripiri, Brazil* (pp. 95-103).

TECNOLOGÍAS GEOSPACIALES PARA LA DOCUMENTACIÓN DIGITAL 3D DE LAS CONSTRUCCIONES SUBTERRÁNEAS PATRIMONIALES: CATACUMBAS DE SICALPA VIEJO, ECUADOR. *Geospatial Technologies for 3D Digital Documentation of Underground Heritage Constructions: Catacombs from Sicalpa Viejo, Ecuador* (pp. 104-111).

SOBRE LA PARADOJA DE LA SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA EN LA ARQUEOLOGÍA DE LOS FENÓMENOS SOCIALES. *On the Paradox of the Second Law of Thermodynamics in the Archaeology of Social Phenomena* (pp. 112-119).

ANÁLISIS, DESCRIPCIÓN Y PROBABLES FUNCIONES DE LOS PATRONES DE ASENTAMIENTO EN LA CULTURA BOLAÑOS, MÉXICO. *Analysis, Description and Probable Functions of Settlement Patterns in the Bolaños Culture, Mexico* (pp. 120-133).

MONITORAMENTO IN SITU DE PARÁMETROS AMBIENTAIS NO SÍTIO ARQUEOLÓGICO CAMINHO DA CAIÇARA II, BRASIL. *In Situ Monitoring of Environmental Parameters at the Caminho da Caiçara II Archaeological Site, Brazil* (pp. 134-145).

A PEER-REVIEWED OPEN ACCESS JOURNAL OF WORLD ARCHAEOLOGY & ARCHAOMETRY

<https://www.laiesken.net/arqueologia/> – <https://purl.org/aia>

Edited & Published by Pascual Izquierdo-Egea [P. I. Egea]

© Pascual Izquierdo Egea [P. I. Egea], 2024. CC BY 4.0 License.

Mail: <https://purl.org/aia/info>. Printed in Spain.

# ARQUEOLOGÍA IBEROAMERICANA

VOLUMEN 53 • JUNIO 2024 • AÑO XVI • ISSN 1989-4104

REVISTA CIENTÍFICA INTERNACIONAL DE ACCESO ABIERTO ARBITRADA POR PARES Y DOBLE CIEGO  
(A PEER-REVIEWED OPEN ACCESS JOURNAL OF WORLD ARCHAEOLOGY & ARCHAEOLOGY)

*This digital publication is permanently preserved by the Internet Archive.*

## CONSEJO EDITORIAL (Editorial Board)

### Editor y Director (Chief Editor & Publisher)

Dr. Pascual Izquierdo-Egea [P. I. Egea] (Laboratory of Theoretical Archaeology & Archaeonomy,  
Research Chair in Archaeological Science, Zaragoza, Aragon, Spain)

### Ayudantes Editoriales (Editorial Assistants)

Jean-Paul Rojas (Vanderbilt University, United States), George Chambers (Sheffield Hallam University, United Kingdom).

## CONSEJO ASESOR (Advisory Board)

**Asesores (Advisors):** Dr. Guillermo Acosta Ochoa (UNAM, MX), Dr. Gustavo Bujalesky (CONICET, AR), Dra. M.<sup>a</sup> Teresa Cabrero García (UNAM, MX), Prof. Dr. Pedro A. Carretero (Univ. Nacional de Chimborazo, EC), Prof. Dr. Luis Carlos Duarte Cavalcante (Universidade Federal do Piauí, BR), Prof. Dr. Marcelo Fagundes (Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, BR), Dra. Heidi Hammond (CONICET, AR), Prof. Dr. Francisco Javier Jover Maestre (Univ. de Alicante, ES), Dr. Guillermo N. Lamenza (CONICET, AR), Dr. José Antonio López Sáez (CSIC, ES), Dra. Julieta Lynch (CONICET, AR), Dr. Carlos Mayo Torné (Fundación El Caño, PA), Dr. Joan Negre (UAB, ES), Dr. Marcos Plischuk (CONICET, AR), Prof.<sup>a</sup> Dra. María Fernanda Ugalde (PUCE, EC).

**Revisores (Reviewers):** Dra. Silvia Alfayé Villa (Univ. de Zaragoza, ES), Prof.<sup>a</sup> Dra. Bárbara Arroyo de Pieters (Univ. del Valle de Guatemala, GT), Prof. Dr. Javier Baena Preysler (Univ. Autónoma de Madrid, ES), Prof. Dr. Andrew K. Balkansky (Southern Illinois University at Carbondale, US), Prof. Dr. Marshall Joseph Becker (West Chester University of Pennsylvania, US), Prof.<sup>a</sup> Dra. M.<sup>a</sup> Cruz Cardete del Olmo (Univ. Complutense de Madrid, ES), Prof. Dr. Alberto García Porras (Univ. de Granada, ES), Prof.<sup>a</sup> Dra. Magdalena A. García Sánchez (El Colegio de Michoacán, MX), Prof.<sup>a</sup> Dra. María Lazarich González (Univ. de Cádiz, ES), Dr. Jesús Carlos Lazcano Arce (UNAM, MX), Dr. Alexandra Legrand-Pineau (CNRS, FR), Prof. Dr. Antonio Lezama (Univ. de la República, UY), Dra. María Laura López (CONICET, AR), Prof. Dr. Joyce Marcus (University of Michigan, US), Dr. Simon Martin (University of Pennsylvania, US), Prof. Dr. John W. Rick (Stanford University, US), Prof. Dr. Daniel Schávelzon (CONICET, AR), Prof. Dr. G. Richard Scott (University of Nevada, Reno, US), Prof. Dr. Charles Stanish (University of South Florida, US), Prof.<sup>a</sup> Dra. Vera Tiesler (Univ. Autónoma de Yucatán, MX), Prof. Dr. Alexandre Tokovinine (The University of Alabama, US), Prof.<sup>a</sup> Dra. Gabriela Uruñuela y Ladrón de Guevara (Univ. de las Américas Puebla, MX), Prof. Dr. Lidio M. Valdez (MacEwan University, CA), Prof. Dr. Mary Van Buren (Colorado State University, US), Prof. Dr. Desiderio Vaquerizo Gil (Univ. de Córdoba, ES).

El Editor no se identifica con las opiniones de los autores. *The Publisher does not endorse the views of the authors.*

<https://www.laiesken.net/arqueologia/> – <https://purl.org/aia>

Revista científica internacional de acceso abierto arbitrada por pares y doble ciego, publicada en edición continua semestral y distribuida a través de Internet en formato electrónico PDF. *Online open access journal published semiannually in PDF electronic format.* ISSN 1989-4104. Tít. abreviado: *Arqueol. Iberoam. DOAJ Seal for Open Access Journals*. Indexada en *Directory of Open Access Journals (DOAJ)*, *LATINDEX*, *Scopus*, *European Reference Index for the Humanities and Social Sciences (ERIH PLUS)*, *Emerging Sources Citation Index (Web of Science)*, *Anthropological Literature*, *Academic Search databases (EBSCO)*, *Fuente Académica Plus (EBSCO)*, *Regesta Imperii*, *REDIB*, *DICE*, *WorldCat*, *Library of Congress*, *Sherpa Romeo*, *Dulcinea*, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). © De esta edición, Pascual Izquierdo Egea [P. I. Egea, PIE], 2024. Pina de Ebro (Zaragoza, España). Licencia *Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)*. Printed in Spain. ✉ <https://purl.org/aia/info>.

RESEARCH REPORT

## SOBRE LA CRONOLOGÍA DE LA CERÁMICA DE IHUATZIO, OCCIDENTE DE MESOAMÉRICA

### *On the Chronology of Ihuatzio Pottery, Western Mesoamerica*

**José Luis Punzo Díaz,<sup>1</sup> César Berkovich,<sup>2</sup> Avto Goguitchaichvili,<sup>2</sup>  
Miguel Cervantes Solano,<sup>2</sup> Rafael García-Ruiz,<sup>2</sup> Juan Morales,<sup>2</sup>  
Efraín Cárdenas**

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Antropología e Historia, Centro INAH Michoacán, Morelia, México

<sup>2</sup> Servicio Arqueomagnético Nacional, Instituto de Geofísica, Unidad Michoacán, UNAM, México  
(✉ [berkovich.cesar@gmail.com](mailto:berkovich.cesar@gmail.com))



Figura 1. Vista general del sitio arqueológico de Ihuatzio (Estado de Michoacán, México).

**RESUMEN.** Debido al hecho de que aún no existe un dato cronológico absoluto que defina de forma fehaciente la cronología del sitio arqueológico de Ihuatzio, hemos realizado un estudio arqueomagnético y de mineralogía magnética sobre dos fragmentos de sus cerámicas más comunes. La primera muestra analizada pertenece al tipo «uacú-secha polícromo», mientras que la segunda corresponde al estilo «rojo Tariacuri». El principal portador magnético está vinculado con las magnetitas o titanomagnetitas pobres en titanio. Advertimos la presencia de hematitas, pero su contribución a la magnetización remanente es despreciable. Se obtuvieron ocho determinaciones fiables de las intensidades absolutas, que varían de 36.8 a 61.03  $\mu\text{T}$ . Las estimaciones de intervalos más probables se realizaron mediante los modelos globales y curvas locales disponibles para Mesoamérica empleando la estadística «bootstrap».

Incluso con la limitación del uso de un solo elemento geomagnético (intensidad absoluta) y patrones de datación divergentes, se ha logrado relacionar la cronología de la cerámica estudiada con el apogeo del Señorío tarasco y el dominio absoluto de la ciudad de Ihuatzio en el área del lago de Pátzcuaro.

**PALABRAS CLAVE.** Cronología, cerámica, Ihuatzio, Occidente de Mesoamérica, Michoacán, México, Posclásico Tardío, arqueointensidad.

**ABSTRACT.** Due to the fact that still no absolute chronological data are available to estimate the chronology of the Ihuatzio archaeological site, we carried out an archaeomagnetic and magnetic mineralogy study on two fragments of its most common pottery. The first analyzed sample be-

Recibido: 17/8/2023. Modificado: 20/12/2023. Aceptado: 28/12/2023. Publicado: 7/1/2024.

Edited & Published by Pascual Izquierdo-Egea [P. I. Egea]. Arqueol. Iberoam. Open Access Journal.  
Creative Commons License (CC BY 4.0). <https://n2t.net/ark:/49934/322>. <https://purl.org/aia/5301>.



longs to the “Uacusecha polychrome” type, while the second corresponds to the “Tariacuri red” style. The main magnetic carrier is linked to magnetites or titanomagnetites poor in titanium. We note the presence of hematite, but its contribution to the remanent magnetization is insignificant. We obtained eight reliable determinations of absolute intensities, ranging from 36.8 to 61.03  $\mu\text{T}$ . The most probable dating was achieved with the global models and local curves available for Mesoamerica by using the bootstrap statistics. Even with the limitation of using only one geomagnetic element (absolute intensity) and divergent dating patterns, it has been possible to relate the chronology of the studied pottery with the apogee of the Tarascan Lordship and the dominant position of Ihuatzio along the Lake Patzcuaro area.

**KEYWORDS.** Chronology, pottery, Ihuatzio, Western Mesoamerica, Michoacan, Mexico, Late Postclassic, archaeointensity.

## INTRODUCCIÓN

La región occidental mesoamericana está ocupada actualmente por los estados de Michoacán, Jalisco, Colima y Nayarit. Algunos investigadores también incluyen en ella a Sinaloa y porciones de Guanajuato, Aguascalientes, Querétaro, Zacatecas y Durango. El Occidente de México se ha caracterizado por tener una gran diversidad ecológica y ambiental, condiciones climáticas y recursos naturales atrayentes para el ser humano desde épocas prehistóricas.

Esta peculiar configuración y su ubicación le permitieron un papel significativo como corredor a través del cual se difundieron ideas incluso hacia el Suroeste de Estados Unidos.

El Occidente de Mesoamérica se define a través de una serie de rasgos y elementos arqueológicos comunes que se consideran característicos de las culturas prehispánicas de esta región de México. La cerámica, por ejemplo, se identifica por varios tipos de decoración: con pintura al negativo, esgrafiada, incisa, polícroma y estucada (conocida como *seudo-cloisonné*); y por figurillas que, dependiendo de la región, obedecen a distintos estilos. Las prácticas funerarias sobresalen debido a las ofrendas que acompañan a los muertos y por la construcción de tumbas: de tiro, escalera y botellón. Los sistemas constructivos particulares son las estructuras piramidales circulares (los *guachimontones*) y las combinaciones de estructuras cuadrangulares con se-

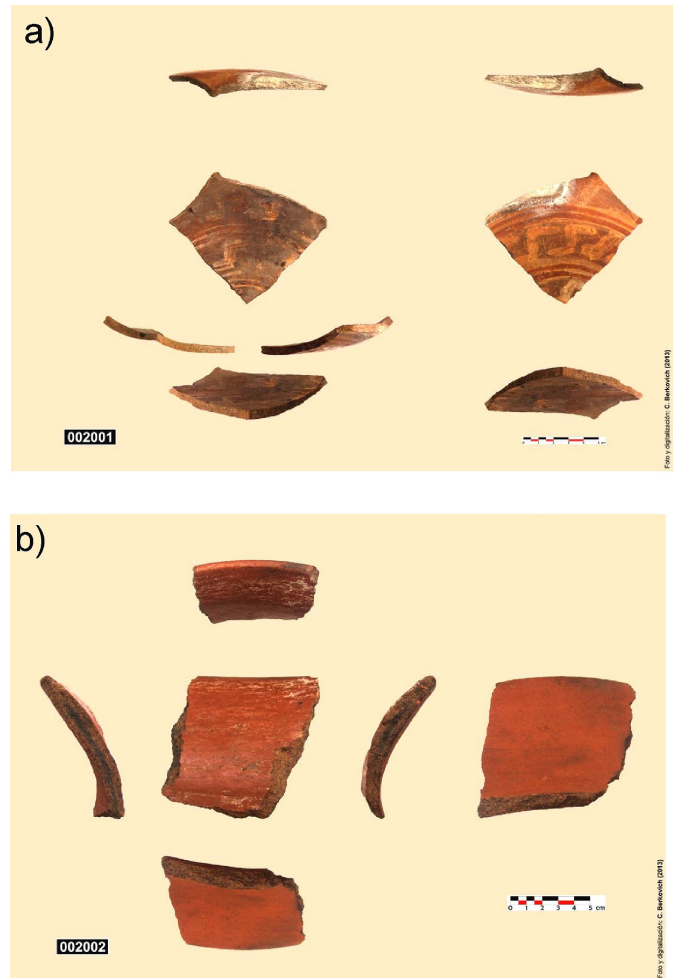


Figura 2. Muestras del sitio arqueológico de Ihuatzio (Michoacán, México) fechadas en el Posclásico Tardío. a) 002001: fragmento de plato con decoración geométrica interior y exterior de colores rojo y blanco. b) 002002: fragmento de borde divergente de vasija globular (olla) con engobe rojo total y pulido interior.

micirculares (conocidas como *yácatas*), además de las típicamente mesoamericanas con talud-tablero, juegos de pelota, etcétera.

Quizás las manifestaciones arqueológicas —en tiempo y espacio— por estos territorios del país no sean consideradas entre las más ostentosas, pero lo que sí queda claro es que hay expresiones más que dignas de estudio (tradiciones como las de El Opeño, Chupícuaro, Capacha, Loma Alta, Tzintzuntzan o Ihuatzio, entre otras) y van siendo cada vez más relevantes para la comprensión del gran «monstruo» llamado Mesoamérica (Caso 1937; Cárdenas 2004).

El lago de Pátzcuaro fue el núcleo del poder político de los *purépecha* (gentilicio de sus habitantes), tal como se narra en la *Relación de Michoacán*, lo cual ha sido corroborado por los estudios arqueológicos realizados. A su alrededor se construyeron las principales ciudades prehispánicas, entre las que destacan, por su monumen-



Tabla 1. Muestra: clave arqueológica de la muestra-espécimen; Lab-Code: clave utilizada en el laboratorio de magnetismo;  $T_1$ - $T_2$ : rango de T en °C seleccionado de todo el proceso de Thellier; N: cantidad de puntos (de un total de 14); m: pendiente de la recta de intensidad;  $\sigma$ m: error asociado a m; f: fracción de la NRM; g: factor de espaciamento; q: factor de calidad del espécimen; H: intensidad del CMT;  $\sigma$ H: error asociado al cálculo de la intensidad;  $H_{corr}$ : arqueointensidad absoluta, corrección de la intensidad por ritmo de enfriamiento.

Muestra	Lab-Code	$T_1$ - $T_2$	N	m	$\pm \sigma$ m	f	g	q	H	$\pm \sigma$ H	$H_{corr}$
002001_01	99A601A	200-540	8	-1.39	0.03	0.78	0.85	36	55.44	1.03	55.11
002001_02	99A602A	200-540	9	-1.49	0.02	0.78	0.86	42	59.72	0.95	58.73
002001_03	99A603A	200-560	8	-1.58	0.02	0.71	0.78	48	63.39	0.72	61.03
002001_05	99A605A	450-560	5	-1.41	0.02	0.48	0.73	33	56.47	0.61	54.54
002001_06	99A606A	475-560	5	-1.52	0.05	0.40	0.73	8	60.89	2.19	60.51
002002_02	99A608A	300-560	9	-0.92	0.02	0.52	0.87	20	36.78	0.83	36.78
002002_03	99A609A	200-540	10	-1.16	0.03	0.64	0.88	19	46.42	1.39	45.73
002002_04	99A610A	250-560	10	-1.01	0.02	0.62	0.89	26	40.58	0.86	39.81

alidad, Pátzcuaro, Tzintzuntzan e Ihuatzio, controlando y organizando el llamado Estado tarasco.

Ihuatzio («la casa del coyote») es, arquitectónicamente, el mayor de los asentamientos de la cuenca y uno de los más grandes de la provincia (figura 1), junto con Tzintzuntzan (Punzo 2023). Otros rasgos que lo diferencian para comprender la organización política son dos plazas o centros ceremoniales unidos; el más amplio tiene el típico estilo purépecha conformado por tres yácatas, mientras que el otro lo está por dos estructuras rectangulares. Entre otros elementos distintivos, cabe citar un complejo trazado urbano, grandes espacios abiertos artificiales, las ya mencionadas estructuras rectangulares de la Plaza de Armas y las yácatas, una estructura cilíndrica escalonada y los muros o murallas-calzada (*uatziris*). Entre los restos arqueológicos característicos, también contamos con las esculturas de piedra: hombres con cabeza de coyote y al menos tres esculturas del tipo *Chac Mool*.

La función del material cerámico varía según presente o no decoración, correspondiendo este último caso al uso doméstico, mientras que los recipientes ornamentados (pintados, pulidos o esgrafiados) tienen carácter ritual o de lujo: urnas y tinajas funerarias, vasijas polícromas, pipas, malacates y cuentas. Dentro de la producción más local están las «ollas con asa de canasta y vertedera», los patojos, ollas, cajetes, vasijas trípodes, tecomates y miniaturas; la decoración principal es al negativo con diseños zoomorfos.

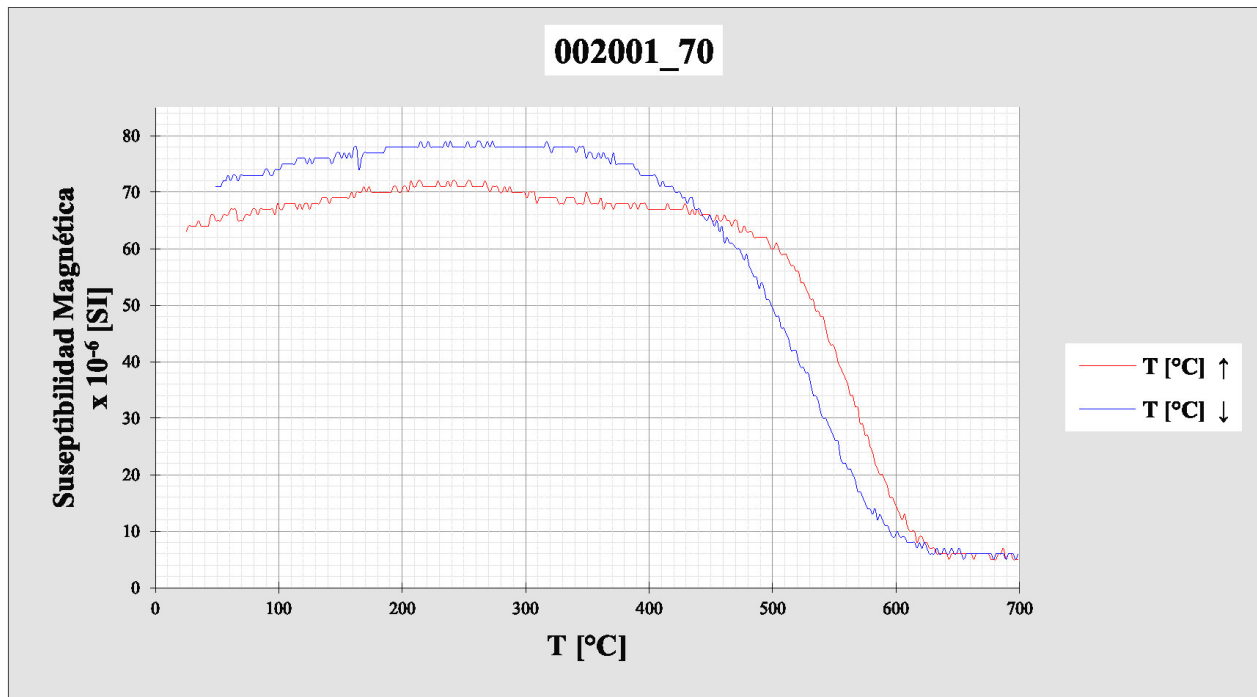
Por otro lado, en base a la información etnohistórica, ambiental y arqueológica, se ha propuesto que las pri-

meras presiones para una centralización política en la cuenca tuvieron lugar durante el periodo Posclásico Temprano, entre los años 900 y 1200 AD. Sin embargo, hasta la fecha no existe un dato cronológico absoluto que defina de forma fehaciente la datación del sitio arqueológico de Ihuatzio. Este hecho motivó el presente análisis arqueomagnético de su cerámica representativa.

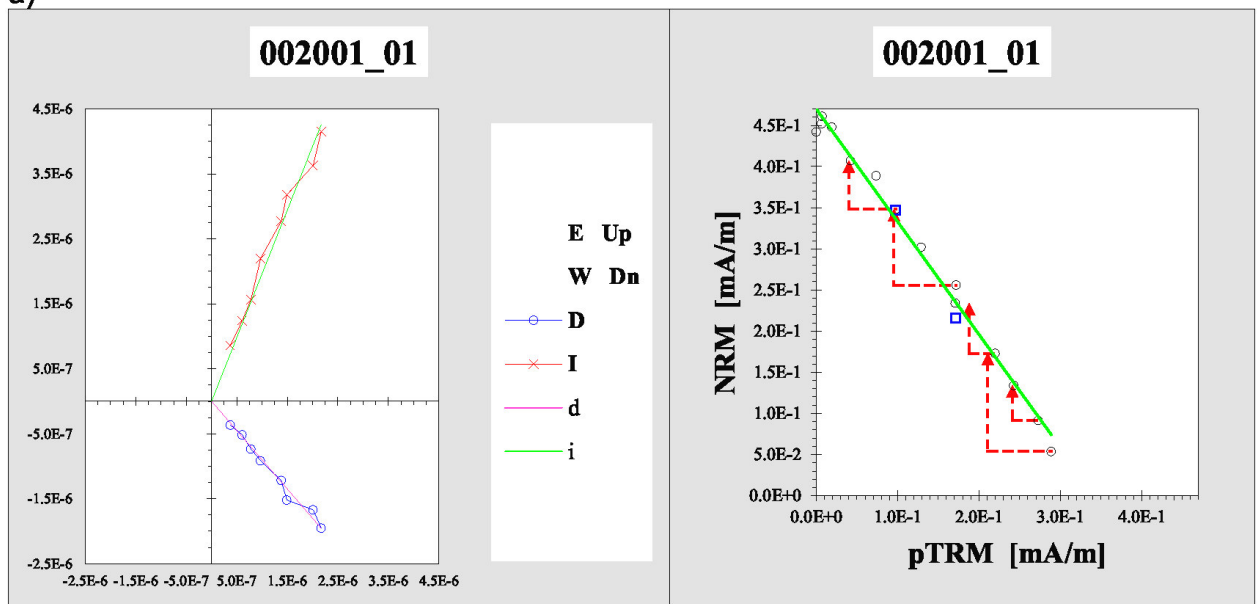
Desafortunadamente, no ha sido posible hallar estructuras arqueológicas *in situ* que pudieran proporcionar edades precisas. Los tepalcates analizados, tratándose de material desplazado, solo proporcionan una estimación general de la cronología, basada únicamente en la intensidad absoluta geomagnética adquirida durante la elaboración (enfriamiento) de la cerámica.

## PROCEDIMIENTOS DE LABORATORIO

Se seleccionaron dos fragmentos cerámicos de entre los más representativos de Ihuatzio. Ambos pertenecerían al periodo Posclásico Tardío (figura 2). La muestra 002001 es un fragmento de plato con decoración geométrica interior y exterior de color rojo y blanco. La muestra 002002 presenta borde divergente de vasija posiblemente globular (olla) con engobe rojo total y pulido interior. Se midió la susceptibilidad magnética en función de la temperatura con un *susceptibilímetro Bartington MS3* acoplado a un horno. Las muestras molidas se calentaron hasta 700 °C con una velocidad de calentamiento de aproximadamente 20 °C/minuto y,



a)



b)

c)

Figura 3. Síntesis de los experimentos magnéticos realizados sobre los fragmentos cerámicos representativos de Ihuatzio: a) registro continuo de la susceptibilidad magnética en función de la temperatura (ciclo de calentamiento hasta 700 °C y enfriamiento); b) diagrama ortogonal de la desmagnetización por campos alternos para seleccionar las muestras más prometedoras para la determinación de la paleointensidad; c) diagrama de Arai-Nagata, NRM (magnetización remanente natural por sus siglas en inglés), pTRM (magnetización termorremamente parcial por sus siglas en inglés).

posteriormente, se enfriaron hasta temperatura ambiente (figura 3a). Los experimentos se llevaron a cabo en el aire. Se observa de forma sistemática un comportamiento razonablemente reversible, siendo la casi magnetita o la titanomagnetita pobre en Ti el portador mayoritario de la termorremanencia (figura 3a). Una fracción menor de susceptibilidad magnética aún per-

manece más allá de los 600 °C, lo que indica muy probablemente la presencia de granos de hematita.

Las magnetizaciones remanentes naturales (NRM por sus siglas en inglés) se midieron con un magnetómetro de giro (AGICO JR6) y se usó un desmagnetizador de campo alterno LDA-5 hasta 70  $\mu$ T, ya que en esta última etapa se removió más del 90 por ciento de

la magnetización inicial. Para la gran mayoría de las muestras analizadas, se aprecia un solo componente de magnetización (figura 3b), con magnetizaciones secundarias despreciables y muy fáciles de eliminar aplicando un campo alterno máximo de 10  $\mu\text{T}$ .

Para la determinación de paleointensidades, se aplicó el método de doble calentamiento de Thellier revisado por Coe *et al.* (1978). Se empleó un desmagnetizador térmico ASC *Scientific* de doble cámara con bobinas. Se distribuyeron doce pasos de temperatura, desde 150 hasta 540  $^{\circ}\text{C}$  (figura 3c) a lo largo de todo el experimento y se realizaron los calentamientos de control (los llamados controles pTRM).

Durante los experimentos, redujimos el número de calentamientos tanto como fue posible para evitar la alteración magnetomineralógica. Para efectuar los experimentos de paleointensidad e intentar mitigar el efecto de anisotropía de remanencia, se procedió con la metodología de preparación de muestras descrita en Morales *et al.* (2009). Los experimentos de ritmo de enfriamiento se realizaron siguiendo un procedimiento modificado descrito por Chauvin *et al.* (2000). Tres enfriamientos consecutivos (rápido, lento, rápido) en el último paso de temperatura permitieron estimar el efecto de la velocidad de enfriamiento y, por lo tanto, corregir los valores de intensidad absolutos (tabla 1). El enfriamiento rápido, utilizando potentes ventiladores, duró entre 40 y 50 minutos, mientras que el enfriamiento natural (lento), desde 540  $^{\circ}\text{C}$  hasta temperatura ambiente, se logró aproximadamente al cabo de 6 a 7 horas.

## PRINCIPALES RESULTADOS

Los experimentos de arqueointensidad realizados en el aire proporcionaron ocho determinaciones de calidad técnica aceptable (según criterios básicos de selección) para los dos fragmentos de cerámica (ver tabla 1). La figura 3c ilustra la determinación exitosa con ausencia de desviación de las direcciones de magnetización remanente natural hacia las del campo del laboratorio (alineadas a lo largo de la simetría del horno, eje transversal). Hay comprobaciones positivas de pTRM y no se observa el comportamiento cóncavo en la curva Arai-Nagata.

El parámetro de calidad  $q$ , tal como lo definen Coe *et al.* (1978), varía de 8 a 48. La fracción de remanencia  $f$  implicada en la determinación oscila entre 0.40 y 0.78. Hay al menos 5 puntos razonablemente bien ali-

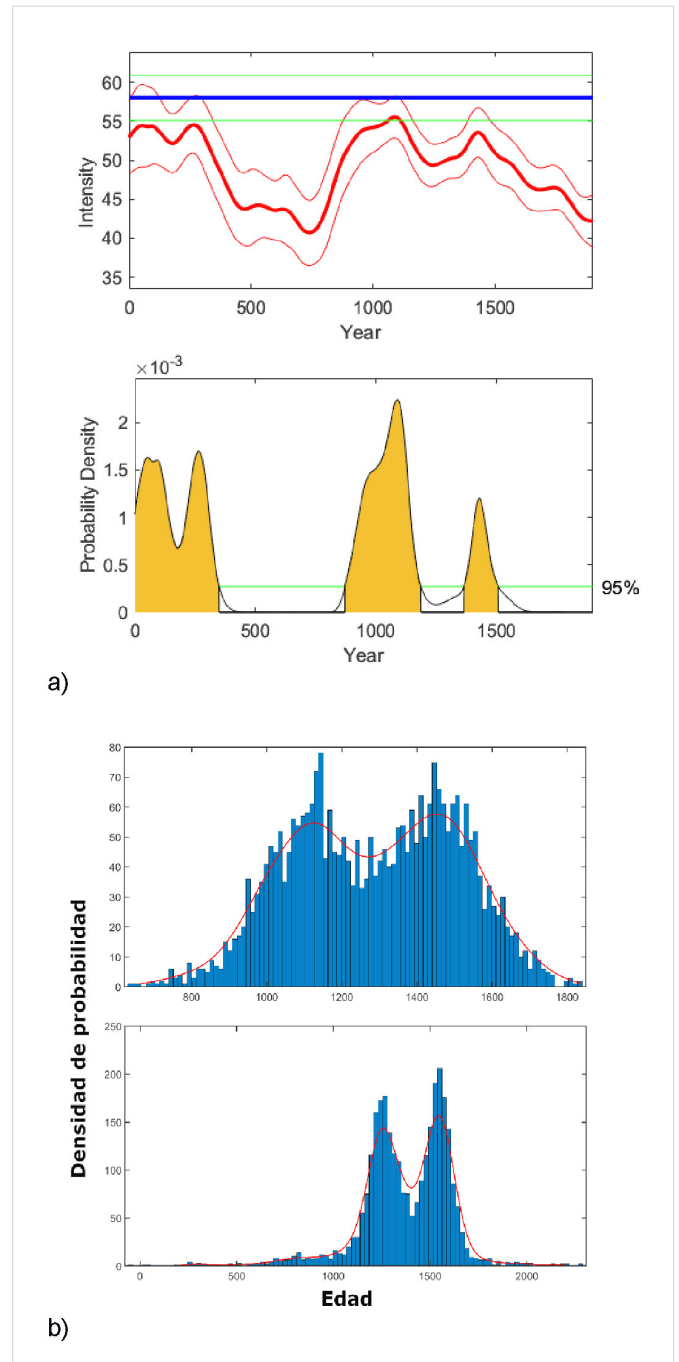


Figura 4. a) Ejemplo de datación de la cerámica de Ihuatzio usando la plataforma *Matlab* de Pavón-Carrasco *et al.* (2011); b) histograma de frecuencia correspondiente a la estimación del intervalo de edad medio obtenido mediante la estadística *bootstrap*.

neados en la caída de la remanencia natural, frente a la curva de adquisición de termorremanencia parcial del laboratorio. La intensidad absoluta promediada para el primer fragmento cerámico es  $58 \pm 2.9 \mu\text{T}$ , mientras que el segundo proporciona una arqueointensidad de  $40.8 \pm 4.5 \mu\text{T}$ . La estimación del intervalo arqueomagnético más probable se ha realizado mediante los modelos geomagnéticos globales SHA.DIF.14K (Pavón-



Tabla 2. Estimación de intervalos de edades más probables usando los modelos geomagnéticos y curvas locales (ver texto para mayor detalle).

MUESTRA	SHAWQ.2k	SHA.DIF.14k	García et al. (2022)	Mahgoub et al. (2019)
02001	873-1186 1366-1508	983-1203 1290-1490	1482-1662 1831-1895	1076-1278
02002	335-891 1191-1356 1501-1900	300-985 1198-1296 1479-1900	11-604 817-1864	111-564 789-1079 1273-1900

Carrasco *et al.* 2014) y SHAWQ.2K (Campuzano *et al.* 2019) y las curvas de variación paleosecular regionales (ver un ejemplo en la figura 4a) para Mesoamérica de Mahgoub *et al.* (2019) y García-Ruiz *et al.* (2022). Los resultados de este análisis se encuentran en la tabla 2, indicando la posibilidad de varios intervalos de edades para la misma muestra.

Este fenómeno es común cuando se trata de la estimación de edad basada en un solo parámetro geomagnético que, en nuestro caso, es la intensidad absoluta. De cualquier forma, los intervalos anteriores a 850 AD no fueron considerados, ni aquellos superiores a 1600 AD, puesto que no hay rasgos característicos ni evidencias de estilo colonial.

Se realizó un ejercicio de remuestreo *bootstrap* para unificar y, al menos, optimizar estas cuatro determinaciones desde la perspectiva de la formalidad estadística. Para ello se generó una muestra aleatoria de 200 edades teóricas obtenidas a partir de una distribución uniforme, proporcionando 40 edades teóricas para cada modelo geomagnético global y 60 para cada curva de variación paleosecular correspondiente a la región mesoamericana, dando mayor peso a las curvas locales.

Finalmente, se generaron los histogramas de frecuencia (figura 4b) que indican la distribución de probables edades de cada fragmento cerámico, con sus límites del intervalo de confianza del 95 %. De esta forma, la distribución binomial arrojaría dos concentraciones más probables para cada muestra:  $1138.2 \pm 67.56/1418.1 \pm 78.7$  AD para el primer fragmento y  $1275.9 \pm 61.16/1531.4 \pm 53.83$  AD para el segundo.

## CONCLUSIONES

A partir del estudio de las fuentes históricas, en especial de la *Relación de Michoacán* (Alcalá 2008), podemos apreciar la importancia del sitio de Ihuatzio, llamado Cuyuacán en dicho documento. Primeramente, se menciona que Hiripan fundaría en ese lugar una de

las capitales del Señorío tarasco, esto por mandato de su tío Tariacuri. Haciendo caso a la fuente histórica, esto debió de suceder hacia el año 1400 AD (Espejel 2008), si bien se infiere que el pueblo ya existía por los tipos cerámicos y los dos primeros intervalos parecen arrojar fechaciones muy tempranas. Sin embargo, los intervalos de tiempo  $1138.2 \pm 67.56$  y  $1275.9 \pm 61.16$  AD no deberían de ser completamente descartados, ya que la ocupación de la zona del lago de Pátzcuaro parece tener una muy larga duración. Sin embargo, si pensamos que el traslado de la capital de Pátzcuaro a Ihuatzio sucedió hacia 1420 AD, el crecimiento de la ciudad debió de ocultar los vestigios más tempranos del poblado.

Retomando lo anterior, resulta interesante la fecha del intervalo de  $1418.1 \pm 78$  AD, ya que se trata del primer momento en el cual la ciudad de Ihuatzio se convierte en la más dominante de la zona del lago de Pátzcuaro. Es significativo recalcar que este fragmento cerámico es un tipo «uacúsecha polícromo», característico del apogeo del Señorío tarasco.

La segunda,  $1531.4 \pm 53.83$  AD, corresponde a un tiesto del tipo «rojo Tariacuri»; es relevante igualmente, ya que pese a disminuir la importancia de Ihuatzio en favor de Tzintzuntzan hacia 1440 AD, es muy importante destacar que, si bien ya no se consideraba la ciudad principal, los señores de Ihuatzio mantuvieron mucho poder hasta la llegada de los españoles en 1522 AD, llevando a cabo conquistas y formando los ejércitos que ayudaron a conformar el *Irechequa* (Reino tarasco).

## Agradecimientos

AG agradece el apoyo del programa UNAM-DGA-PA-PASPA para la estancia sabática en la Universidad de Alberta, Edmonton, Canadá. Los autores agradecen el apoyo parcial de los proyectos PAPIIT IN100224, Conahcyt CF 1761 y A1-S-42462.

## REFERENCIAS

- ALCALÁ, J. 2008. *La Relación de Michoacán*. El Colegio de Michoacán.
- CAMPUZANO, S. A.; M. GÓMEZ-PACCARD; F. J. PAVÓN-CARRASCO; M. L. OSETE. 2019. Emergence and evolution of the South Atlantic Anomaly revealed by the new paleomagnetic reconstruction SHAWQ2K. *Earth and Planetary Science Letters* 512: 17-26.
- CÁRDENAS, E. 2004. Jihuatsio: la casa del coyote. En *Tradiciones arqueológicas en el Occidente de México*, pp. 195-215. El Colegio de Michoacán.
- CASO, A. 1937. *Informe de las exploraciones arqueológicas realizadas en Tzintzuntzan e Ihuatzio, Michoacán*.
- COE, R. S.; S. GROMMÉ; E. A. MANKINEN. 1978. Geomagnetic paleointensities from radiocarbon-dated lava flows on Hawaii and the question of the Pacific nondipole low. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 83, B4: 1740-1756.
- ESPEJEL, C. 2008. *La justicia y el fuego: dos claves para leer la Relación de Michoacán*. El Colegio de Michoacán.
- GARCÍA-RUIZ, R.; A. GOGUITCHAICHVILI; F. J. PAVÓN-CARRASCO; A. M. SOLER; N. PÉREZ-RODRÍGUEZ; M. L. OSETE; J. MORALES; V. KRAVCHINSKY. 2022. Fluctuations of magnetic inclination and declination in Mexico during the last three millennia. *Quaternary Geochronology* 71: 101309.
- MAHGOUB, A. N.; E. JUÁREZ-ARRIAGA; H. BÖHNEL; L. R. MANZANILLA; A. CYPHERS. 2019. Refined 3600 years palaeointensity curve for Mexico. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 296: 106328.
- MORALES, J.; A. GOGUITCHAICHVILI; G. ACOSTA; T. GONZÁLEZ-MORAN; L. ALVA-VALDIVIA; J. ROBLES-CAMACHO; M. S. HERNÁNDEZ-BERNAL. 2009. Magnetic properties and archeointensity determination on Pre-Columbian pottery from Chiapas, Mesoamerica. *Earth, Planets and Space* 61: 83-91.
- 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.
- 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.
- PUNZO, J. L. 2023. Ihuatzio (Michoacán, México): nueva visión de la ciudad a través de un estudio basado en la técnica LiDAR. *Arqueología Iberoamericana* 52: 119-121.

RESEARCH ARTICLE

# DATACIÓN POR RESONANCIA PARAMAGNÉTICA ELECTRÓNICA (RPE) DE CERÁMICAS DEL SITIO ARQUEOLÓGICO DE SUTA, COLOMBIA

## *Electron Paramagnetic Resonance (EPR) Dating of Pottery from the Suta Archaeological Site, Colombia*

*Ali D. Öcal,<sup>1</sup> Mamoun Hemmida,<sup>2</sup> Ovidio Almanza<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Facultad de Ciencias Humanas, Departamento de Antropología, Colombia

<sup>2</sup> Experimentalphysik V, Elektronische Korrelationen und Magnetismus, Institut für Physik, Universität Augsburg, Alemania

<sup>3</sup> Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Facultad de Ciencias, Departamento de Física, Colombia  
(✉ [adocal@unal.edu.co](mailto:adocal@unal.edu.co))

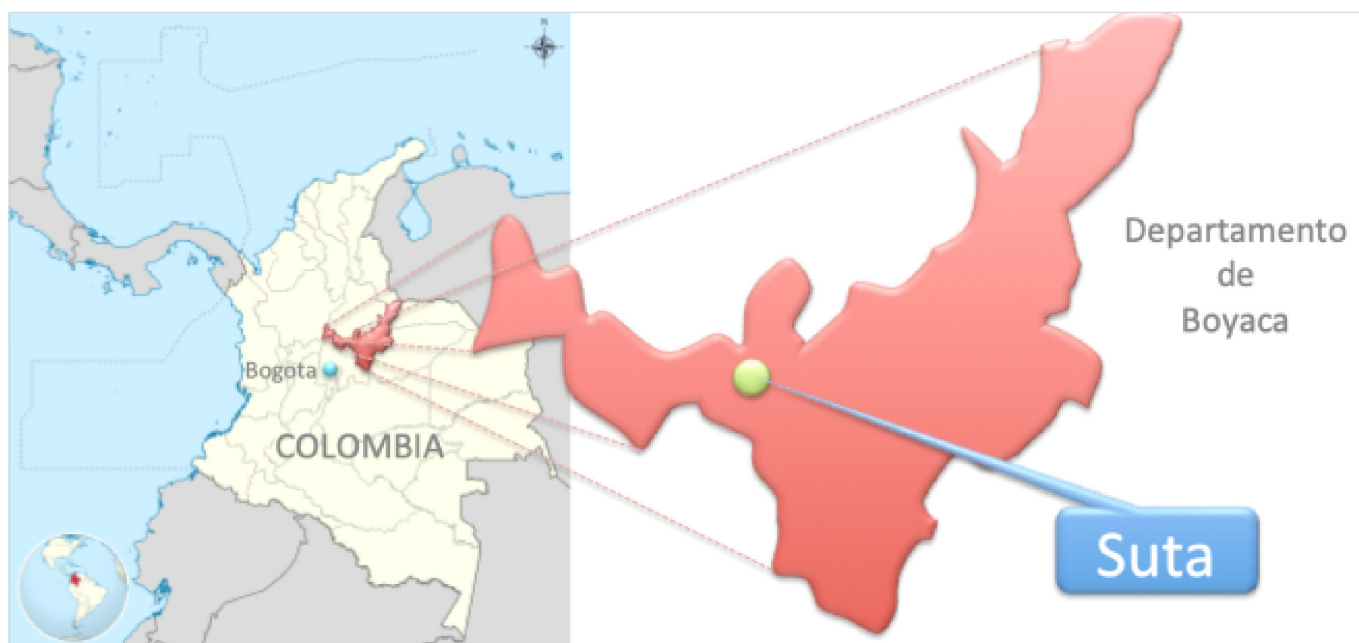


Figura 1. Mapa que muestra la ubicación del sitio arqueológico de Suta en el valle de Leyva, departamento de Boyacá, Colombia (5.6165° N, 73.5970° O).

**RESUMEN.** Los fragmentos de cerámica del sitio arqueológico de Suta, valle de Leyva, Colombia, han sido datados por resonancia paramagnética electrónica (RPE). El centro  $Ti-H$ , generado por la radiación en el cuarzo, fue detectado por RPE y usado para determinar la edad de los fragmentos cerámicos aquí estudiados. La tasa de dosis anual (DA) recibida por la cerámica se evaluó a partir de las contribuciones de fuentes de radiación externas e internas. A partir de los datos cronológicos absolutos de las muestras tomadas en las unidades arqueológicas excavadas, se obtuvieron dos fechas:  $665,3 \pm 130$  y  $1048,8 \pm 110$  DC. Lo anterior indica un extenso periodo de asentamiento de 380 años para los dos sitios excavados.

**PALABRAS CLAVE.** Datación, RPE, cerámicas, cuarzo, muisca, Suta, Colombia.

Recibido: 13/12/2023. Modificado: 27/12/2023. Aceptado: 8/1/2024. Publicado: 16/1/2024.

Edited & Published by Pascual Izquierdo-Egea [P. I. Egea]. Arqueol. Iberoam. Open Access Journal.  
Creative Commons License (CC BY 4.0). <https://n2t.net/ark:/49934/323>. <https://purl.org/aia/5302>.



**ABSTRACT.** Ceramic sherds from the archaeological site of Suta, Leyva Valley, Colombia, have been dated by the electron paramagnetic resonance (EPR). The Ti–H center, generated by radiation in quartz, was detected by EPR and used to determine the age of the ceramic sherds studied here. The annual dose rate (AD) received by the pottery was evaluated from the contributions of external and internal radiation sources. Two dates were obtained from the absolute chronological data of the samples taken from the excavated archaeological units:  $665.3 \pm 130$  and  $1048.8 \pm 110$  AD years. This indicates an extended settlement period of 380 years for the two excavated sites.

**KEYWORDS.** EPR, dating, pottery, quartz, Muisca, Suta, Colombia.

## INTRODUCCIÓN

En la década de 1970, la resonancia paramagnética electrónica (RPE) era considerada, a efectos de datación, equivalente a la termoluminiscencia (TL) y a la luminiscencia ópticamente estimulada (OSL), con la diferencia de que con la RPE era posible medir las muestras varias veces sin el temor de borrar la historia de estas.

Desde entonces, la datación por RPE ha encontrado un interés creciente en arqueometría y áreas como la geología, la geomorfología y la arqueología. Maurer *et al.* (1981) y Bartoll e Ikeya (1997) demostraron, en un experimento modelo, que debería ser posible la datación de cerámicas arqueológicas por RPE, porque la aniquilación de los centros de defectos paramagnéticos se produce por la cocción de aquellas. La acumulación de defectos generados por radiación es posterior a la cocción y, por ende, es posible datar la cerámica contando el tiempo a partir del instante de su fabricación como pieza arqueológica. Sin embargo, hasta ahora no se ha popularizado la aplicación de esta técnica a la datación de cerámicas arqueológicas.

La fechación de las cerámicas encontradas en territorio colombiano, concretamente en el sitio denominado Suta (figura 1) del valle de Leyva, es de especial interés ya que su vinculación a un periodo particular de la historia establecerá una cronología precisa para las muestras pertenecientes a la cultura muisca. Aun cuando se ha comprobado la existencia de ocupaciones continuas en el sitio del hallazgo, desde el periodo Muisca Temprano (800-1200 DC) hasta el Muisca Tardío (1200-1600 DC) (Langebaek 2001; Henderson y Ostler 2005; Fajardo 2015) en el ámbito cultural del altiplano cundiboyacense de Colombia, el estudio del periodo Muisca sigue dando lugar a múltiples discusiones sobre la cronología.

Por la anterior razón, este trabajo busca aportar información importante de la sociedad muisca evaluando el periodo de asentamiento de las comunidades que habitaron en el lugar denominado Suta. Las unidades

domésticas, encontradas a diferentes profundidades de excavación, sugieren la existencia de distintas generaciones de individuos que cumplían con el ritual de enterrar a sus muertos junto con sus cerámicas; por lo que en este sitio se han identificado las mayores concentraciones de cerámicas y evidencias de actividades domésticas halladas en Colombia (Henderson y Ostler 2005).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se estudiaron dos fragmentos cerámicos precolombinos (figura 2) del sitio arqueológico muisca excavado en Suta (figura 1), valle de Leyva, departamento de Boyacá, Colombia, con coordenadas geográficas de  $5^{\circ} 61'$  de latitud norte y  $73^{\circ} 59'$  de longitud oeste.

Este sitio se encuentra a una altura de 2100 m sobre el nivel del mar. Las muestras arqueológicas utilizadas en este estudio son fragmentos de cerámica considerados como no aprovechables para ser expuestos en museos. Se escogieron dos tiestos de unidades domésticas muisca con el fin de evaluar su edad usando la resonancia paramagnética electrónica (RPE). Cada uno de los fragmentos representa dos fases diferentes de ocupación (Falchetti 1975). Las muestras utilizadas se denominaron UR-31 y UR-33.

Para la datación por RPE es necesario determinar dos magnitudes básicas: la dosis acumulada (paleodosis), o dosis de radiación recibida por la muestra en su periodo de enterramiento (DE), y la tasa de dosis media anual (DA) a la que ha estado expuesta la muestra en ese mismo tiempo (Aitken 1990; Grün 1997).

La primera es evaluada directamente a partir de los espectros de RPE, graficando la intensidad de las señales obtenidas versus la dosis suministrada. Es un método de dosis aditiva que consiste en suministrar radiación externa a las muestras y medir la intensidad de la señal obtenida por RPE.

La tasa de dosis media anual se deriva del análisis de los elementos radiactivos (U, Th y K) y de la radiación



Figura 2. Fotografías de los fragmentos cerámicos analizados, obtenidos en las excavaciones del sitio arqueológico de Suta.

cósmica. Así pues, la estimación de la edad (E) de los materiales, obtenida por RPE, se realiza mediante la siguiente fórmula (Ikeya 1993; Grün 1989; Aitken 1990; Rink 1997), donde DE es la paleodosis y DA la tasa de dosis media anual:

$$E = DE/DA \quad (1)$$

## PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Los fragmentos de cerámica (cada uno de 25-30 g aproximadamente) fueron sometidos al siguiente protocolo: se les retiraron 2 mm de la superficie, por ambas caras de la muestra, con el objeto de eliminar la posible contribución a la generación de radicales libres por parte de las radiaciones externa alfa y beta. Estas radiaciones son producto del decaimiento de los radioisótopos  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  y  $^{40}\text{K}$  presentes en el suelo, pero su penetración en las arcillas no va más allá de los 2 mm (Ikeya 1993).

Después del paso anterior, los fragmentos se trituraron cuidadosamente en un mortero de ágata y la molienda se hizo pasar por un tamiz para tener una distribución de granos menores de 250  $\mu\text{m}$ . Las muestras tamizadas se lavaron con HCl al 36 % de concentra-

ción, durante la noche, con el fin de eliminar los carbonatos presentes en ellas. Después del proceso anterior, las muestras se introdujeron durante 30 min en agua con HF al 48 % con el fin de eliminar los feldspatos. Al final, las muestras se lavaron en agua destilada y  $\text{H}_2\text{O}_2$  que ayuda a eliminar los posibles restos de material orgánico. Finalmente, las muestras fueron secadas a 50 °C y los componentes magnéticos se depuraron con ayuda de un imán.

El diagrama de la figura 3 resume el procedimiento realizado para el lavado y tratamiento de las muestras arcillosas. 40 partes alícuotas de muestras de arcilla de aproximadamente 100 mg, 20 por cada unidad doméstica arqueológica, se irradiaron con una fuente de  $^{60}\text{Co}$  (2,3 Gy/h) del Servicio Geológico Colombiano. El rango de dosis de irradiación estuvo entre 100 y 900 Gy.

Los experimentos de RPE se midieron en un espectrómetro *Bruker* ELEXSYS E500, banda X, de onda continua, a una frecuencia de 9,75 GHz, en el *Institut für Physik* de la *Universität Augsburg* en Alemania. Las muestras en polvo (30 mg) se introdujeron en tubos de *Suprasil* (cuarzo de 3 mm).

Los espectros RPE de las cerámicas irradiadas con  $^{60}\text{Co}$  se tomaron dos semanas después de haber sido irradiadas. Esto se hizo con el fin de asegurar la estabilidad de la señal.

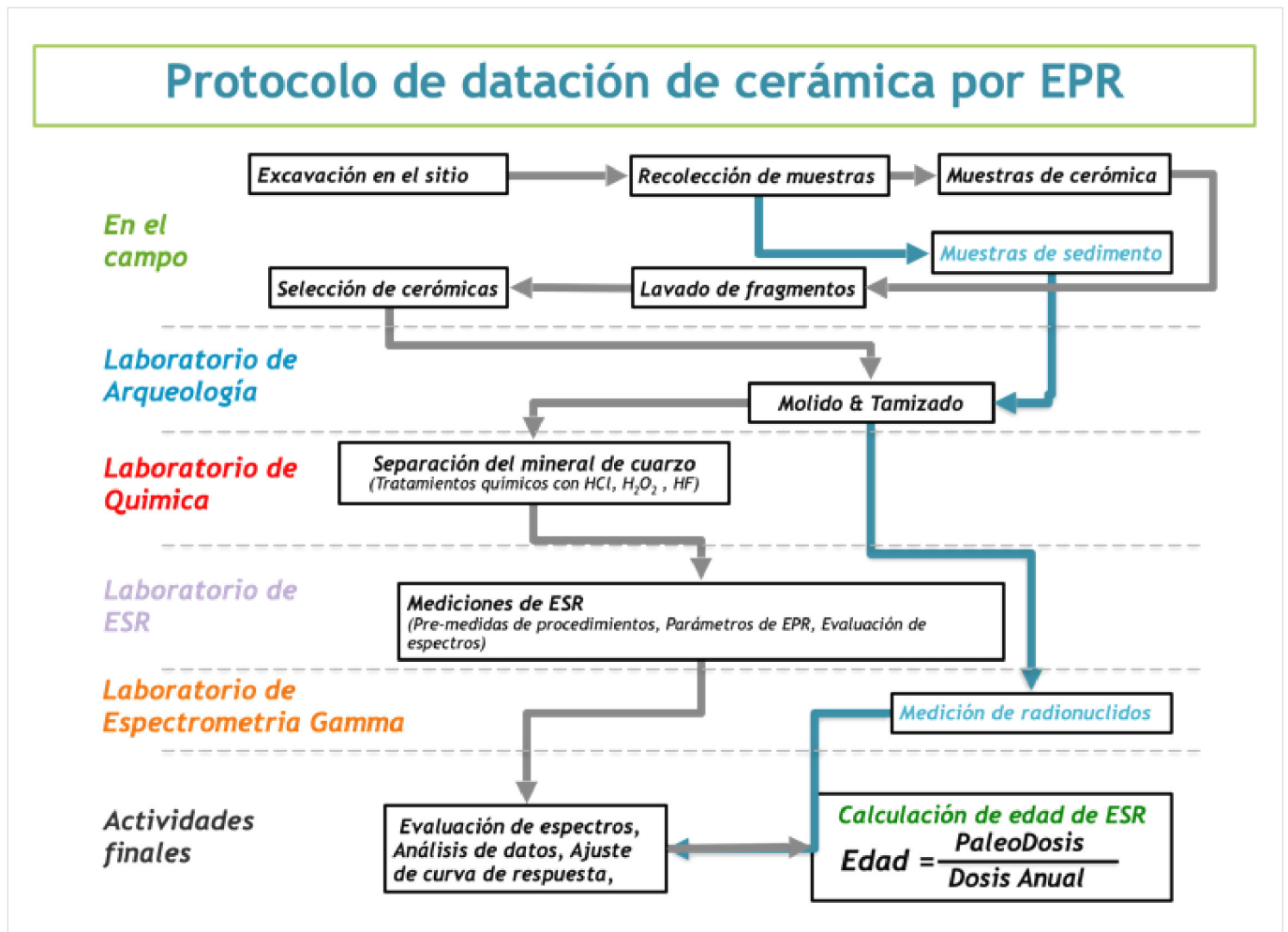


Figura 3. Protocolo para la datación de cerámica muisca por RPE, establecido como resultado de la presente investigación.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 4a muestra los espectros de RPE registrados para muestras de arcilla obtenidas en la unidad doméstica UR-31. La señal ancha está asociada a pequeños *clústeres* de hierro presentes en las muestras y que no pudieron extraerse completamente después de la remoción con el imán.

Es precisamente el hierro existente en las muestras arcillosas lo que podría identificar la procedencia del material utilizado en su fabricación, pero esto será objeto de un estudio posterior. La presencia de hierro dentro de la estructura arcillosa es la mayor dificultad para registrar la señal de RPE asociada a los defectos generados por radiación dentro del cuarzo.

Dado que estos defectos se registran en la RPE con un valor  $g$  aproximado de 2,0023, cercano al del electrón libre, se chequearon posibles señales próximas a esa cantidad. La figura en recuadro dentro de la figura 4a es una ampliación de la zona donde posiblemente

estaba la señal asociada al defecto generado por radiación. Se nota un pequeño pico que aumenta en intensidad cuando la dosis de radiación aumenta. Esta señal, con  $g = 1,9883$ , se atribuye al centro Ti-H en el cuarzo y será la utilizada para la datación de las cerámicas.

La figura 4b es el espectro RPE obtenido en las muestras pertenecientes a la unidad doméstica UR-33. La apreciación es la misma que la esbozada en la figura 4a. Las intensidades de las señales calculadas (doble integración de los picos en el recuadro) aumentan linealmente con la dosis de radiación suministrada. Esto se observa en las figuras 5a y 5b para las muestras pertenecientes a las unidades domésticas UR-31 y UR-33, respectivamente.

La denominada paleodosis (DE), calculada a partir de la extrapolación a intensidad cero de las figuras 4a y 4b, fue de  $133,2 \pm 13$  y  $449,0 \pm 40$  Gy para las unidades UR-31 y UR-33, respectivamente. La tasa de dosis media anual (DA) es producto de dos contribuciones. La primera es la que hacen los radionucleidos presen-



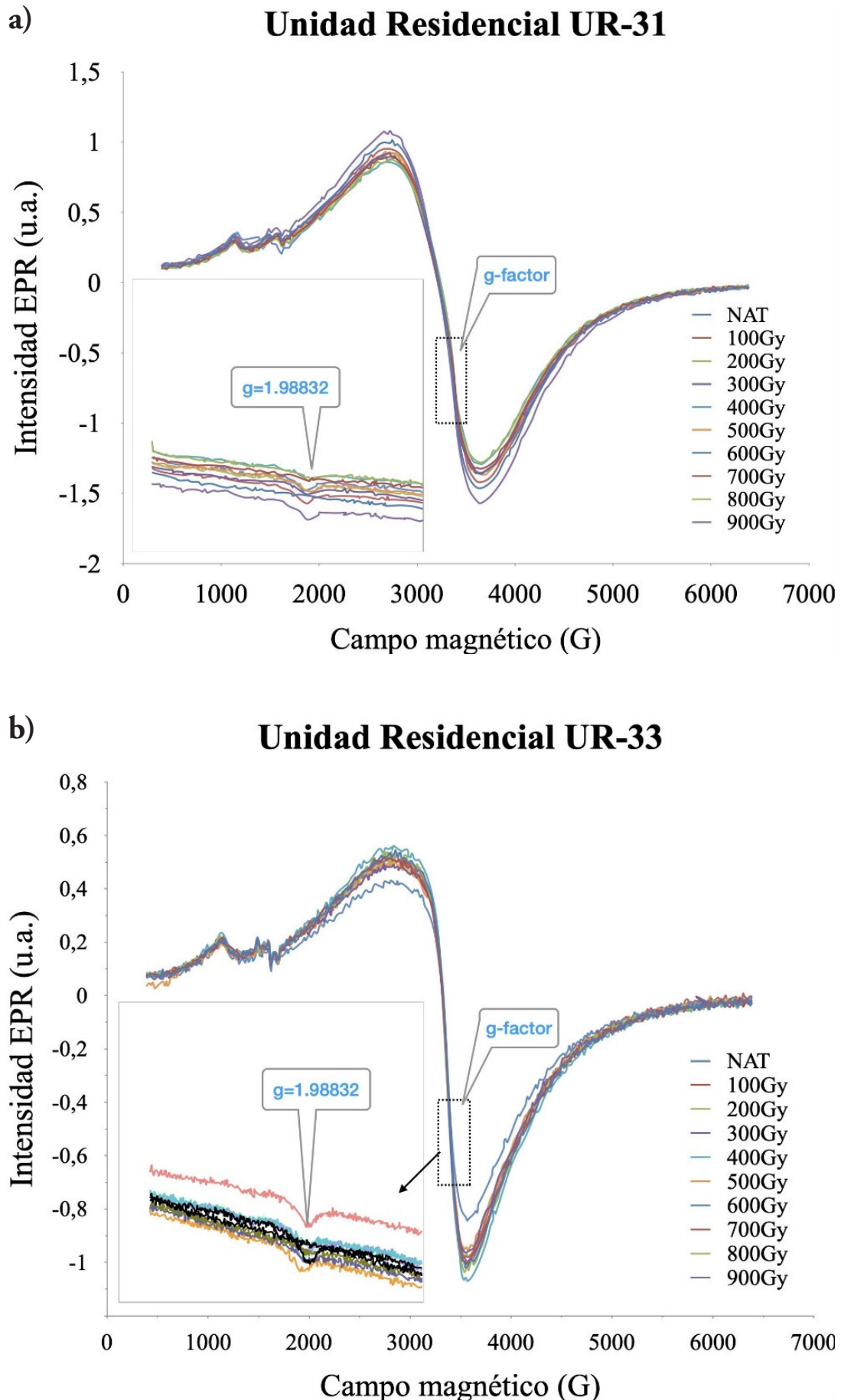


Figura 4. Espectro RPE completo de las muestras encontradas en las unidades UR-31 (a) y UR-33 (b). Los recuadros de estas figuras corresponden a la zona ampliada en la región de campo cercana a  $g = 2$ .

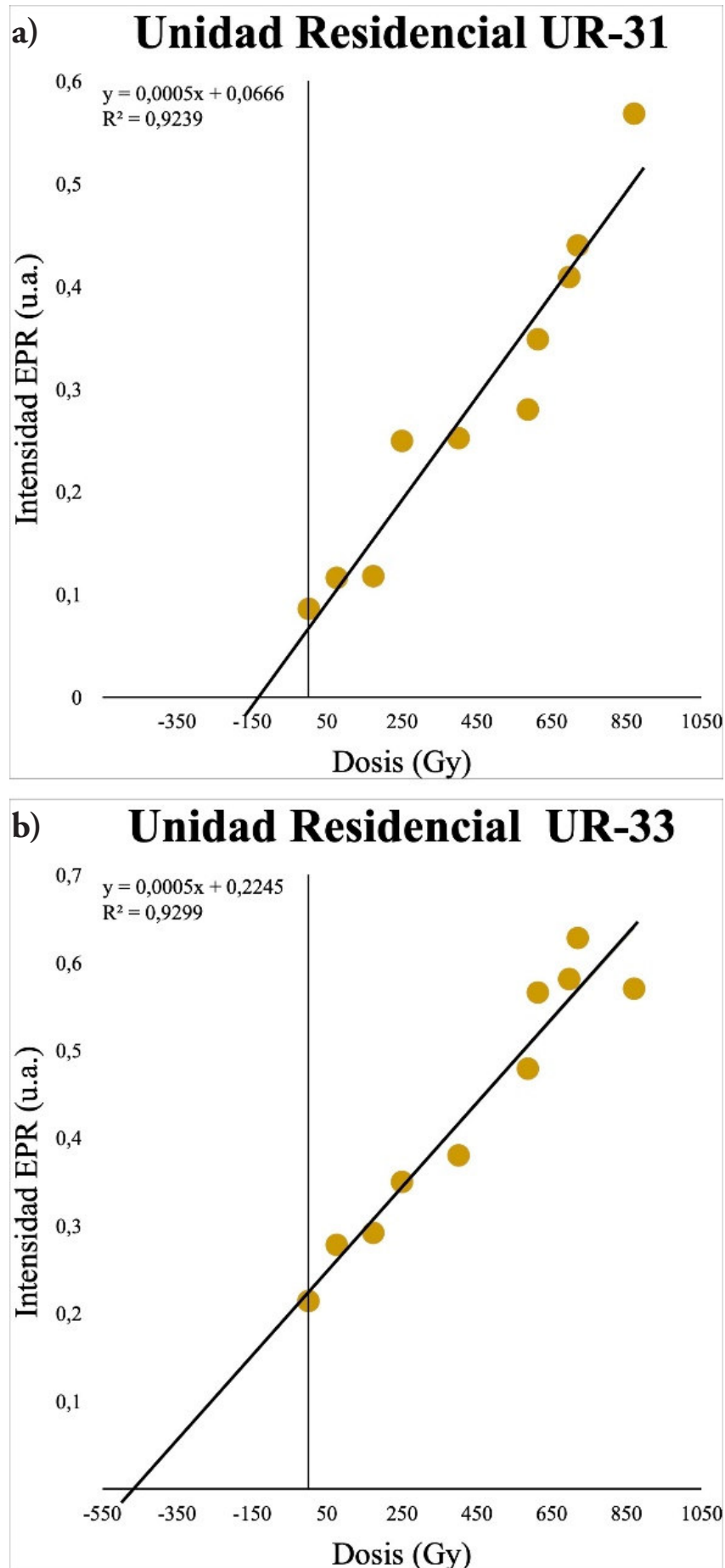


Figura 5. Intensidad de la señal RPE vs. dosis. Muestras irradiadas de las unidades UR-31 (a) y UR-33 (b).

Tabla 1. Concentración de radionucleidos y latitud geomagnética para calcular la tasa de dosis cósmica.

	Concentración (ppm)			Latitud geomagnética ( $\lambda$ )	Tasa de dosis cósmica ( $\mu\text{Gy/año}$ )	Tasa de dosis media anual (DA) ( $\mu\text{Gy/año}$ )
	$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$			
UR-31	45,8 $\pm$ 4	50,6 $\pm$ 4	209 $\pm$ 19	17° 28' 39''	197	200221,55
UR-33	79,8 $\pm$ 4	130 $\pm$ 11	450 $\pm$ 44	17° 28' 45''	192	428112,08

tes en el entorno de la cerámica. En la tabla 1 se muestran los porcentajes de  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  y  $^{40}\text{K}$  evaluados en las muestras de tierra del medio donde fueron hallados los restos cerámicos. Aquí también es necesario considerar la existencia de concentraciones de estos radionucleidos en el interior de la cerámica que, en cierta forma, contribuirían a la tasa de dosis media anual recibida por los fragmentos.

Sin embargo, esta última concentración de materiales radiactivos solo es apreciable en muestras con periodos de tiempo relativamente grandes, exactamente en lapsos superiores a los 20000 años (Grün 1989; Jonnas 1997).

Los registros que se conocen del material cerámico de este estudio comprenden una época que va desde los años 800 a 1600 DC, intervalo que abarca los periodos Muisca Temprano y Muisca Tardío en Colombia. Por esa razón, pueden considerarse despreciables las concentraciones de elementos radiactivos en el interior de los fragmentos de las cerámicas. En consecuencia, solamente los radionucleidos del sedimento contribuyen de forma importante a la tasa de dosis media anual.

La segunda contribución a la tasa media viene de la radiación cósmica en el sitio arqueológico de Suta. Esta aparece en la tabla 1 y se ha calculado mediante la fórmula de Prescott y Hutton (1994). Aquí se han tenido en cuenta las coordenadas geográficas dadas en la sección de materiales y métodos y la latitud geomagnética que figura en la tabla 1. El error asociado a la determinación de la dosis cósmica no supera el 5 % (Prescott y Hutton 1994).

La tasa de dosis media anual para los datos reportados en la tabla 1 se obtuvo con ayuda del *software* ROSY (Brennan *et al.* 1999). Estos valores aparecen en la misma tabla. Así pues, la edad de las muestras analizadas es de 665,3  $\pm$  130 y 1048,8  $\pm$  110 años DC para las unidades UR-31 y UR-33, respectivamente. Esto equivale

a decir que las muestras encontradas en las unidades UR-31 y UR-33, llamadas por el mismo nombre, muy probablemente hayan sido elaboradas hacia los años 1354 y 970 antes del presente, respectivamente.

Lo anterior establece que la muestra UR-31 pertenecería probablemente al periodo Muisca Temprano (800-1200 DC), mientras que la muestra UR-33 correspondería posiblemente al periodo Muisca Tardío (1200-1600 DC).

## CONCLUSIONES

En esta investigación se evaluó la posibilidad de realizar nuevas aproximaciones que pudieran aportar información más precisa sobre los materiales cerámicos —en términos de su cronología absoluta— asociados a las unidades domésticas muisca del sitio Suta (Colombia) y la problemática antropológica y arqueológica sobre la perdurabilidad de los asentamientos.

La técnica de datación por RPE se aplicó con éxito a las cerámicas del sitio precolombino de Suta. Fue posible determinar un periodo de tiempo de asentamiento, derivado de las fechas obtenidas directamente de la cerámica, que ubica la existencia de dicho sitio arqueológico entre los años 1354  $\pm$  130 y 970  $\pm$  110 AP según los datos de cronología absoluta de las muestras obtenidas de las dos unidades domésticas.

Los resultados fueron satisfactorios en cuanto a su cronología absoluta, ya que estos se aproximan a la edad asignada previamente, basada en la observación de las muestras asociadas a periodos muisca (Falchetti 1975; Langebaek 1995, 2001).

Dichos resultados también son coherentes con las fechas radiocarbónicas de otros sitios pertenecientes a los dos periodos reconocidos para la sociedad muisca.

Al final de esta investigación interdisciplinaria se estableció un exitoso protocolo para la datación de la



cerámica muisca (figura 3), que promueve la utilidad de la técnica de resonancia paramagnética electrónica (RPE) como una herramienta fiable para determinar cronologías en la arqueología colombiana. Este trabajo es el primer reporte de datación de cerámicas con RPE realizado en Colombia.

## Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a Azarías de Jesús Moreno Machado, Jormagn Israel Abril Murillo y Guillermo Abel Parrado, pertenecientes al Servicio Geológico Colombiano, por la gentileza de llevar a cabo la irradiación de las muestras; y a los doctores Hans-Albrecht Krug von Nidda y Dieter Ehlers por ayudar durante todo el proceso de medición, así como al Dr. César Sierra por facilitar el proceso de preparación química.

## REFERENCIAS

- AITKEN, M. J. 1990. *Science-based dating in archaeology*. Londres: Longman.
- BARTOLL, J.; M. IKEYA. 1997. ESR dating of pottery: a trial. *Applied Radiation and Isotopes* 48, 7: 981-984.
- BRENNAN, B. J.; W. J. RINK; E. M. RULE; H. P. SCHWARCZ; W. V. PRESTWICH. 1999. The ROSY ESR dating program. *Ancient TL* 17, 2: 45-53.
- FAJARDO, S.; L. F. NAVARRO; J. D. MAHECHA. 2015. Población dispersa durante los periodos prehispánico y colonial en áreas de difícil acceso en límites de los valles de Sogamoso y Duitama. *Revista Colombiana de Antropología* 51, 2: 265-292.
- FALCHETTI, A. M. 1975. *Arqueología de Sutamarchán, Boyacá*. Bogotá: Banco Popular.
- GRÜN, R. 1989. *Die ESR-Altersbestimmungsmethode*. Berlín: Springer.
- GRÜN, R. 1997. Electron Spin Resonance Dating. En *Chronometric Dating in Archaeology = Advances in Archaeological and Museum Science* 2, eds. R. E. Taylor/M. J. Aitken, pp. 217-260. Boston: Springer.
- HENDERSON, H.; N. OSTLER. 2005. Muisca settlement organization and chiefly authority at Suta, Valle de Leyva, Colombia: A critical appraisal of native concepts of house for studies of complex societies. *Journal of Anthropological Archaeology* 24, 2: 148-178.
- IKEYA, M. 1993. *New Applications of Electron Spin Resonance: Dating, Dosimetry and Microscopy*. Singapur: World Scientific.
- JONAS, M. 1997. Concepts and methods of ESR dating. *Radiation Measurements* 27, 5-6: 943-973.
- LANGENBAEK, C. H. 1995. *Arqueología regional en el territorio muisca: estudio de los valles Fúquene y Susa*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- LANGENBAEK, C. H. 2001. *Arqueología regional en el valle de Leiva: procesos de ocupación humana en una región de los Andes orientales de Colombia*. Informes Arqueológicos del Instituto Colombiano de Antropología e Historia 2. Bogotá.
- MAURER, C.; S. WILLIAMS; T. RILEY. 1981. ESR dating of archeological ceramics: a progress report. *MASCA Journal* 1, 7: 202-204.
- PRESCOTT, J. R.; J. T. HUTTON. 1994. Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: Large depths and long-term time variations. *Radiation Measurements* 23, 2-3: 497-500.
- RINK, W. J. 1997. Electron spin resonance (ESR) dating and ESR applications in quaternary science and archaeometry. *Radiation Measurements* 27, 5-6: 975-1025.

METHOD ARTICLE

## APPROACHES FOR ANCESTRY STUDIES IN ARCHAEOGENOMICS

*André Luiz Campelo dos Santos,<sup>1,2</sup> Henry S. Lavalle Sullasi<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Department of Electrical Engineering and Computer Science, Florida Atlantic University, Boca Raton, Florida, USA

<sup>2</sup> Department of Archaeology, Federal University of Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brazil

(✉ [andre.campelo@ufpe.br](mailto:andre.campelo@ufpe.br), [henry.lavalle@ufpe.br](mailto:henry.lavalle@ufpe.br))

**ABSTRACT.** *Archaeology involves the study of intriguing findings, and since the last century the field has benefited from scientific developments originating in the most diverse disciplines. This work aims to present a scientific development that can greatly contribute to archaeology: genomics. A discussion about the concept of ancestry, one of the possible products of the archaeogenomic approach, is also presented here along with a brief explanation of the main techniques for ancestry estimation. The availability of such a development means that archaeologists now have methods at their disposal that could not have been dreamed of just a few decades ago.*

**KEYWORDS.** *Ancestry, Archaeology, Genomics.*

**RESUMO.** *A Arqueologia envolve o estudo de descobertas intrigantes e, desde o século passado, este meio é favorecido por desenvolvimentos científicos originados nas mais diversas disciplinas. Este trabalho tem como objetivo apresentar um desenvolvimento científico que pode contribuir bastante para a Arqueologia: a Genômica. Uma discussão sobre o conceito de ancestralidade, um dos possíveis produtos da abordagem arqueogenômica, também é apresentada aqui, juntamente com uma breve explicação sobre as principais técnicas de estimação de ancestralidade. A existência de tal desenvolvimento significa que os arqueólogos têm agora à sua disposição variados métodos que não poderiam ter sido sonhados há apenas algumas décadas atrás.*

**PALAVRAS-CHAVE.** *Ancestralidade, Arqueologia, Genômica.*

### INTRODUCTION

Archaeology is a field that involves the study of intriguing contexts and findings, be they prehistoric or historic, in a constant effort to obtain as much information as possible about them. In many cases, more precisely in archaeological contexts characterized by the presence of human burials, basic information about the ancient individuals—such as their respective ancestry—still remains uncertain, and any conclusion regarding this aspect belongs to the realms of conjecture.

In order to better address the scientific problems that commonly arise in this field, it is necessary that the archaeologist knows how to identify and choose or pro-

pose the most appropriate method for that specific context. Fortunately, since the middle of the last century, the archaeological métier has also been favored by a variety of scientific and technological developments originating in the most diverse scientific disciplines, e.g., chemistry, biology and engineering (Walker 2005; Shillito 2013).

Obviously, it is not necessary for the archaeologist to know how to apply all these techniques from other scientific areas, however, it is undeniable that the existence of such a methodological variety certainly encourages, at least, a multidisciplinary training. In addition, their applications are only half the effort, since it is also necessary for a certain level of knowledge that allows

*Received: December 26, 2023. Accepted: January 13, 2024. Published: January 24, 2024.*

Edited & Published by Pascual Izquierdo-Egea [P. I. Egea]. English proofreading by Jean-Paul Rojas. Arqueol. Iberoam. Open Access Journal. *Creative Commons* License (CC BY 4.0). <https://n2t.net/ark:/49934/324>. <https://purl.org/aia/5303>.

for the appropriate analyses and interpretations of the resulting data, since they are not narrative or descriptive interpretations in themselves (Santos 2016).

This work aims, then, to present a relatively recent scientific development that has already contributed greatly to archaeological discussions, which is genetics or genomics—or archaeogenetics/archaeogenomics when applied to archaeological findings.

In the sections below, in addition to presenting this scientific development, the discussion that led to the use of archaeogenomic methods will also be outlined along with a brief explanation of the techniques that can most contribute to the resolution of specific but common scientific problems in archaeology, such as ancestry estimation of ancient human individuals or remains.

Finally, emphasis will be given here to methods that involve microscopic data analysis, rather than macroscopic information, since it is already known that specific morphological—macroscopic—characters are not necessarily associated with specific genetic or genomic ancestry<sup>1</sup> (Moreno-Mayar *et al.* 2018a).

## ARCHAEOGENOMICS

Archaeogenetics, or archaeogenomics, is a term coined and introduced by Colin Renfrew that can be defined as a discipline that studies the human past through the use of Molecular Genetics techniques (Renfrew 2001; Renfrew *et al.* 2005), i.e., with the extraction of genetic material from archaeological human bone remains, information that allows an approximation to the life history of that individual.

From such analysis it is then possible to estimate the ancestry of a given individual or even the putative kinship relationships among different individuals, in addition to the identification of microscopic pathogens (such as viruses and bacteria) that may have caused their respective deaths (Hummel 2007; Herrmann *et al.* 2012).

<sup>1</sup> For example, on the relationship between a putative Australasian ancestry and a distinct cranial morphology observed in ancient Native American individuals—originally suggested by Bernardo and Neves (2009) for a couple individuals unearthed in *Serra da Capivara*—, Moreno-Mayar and colleagues (2018a, p 362) state that: “[a]lthough we detected the Australasian signal in one of the [...] individuals identified as a Paleoamerican, it is absent in other Paleoamericans [...]. This indicates that the Paleoamerican cranial form is not associated with the Australasian genetic signal, as previously suggested [...].”

Over the last decades, the extraction and analysis of genetic material from archaeological bones, the so-called “ancient DNA” (aDNA), has become a method of common use in Europe and North America to solve scientific problems concerning paleomigrations (Santos 2008; Santos *et al.* 2022, 2023), paleopathology, and human evolution itself, as well as to complement the analysis of morphometric characteristics from bone remains—usually leading to even more precise conclusions (Hummel 2003, 2007; Hermann *et al.* 2012; Petraglia *et al.* 2012). Nationally, however, such an approach has generally been appropriated by sciences other than archaeology (Freitas 2001, 2002, 2006).

As previously stated, only one of the possible products of an archaeogenomic approach, which is the estimation of ancestry, will be presented here. A brief discussion about the concept of “ancestry” will follow below.

## THE CONCEPT OF ANCESTRY

Over the last few decades, studies involving the estimation of ancestry have been common practice in the field of archaeology—especially when the objects under study are human remains (Santos 2008, Santos *et al.* 2023; Dirkmaat *et al.* 2008; Dirkmaat & Cabo 2012; Solari *et al.* 2016; Silva *et al.* 2016). It is a concept and variable arising from the forensic sciences, where it has a prominent role of characterizing (or even identifying)<sup>2</sup>—in the form of a biological profile—human remains found in contexts of this nature (Birx 2010; Iscan & Steyn 2013).

The concept of ancestry is hardly defined in the works that involve it—it is treated almost as an axiom, when there seems to be no need for a definition, perhaps because it is considered obvious, or quite the opposite: because it is problematic (Birx 2010). However, the authors who employ the concept offer some clues about how they seem to think “ancestry” and the possibilities of information that its application can provide.

Adams (2007: 43) suggests that “[g]enerally, forensic anthropologists tend to classify individuals into three main groups: Caucasoid, or white/European; Negroid, or black/African; and Mongoloid or Native American/

<sup>2</sup> Together with the estimates of biological sex, age and height forming the so-called “Big Four”—which would be the main and primordial information of the biological profile of an analyzed individual (Adams 2007: 31).

Table 1. Stereotypical description of craniofacial traits of “The Three Main Human Races” from Krogman (1955). Source: Iscan and Steyn (2013: 197).

<i>Dimensions</i>	<b>Caucasoid</b>			<b>Negroid</b>	<b>Mongoloid</b>
	<i>Nordic</i>	<i>Alpine</i>	<i>Mediterranean</i>		
Skull length	Long	Short	Long	Long	Long
Skull breadth	Narrow	Broad	Narrow	Narrow	Broad
Skull height	High	High	Moderately high	Low	Middle
Sagittal contour	Rounded	Arched	Rounded	Flat	Arched
Face breadth	Narrow	Wide	Narrow	Narrow	Very
Face height	High	High	Moderately high	Low	High
Orbit	Angular	Rounded	Angular	Rectangular	Rounded
Nasal opening	Narrow	Moderately wide	Narrow	Wide	Narrow
Lower nasal margin	Sharp	Sharp	Sharp	Guttered	Sharp
Nasal profile	Straight	Straight	Straight	Downward slant	Straight
Palate shape	Narrow	Moderately wide	Narrow	Wide	Moderately wide
General impression of skull	Massive, rugged, elongated, ovoid	Large, moderately rugged, rounded	Small, smooth, elongated, pentagonoid to ovoid	Massive, smooth, elongated, constricted, oval	Large, smooth, rounder

Asian” and goes on to bluntly affirm that “[t]he best area to estimate race/ancestry is from the skull, especially the bones of the face”. The three groups cited by Adams refer to the proposition originally made by Krogman in 1955 of the “Three Main Human Races”<sup>3</sup> (Krogman 1955; Iscan & Steyn 2013). In his work, Krogman proposed the distinction of these three “races”—where the Caucasoid was still subdivided into Nordic, Alpine and Mediterranean—through observation and analysis of craniofacial morphological characteristics (Table 1) (Krogman 1962).

<sup>3</sup> Some years later, Krogman himself withdrew from the use of the concept of race, changing “Races” to “Stocks” (Krogman 1962: 190).

Similarly, Iscan and Steyn (2013) argue that it is possible to identify at least three kinds of ancestry—African, Asian and European—based on morphometric analyses performed on bones of the human skeleton in general. Hefner (2009), in turn, uses the craniofacial morphological characters present in multiple American populations to segregate five distinct ancestries: American black, American white, Amerindian, Asian, and Hispanic. Finally, something similar is enforced by forensic anthropologists, as presented by Sauer (1992), who divide Mongoloid ancestry into two: Amerindian and Asian—in addition to black and white (Iscan & Steyn 2013).

After this brief but comprehensive presentation of how the concept is employed in the forensic sciences



—and a significant portion of the fields of anthropology and archaeology—, it is possible to propose that, in general, ancestry can be defined as: the estimation of the geographical, biological and/or ethnic origins (as well as the “cultural affiliation”) of an individual based on their bone morphometric characteristics.

The application of this forensic approach in archaeology is naturally logical, then, for two reasons: (1) they share the same research object—human remains—even though the contexts might be different and (2) a similar curiosity: the “origin” of the analyzed individual, albeit for different purposes—individual identification for the forensic sciences (Adams 2007; Iscan & Steyn 2013), and for paleomigration studies in archaeology (Santos 2008; Santos *et al.* 2023), for example.

In human genealogy studies, a composite term appears. According to the International Society of Genetic Genealogy (ISOGG), “biogeographic ancestry” is defined as “the estimation of one’s biological, ethnic and/or geographical origins based on DNA analysis”.<sup>4</sup> There are a number of works in the biological, medical, and/or forensic sciences that employ such a definition (Shriver & Kittles, 2004; Halder *et al.* 2008; Bouakaze *et al.* 2009). The concept of “biogeographic ancestry” proposed by the ISOGG brings a new perspective of analysis: genetics. In this case, the estimation of ancestry as performed in the forensic sciences does not seem to be satisfactory to reach a more precise conclusion about the origin of a given individual.

Adams himself criticizes the possibilities of answers that the forensic sciences offer:

“Clearly, these groups do not encompass the diversity of the modern world, and the skeletons of some people do not fit comfortably into these broad classifications. Another consideration is that admixture is a possibility. Admixture refers to a situation where a person has parents that fall into different racial groups. For example, if someone has a Caucasoid mother and a Negroid father, he or she would likely have some skeletal features typical of both groups” (Adams 2007: 43).

The definition of the “biogeographic ancestry” concept presented by ISOGG, in turn, sounds rather pretentious. How to define ethnicity based on genetic analysis? (and this question also extends to the forensic science analyses). According to Nagel (1994, p. 153),

ethnicity is based on two “building blocks”: “identity and culture.” The question is then rephrased: how to approach these two aspects of ethnicity based on genetic analysis?

Given the limitations of both definitions mentioned above, it is necessary to consider an alternative to the concept of ancestry. Weiner (2010) argues that, in order to obtain the greatest possible amount of information from the archaeological record, and to provide interpretations with the least degree of uncertainty, the archaeologist should seek to carry out an investigation that encompasses both perspectives of this record: the macroscopic and microscopic, thus exploring all possible sources of information. Agreeing with this argument, it is admitted that this approach should be used, therefore, for ancestry studies—in order to carry out the most comprehensive characterization possible. In this sense, it is proposed in this work to define the concept of ancestry as the estimation of an individual’s geographical origin from his biological characteristics—thus, both perspectives are included, morphometric and genomic analyses; and, therefore, ethnic and/or cultural concerns in such application are excluded.

In archaeogenomics, the concept of ancestry appears in the form of two other concepts that are used interchangeably (Santos 2008, 2022): haplotype and haplogroup. Haplotype is defined as the genetic profile of an individual (Goodwin *et al.* 2011). Haplogroup, on the other hand, can be defined as the simple grouping of individuals who share the same haplotype, or similar haplotypes, and is generally associated with a specific geographic region (Hummel 2007).

As an example of this last statement, here are some of the denominations chosen by the consortium that carried out the *1000 Genomes Project* (1kGP)—the largest genomic sequencing project for global human populations: “Chinese Dai in Xishuangbanna, China” (CDX) in East Asia, “British in England and Scotland” (GBR) in Europe, “Gambian in Western Divisions in the Gambia” (GWD) in Africa, “Colombians from Medellin, Colombia” (CLM) in the Americas, and “Punjabi from Lahore, Pakistan” (PJJ) in South Asia (1000 Genomes Project Consortium *et al.* 2015). Genomically, haplotypes are defined by single nucleotide polymorphisms (SNPs)<sup>5</sup> present in the genetic material that each individual carries, usually inherited from

<sup>4</sup> “Biogeographical ancestry” in ISOGG Wiki (2020): <[https://isogg.org/wiki/Biogeographical\\_ancestry](https://isogg.org/wiki/Biogeographical_ancestry)>.

<sup>5</sup> Or variants, genetic mutations that affect a single nitrogenous base (adenine, cytosine, guanine or thymine) (Carracedo 2005).

...GATCTGCATCGTCGGCATTGTCATGCGCATC... (Individual A)

...GATCTGCATCGTCGGCGTTGTCATGCGCATC... (Individual B)

Figure 1. A SNP sample (in red). Source: The authors (2020).

their ancestors. When the same combinations of SNPs (haplotype) occur frequently within a given population, there is a haplogroup, associated with the geography occupied by that population (Byrnes *et al.* 2012). And this is the way by which the ancestry of an individual is measured.

This estimation of ancestry through the classification of haplotypes in haplogroups is constantly used successfully in archaeogenomics studies carried out in the most diverse regions of the globe (Posth *et al.* 2019; Kampuansai *et al.* 2020).

Finally, it is clearly noticeable here the use, even if minimally, of some fundamentals of classification and typology, albeit with very specific terms: haplogroups and haplotypes represent the ideas of “groups” and “types” originally brought to the archaeological *métier* by professionals today considered as culture-historical archaeologists (Spaulding 1953; Ford & Steward 1954); while the SNPs are the variables or attributes that define these types and groups.

However, it is important to emphasize, differently from certain culture-historical claims, that it is not possible to work on this typology and/or classification within a “space-time framework” (Brainerd 1951: 303), since a given ancestry is not limited by time, as it is constantly updated through the centuries<sup>6</sup> (Semino *et al.* 2000; Carracedo 2005; Kayser *et al.* 2005; Goodwin *et al.* 2007; Hummel 2007).

## METHODS FOR ANCESTRY ESTIMATION

Currently, to obtain genomic data, the samples under study are subjected to Next Generation Sequencing (NGS) techniques, which allow for the obtention of millions of short sequences—fractions of the genome—

<sup>6</sup> It is correct to affirm that this “update” has taken place since the “biological appearance” of these ancestry, even in prehistoric periods, due to the random mutations that have occurred and still occur in the human genome over time (Santos 2008; Cassidy *et al.* 2016; Martiniano *et al.* 2017).

even in ancient/archaeological remains. These millions of “short reads” are the raw data that result from a sequencing procedure, provided as text files in the FASTQ format.

This allows for a given individual’s whole genome to be completely “covered” by the short reads between tens and hundreds of times, thus decreasing the probability of errors in the final sequence of each sample—something especially important for studies of ancient DNA, since such a molecule undergoes constant decay over time, after the death of an organism (taphonomy) (Hummel 2007; Linderholm 2015; Mutzenberg *et al.* 2015; Santos 2016; Santos & Sullasi 2016; Sullasi *et al.* 2017, 2018; Santos *et al.* 2020).

In the NGS Era, the technologies developed by *Illumina*<sup>®</sup> have dominated the genomic sequencing market, and the fact that the required monetary resources involved in the process of whole-genome<sup>7</sup> sequencing have dropped has been attributed to them (Linderholm 2015).

However, it is not exactly the whole genome of an individual that is analyzed. Since the genomic difference between two human individuals is only 0.1%—i.e., when comparing two human genomes, only one position in every 1,000 nitrogenous bases (adenine, A; cytosine, C; guanine, G; and thymine, T) is different between them (Figure 1)—in genomic analyses only the SNPs are considered, since analyzing 99.9% of similar data would be a waste of time and resources (monetary and computational), especially given the human genome size: more than 3 billion nitrogenous bases. Thus, a difference of 0.1% still means more than 3 million SNPs (Naidoo *et al.* 2011).

To get to the SNPs, it is necessary to map (compare) the raw sequencing data (the data from the FASTQ file) of each ancient individual with a human reference genome, available as a text file in the FASTA format. It is a process, made possible by the application of compu-

<sup>7</sup> The DNA sequence present both in the *Mitochondria* and in the chromosomes (Linderholm 2015).

Table 2. List of 1kGP populations and their respective numbers of individuals (*n*). Source: The authors (2020) with data from *1000 Genomes Project Consortium* and colleagues (2015).

Population Description (Population Code)	Region	<i>n</i>
Han Chinese in Beijing, China (CHB)	EAS	103
Japanese in Tokyo, Japan (JPT)	EAS	104
Southern Han Chinese (CHS)	EAS	105
Chinese Dai in Xishuangbanna, China (CDX)	EAS	93
Kinh in Ho Chi Minh City, Vietnam (KHV)	EAS	99
Utah Residents (CEPH) with Northern and Western European Ancestry (CEU)	EUR	99
Toscani in Italia (TSI)	EUR	107
Finnish in Finland (FIN)	EUR	99
British in England and Scotland (GBR)	EUR	91
Iberian Population in Spain (IBS)	EUR	107
Yoruba in Ibadan, Nigeria (YRI)	AFR	108
Luhya in Webuye, Kenya (LWK)	AFR	99
Gambian in Western Divisions in the Gambia (GWD)	AFR	113
Mende in Sierra Leone (MSL)	AFR	85
Esan in Nigeria (ESN)	AFR	99
Americans of African Ancestry in SW USA (ASW)	AFR	61
African Caribbeans in Barbados (ACB)	AFR	96
Mexican Ancestry from Los Angeles USA (MXL)	AMR	64
Puerto Ricans from Puerto Rico (PUR)	AMR	104
Colombians from Medellin, Colombia (CLM)	AMR	94
Peruvians from Lima, Peru (PEL)	AMR	85
Gujarati Indian from Houston, Texas (GIH)	SAS	103
Punjabi from Lahore, Pakistan (PJL)	SAS	96

tational algorithms and/or programs, which is universal and mandatory for any and all genomic work. Thus, the mapping phase involves standard procedures that allow very little room for customization.<sup>8</sup>

The SNPs from ancient individuals can then be compared with the same data from modern individuals, which serve as a reference for the ancestry analysis. Although this procedure sounds odd—ancestry estima-

<sup>8</sup> For a detailed description of the procedures, see *Session2\_ReadAlignment\_VariantCalling* at <[https://github.com/Saguiomics/AAAGs\\_2018](https://github.com/Saguiomics/AAAGs_2018)>. This describes a protocol to obtain the SNPs through mapping raw sequencing data, of any human sample, to a reference genome.

tion of ancient individuals with the use of extant data—it is a standard procedure in genomics studies (Flegontov *et al.* 2019), and it is so because there is not a significant number of ancient individuals sequenced around the world that would enable reliable conclusions from old samples just yet. In other words, the procedure of using extant samples as a reference for ancient ones is still what allows the best approximation for the study of ancient ancestry.

Examples of modern samples that can be used are the 2,504 individuals that were originally published under the 1000 Genomes Project (1kGP), belonging to 26 populations from 5 different geographic regions

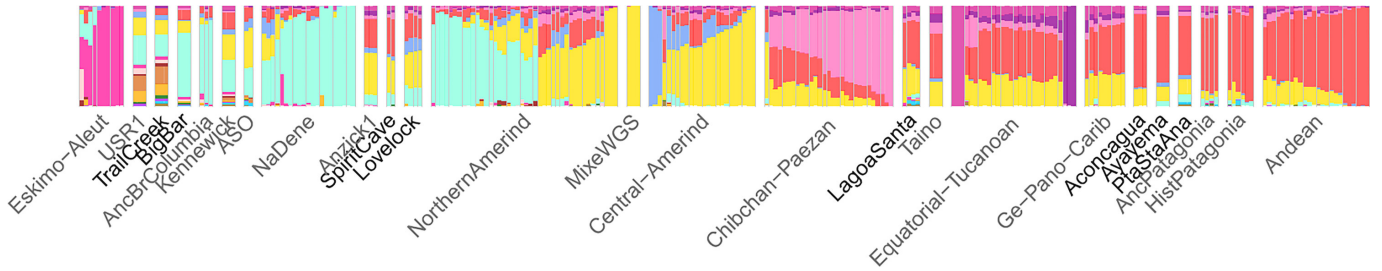


Figure 2. Sample bar graph produced from the results (percentages) of an ADMIXTURE® analysis (in this example,  $k = 16$ ) on genomic data from dozens of ancient and modern human individuals (vertical bars).  
Source: Adapted from Moreno-Mayar and his colleagues (2018a: 3).

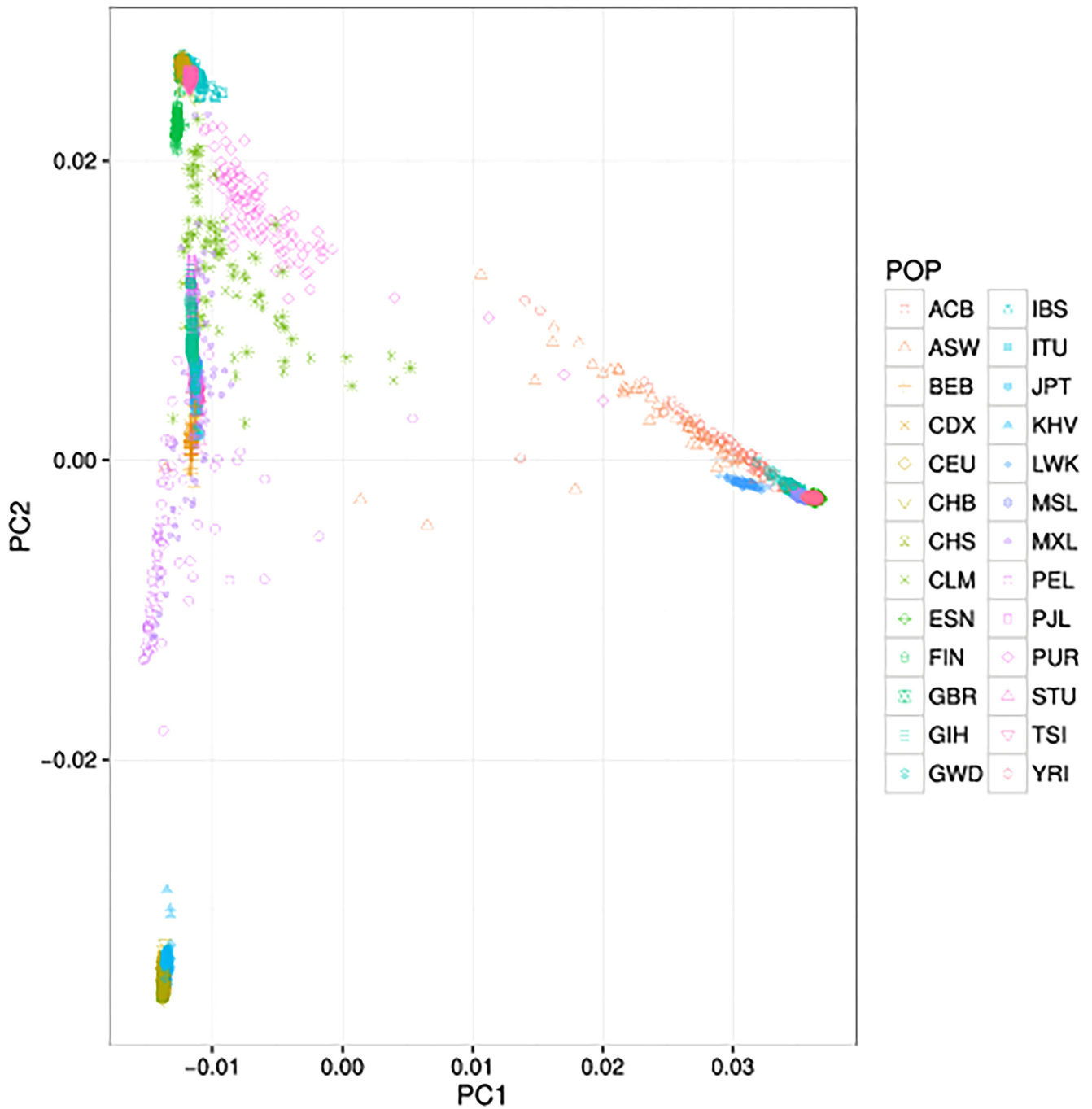


Figure 3. Sample scatter plot produced with the two principal components resulting from a PCA analysis performed on the 1kGP samples genomic data (colored dots). Source: <<https://apol1.blogspot.com/2016/10/1000-genomes-project-phase-3-principal.html>>.



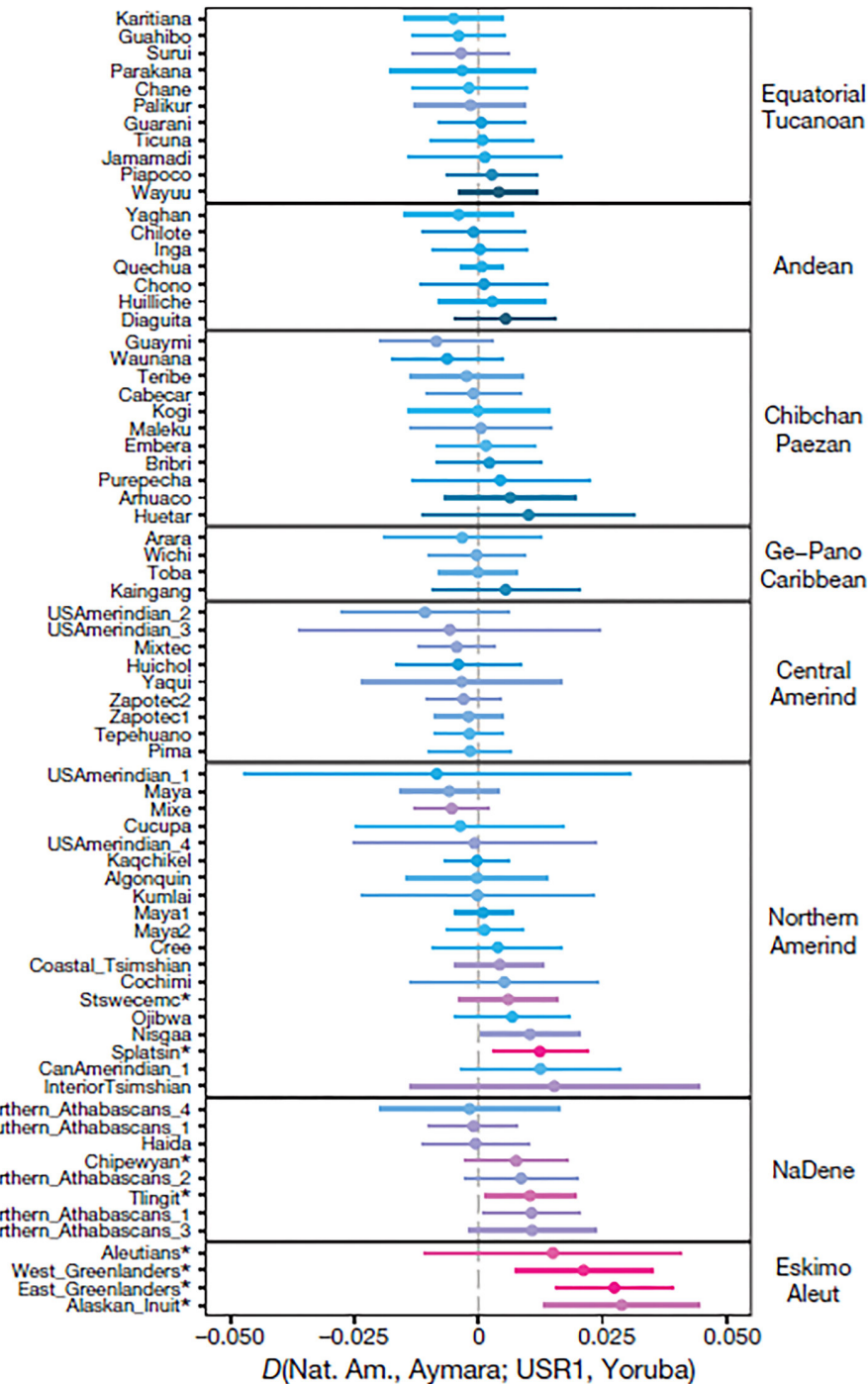


Figure 4. Sample graph produced from the application of  $f_3$ -Statistics on genomic data of an ancient human individual (center, USR1) and from dozens of modern populations (sides). Source: Adapted from Moreno-Mayar and his colleagues (2018b: 2).

of the planet (Table 2): East Asia (EAS), Europe (EUR), Africa (AFR), Americas (AMR) and South Asia (SAS) (1000 Genomes Project Consortium *et al.* 2015).

With a dataset composed of SNPs from ancient and modern samples, some ancestry analyses can then be performed, however, only those that allow for visual interpretations will be presented here: (1) ADMIXTURE®, (2) Principal Component Analysis (PCA), and (3)  $f_3$ -Statistics.

ADMIXTURE® is a software and tool that aims to statistically estimate the ancestry of one or more individuals from the frequency of occurrence of their respective SNPs.

The tool requires the input of an arbitrary number ( $k$ ) referring to the number of ancestries that one seeks to observe in the individuals. After that, based on the SNPs frequencies, the software statistically defines which SNPs make up the  $k$ -ancestry.

The result is a list of individuals and the respective percentages of each of the k-ancestry in the dataset (Alexander *et al.* 2009). From these percentages, a bar graph can then be produced in order to interpret the possible results (Figure 2). Since the number of ancestries existing in a given human genome is unknown, a range of values for k—Flegontov and his colleagues (2019), for example, employed between 5 and 20—is generally used, and only the result for k that has the lowest cross-validation error (CV-error), among all k values after 100 iterations, is presented (Flegontov *et al.* 2019).

The software does not include any information regarding existing and/or previously defined ancestry, so that is why individuals from modern populations are used as references for the analysis of the ancient ones.

The second technique is the PCA, which generates the maximum dispersion of a given dataset based on all its respective variables (Abdi & Williams 2010). To obtain better visualization and further interpretations, a scatter plot can then be produced with its results.

In this case, what is sought to be observed is the genetic distance of all the individuals analyzed, taking into account all the millions or thousands of SNPs identified in the dataset—each SNP being a variable under analysis. Thus, based on the respective positions of individuals in the midst of dispersion, it is possible to observe those who have similar genetic affinities or ancestry (Figure 3).

As in the first technique presented here, it is recommended to also include individuals from modern populations in the PCA analysis—in order to have some references. A PCA analysis can be performed using the *Plink*<sup>®</sup> software, specifically created with the goal of analyzing genomic data (Chang *et al.* 2015).

Finally, the last ancestry estimation technique to be presented here is the  $f_3$ -Statistics, which aims to statistically estimate, also by SNP frequency, how genetically close an individual is to different populations. This analysis, unlike the above-presented ones, is carried out

on an individual-by-individual basis (Figure 4) (Moreno-Mayar *et al.* 2018b).

## CONCLUSIONS

It is notable here how much genomics can contribute to archaeological contexts characterized by the presence of human inhumations, and how rich the corpus of microscopic information that this type of trace can contain.

Properly answering the basic questions that involve the archaeological *métier* is the first step to providing more conclusive interpretations about the formation of a given context. The theoretical and methodological contributions presented here are also suggested to make this first step possible.

Fortunately, as previously stated, in the last few years there has been a noticeable drop in the costs of genomic procedures in general, and this scenario has gradually facilitated access to these technologies. The trend is, therefore, that the advent of even more technological innovations in this field will also allow for a greater expansion of archaeogenomics studies, including the study of issues that are not even considered today.

Lastly, it is important to note that the occurrence of these innovations, accompanied by the development of existing techniques, means that archaeologists have at their disposal, or at least will have, a wide portfolio of methods that could not have been dreamed of just a few decades ago.

## Acknowledgments

This study was financed in part by the National Council for Scientific and Technological Development of Brazil (CNPq) and the *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior*—Brasil (CAPES)—Finance Code 001.

## REFERENCES

- 1000 GENOMES PROJECT CONSORTIUM *ET ALII.* 2015. A global reference for human genetic variation. *Nature* 526: 68–74.
- ABDI, H.; L.J. WILLIAMS. 2010. Principal component analysis. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics* 2(4): 433–459.
- ADAMS, B.J. 2007. *Forensic Anthropology*. Infobase Publishing.
- ALEXANDER, D.H.; J. NOVEMBRE; K. LANGE. 2009. Fast model-based estimation of ancestry in unrelated individuals. *Genome Research* 19: 1655–1664.

- BERNARDO, D.V.; NEVES, W.A. 2009. Diversidade morfocraniana dos remanescentes ósseos humanos da Serra da Capivara: implicações para a origem do homem americano. *Fundamentos* 8: 95–106.
- BIRX, H.J., ED. 2010. *21st Century Anthropology: A Reference Handbook*. SAGE.
- BOUAKAZE, C. ET ALII. 2009. Pigment phenotype and biogeographical ancestry from ancient skeletal remains: inferences from multiplexed autosomal SNP analysis. *International Journal of Legal Medicine* 123: 315–325.
- BRAINERD, G.W. 1951. The Place of Chronological Ordering in Archaeological Analysis. *American Antiquity* 16(4): 301–313.
- BYRNES, J.F. ET ALII. 2012. mtDNA and osteological analyses of an unknown historical cemetery from upstate New York. *Archaeological and Anthropological Sciences* 4: 303–311.
- CARRACEDO, A., ED. 2005. *Forensic DNA Typing Protocols*. Humana Press.
- CASSIDY, L.M. ET ALII. 2016. Neolithic and Bronze Age migration to Ireland and establishment of the insular Atlantic genome. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113(2): 368–373.
- CHANG, C.C. ET ALII. 2015. Second-generation PLINK: rising to the challenge of larger and richer datasets. *GigaScience* 4(1): s13742-015-0047-8.
- DIRKMAAT, D.C. ET ALII. 2008. New perspectives in forensic anthropology. *American Journal of Biological Anthropology* 137(S47): 33–52.
- DIRKMAAT, D.C.; L.L. CABO. 2012. Forensic Anthropology: Embracing the New Paradigm. In *A Companion to Forensic Anthropology*, edited by D.C. Dirkmaat, pp. 1–40. Blackwell Publishing.
- FLEGONTOV, P. ET ALII. 2019. Palaeo-Eskimo genetic ancestry and the peopling of Chukotka and North America. *Nature* 570: 236–240.
- FORD, J.A.; STEWARD, J.H. 1954. On the Concept of Types. *American Anthropologist* 56(1): 42–57.
- FREITAS, F. DE O. 2001. *Estudo genético-evolutivo de amostras modernas e arqueológicas de milho (Zea mays, L.) e feijão (Phaseolus vulgaris, L.)*. Tese (Doutorado em Agronomia). São Paulo: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- FREITAS, F. DE O. 2002. Análises Genéticas em Material Arqueológico. *Documentos* 80: 7–22. Embrapa: Recursos Genéticos e Biotecnologia. Brasília.
- FREITAS, F. DE O. 2006. Evidências genético-arqueológicas sobre a origem do feijão comum no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 41(7): 1199–1203.
- GOODWIN, W.; A. LINACRE; S. HADI. 2011. *An Introduction to Forensic Genetics*. John Wiley & Sons.
- HALDER, I. ET ALII. 2008. A panel of ancestry informative markers for estimating individual biogeographical ancestry and admixture from four continents: utility and applications. *Human Mutation* 29(5): 648–658.
- HEFNER, J.T. 2009. Cranial Nonmetric Variation and Estimating Ancestry. *Journal of Forensic Sciences* 54(5): 985–995.
- HERRMANN, B.; S. HUMMEL, ED. 2012. *Ancient DNA: Recovery and Analysis of Genetic Material from Paleontological, Archaeological, Museum, Medical, and Forensic Specimens*. Springer.
- HUMMEL, S. 2003. *Ancient DNA Typing: Methods, Strategies and Applications*. Springer.
- HUMMEL, S. 2007. Ancient DNA. In *Handbook of Paleoanthropology*, edited by W. Henke & I. Tattersall, pp. 763–790. Springer.
- ISCAN, M.Y.; M. STEYN. 2013. *The Human Skeleton in Forensic Medicine*. C.C. Thomas.
- KAMPUANSAI, J. ET ALII. 2020. Paternal genetic history of the Yong population in northern Thailand revealed by Y-chromosomal haplotypes and haplogroups. *Molecular Genetics and Genomics* 295: 579–589.
- KAYSER, M. ET ALII. 2005. Significant genetic differentiation between Poland and Germany follows present-day political borders, as revealed by Y-chromosome analysis. *Human Genetics* 117: 428–443.
- KROGMAN, W.M. 1955. The human skeleton in forensic medicine. I. *Postgraduate Medicine* 17(2): A-48 *passim*.
- KROGMAN, W.M. 1962. *The human skeleton in Forensic Medicine*. C.C. Thomas.
- LINDERHOLM, A. 2016. Ancient DNA: the next generation—chapter and verse. *Biological Journal of the Linnean Society* 117(1): 150–160.
- MARTINIANO, R. ET ALII. 2017. The population genomics of archaeological transition in west Iberia: Investigation of ancient substructure using imputation and haplotype-based methods. *PLoS Genetics* 13(7): e1006852.
- MORENO-MAYAR, J.V. ET ALII. 2018a. Early human dispersals within the Americas. *Science* 362(6419): eaav2621.
- MORENO-MAYAR, J.V. ET ALII. 2018b. Terminal Pleistocene Alaskan genome reveals first founding population of Native Americans. *Nature* 553: 203–207.

- MUTZENBERG, D. C. S. *ET ALII*. 2015. Fundamentos da diagênese óssea e suas formas de avaliação usando as técnicas espectroscópicas de FTIR-ATR e DRX. *Clio Arqueológica* 30(2): 154–188.
- NAGEL, J. 1994. Constructing Ethnicity: Creating and Recreating Ethnic Identity and Culture. *Social Problems* 41(1): 152–176.
- NAIDOO, N. *ET ALII*. 2011. Human genetics and genomics a decade after the release of the draft sequence of the human genome. *Human Genomics* 5: 577.
- PETRAGLIA, M.D. *ET ALII*. 2012. Hominin Dispersal into the Nefud Desert and Middle Palaeolithic Settlement along the Jubbah Palaeolake, Northern Arabia. *PLoS ONE* 7(11): e49840.
- POSTH, C. *ET ALII*. 2018. Reconstructing the Deep Population History of Central and South America. *Cell* 175(5): 1185–1197. e22.
- RENFREW, C. 2001. From molecular genetics to archaeogenetics. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 98(9): 4830–4832.
- RENFREW, C.; P. BAHN, EDs. 2013. *Archaeology: The Key Concepts*. Routledge.
- SANTOS, A.L.C. DOS. 2016. *Estudo da diagênese óssea e experimento de datação direta dos sepultamentos do Sítio Arqueológico Pedra do Alexandre, RN*. 2016. Dissertação (Mestrado em Arqueologia). Recife: Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Pernambuco.
- SANTOS, A.L.C. DOS; A. OWINGS; H.S.L. SULLASI; O. GOKCUMEN; M. DEGIORGIO; J. LINDO. 2022. Genomic evidence for ancient human migration routes along South America's Atlantic coast. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 289: 20221078.
- SANTOS, A.L.C. DOS; H.S.L. SULLASI. 2016. Implicações Microscópicas da Tafonomia ao Emprego de Métodos e Técnicas Forenses em Arqueologia. *Fundamentos* 13: 108–130.
- SANTOS, A.L.C. DOS; H.S.L. SULLASI; O. GOKCUMEN; J. LINDO; M. DEGIORGIO. 2023. Spatiotemporal fluctuations of population structure in the Americas revealed by a meta-analysis of the first decade of archaeogenomes. *American Journal of Biological Anthropology* 180(4): 703–714.
- SANTOS, A.L.C. DOS; H.S.L. SULLASI; S.F.S.M. DA SILVA. 2020. Estudos da diagênese óssea e experimento de datação direta dos sepultamentos do sítio arqueológico Pedra do Alexandre, RN. *Clio Arqueológica* 35(1): 143–189.
- SANTOS, F.R. 2008. O povoamento das Américas através de estudos de ancestralidade paterna. *Fundamentos* 7: 191–203.
- SAUER, N.J. 1992. Forensic anthropology and the concept of race: If races don't exist, why are forensic anthropologists so good at identifying them? *Social Science & Medicine* 34(2): 107–111.
- SEMINO, O. *ET ALII*. 2000. The genetic Legacy of Paleolithic *Homo sapiens sapiens* in Extant Europeans: A Y Chromosome Perspective. *Science* 290(5494): 1155–1159.
- SHILLITO, L.M. 2013. Archaeology under the microscope. *The Post Hole* 30: 30–35.
- SHRIVER, M.D.; R.A. KITTLES. 2004. Genetic ancestry and the search for personalized genetic histories. *Nature Reviews Genetics* 5: 611–618.
- SILVA, S.F.S.M. DA; N.C. GHETTI; C.R.B. SANTOS. 2016. Ensaio sobre preservação de materiais arqueológicos de natureza orgânica da RETEC-ARQ da UFPE: remanescentes ósseos humanos. In *Anais do IV Seminário de Preservação de Patrimônio Arqueológico*, pp. 402–432. Rio de Janeiro: Museu de Astronomia e Ciências Afins.
- SOLARI, A.; G. MARTIN; S.F.S.M. DA SILVA. 2016. A Presença Infantil no Registro Bioarqueológico no Sítio Pedra do Alexandre, Carnaúba dos Dantas, RN, Brasil. *Fundamentos* 13: 4–30.
- SPAUDLING, A.C. 1953. Statistical Techniques for the Discovery of Artifact Types. *American Antiquity* 18(4): 305–313.
- SULLASI, H.S.L. *ET ALII*. 2017. A Note on Diagenetic Parameters for Bone Remains from Pedra do Alexandre Site without Sample Destruction. *Fundamentos* 19: 74–85.
- SULLASI, H.S.L.; A.L.C. DOS SANTOS; S.F.S.M. DA SILVA. 2018. Bone diagenesis study of the burials from the Pedra do Alexandre archaeological site, Carnaúba dos Dantas, RN. *Cadernos do Lepaarq* 15(30): 162–178.
- WALKER, M. 2005. *Quaternary Dating Methods*. John Wiley & Sons.
- WEINER, S. 2010. *Microarchaeology: Beyond the Visible Archaeological Record*. Cambridge University Press.



RESEARCH REPORT

# AVANCE PARA UNA NECESARIA AMPLIACIÓN DEL POLÍGONO PATRIMONIAL PROTEGIDO DE LOURDES MACAJÍ (RIOBAMBA, ECUADOR)

*Advance for a Needed Expansion of the Protected Heritage Site of Lourdes Macají, Riobamba, Ecuador*

*Pedro A. Carretero Poblete,<sup>1</sup> María Gabriela Zúñiga Rodríguez,<sup>1</sup> Andrea Natalí Zárate Villacrés,<sup>1</sup> Mauro J. Jiménez Granizo<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

<sup>2</sup> Facultad de Recursos Naturales, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

(✉ [pcarretero@unach.edu.ec](mailto:pcarretero@unach.edu.ec))

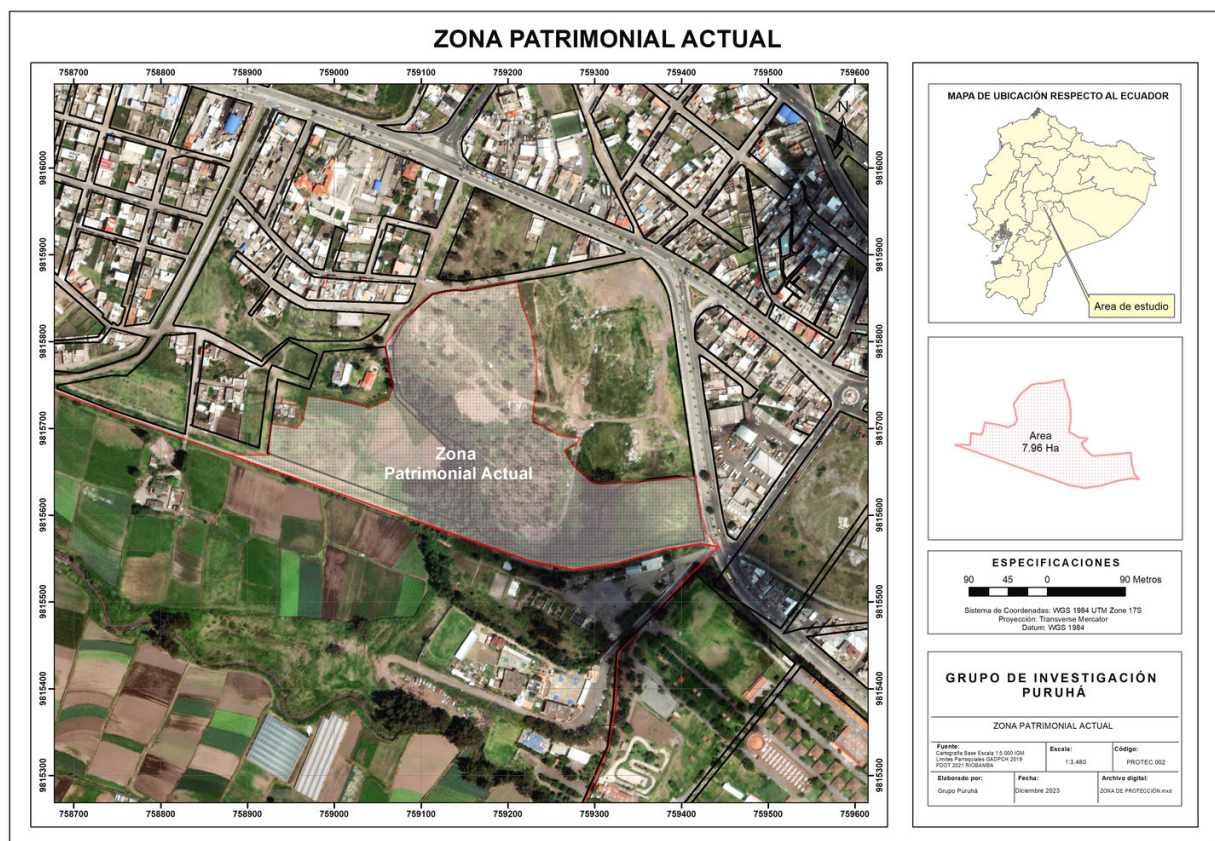


Figura 1. Área actualmente protegida en Macají por el PDOT del GAD Municipal de Riobamba.

**RESUMEN.** Se presenta un avance del proyecto de investigación de la Universidad Nacional de Chimborazo sobre la solicitud de ampliación del polígono patrimonial arqueológico urbano de Lourdes Macají en Riobamba (Ecuador), para la cual se utilizará metodología basada en un SIG, drones y prospección arqueológica superficial. La desprotección del sitio nos hace temer por su destrucción definitiva, además de las intervenciones poco ortodoxas realizadas hasta

Recibido: 9/1/2024. Aceptado: 24/1/2024. Publicado: 2/2/2024.

*ahora. Se propone no permitir realizar más trabajos invasivos en el terreno y ampliar el polígono de protección, dada la abundancia de materiales arqueológicos detectados en un primer examen visual.*

**PALABRAS CLAVE.** *Arqueología puruhá, prospección arqueológica, Lourdes Macají, Riobamba, Ecuador.*

**ABSTRACT.** *We present an advance of a research project of the National University of Chimborazo on the request for the extension of the urban archaeological heritage site of Lourdes Macají at Riobamba, Ecuador, for which we will use a methodology based on a GIS, drones, and surface archaeological survey. The lack of protection of this site makes us fear for its definitive destruction, in addition to the unorthodox interventions carried out so far. It is proposed not to allow any more invasive works in the field and to extend the protection polygon, given the abundance of archaeological materials detected in a first visual inspection.*

**KEYWORDS.** *Puruha archaeology, archaeological survey, Lourdes Macají, Riobamba, Ecuador.*

## INTRODUCCIÓN

El área patrimonial protegida de Lourdes Macají (Riobamba, Ecuador) se encuentra situada junto al río Chibunga (figura 1). Forma una meseta que ha sido muy modificada, no solo por la naturaleza y las continuas erupciones de los volcanes que rodean la ciudad, sino también por elementos antrópicos, así como por las diversas intervenciones de las que ha sido objeto y sobre las cuales no tenemos todos los datos que deseáramos. Macají se encuentra en una zona de expansión de la ciudad de Riobamba, un terreno de 9,33 hectáreas muy deseado. En el último plan de uso y gestión del suelo de Riobamba (GADM Riobamba 2020) se determinó para el espacio de Macají un uso residencial al tiempo que una zona de protección arqueológica emergente. Sin embargo, el lugar ha sido continuamente afectado por intervenciones en extensión no sistemáticas, buscando restos arqueológicos, sin un proyecto claro de puesta en valor del sitio y una mayor protección. Al contrario, el lugar cada vez se encuentra con más desprotección debido al ansia expansionista de la ciudad en esta zona y al uso continuado del mismo como vertedero.

## HISTORIA DE LAS INTERVENCIONES ARQUEOLÓGICAS EN MACAJÍ

Según cuenta Proaño (1918), quien nunca excavó personalmente en Macají, la primera intervención en el sitio fue fruto de la construcción de la trinchera del ferrocarril (1917), cuando empezaron a aflorar numerosos objetos arqueológicos. Se extendió rápidamente la noticia de que había abundantes restos arqueológicos

en la zona desde 1882, momento en el que llegó hasta el lugar un conocido expoliador colombiano llamado José Velasco, quien realizó una serie de agujeros en busca de metales preciosos para la venta, dejando bastante afectado y removido el lugar, sobre todo en el entorno de la plataforma superior que se encuentra actualmente en el predio propiedad de la Cooperativa de Vivienda Urbana Los Nardos.

Posteriormente, también atraído por las noticias de los constructores del ferrocarril y del conocido huaquero Velasco, intervino el lugar un asistente de Proaño, quien documentó una serie de estructuras que casi no fueron difundidas (1918).

En el año 1918, Jijón y Caamaño (1927) planteó una excavación en la misma zona de la Cooperativa Los Nardos. En dicha intervención recuperó numerosos artefactos, sobre todo cerámicos, que documentó en su obra, y una serie de posibles estructuras de cantos rodados, aunque en ninguna de ellas se aprecia una fosa de cimentación. Pudo detectar que los restos encontrados por él pertenecían a un solo momento de ocupación, ya que bajo ellos se encontraba una tierra de cangahua posiblemente fruto de un aluvión de los volcanes aledaños, y que esta fase estaba sellada por restos de erupciones del Chimborazo o del Tungurahua.

Sin embargo, puede que no se acabara todo el estrato arqueológico y que debajo del aluvión de cangahua existan restos anteriores de la cultura puruhá. Este estrato bien sellado, perteneciente a dicha cultura, fue adscrito por Jijón a una cultura anterior a los restos que había documentado en Guano, denominando Proto-panzaleo al periodo y asociándolo a esta cultura del norte de Ambato en torno al año 50 a. C.

No obstante, la revisión de los materiales publicados por Jijón nos muestra unos elementos propios de la cul-



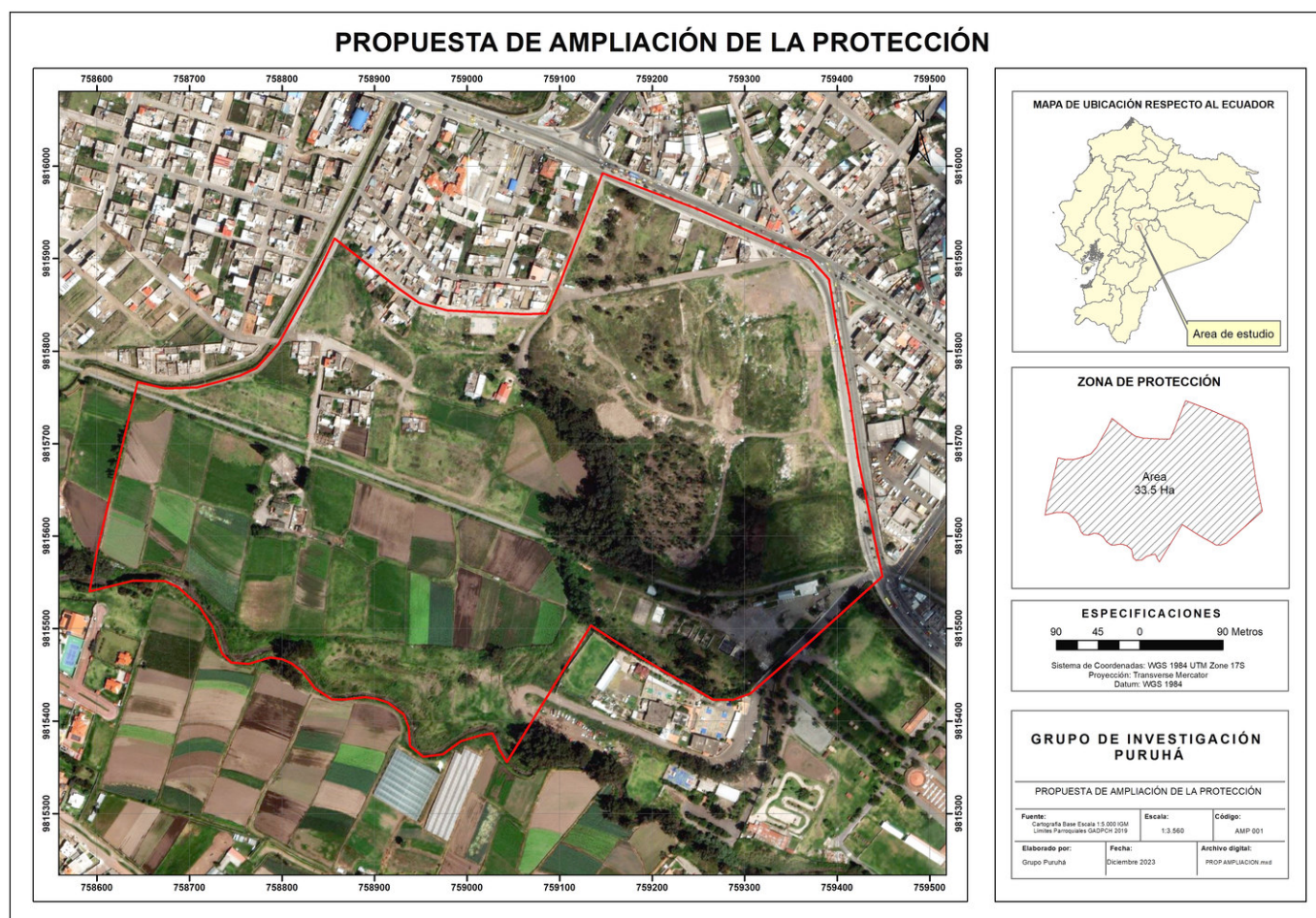


Figura 2. Propuesta de ampliación del polígono de protección arqueológica de Macají.

tura puruhá, ya asentada hacía siglos en la zona, que son posteriores (Carretero y Samaniego 2017; Carretero *et al.* 2023) a los más antiguos documentados en el cercano cerro de Collay (800 a. C.).

La tierra removida hasta ese momento nos hace ver que esta zona, en la que se encuentra la actual Cooperativa de Viviendas Los Nardos, ha sido intervenida constantemente y aplanada, sobre todo para el cultivo; por lo cual creemos que una nueva intervención arqueológica en este sector no va a deparar muchos restos significativos.

En 1992, los arqueólogos Francisco Sánchez y Fabián Villalba, del Instituto Nacional de Patrimonio Cultural del Ecuador, realizaron una nueva serie de intervenciones en el predio, con nueve zanjas y sondeos por toda la zona declarada de protección, a raíz del proyecto de creación de un Mercado Zonal por parte del Municipio de Riobamba.

Estas zanjas se llevaron a cabo al este del terreno, en un lugar algo más elevado que ocupa unas 2 hectáreas, lleno de eucaliptos y que contaba con numerosos pozos de saqueo. Los arqueólogos documentaron allí dos

estructuras líticas rectangulares, una exterior y otra interior, muy deterioradas por los saqueos y sobre las cuales no nos ofrecen más datos en sus informes (Sánchez 1992).

En cuanto a la función de estas estructuras, en sus informes señalan que pudieron pertenecer a un «centro astronómico» debido a la disposición de las piedras, a un conjunto de hábitat de algún cacique o a un centro ceremonial. No obstante, desde nuestro punto de vista y viendo la tipología cerámica que se encuentra en el lugar, nos queda sobradamente claro que debió ser una necrópolis puruhá que se extiende casi hasta la Avenida 9 de Octubre.

Posteriormente, a finales del año 2022 y contratado por la Cooperativa Los Nardos, un equipo de arqueólogos realizó una serie de 90 sondeos y dos ampliaciones, en el área perteneciente a esa entidad dentro de la zona protegida, con la finalidad de liberar el espacio para iniciar la construcción de viviendas.

Sin embargo, la aparición de numerosos fragmentos de cerámica puruhá y moderna, así como algunas hileras de cantos rodados que no se pueden identificar





Figura 3. Perfil noreste visible con numerosos restos arqueológicos y óseos.

como muros en las fotografías difundidas, estaría indicando que, muy posiblemente, estos sondeos o pozos fueron realizados sobre la misma zona en que intervinieron Proaño y Jijón y Caamaño, correspondiente a un terreno continuamente removido y aplanado, el cual ha podido quedar inservible para la realización de una excavación arqueológica en extensión que pueda determinar la funcionalidad de este espacio.

## RESULTADOS PRELIMINARES

La visita al sitio, como parte de la preparación del proyecto de investigación aprobado por la Universidad Nacional de Chimborazo denominado «Ampliación del polígono de protección arqueológica del sitio patrimonial Macají (Riobamba, Chimborazo, Ecuador)», ha podido determinar en un primer examen visual que el área de protección debe ser ampliada. En superficie, se encuentran numerosos restos cerámicos muy fragmen-

tados debido a las continuas intervenciones ilegales con maquinaria pesada y las labores del campo. En la zona este del terreno protegido (coordenadas UTM, zona 17M, 759279.84-9815802.68), cerca de donde se suele instalar un circo y en un corte hecho por maquinaria (figura 3), se pueden apreciar numerosos indicios de enterramientos puruhaes con restos de cerámica y huesos.

En la zona más al norte (759154.96-9815972.70), junto a las viviendas ya construidas y al lado del camino de tierra que lleva a la gruta de Lourdes Macají y la Avenida 9 de Octubre, la aparición en superficie del mismo tipo de cerámica puruhá da a entender que en esta zona también existen numerosos enterramientos, los cuales, muy posiblemente, permanezcan aún intactos por hallarse en un terreno que no ha sido cultivado.

En cuanto a la zona más al sur, el polígono de protección actual (GADM Riobamba 2020) solo llega hasta la trinchera del tren. Sin embargo, se ha podido constatar la existencia de restos cerámicos hasta toda la lí-



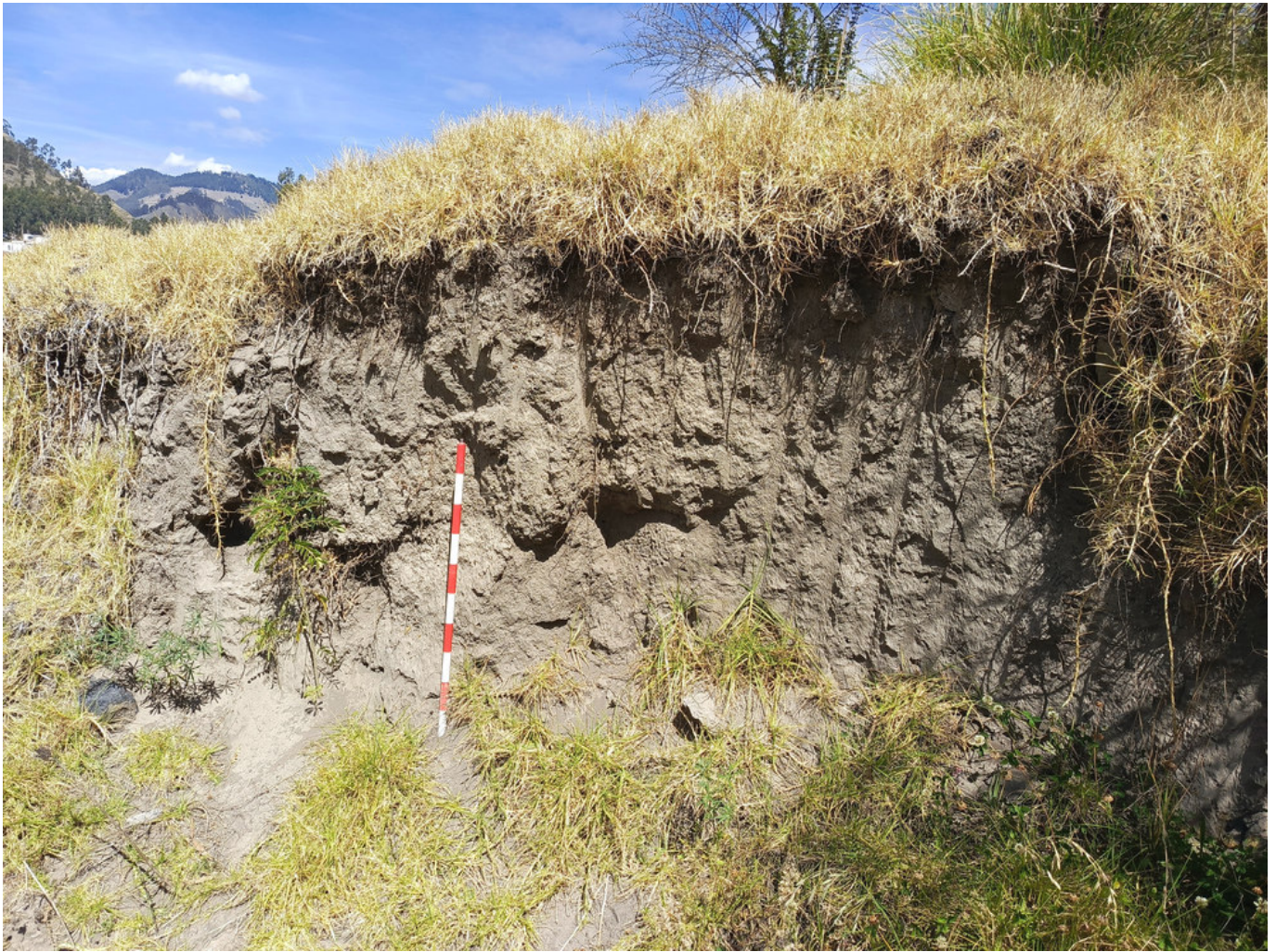


Figura 4. Perfil suroeste con manipulación de maquinaria pesada y restos arqueológicos cerámicos.

nea actual que desciende por una pared hasta el río Chibunga; es decir, los restos arqueológicos siguen, como mínimo, hasta el límite del curso fluvial por su lado sureste, desde el actual Colegio Jefferson (759085.82-9815377.30), y por el suroeste, por lo menos, hasta las coordenadas 758692.39-9815564.40 (figura 4).

Con todos estos indicios superficiales se hace necesaria una nueva prospección arqueológica superficial de la zona, de forma sistemática, que no sea invasiva y no cuente con más sondeos o pruebas de pala que puedan destruir más restos, de cara a ampliar el polígono de protección (Chapa *et al.* 2003; Mayoral *et al.* 2009). Lo necesario es una intervención arqueológica en extensión.

## CONCLUSIONES

La revisión superficial y preliminar del terreno indica que el Municipio de Riobamba debe proceder al va-

llado urgente del sitio, ya que la propia maquinaria municipal sigue acudiendo al lugar a hacer prácticas, al mismo tiempo que tanto el Municipio de Riobamba como la Prefectura de Chimborazo continúan utilizando el terreno como basurero.

Se plantea no solo la ampliación del polígono con la máxima protección, dada la importancia del sitio al ser el único asentamiento arqueológico documentado hasta ahora dentro de la ciudad, sino también la creación de un parque arqueológico donde se vaya interviniendo en el terreno paulatinamente, de forma que se pueda poner en valor y hacer visitable en algún momento a medio plazo. De lo contrario, se producirá una gran pérdida para la reconstrucción histórica de la ocupación puruhá en la actual Riobamba.

La realización del citado proyecto de investigación tiene como fin la ampliación del polígono arqueológico y, por consiguiente, la protección jurídica del nuevo espacio para que no pueda seguir siendo alterado y se evite su destrucción y pérdida total.

## BIBLIOGRAFÍA

- CARRETERO, P. A.; W. M. SAMANIEGO. 2017. Prospección arqueológica en el sitio Puruhá de Collay, Riobamba, Ecuador. *Arqueología Iberoamericana* 33: 18-26.
- CARRETERO, P. A.; M. JIMÉNEZ; J. ILLICACHI; N. ESTRADA. 2023. Una aproximación actual a la cronología relativa de los puruhaes prehispánicos de Ecuador. *Arqueología Iberoamericana* 52: 21-28.
- CHAPA, T.; A. URIARTE; J. M. VICENT; V. MAYORAL; J. PEREIRA. 2003. Propuesta metodológica para una prospección arqueológica sistemática: el caso del Guadiana Menor (Jaén, España). *Trabajos de Prehistoria* 60, 1: 11-34.
- GADM RIOBAMBA. 2020. *Actualización del plan de uso y gestión del suelo del cantón Riobamba*. Riobamba: GADM Riobamba.
- JIJÓN Y CAAMAÑO, J. 1927. *Puruhá. Contribución al conocimiento de los aborígenes de la provincia de Chimborazo de la República del Ecuador*. Quito: Tipografía y Encuadernación Salesianas.
- MAYORAL, V.; E. CERRILLO; S. CELESTINO. 2009. Métodos de prospección arqueológica intensiva en el marco de un proyecto regional: el caso de la comarca de La Serena (Badajoz). *Trabajos de Prehistoria* 66, 1: 7-26.
- PROAÑO, J. F. 1918. La tola de Macají, estudio prehistórico. *Diario El Observador*, n.º 81, 4 de julio de 1918. Riobamba.
- SÁNCHEZ, F. 1992. *Informes parciales de las excavaciones arqueológicas del sitio Macají correspondientes a los meses de enero, febrero, marzo, abril y mayo de 1992*. Quito: Instituto Nacional de Patrimonio Cultural.



RESEARCH ARTICLE

# LAJEDO DO RIACHO BRAÇO FORTE: UM REPOSITÓRIO DE MARCAS ANTIGAS DE ATIVIDADE HUMANA NO CAMINHO DAS ÁGUAS, BRASIL

*Lajedo do Riacho Braço Forte: A Repository of Ancient Marks of Human Activity on the Path of the Waters, Brazil*

*Luis Carlos Duarte Cavalcante  
José Weverton Lima de Sousa  
Heralda Kelis Sousa Bezerra da Silva  
Sônia Maria Campelo Magalhães*

Laboratório de Arqueometria e Arte Rupestre, Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina, Piauí, Brasil  
(✉ [cavalcanteufpi@ufpi.edu.br](mailto:cavalcanteufpi@ufpi.edu.br))

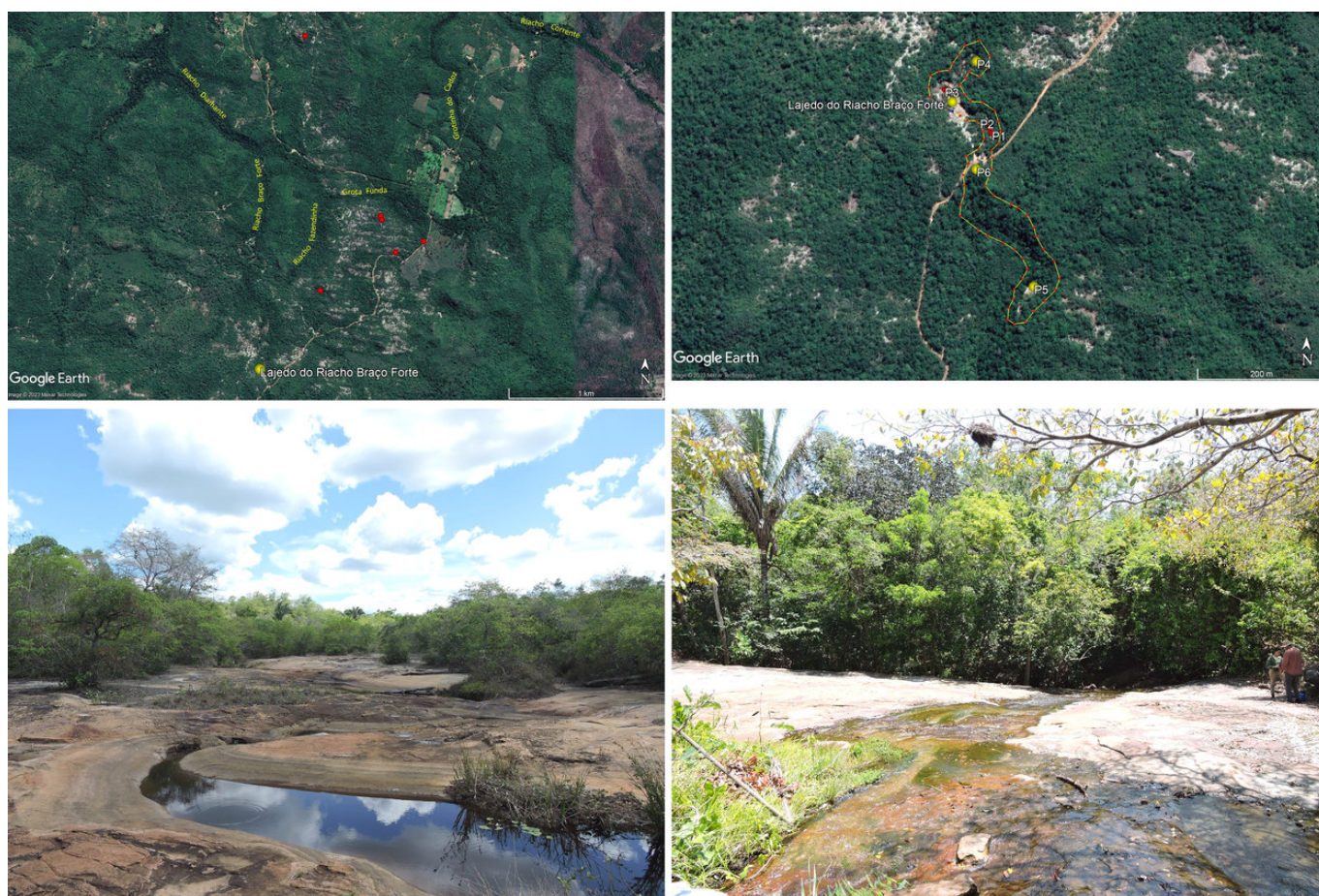


Figura 1. Localização do sítio arqueológico Lajedo do Riacho Braço Forte e de outros sítios próximos (bolinhas vermelhas); distribuição espacial dos seis pontos de ocorrência de marcas de atividade humana antiga no sítio em foco; e vistas panorâmicas de dois pontos do lajedo em que remanescentes arqueológicos são encontrados.

*Recebido: 11/1/2024. Aceito: 24/1/2024. Publicado: 5/2/2024.*

**RESUMO.** O Lajedo do Riacho Braço Forte é um sítio arqueológico a céu aberto localizado ao longo do leito rochoso do referido riacho, na área rural de Piripiri, norte do Piauí, Brasil. O objetivo deste trabalho é apresentar os primeiros dados do levantamento do sítio arqueológico recém-encontrado e seus problemas de conservação. O procedimento prático em campo constou de i) obtenção das coordenadas geográficas de localização; ii) levantamento dos amoladores-polidores fixos, dos almofarizes e das cúpules, assim como dos problemas de degradação; iii) registro fotográfico panorâmico e de detalhes dos vestígios arqueológicos e dos problemas de degradação; iv) prospecção no entorno do sítio e v) monitoramento em diferentes expedições. O novo sítio consiste de seis pontos de concentração de marcas de atividade humana antiga, tais como amoladores-polidores fixos (identificados nas formas canaleta ou friso, canoa e bacia de polimento), almofarizes ou pilões e cúpules, além de alguns vestígios líticos. Em termos numéricos foram encontrados mais de 11 almofarizes ou pilões, 6 vestígios líticos, mais de 42 amoladores-polidores fixos, além de algumas cúpules. O local é usado como área de lazer e para a lavagem de roupas e por isso enfrenta intensos problemas de degradação causados pelos usuários, sobretudo deposição de lixo, somados ao efeito erosivo natural e ao acúmulo de sucessivas gerações de microrganismos.

**PALAVRAS-CHAVE.** Amoladores-polidores fixos, almofarizes, pilões, cúpules, problemas de conservação, Lajedo do Riacho Braço Forte, Brasil.

**ABSTRACT.** Lajedo do Riacho Braço Forte is an open-air archaeological site located along the rocky bed of the aforementioned stream, in the rural area of Piripiri, northern Piauí, Brazil. The aim of this paper is to present the first data from the survey of the recently found archaeological site and its conservation problems. The practical procedure in the field consisted of (i) obtaining the geographic coordinates of location; (ii) surveying the fixed sharpeners-polishers, mortars or pestles, and cupules, as well as the degradation problems; (iii) panoramic and detailed photographic recording of the archaeological remains and the degradation problems; (iv) prospecting around the site; and (v) monitoring in different expeditions. The new site consists of six points of concentration of ancient human activity marks, such as fixed sharpeners-polishers (identified in the forms of channel or frieze, canoe and polishing basin), mortars or pestles, and cupules, in addition to some lithic remains. In numerical terms, more than 11 mortars or pestles, 6 lithic vestiges, more than 42 fixed sharpeners-polishers, as well as some cupules, were found. The site is used as a recreational area and for washing clothes, and therefore faces intense degradation problems caused by users, especially garbage dumping, in addition to the natural erosive effect and the accumulation of successive generations of microorganisms.

**KEYWORDS.** Fixed sharpeners-polishers, mortars, pestles, cupules, conservation problems, Lajedo do Riacho Braço Forte, Brazil.

## INTRODUÇÃO: PANORAMA SOBRE O CONTEXTO ARQUEOLÓGICO DE PIRIPIRI

Piripiri é um município localizado ao norte do Estado do Piauí banhado pelo rio dos Matos e com um grande potencial arqueológico, expresso, sobretudo, por sítios contendo pinturas rupestres de cores e formas variadas, além de gravuras e pilões ou almofarizes esculpido na rocha, fragmentos cerâmicos, líticos e pigmentos minerais de diferentes cores, testemunhos diversificados de atividades humanas pretéritas (NAP-UFPI/IPHAN 1995, 1997; Cavalcante *et al.* 2014; Cavalcante 2015a, 2016).

As pesquisas realizadas na região remontam ao desenvolvimento de um projeto dedicado ao *Cadastramento e Mapeamento dos Sítios Arqueológicos do Piauí*, empreendido entre 1986 e 2006 (NAP-UFPI/IPHAN

1986-2006), cujos trabalhos em Piripiri ocorreram nos anos de 1995 e 1997, executados por pesquisadoras do Núcleo de Antropologia Pré-Histórica (NAP) da Universidade Federal do Piauí (UFPI). Esse levantamento inicial possibilitou a localização e cadastro de 21 sítios arqueológicos de arte rupestre que até então eram desconhecidos pela comunidade científica. A maioria dos sítios de arte rupestre localiza-se ao longo do vale verdejante do riacho Corrente, sobretudo nos povoados Buriti dos Cavalos, Cadoz Velho e Jardim (Cavalcante 2015a).

Desde abril de 2009, pesquisas sistemáticas têm sido desenvolvidas por Cavalcante em conjunto com alunos do Curso de Graduação e do Mestrado em Arqueologia da Universidade Federal do Piauí, abarcando diferentes abordagens (Cavalcante *et al.* 2014; Cavalcante 2015b, 2022), o que também tem possibilitado





Figura 2. Detalhes de amoladores-polidores fixos do ponto P1.

a descoberta de novos sítios arqueológicos em Piripiri, a exemplo do Fazendinha I (Cavalcante & Rodrigues 2016) e do Entrada do Caminho da Caiçara (Cavalcante *et al.* 2019).

Recentemente, mais seis sítios arqueológicos identificados na localidade Barro, região da Cacimba Preta, até então desconhecidos, foram cadastrados por Ignacio e colaboradores (SICG-IPHAN 2023) no Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional.

Quanto aos períodos em que os sítios arqueológicos de Piripiri foram ocupados, por enquanto ainda se sabe muito pouco a respeito, pois somente dois deles foram parcialmente escavados, o Pedra do Cantagalo I e o Entrada do Caminho da Caiçara, tendo sido obtida uma datação  $^{14}\text{C}$  de  $1180 \pm 30$  anos antes do presente (Beta 420913) para carvões oriundos de uma estrutura de combustão bem preservada em estratigrafia do sítio Pedra do Cantagalo I (Cavalcante *et al.* 2017). Uma segunda datação foi obtida por  $^{14}\text{C}$  para um fragmento cerâmico encontrado em superfície no sítio Pedra do

Atlas, com idade de  $830 \pm 30$  anos antes do presente (Beta 632745) (Cavalcante *et al.* 2022).

O objetivo deste trabalho é apresentar os primeiros dados do levantamento do sítio arqueológico Lajedo do Riacho Braço Forte, recém-encontrado em Piripiri, com foco na descrição do sítio, dos vestígios de atividade humana antiga nele identificados, além dos problemas de degradação que exercem influência em sua conservação.

## TRABALHO DE CAMPO

O procedimento adotado no levantamento do sítio arqueológico Lajedo do Riacho Braço Forte constou das seguintes etapas:

- Obtenção das coordenadas de localização geográfica, usando GPS.
- Levantamento do sítio arqueológico e dos vestígios de atividade humana antiga nele contidos.





Figura 3. Detalhes de amoladores-polidores fixos do ponto P2.

- Levantamento dos problemas de degradação que exercem influência em sua conservação.
- Registro fotográfico panorâmico do sítio arqueológico e de seu entorno, além de registro fotográfico de detalhes dos vestígios de atividade humana antiga nele identificados, e dos problemas de degradação que exercem influência em sua conservação.
- Tomada de medidas dimensionais do sítio e da distribuição espacial dos vestígios arqueológicos.
- Prospecções no entorno e monitoramento periódico.

Esse procedimento de prospecção, levantamento e monitoramento foi implementado de forma sistemática no início de 2009 e desde então tem sido usado rotineiramente na investigação dos sítios de Piripiri e de municípios do entorno (Cavalcante 2015a, 2016).

## O SÍTIO ARQUEOLÓGICO LAJEDO DO RIACHO BRAÇO FORTE

O sítio arqueológico Lajedo do Riacho Braço Forte foi encontrado em uma prospecção de terreno realizada recentemente na área rural de Piripiri. Localizado ao longo do leito rochoso de um pequeno riacho co-

nhecido localmente como Braço Forte, esse novo sítio arqueológico a céu aberto caracteriza-se pela ocorrência de marcas de atividade humana antiga, identificadas por cerca de 550 metros de extensão (Figura 1), tanto do lado esquerdo quanto do lado direito do ponto em que o riacho mencionado cruza com uma estrada vicinal que liga os povoados Pé do Morro e Cadoz Velho. O lajedo consiste de afloramentos rochosos da Formação Cabeças, Membro Oeiras, contornados por uma densa vegetação dominada por espécies do cerrado e da mata de cocais com intrusão de exemplares da caatinga.

### Vestígios de atividade humana

Conforme pode ser observado na Figura 1, seis pontos contendo marcas de atividade humana antiga foram identificados ao longo do sinuoso leito do riacho Braço Forte, em áreas de afloramentos rochosos: o primeiro, segundo, quinto e sexto pontos apresentam a ocorrência de amoladores-polidores fixos; o terceiro ponto contém diversos almofarizes ou pilões; enquanto o quarto ponto apresenta a ocorrência tanto de amoladores-polidores fixos quanto de cúpules, além de alguns vestígios líticos.





Figura 4. Vista panorâmica parcial do grande lajedro rochoso no ponto P3 e detalhes de almofarizes ou pilões nele encontrados.

No ponto P1 foram identificados dezesseis amoladores-polidores fixos em forma de canaletas ou frisos (Figura 2) elaborados em um ângulo do afloramento rochoso.

No ponto P2 foram identificados sete amoladores-polidores fixos em forma de canaletas ou frisos (Figura

3) elaborados em um ângulo do afloramento rochoso, distando aproximadamente 13 metros do ponto P1.

No ponto P3 foram identificados onze almofarizes ou pilões (Figura 4) com diâmetros que variam entre 7 e 19 cm, profundidades variando entre 2,25 e 15,00 cm, ora formando uma tríade (três almofarizes próximos





Figura 5. Detalhes das cúpulas e de amoladores-polidores fixos do ponto P4.

entre si), ora isolados. Os almofarizes ou pilões foram esculpido em um extenso e relativamente plano lajedo, no qual encontram-se dispersos. O terceiro ponto desta aproximadamente 140 metros de P1 e 127 metros de P2.

O ponto P4 de ocorrência de marcas antigas de atividade humana, compõe-se de um afloramento e de

diversos blocos rochosos contendo mais de uma dezena de amoladores-polidores fixos tanto em forma canoa quanto de canaleta ou friso (Figura 5), com sulcos nitidamente mais largos e profundos do que os dos amoladores-polidores identificados nos pontos P1 e P2. Entre os blocos rochosos que compõem o ponto P4, um apresenta indícios de cúpulas. Além dos vestígios









Figura 7. Detalhes de amoladores-polidores fixos do ponto P6.

observadas muitas pichações realizadas com incisões profundas na rocha.

O que é aqui denominado de pichações incisivas consiste de símbolos reconhecíveis e nomes de pessoas realizados no afloramento rochoso pelos frequentadores atuais do riacho.

O lixo deixado tanto nas áreas de banho e lavagem de roupas quanto nos arredores do leito do riacho é composto por materiais diversificados, a exemplo de plásticos, espumas (típicas para colchões e estofados), tecidos variados de roupas, metais, papéis, vidros, entre outros materiais sintéticos. A maioria do lixo é oriunda de materiais usados para a lavagem de roupa.

Estruturas de fogueiras são encontradas sobre os afloramentos rochosos e nos arredores do leito do riacho, e sacos de *nylon* preenchidos com areia são usados para represar a água no trecho do leito correspondente ao ponto P4 de concentração de vestígios arqueológicos. No ponto P4 foi encontrada também uma estrutura em madeira coberta de palhas de palmeiras, usada pelos

frequentadores para proteção contra a radiação solar direta.

No ponto P5 foi encontrada uma escada tosca, feita com troncos e galhos de árvores, usada para facilitar o trânsito entre os dois níveis do terreno. Além disso, capembas de palmeiras foram utilizadas para alterar o trajeto da água do riacho no ponto da cachoeira.

Os problemas de conservação de ordem natural são relativos ao desgaste inevitável do leito rochoso do riacho ao longo do tempo, especialmente em um ambiente com excessiva umidade, resultando no desgaste no arenito que serve de suporte às marcas antigas de atividade humana.

O ambiente úmido e o fato de parte dos amoladores-polidores fixos ficar submersa no período chuvoso, acaba deixando muitas sujidades e materiais orgânicos impregnados nos sulcos, acelerando assim o desgaste dos vestígios arqueológicos. Além da erosão natural, observa-se o acúmulo de sucessivas gerações de microrganismos.





Figura 8. Exemplos de problemas de conservação que atuam na degradação do sítio Lajedo do Riacho Braço Forte.

Três expedições ao sítio Lajedo do Riacho Braço Forte, realizadas em novembro de 2022 e em julho e setembro de 2023, permitiram formular um razoável diagnóstico sobre o estado de conservação desse patrimônio arqueológico, a partir da identificação dos agentes antrópicos e naturais que atuam em sua degradação.

### **BREVES CONSIDERAÇÕES SOBRE AMOLADORES-POLIDORES FIXOS**

Os trabalhos de Maria Cristina Tenório frequentemente são mencionados quando se trata de amoladores-polidores fixos em sítios arqueológicos brasileiros



(Sophiati 2010; Rodrigues-Carvalho *et al.* 2011; Silveira *et al.* 2012; Silva-Santana *et al.* 2013; Oliveira 2013; Andrade 2013; Alessandretti *et al.* 2023).

Para Tenório (2003), os amoladores-polidores fixos são conjuntos de marcas resultantes da confecção de objetos polidos e se caracterizam por terem como suporte grandes blocos rochosos fixos. A pesquisadora citada menciona Amaral (1995), para quem a técnica de polimento é colocada como de execução simples, consistindo, essencialmente, em submeter um objeto a um processo de abrasão com o uso de areia e água, necessitando-se do atrito com uma rocha.

As rochas de abrasão usadas para polir podem ser “pedras de polir”, amoladores-polidores portáteis ou amoladores-polidores fixos, a exemplo dos encontrados no Lajedo do Riacho Braço Forte. Tenório (2003) define cada uma dessas rochas de abrasão, mas para melhor conhecer as marcas de polir encontradas no sítio arqueológico aqui investigado, é suficiente apresentar a definição de amoladores-polidores fixos segundo a autora citada. Tenório (2003) cita uma série de associações que eventualmente têm sido mencionadas em relação a esses remanescentes de atividade humana antiga, mas coloca que, no Brasil, o conjunto de evidências tem levado os arqueólogos a considerarem os amoladores-polidores fixos como instrumentos passivos, resultantes, na maior parte das vezes, da elaboração de lâminas de machado. A mesma autora relata ainda que alguns pesquisadores interpretam esses vestígios para além de instrumentos de trabalho, os considerando também como sinais que caracterizam a paisagem. Tenório destaca que são locais de produção, mas que pode se supor que sejam também pontos de dispersão de artefatos polidos (Tenório 2003).

Julga-se importante mencionar a colocação de Silveira e colaboradores (2012) no sentido em que refletem so-

bre o fato dos amoladores-polidores fixos, enquanto sítios arqueológicos, receberem pouca atenção por parte dos pesquisadores. Os autores citados destacam que “os artefatos líticos confeccionados nesses sítios são considerados mais importantes do que seu lugar de produção”.

Um fato relevante a destacar é a distância do sítio Lajedo do Riacho Braço Forte em relação ao mar, uma vez que a literatura aponta a ocorrência de amoladores-polidores fixos em sítios quase sempre localizados em ilhas e em pontas, próximos a cursos d’água doce que desembocam nas praias (Tenório 2003). A menor distância entre o sítio arqueológico aqui descrito e o mar é de aproximadamente 175 km em linha reta.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O levantamento do sítio Lajedo do Riacho Braço Forte representa uma importante contribuição para o conhecimento mais aprofundado do contexto arqueológico da área que atualmente corresponde ao município de Piripiri, aumentando assim a diversidade de vestígios de atividade humana antiga identificados na região. Nesse tocante, a descrição desse novo sítio, recentemente localizado em prospecções de terreno, é um indicativo de que outros poderão ser localizados, desde que pesquisas sistemáticas tenham continuidade.

De forma resumida, o Lajedo do Riacho Braço Forte concentra amoladores-polidores fixos, identificados nas formas canaleta ou friso, canoa e bacia de polimento. Além disso, almofarizes ou pilões também foram encontrados, estruturas presumidamente utilizadas para a trituração de grãos ou agregados minerais, podendo ter sido ainda utilizadas para macerar ervas. Algumas cúpules e vestígios líticos complementam o acervo de remanescentes arqueológicos encontrados no sítio.

## Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade em pesquisa concedida a L. C. D. Cavalcante (Processo 315709/2020-0); à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de Mestrado concedida a José Weverton Lima de Sousa (Código de Financiamento 001); à Universidade Federal do Piauí (UFPI) pelo apoio com o transporte ao campo.

## REFERÊNCIAS

ALESSANDRETTI, L. *ET ALII.* 2023. Earth, wind and fire: Interactions between Quaternary environmental dynamics and human occupation on the southern coast of Brazil. *Quaternary Science Reviews* 301: 107950.

- AMARAL, M. M. V. 1995. *As oficinas líticas de polimento da Ilha de Santa Catarina*. Dissertação de Mestrado, História. Porto Alegre: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.
- ANDRADE, M. N. 2013. *Os amoladores-polidores fixos do sítio Cabeçuda II, Laguna, SC*. Monografia de Especialização, Geologia do Quaternário. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- CAVALCANTE, L. C. D. 2015a. Pinturas rupestres da região arqueológica de Piripiri, Piauí, Brasil. *Arqueología Iberoamericana* 26: 6-12.
- CAVALCANTE, L. C. D. 2015b. Arqueometria em sítios de arte rupestre da região arqueológica de Piripiri, Piauí, Brasil. *Cadernos do Ceom* 28/43: 7-19.
- CAVALCANTE, L. C. D. 2016. Sítios arqueológicos do Vale do Buriti dos Cavalos: uma breve revisão. *Arqueología Iberoamericana* 30: 16-22.
- CAVALCANTE, L. C. D. 2022. Pedra do Atlas: uma síntese das pesquisas arqueológicas e perspectivas futuras. *Arqueología Iberoamericana* 49: 36-44.
- CAVALCANTE, L. C. D.; A. A. RODRIGUES. 2016. Fazendinha I: descoberta de um novo sítio pré-histórico e descrição preliminar de suas inscrições rupestres e problemas de conservação. *Arqueología Iberoamericana* 30: 44-50.
- CAVALCANTE, L. C. D. *ET ALII*. 2014. Pedra do Cantagalo I: uma síntese das pesquisas arqueológicas. *Arqueología Iberoamericana* 23: 45-60.
- CAVALCANTE, L. C. D. *ET ALII*. 2017. Red and yellow ochres from the archaeological site Pedra do Cantagalo I, in Piripiri, Piauí, Brazil. *Hyperfine Interactions* 238: 22.
- CAVALCANTE, L. C. D. *ET ALII*. 2019. Análise químico-mineralógica e parâmetros de queima de cerâmicas do sítio arqueológico Entrada do Caminho da Caiçara, Brasil. *Arqueología Iberoamericana* 43: 20-34.
- CAVALCANTE, L. C. D. *ET ALII*. 2022. Investigação arqueométrica de cerâmicas arqueológicas do sítio Pedra do Atlas, Brasil. *Arqueología Iberoamericana* 50: 116-127.
- NAP-UFPI/IPHAN. 1995. *Cadastramento e mapeamento dos sítios arqueológicos do Piauí. Relatório de atividades do projeto de levantamento e mapeamento dos sítios arqueológicos do Piauí. 3.ª Etapa*. Teresina: UFPI/IPHAN.
- NAP-UFPI/IPHAN. 1997. *Cadastramento e mapeamento dos sítios arqueológicos do Piauí. Relatório de atividades do projeto de levantamento e mapeamento dos sítios arqueológicos do Piauí. 4.ª Etapa*. Teresina: UFPI/IPHAN.
- NAP-UFPI/IPHAN. 1986-2006. *Cadastramento e mapeamento dos sítios arqueológicos do Piauí. Relatórios de atividades do projeto de levantamento e mapeamento dos sítios arqueológicos do Piauí. 1.ª a 10.ª Etapas*. Teresina: IPHAN/UFPI/FUNDEC.
- OLIVEIRA, N. V. 2013. Oficina lítica de polimento no noroeste do Estado do Rio de Janeiro. *Revista de Arqueologia Pública* 8: 78-86.
- RODRIGUES-CARVALHO, C. *ET ALII*. 2011. Cabeçuda-II: um conjunto de amoladores-polidores evidenciado em Laguna, SC. *Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia* 21: 401-405.
- SICG-IPHAN. 2023. *Realizar a busca de sítios arqueológicos em Piripiri, município ao norte do Estado do Piauí*. <<https://sicg.iphan.gov.br/sicg/pesquisarBem>>.
- SILVA-SANTANA, C. C. *ET ALII*. 2013. Sobre a ocorrência de sítios dos amoladores-polidores fixos no litoral da Bahia. *Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia* 23: 173-177.
- SILVEIRA, M. I. *ET ALII*. 2012. Polidores-afiadores na Amazônia: um estudo de caso na Ilha de Mosqueiro, Pará, Brasil. *Revista de Arqueologia* 25/1: 90-104.
- SOPHIATI, D. G. 2010. *Os amoladores-polidores fixos na paisagem da Ilha de Santa Catarina*. Dissertação de Mestrado, Quaternário e Pré-História. Instituto Politécnico de Tomar, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- TENÓRIO, M. C. 2003. Os amoladores-polidores fixos. *Revista de Arqueologia* 16/1: 87-108.

RESEARCH REPORT

# ANCLAS LÍTICAS Y PLÚMBEAS EN EL MUNDO ANTIGUO: UN ESTADO DE LA CUESTIÓN

## *Lithic and Leaded Anchors in the Ancient World: A State of the Art*

Valentina Purpura,<sup>1</sup> Daniel Becerra Fernández<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Università degli Studi di Palermo, Italia (✉ [valentina.purpura80@gmail.com](mailto:valentina.purpura80@gmail.com))

<sup>2</sup> Universidad de Málaga, España ([dbecerra@uma.es](mailto:dbecerra@uma.es))

**RESUMEN.** *El presente estudio muestra el estado de la investigación sobre las anclas de piedra y plomo en el Mediterráneo durante la Antigüedad, analizando sucintamente los principales trabajos.*

**PALABRAS CLAVE.** *Arqueología subacuática, arqueología clásica, anclas de plomo, anclas de piedra, Mediterráneo antiguo, rutas comerciales, navegación.*

**ABSTRACT.** *This paper shows the state of research on stone and lead anchors in the Mediterranean during Antiquity, analyzing succinctly the main works.*

**KEYWORDS.** *Underwater archaeology, classical archaeology, lead anchors, stone anchors, ancient Mediterranean, trade routes, navigation.*

## INTRODUCCIÓN

Entre los materiales procedentes de intervenciones arqueológicas y hallazgos subacuáticos, las anclas pueden considerarse como uno de los más interesantes y significativos,<sup>1</sup> pues actúan como indicadores silenciosos de rutas comerciales (Avilía 2015). También son relevantes por su utilidad como elementos de datación y para el estudio del simbolismo religioso (figura 1).

<sup>1</sup> Todo esto solamente ocurrió a partir de la década de los cincuenta del siglo XX, con la difusión de los deportes subacuáticos y el posterior desarrollo de las primeras investigaciones en arqueología subacuática iniciadas por Benoit y Lamboglia (Lamboglia 1961, 1969).

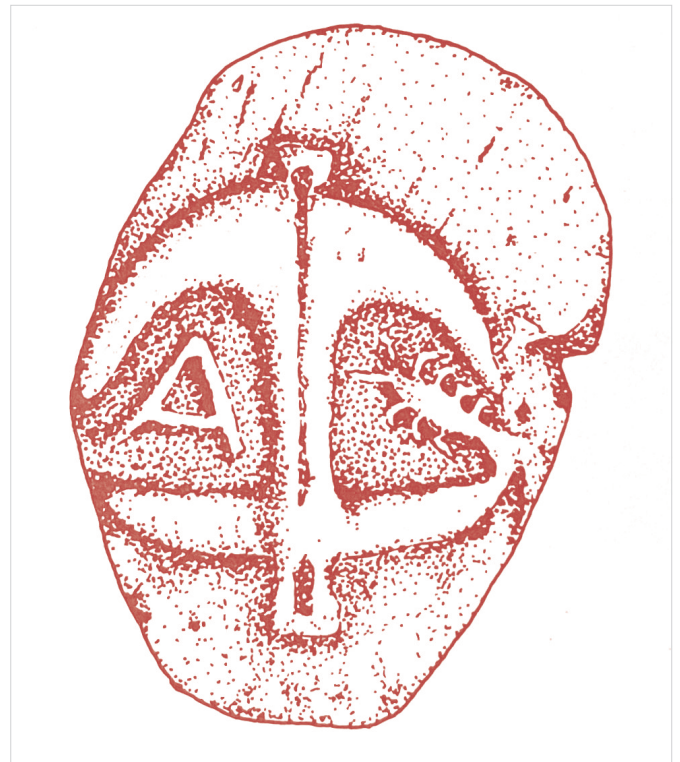


Figura 1. Dracma de Apollonia (Museo Marítimo Nacional de Haifa, Israel) en la que se representa un ancla como motivo de salvación.

El estudio de estas piezas adolece de una problemática metodológica importante, ya que las anclas han sido y son a menudo objeto de recuperación arbitraria con fines de coleccionismo e, incluso, cuando pasan a formar parte de la colección de un museo —tras una incautación o una donación— ya han perdido la mayor parte de su valor histórico-arqueológico por descono-

*Recibido: 4/2/2024. Aceptado: 13/2/2024. Publicado: 21/2/2024.*



cerse el contexto de su hallazgo. A ello se suma que las anclas líticas muchas veces no son reconocibles para el ojo de una persona no experta y en el caso de las anclas de plomo, además de la extracción ilícita y, por tanto, la alteración del contexto original, se produce también la destrucción de la pieza mediante su fundición. Esto ha hecho que se haya recuperado un número ínfimo de anclas, de las que muy pocos ejemplares pueden relacionarse con pecios y, quizás por ello, encontramos en la actualidad un escaso interés por su estudio.

Sin embargo, reconociendo que las anclas asociadas a su contexto son pocas, también debido a pérdidas o abandonos voluntarios por parte de la tripulación de los barcos ya en la Antigüedad, permanece su valor intrínseco que —a pesar de la ausencia del pecio— se convierte en la única señal del paso de un barco antiguo, extrayéndose la mayoría de las veces información útil y elementos de interpretación. Además, aunque es difícil enmarcar cronológicamente las piezas, ya sean líticas o plúmbeas, es innegable el intento de los estudiosos que se han ocupado de la arqueología naval de cada época de rastrear la historia y evolución de las anclas antiguas.

## ESTADO DE LA CUESTIÓN

El estudio sistemático de las anclas puede considerarse un tema reciente. De hecho, han sido tomadas en consideración —no sin errores— a mediados del siglo XIX, cuando el estudioso Auguste Jal (1840)<sup>2</sup> se ocupó de estas piezas en sus escritos sobre la arqueología naval y, posteriormente, a finales de los años veinte, por el ingeniero Friedrich Moll (1929). Más tarde, se produjo un cambio en el enfoque de la historia y del estudio de la evolución del ancla antigua después de la década de los años treinta, cuando Guido Ucelli (1940) investigó en profundidad los barcos de Nemi y las anclas descubiertas en ellos.

Las anclas de Nemi y los descubrimientos posteriores, a menudo fortuitos, de anclas líticas y de plomo en contextos submarinos y terrestres han llevado a los estudiosos de todo el mundo a abordar estos hallazgos. Para el análisis de las anclas de piedra hay que recordar el trabajo pionero de Honor Frost (1970), quien a finales de los años cincuenta —mientras trabajaba en los puertos del Líbano— acabó interesándose por las an-

clas de piedra, creando una clasificación en la que son relevantes las diferencias entre los distintos ejemplares y donde, al menos al principio, faltaba un orden cronológico y tipológico que la propia Frost aplicaría en estudios posteriores (Gianfrotta 1975: 311-318; 1980: 103-106). Esta investigación ulterior dio lugar a una clasificación preliminar y cronológica basándose totalmente en los ejemplares datados y encontrados en tierra firme.

Dicha labor será retomada algunos años más tarde por Piero Alfredo Gianfrotta (1977) y Micaela Perrone (1979). Esta última publicó una obra donde recopila las piezas analizadas, cuida la interpretación histórica y recoge la bibliografía completa, lo que la convierte en una herramienta indispensable para el estudio de las anclas antiguas. De hecho, Micaela Perrone logró ofrecer una clasificación cronológica y tipológica preliminar de las anclas de la Antigüedad elaboradas en hierro y madera y recuperadas en el Mediterráneo, proponiendo también una clara distinción cronológica (figura 2). La investigadora sitúa las anclas de piedra entre las más antiguas, fechadas en la primera mitad del I milenio a. C., seguidas de las anclas de plomo, que aparecen a partir del siglo VI a. C. y permanecen hasta el siglo X d. C., época en la que fueron sustituidas definitivamente por las de hierro. Finalmente, para las de hierro identifica una evolución progresiva que, partiendo de los tipos más antiguos de época romana republicana llega a la época bizantina a través de diversas modificaciones de la forma original, constituyendo el prototipo de las anclas medievales y modernas.

También son dignos de mención los estudios de Vincenzo Tusa (1961, 1967, 1971, 1973), sobre todo en lo que respecta a la historia de la arqueología subacuática en Sicilia, en los cuales se establecen las bases para el estudio de la colección de anclas líticas y plúmbeas del Museo Arqueológico Regional «Antonino Salinas» (Palermo). Este camino fue seguido en los años siguientes por otros estudiosos sicilianos, entre ellos Gianfranco Purpura (1975, 1986, 1993), que se ocupó de diversos hallazgos en la costa de la isla.

En los años ochenta, Dane McCaslin (1980) publicó un trabajo en el que intentaba recoger toda la información difundida hasta entonces sobre los ejemplares de anclas de piedra presentes en el Mediterráneo oriental, tanto en ambiente subacuático como terrestre,<sup>3</sup> atribuibles a la Edad del Bronce, en el cual se combina

<sup>2</sup> El autor, basándose exclusivamente en fuentes históricas, consideró que las anclas eran «grandes tubos recubiertos de plomo».

<sup>3</sup> Estas anclas eran a menudo objetos votivos dentro de un santuario o se utilizaban para rellenar paredes.

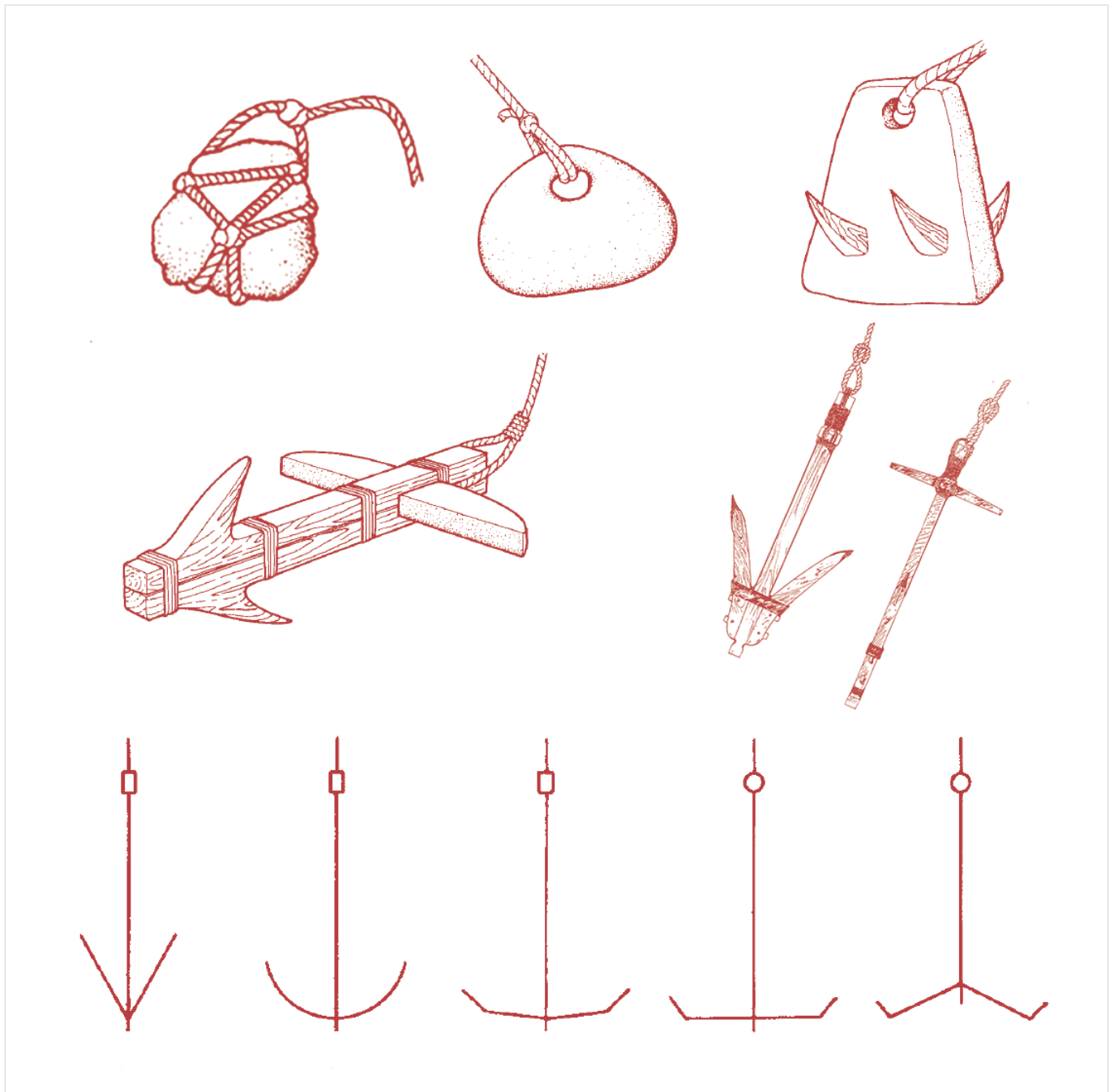


Figura 2. Evolución del ancla de piedra, del ancla con cepa lítica o plomiza y del ancla de hierro (V. Purpura 2023, a partir de Perrone 1979; Kapitän 1984).

análisis e interpretación de las formas tipológicas, aportando —en algunos casos— información sobre los lugares de procedencia; además, traza de forma hipotética, con la ayuda de fuentes literarias orientales, las principales rutas marítimas del Mediterráneo en la Edad del Bronce.

Otros estudios importantes, de principios de los años ochenta y noventa, esta vez más completos, involucrarán a Gerard Kapitän (1984, 1991), que abordará la investigación sobre la evolución tecnológica del ancla antigua, considerando este paso indispensable para com-

prender su presencia en un contexto arqueológico determinado. Además, reconocía que aunque el ancla sin contexto no puede fecharse con certeza, sus características técnicas ofrecen las claves para una clasificación y una cronología aproximada, también establecidas gracias a las dataciones ya conocidas por otros estudios sobre anclas antiguas.

Desde finales de los años ochenta, no han cesado los estudios de arqueología naval y la atención sobre las anclas antiguas. No podemos dejar de mencionar a Piero Dell'Amico, que se ha ocupado en varias ocasiones de



Figura 3. Cepo de ancla de plomo de la *Soprintendenza del Mare-Regione Siciliana* (Purpura 2023: 99-100).

la arqueología naval y, en particular, publicó en 1999 una obra en la que analiza por separado y con gran detalle algunos elementos del barco durante la Antigüedad que muchas veces quedan fuera de los estudios por falta de datos. Aunque su obra puede considerarse la más integral, se debe mencionar un estudio posterior, de 2004 —y luego revisado en 2007—, del ensayista e

historiador Alessandro Papò. Es un volumen íntegramente dedicado a las anclas de piedra en el que ofrece una importante aportación cognitiva con la disposición y clasificación de numerosos ejemplares, incluyendo una revisión iconográfica de más de 300 piezas.

En 2007, el arqueólogo Filippo Avilia intentará ofrecer, por primera vez, un panorama completo de la his-



Figura 4. Mapa de la distribución de las anclas en Sicilia (Purpura 2023: 274).



toria de las anclas antiguas, reuniendo en su obra estudios sobre las anclas líticas y metálicas, así como sus características y peculiaridades, como inscripciones y decoraciones.

A partir de 2007, las contribuciones al conocimiento de las anclas han aumentado considerablemente, estudiándose los ejemplares procedentes de contextos subacuáticos o vinculados a colecciones. Un ejemplo es el trabajo de Ibrahim Nouredine (2016) sobre las anclas de la Edad del Bronce y del Hierro en una posible zona portuaria de la costa de Biblos (actual Líbano), prestando interés a las del *Byblian Type*.

Por su parte, en el año 2023, Valentina Purpura defendió su tesis de especialización en *La Sapienza*, en la cual se centró en las anclas de piedra y de plomo de la *Soprintendenza del Mare-Regione Siciliana* (figuras 3 y 4), compilando la totalidad de las piezas, elaborando

un catálogo de las mismas y realizando un estudio en profundidad, entre otros aspectos, del carácter religioso y de «salvación» de estos ejemplares.

## CONCLUSIONES

En el estado actual de nuestro conocimiento, debemos señalar que los investigadores que han centrado sus esfuerzos científicos en el tema del ancla en el mundo antiguo no han logrado identificar una cronología certera de los distintos tipos, aunque sí aproximada, lo que podría solventarse con el descubrimiento de nuevos ejemplares en contextos inalterados y con el uso de nuevas técnicas de diagnóstico de materiales por parte de la arqueología que, a menudo, presenta dificultades debido a su elevado coste y la falta de fondos.

## Agradecimientos

Queremos agradecer al profesor Ferdinando Maurici, *Soprintendente del Mare della Regione Siciliana*, y a toda la *Soprintendenza*, la ayuda prestada a esta investigación, así como los comentarios y aportaciones de los doctores Eduardo José Jacinto García (Universidad de Córdoba) y Myriam Seco Álvarez (Universidad de Sevilla). Además, Daniel Becerra Fernández cuenta con un contrato de incorporación de doctores del II Plan Propio de Investigación, Transferencia y Divulgación Científica de la Universidad de Málaga, sin el cual no se podría haber realizado este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- AVILIA, F. 2007. *La storia delle ancore*. Roma: Ireco.
- AVILIA, F. 2015. Dalla pietra al metallo: l'evoluzione dell'ancora alla luce dei rinvenimenti di Tarquinia, Gravisca e Pyrgi. En *Un'ancora sul Pianoro della Civita di Tarquinia*, ed. G. Bagnasco = *Aristonothos* 10: 109-127. <<https://doi.org/10.13130/2037-4488/6774>>.
- DELL'AMICO, P. 1999. *Navi e archeologia. Le ancore, i rostri, le sentine e i timoni*. Supplemento alla *Rivista Marittima* 2. Roma.
- FROST, H. 1970. Bronze-Age Stone-Anchors from the Eastern Mediterranean. Dating and Identification. *The Mariner's Mirror* 56, 4: 377-394.
- GIANFROTTA, P. A. 1975. Le ancore votive di Sostrato di Egina e di Faillo di Crotona. *La Parola del Passato* 30: 311-318.
- GIANFROTTA, P. A. 1977. First elements for the dating of stone anchor stocks. *International Journal of Nautical Archaeology* 6, 4: 285-292.
- GIANFROTTA, P. A. 1980. Ancore "romane". Nuovi materiali per lo studio dei traffici marittimi ["Roman" Anchors. New Materials for the Study of Maritime Traffic]. *Memoirs of the American Academy in Rome* 36: 103-116. <<https://www.jstor.org/stable/4238699>>.
- JAL, A. 1840. *Archéologie navale*. Paris: A. Bertrand.
- KAPITÁN, G. 1984. Ancient Anchors: Technology and Classification. *International Journal of Nautical Archaeology* 13, 1: 33-44.
- KAPITÁN, G. 1991. Le ancore antiche. *Archeosub* 79, 8: 75-81.
- LAMBOGLIA, N. 1961. Il rilevamento totale della nave romana di Albenga. *Rivista di Studi Liguri* 27: 213-220.

- LAMBOGLIA, N. 1969. Fernand Benoit. *Studi Etruschi* 37: 571-573.
- MCCASLIN, D. E. 1980. *Stone Anchors in Antiquity: Coastal Settlements and Maritime Trade-Routes in the Eastern Mediterranean ca. 1600-1050 B.C.* Göteborg: Paul Åström.
- NOUREDDINE, I. 2016. Stone anchors off the shore at Byblos. *Baal* 16: 293-308.
- PERRONE, M. 1979. *Ancorae Antiquae. Per una cronologia preliminare delle ancore del Mediterraneo.* Roma: L'Erma di Bretschneider.
- MOLL, F. 1929. *Das Schiff in der bildenden Kunst.* Bonn: K. Schroeder.
- PAPÒ, A. 2004. *Ancore di pietra. Viaggio alle radici della storia.* Roma: Ireco.
- PURPURA, G. 1975. Alcuni rinvenimenti sottomarini lungo le coste della Sicilia nord-occidentale. *Sicilia Archeologica* 8, 28-29: 57-84.
- PURPURA, G. 1986. Rinvenimenti sottomarini nella Sicilia occidentale. *Bollettino d'Arte* 37-38 = *Archeologia Subacquea* 3: 139-160.
- PURPURA, G. 1993. Rinvenimenti sottomarini nella Sicilia occidentale (1986-1989). *Archeologia Subacquea: Studi, Ricerche e Documenti* 1: 163-184.
- PURPURA, V. 2023. "Instrumentum navis". *Le àncore litiche e plumbee della Soprintendenza del Mare-Regione Siciliana.* Tesis de especialización. Roma: La Sapienza, Università di Roma.
- TUSA, V. 1961. Ricerche archeologiche sottomarine sulla costa nord-occidentale della Sicilia. En *Atti del II Congresso Internazionale di Archeologia Sottomarina*, pp. 73-79. Bordighera: Istituto Internazionale di Studi Liguri.
- TUSA, V. 1967. Ancore di pietra nel Museo Nazionale di Palermo. *Rivista di Studi Liguri* 33: 288-299.
- TUSA, V. 1971. I rinvenimenti archeologici sottomarini nella Sicilia nord-occidentale tra il II e il III Congresso Internazionale. En *Atti del III Congresso Internazionale di Archeologia Sottomarina*, pp. 263-295. Bordighera: Istituto Internazionale di Studi Liguri.
- TUSA, V. 1973. Ancore antiche nel Museo di Palermo. En *Marine Archaeology*, ed. D. J. Blackman, pp. 411-437. Londres: Butterworths.
- UCELLI, G. 1950. *Le navi di Nemi.* Roma: Libreria dello Stato.



## ERRATUM

# SOBRE LA LEY DEL COLAPSO DE LAS CIVILIZACIONES SEGÚN LA ARQUEOLOGÍA DE LOS FENÓMENOS SOCIALES (FE DE ERRATAS)

*On the Law of Collapse of Civilizations according  
to the Archaeology of Social Phenomena (Erratum)*

*Pascual Izquierdo-Egea*

Laboratory of Theoretical Archaeology, Spain  
(✉ [arqueologia@laiesken.net](mailto:arqueologia@laiesken.net))

### FE DE ERRATAS

Correspondiente al artículo publicado por *Arqueología Iberoamericana* el 22-12-2021 en el vol. 48, pp. 103-108. En el último párrafo de su pág. 107, dedicado a la reflexión final, donde dice *ideográfica* debe decir *idiográfica* al referirse a la *arqueografía*.

### Referencia Original

IZQUIERDO-EGEA, P. 2021. Sobre la ley del colapso de las civilizaciones según la arqueología de los fenómenos sociales. *Arqueología Iberoamericana* 48: 103-108. <<https://purl.org/aia/4808>>. <<https://n2t.net/ark:/49934/258>>.

*Publicado: 7/3/2024.*

Edited & Published by  
Pascual Izquierdo-Egea [P. I. Egea].  
Arqueol. Iberoam. Open Access Journal.  
Creative Commons License (CC BY 4.0).  
<https://n2t.net/ark:/49934/328>.  
<https://purl.org/aia/5307>.

## ERRATUM

# CHARACTERIZATION AND DATING OF ARCHAEOLOGICAL EXCAVATED HUMAN BONE FROM JORDAN BY HIGH-RESOLUTION $^{31}\text{P}$ AND $^{14}\text{C}$ NMR AND FOURIER TRANSFORMATION INFRARED (ERRATUM)

*Wassef Al Sekhaneh,<sup>1,2</sup> Holger A. Scheidt,<sup>2</sup> Anja Penk,<sup>2</sup> Daniel Huster<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Department of Conservation and Management of Cultural Resources, Faculty of Archaeology and Anthropology, Yarmouk University, P.O. Box 566, Irbid 21163, Jordan; <sup>2</sup> Institute of Medical Physics and Biophysics, Medical Faculty, Leipzig University, D-04107 Leipzig, Germany  
(✉ [sekhaneh@yu.edu.jo](mailto:sekhaneh@yu.edu.jo))

## ERRATUM

Corresponding to the article published by *Arqueología Iberoamericana* on November 30, 2023, volume 52, pp. 144–152. In the title, where it says  $^{14}\text{C}$  it should say  $^{13}\text{C}$ .

## Original Reference

AL-SEKHANEH, W.; H. A. SCHEIDT; A. PENK; D. HUSTER. 2023. Characterization and Dating of Archaeological Excavated Human Bone from Jordan by High-Resolution  $^{31}\text{P}$  and  $^{14}\text{C}$  NMR and Fourier Transformation Infrared. *Arqueología Iberoamericana* 52: 144–152. <<https://purl.org/aia/5217>>. <<https://n2t.net/ark:/49934/318>>.

*Published: March 8, 2024.*

Edited & Published by  
Pascual Izquierdo-Egea [P. I. Egea].  
Arqueol. Iberoam. Open Access Journal.  
Creative Commons License (CC BY 4.0).  
<https://n2t.net/ark:/49934/329>.  
<http://purl.org/aia/5308>.



## RESEARCH NOTE

# OTRO ÍNDICE BIBLIOMÉTRICO QUE MIDE CON MAYOR OBJETIVIDAD LA RELEVANCIA CIENTÍFICA DE LAS REVISTAS ACADÉMICAS SIN USAR LAS CITAS

## *Another Bibliometric Index that Measures More Objectively the Scientific Relevance of Academic Journals without Using Citations*

*Pascual Izquierdo-Egea*

Laboratory of Theoretical Archaeology & Archaeonomy,  
Research Chair in Archaeological Science, Zaragoza, Spain (✉ [arqueologia@laiesken.net](mailto:arqueologia@laiesken.net))

**RESUMEN.** Se presenta el nuevo índice bibliométrico  $J_s$ , el cual es capaz de mejorar la objetividad del índice  $J_z$  publicado recientemente, al medir la relevancia científica de las revistas académicas en función de su producción científica, edad y calidad editorial. Constituye un nuevo avance a la hora de evitar el uso de las citas recibidas, parámetro puesto en entredicho por su fácil manipulación y nula fiabilidad, a pesar de lo cual sigue siendo empleado de forma abusiva para estimar el impacto mediático de las publicaciones.

**PALABRAS CLAVE.** Índice bibliométrico, objetividad, relevancia científica, revistas académicas, citas.

**ABSTRACT.** The new  $J_s$  bibliometric index is presented, which is able to improve the objectivity of the recently published  $J_z$  index by measuring the scientific relevance of academic journals according to their scientific production, age and editorial quality. It constitutes a new advance in avoiding the use of citations received, a parameter that has been called into question due to its easy manipulation and null reliability, despite which it continues to be used in an abusive manner to estimate the media impact of publications.

**KEYWORDS.** Bibliometric index, objectivity, scientific relevance, academic journals, citations.

## INTRODUCCIÓN

Las multinacionales controlan tanto la edición científica como la medición de su impacto y manipulan descaradamente los índices bibliométricos omitiendo las citas recibidas por los artículos publicados en algunas revistas científicas que escapan a su control, cuyo propósito no es otro que el de perjudicar gravemente su posicionamiento. Para combatir esa execrable plaga que domina actualmente el mundo académico internacional, se inició en 2018 «una línea de investigación centrada en el desarrollo de nuevos índices bibliométricos más eficaces y fiables que los habituales» (PIE 2022). Esa iniciativa originó una serie de estudios donde se de-

nunciaba tanto el monopolio como la falsa fiabilidad de los índices que medían el impacto de las revistas científicas: *Implementando un índice que pondere el impacto de una revista científica en función de su juventud* (PIE 2018a), *Implementando un índice más objetivo para medir la relevancia y el impacto de las revistas científicas* (PIE 2018b), *Un nuevo índice bibliométrico para medir el impacto de la producción científica* (PIE 2019), *Un nuevo índice bibliométrico para medir la relevancia científica de las revistas académicas* (PIE 2022) y *Un nuevo índice bibliométrico mejorado para medir con mayor objetividad la relevancia científica de las revistas académicas* (PIE 2023). Se han propuesto alternativas «para evitar esa malsana dependencia de una variable estadística

*Recibido: 11/3/2024. Aceptado: 18/3/2024. Publicado: 25/3/2024.*

tan susceptible de ser manipulada» como son las citas recibidas, ignorando ese parámetro determinante para mensurar el *impacto mediático*. Así surgieron nuevos índices bibliométricos mucho más objetivos que medían «la relevancia científica de una revista científica» en función de la producción científica de la revista, su edad o antigüedad y/o juventud, su acceso abierto pleno, así como la calidad editorial de la misma (PIE 2022, 2023).

## EL NUEVO ÍNDICE BIBLIOMÉTRICO MEJORADO

Recientemente se publicó el índice bibliométrico mejorado  $J_z$ . Este pretendía medir con mayor objetividad la relevancia científica de las revistas académicas y fue concebido a partir de uno más simple:  $J_x = \log (D/T)$  (vide PIE 2022, 2023). Ahora se propone otro índice ( $J_s$ ) que estima con mayor objetividad la relevancia científica de las revistas académicas porque abandona el énfasis en la juventud de la publicación para ponerlo en su edad o antigüedad (T), manteniendo al mismo nivel el parámetro de la producción científica (D). Este último corresponde al número de artículos publicados en un periodo concreto: cuatro años en el caso del índice *CiteScore* de la base de datos *Scopus* (2023) de *Elsevier*. Además, la variable discreta que considera la calidad (Q) se convierte en un factor multiplicador que solo puede tomar dos valores: 1.5 si la revista académica de acceso abierto ha obtenido el sello de calidad *DOAJ Seal* o bien 1 si no lo posee. Todo lo cual permite generar una fórmula más equitativa para calcular la relevancia científica de las revistas académicas evitando el manipulable y nada fiable uso de las citas.

El nuevo índice bibliométrico  $J_s$  es directamente proporcional a la suma de la producción científica de la revista (D) y de su edad en años o antigüedad desde su fundación (T). Ambos parámetros se expresan como logaritmos para suavizar y homogenizar los resultados. Asimismo, el valor obtenido se multiplica por 0.25 o divide por 4 debido al mismo motivo:

$$J_s = 0.25(\log D + \log T) \cdot Q \quad (1)$$

$$J_s = [(\log D + \log T) \cdot Q] / 4 \quad (2)$$

Es decir, este nuevo índice se basa en la producción científica de artículos publicados durante un periodo de cuatro años y favorece exclusivamente la edad o antigüedad de la revista, no su juventud como ocurría con

otros índices propuestos anteriormente:  $iJ_0$  (PIE 2018b) y  $J_x$  (PIE 2022).

Por otro lado, evita caer en la maliciosa trampa de las citas recibidas, terreno minado y manipulado por muchos para favorecer a unas revistas y perjudicar a otras. Curiosamente, son las publicaciones seriadas pertenecientes a grandes grupos editoriales —algunos de los cuales controlan y manejan a su antojo la bibliometría científica internacional— o a instituciones que pagan religiosamente sus abusivas suscripciones las que se ven más favorecidas. Esa descarada manipulación es tan simple y efectiva como omitir buena parte de las citas recibidas para hundir en las estadísticas a revistas independientes o que no aportan beneficio económico a dichas multinacionales. Resulta lamentable ver cómo todavía impera el sinsentido de basar el impacto de una revista científica o de un investigador en las citas recibidas. No hay nada más manipulable. La comunidad académica persiste en esa locura colectiva. Habría que desechar de una vez por todas el impacto y sustituirlo por la relevancia.

Pongamos ejemplos elocuentes. Una revista debería ser más relevante que otras por la importancia de los contenidos que publicase y su calidad editorial, al igual que un investigador lo sería por la trascendencia de sus hallazgos o logros científicos. Si, además, este último trabaja en solitario en un campo vanguardista poniendo en entredicho el paradigma imperante en la comunidad académica actual, siempre obtendrá la misma respuesta: si no pueden refutar las evidencias aportadas, simplemente las ignorarán cobardemente y, con ello, condenarán al más absoluto ostracismo y, con frecuencia, a una *damnatio memoriae* al investigador que cometió tal osadía, el cual será silenciado de por vida como si no hubiera existido jamás.

La efectividad del nuevo índice  $J_s$  ha sido probada con una lista de 200 revistas científicas internacionales o nacionales de arqueología (vide *infra* tablas 1a, 1b, 1c y 1d) para ilustrar su utilidad. Los resultados obtenidos son harto elocuentes y significativos. Lo cual permite vislumbrar la enorme utilidad bibliométrica de este indicador a la hora de medir con enorme objetividad la relevancia científica de todas las revistas académicas.

Quienes sigan creyendo ciegamente en la fiabilidad de los índices de impacto permanecerán en la oscuridad de la ignorancia más absoluta. Aún están a tiempo de asumir una bibliometría objetiva de la mano de nuevas propuestas que midan la relevancia científica en vez de algo tan subjetivo y manipulable como el impacto mediático. Así pues, debemos relegar al olvido,

por su nula fiabilidad al basarse en las citas recibidas, a esos índices que todavía dominan el panorama bibliométrico internacional: *Journal Impact Factor* (Garfield 1955, 1999), *CiteScore* (Scopus 2023), SNIP (Moed 2010; Waltman *et al.* 2013; CWTS Indicators 2023), SJR (González-Pereira *et al.* 2010; Guerrero-Bote y Moya-Anegón 2012; SCImago 2023) o *h-index* (Google Scholar 2023).

## CONCLUSIONES

El nuevo índice bibliométrico  $J_s$  aporta una mejora respecto a los anteriormente propuestos — $J_x$ ,  $J_w$  y  $J_z$  (PIE 2022: 35; 2023: 89)— a la hora de medir la relevancia de una revista científica, ya que, como estos últimos, evita usar las citas recibidas como parámetro fundamental en su estimación. Lo cual permite «abandonar definitivamente» dicha variable «por su dudosa fiabilidad debida a la demostrada manipulación sistemática de que» es «objeto a la hora de determinar el impacto de las publicaciones periódicas» (PIE 2022).

Ya va siendo hora de que todas las instituciones académicas abran los ojos y comprendan la absurdidad de persistir en el abuso de las citas recibidas para estimar el impacto mediático de las revistas en vez de considerar su relevancia científica en función de parámetros fiables. No hay peor ciego que el que no quiere ver.

Es cierto que han surgido otros índices desde que empecé a proponer alternativas a esa problemática en 2018, pero todos ellos caen en la misma trampa al basarse en las citas recibidas. El impacto solo sirve para darse autobombo y las citas recibidas en que se basa niegan la validez objetiva del mismo. La solución radica únicamente en la medición de la relevancia científica de una revista recurriendo a parámetros fiables.

## Reflexión final

Tal como se manifestó tiempo atrás, hay que dejar de manipular «la información a favor de unos y otros en función de los intereses que estén en juego». Nuestro mundo sigue estando controlado por grandes multinacionales que manejan los índices de impacto (*vide* Schekman y Patterson 2013) para decantar la balanza a su favor. La bibliometría debe ser rigurosa y lo más objetiva posible para que las omisiones intencionadas de las citas recibidas, que perjudican a unos y benefician a otros, queden desterradas. Hay que acabar cuanto antes con «la dictadura imperante democratizando los índices bibliométricos» (PIE 2018a: 38; 2022).

## REFERENCIAS

- CWTS INDICATORS. 2023. *Methodology*. <<https://www.journalindicators.com/methodology>>.
- DOAJ. 2023. *Directory of Open Access Journals*. <<https://doaj.org/>>.
- GARFIELD, E. 1955. Citation Indexes for science: A New Dimension in Documentation through Association of Ideas. *Science* 122, 3159: 108-111.
- GARFIELD, E. 1999. Journal impact factor: a brief review. *Canadian Medical Association Journal* 161, 8: 979-980.
- GONZÁLEZ-PEREIRA, B.; V. P. GUERRERO-BOTE; F. MOYA-ANEGÓN. 2010. A new approach to the metric of journals' scientific prestige: The SJR indicator. *Journal of Informetrics* 4, 3: 379-391.
- GOOGLE SCHOLAR. 2023. *Google Scholar Metrics*. <<https://scholar.google.com/scholar/metrics.html#metrics>>.
- GUERRERO-BOTE, V. P.; F. MOYA-ANEGÓN. 2012. A further step forward in measuring journals' scientific prestige: The SJR2 indicator. *Journal of Informetrics* 6, 4: 674-688.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2018a. Implementando un índice que pondere el impacto de una revista científica en función de su juventud. *Arqueología Iberoamericana* 37: 31-39.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2018b. Implementando un índice más objetivo para medir la relevancia y el impacto de las revistas científicas. *Arqueología Iberoamericana* 53: 28-34.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2019. Un nuevo índice bibliométrico para medir el impacto de la producción científica. *Arqueología Iberoamericana* 41: 41-44.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2022. Un nuevo índice bibliométrico para medir la relevancia científica de las revistas académicas. *Arqueología Iberoamericana* 49: 32-35.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2023. Un nuevo índice bibliométrico mejorado para medir con mayor objetividad la relevancia científica de las revistas académicas. *Arqueología Iberoamericana* 51: 88-91.
- MOED, H. F. 2010. Measuring contextual citation impact of scientific journals. *Journal of Informetrics* 4, 3: 265-277.
- SCHEKMAN, R.; M. PATTERSON. 2013. Science Policy: Reforming research assessment. *eLife* 2: e00855. <<https://doi.org/10.7554/eLife.00855>>.
- SCIMAGO. 2023. *SJR — SCImago Journal & Country Rank*. <<https://www.scimagojr.com>>.
- SCOPUS. 2023. *CiteScore 2022*. <<https://www.scopus.com/sources>>.
- WALTMAN, L.; N. J. VAN ECK; T. N. VAN LEEUWEN; M. S. VISSER. 2013. Some modifications to the SNIP journal impact indicator. *Journal of Informetrics* 7, 2: 272-285.



Tabla 1a. Clasificación Q1, según el índice  $J_s$  para el año 2022, de las 200 mejores revistas arqueológicas internacionales en función de su producción científica (D) durante el periodo 2019-22, edad en años (T) y calidad (Q).

	D 2019-22	T 2022	Q	$J_s$ 2022	Cuartil	
1	Arkheologija Evraziiskikh Stepei	494	6	1,5	1,3020	Q1
2	Internet Archaeology	82	26	1,5	1,2483	Q1
3	Quaternary Science Reviews (Elsevier)	1570	40	1	1,1995	Q1
4	American Journal of Biological Anthropology	584	105	1	1,1969	Q1
5	Arqueología Iberoamericana	111	14	1,5	1,1968	Q1
6	Open Archaeology	207	7	1,5	1,1854	Q1
7	Antiquity	484	95	1	1,1656	Q1
8	Kratkiye Soobshcheniya Instituta Arkheologii	457	84	1	1,1460	Q1
9	Archaeologia Litwana	36	23	1,5	1,0943	Q1
10	Radiocarbon	374	63	1	1,0931	Q1
11	Archaeometry	362	64	1	1,0912	Q1
12	Journal of Archaeological Science (Elsevier)	475	48	1	1,0895	Q1
13	Bulletin of the History of Archaeology	22	32	1,5	1,0678	Q1
14	Ancient Asia	43	16	1,5	1,0641	Q1
15	Holocene	538	31	1	1,0555	Q1
16	Numismatic Chronicle	85	187	1	1,0503	Q1
17	Journal of Cultural Heritage (Elsevier)	691	23	1	1,0503	Q1
18	Current Anthropology	248	62	1	1,0467	Q1
19	American Antiquity	171	87	1	1,0431	Q1
20	Archaeological and Anthropological Sciences (Springer)	1110	13	1	1,0398	Q1
21	American Journal of Archaeology	103	138	1	1,0382	Q1
22	Journal of Archaeological Science: Reports (Elsevier)	1840	7	1	1,0275	Q1
23	International Journal of Osteoarchaeology	411	31	1	1,0263	Q1
24	Epigraphica	151	84	1	1,0258	Q1
25	Stratum Plus	524	24	1	1,0249	Q1
26	Journal of Anthropological Archaeology (Elsevier)	314	40	1	1,0247	Q1
27	Boreas	234	50	1	1,0170	Q1
28	Slovenská Archeológia	148	70	1	1,0038	Q1
29	Palestine Exploration Quarterly	65	158	1	1,0029	Q1
30	Revue Archéologique	55	178	1	0,9977	Q1
31	Journal of World Prehistory (Springer)	265	36	1	0,9949	Q1
32	Prahistorische Zeitschrift	88	108	1	0,9945	Q1
33	Near Eastern Archaeology	109	84	1	0,9904	Q1
34	Journal of Egyptian Archaeology	81	108	1	0,9855	Q1
35	Studijne Zvesti Archeologickeho Ustavu Slovenskej Akademie Vied	126	67	1	0,9816	Q1
36	Chungara	167	50	1	0,9804	Q1
37	Zeitschrift für Assyriologie und Vorderasiatische Archäologie	60	137	1	0,9787	Q1
38	Vjesnik Arheoloskog Muzeja u Zagrebu	53	153	1	0,9772	Q1
39	Revue Numismatique	43	186	1	0,9757	Q1
40	Historical Archaeology	141	55	1	0,9724	Q1
41	Revista Colombiana de Antropología	96	79	1	0,9700	Q1
42	Archivo Español de Arqueología	75	97	1	0,9655	Q1
43	Journal of Open Archaeology Data	34	11	1,5	0,9648	Q1
44	Geoarchaeology	200	36	1	0,9643	Q1
45	Arqueología Mexicana	239	30	1	0,9639	Q1
46	Journal of Field Archaeology	148	48	1	0,9629	Q1
47	Archaeological Journal	39	179	1	0,9610	Q1
48	World Archaeology	129	53	1	0,9587	Q1
49	Archaeologia Historica	143	47	1	0,9569	Q1
50	Latin American Antiquity	207	32	1	0,9553	Q1

Tabla 1b. Clasificación Q2, según el índice  $J_s$  para el año 2022, de las 200 mejores revistas arqueológicas internacionales en función de su producción científica (D) durante el periodo 2019-22, edad en años (T) y calidad (Q).

		D 2019-22	T 2022	Q	$J_s$ 2022	Cuartil
51	Open Quaternary	50	7	1,5	0,9540	Q2
52	Estudios Atacameños	129	49	1	0,9502	Q2
53	Documenta Praehistorica	104	58	1	0,9451	Q2
54	Revue d'Assyriologie et d'Archéologie Orientale	49	120	1	0,9423	Q2
55	Vegetation History and Archaeobotany (Springer)	188	31	1	0,9414	Q2
56	Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia (Elsevier)	250	23	1	0,9399	Q2
57	Archaeologiai Ertesito	37	154	1	0,9389	Q2
58	Estudios de Cultura Maya	90	62	1	0,9367	Q2
59	Hesperia	61	90	1	0,9349	Q2
60	Arheoloski Vestnik	75	72	1	0,9331	Q2
61	Przegląd Archeologiczny	51	104	1	0,9312	Q2
62	Archeologicke Rozhledy	71	73	1	0,9286	Q2
63	Archeologia e Calcolatori	160	32	1	0,9273	Q2
64	Environmental Archaeology	131	39	1	0,9271	Q2
65	Zephyrus	68	72	1	0,9225	Q2
66	Swiatowit	39	124	1	0,9211	Q2
67	Starinar	35	138	1	0,9210	Q2
68	Journal of Archaeological Method and Theory (Springer)	172	28	1	0,9207	Q2
69	Cambridge Archaeological Journal	154	31	1	0,9197	Q2
70	South African Archaeological Bulletin	61	77	1	0,9180	Q2
71	Vestnik Archeologii, Antropologii i Etnografii	285	16	1	0,9147	Q2
72	ArcheoSciences	99	46	1	0,9146	Q2
73	Trabajos de Prehistoria	73	62	1	0,9139	Q2
74	Yorkshire Archaeological Journal	29	153	1	0,9118	Q2
75	Australian Archaeology	92	48	1	0,9113	Q2
76	International Journal of Historical Archaeology (Springer)	175	25	1	0,9102	Q2
77	Ancient Mesoamerica	132	33	1	0,9098	Q2
78	Journal of Computer Applications in Archaeology	66	4	1,5	0,9081	Q2
79	Pyrenae	75	57	1	0,9077	Q2
80	Azania	76	56	1	0,9073	Q2
81	Comechingonia	109	39	1	0,9071	Q2
82	Pamatky Archeologicke	25	169	1	0,9065	Q2
83	Památky Archeologicke	25	168	1	0,9058	Q2
84	International Journal of Nautical Archaeology	84	50	1	0,9058	Q2
85	Lithic Technology	81	50	1	0,9019	Q2
86	Levant	76	53	1	0,9013	Q2
87	Arqueología (AR)	130	31	1	0,9013	Q2
88	Studia Antiqua et Archaeologica	103	39	1	0,9010	Q2
89	Cercetari Arheologice	81	48	1	0,8974	Q2
90	Archaeologia Austriaca	51	75	1	0,8957	Q2
91	Studi Etruschi	39	96	1	0,8933	Q2
92	Archaeological Prospection	132	28	1	0,8919	Q2
93	African Archaeological Review (Springer)	94	39	1	0,8910	Q2
94	Revista del Museo de Antropología	243	15	1	0,8904	Q2
95	Gerión	91	40	1	0,8903	Q2
96	Journal of Roman Archaeology	106	34	1	0,8892	Q2
97	Post-Medieval Archaeology	64	55	1	0,8866	Q2
98	Archaeology in Oceania	62	56	1	0,8851	Q2
99	Oxford Journal of Archaeology	86	40	1	0,8841	Q2
100	Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Univ. de Granada	74	46	1	0,8830	Q2

Tabla 1c. Clasificación Q3, según el índice  $J_s$  para el año 2022, de las 200 mejores revistas arqueológicas internacionales en función de su producción científica (D) durante el periodo 2019-22, edad en años (T) y calidad (Q).

	D 2019-22	T 2022	Q	$J_s$ 2022	Cuartil	
101	Mediterranean Archaeology and Archaeometry	162	21	1	0,8829	Q3
102	Archaeologia Polona	52	65	1	0,8822	Q3
103	Archäologisches Korrespondenzblatt	62	52	1	0,8771	Q3
104	Journal of Agrarian Change	150	21	1	0,8746	Q3
105	Prehled Vyzkumu	47	67	1	0,8745	Q3
106	Saguntum	52	60	1	0,8735	Q3
107	Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la UAM	64	48	1	0,8719	Q3
108	Complutum	99	31	1	0,8717	Q3
109	Arabian Archaeology and Epigraphy	92	33	1	0,8706	Q3
110	Medieval Archaeology	46	65	1	0,8689	Q3
111	Current Swedish Archaeology	37	79	1	0,8665	Q3
112	Israel Exploration Journal	40	73	1	0,8663	Q3
113	Materiale si Cercetari Arheologice	41	70	1	0,8645	Q3
114	SPAL	98	29	1	0,8634	Q3
115	Anatolian Studies	38	72	1	0,8593	Q3
116	European Journal of Archaeology	93	29	1	0,8577	Q3
117	Arheologia Moldovei	44	61	1	0,8572	Q3
118	Études et Travaux	47	57	1	0,8570	Q3
119	International Journal of Paleopathology (Elsevier)	242	11	1	0,8563	Q3
120	Revue Archéologique de Picardie	65	40	1	0,8537	Q3
121	Nizhnevolzhskiy Arkheologicheskiy Vestnik	115	22	1	0,8508	Q3
122	Lucentum	63	40	1	0,8504	Q3
123	Journal of Material Culture	93	27	1	0,8500	Q3
124	Journal of Cuneiform Studies	33	76	1	0,8498	Q3
125	Archeologia Medievale	51	49	1	0,8494	Q3
126	Boletín del Museo Chileno de Arte Precolombino	66	36	1	0,8440	Q3
127	Peuce	45	52	1	0,8423	Q3
128	Acta Archaeologica Lodziensia	38	61	1	0,8413	Q3
129	Journal of Archaeological Studies	163	14	1	0,8396	Q3
130	Zbornik Slovenskeho Narodneho Muzea Archeologia	70	32	1	0,8376	Q3
131	Acta Universitatis Lodziensis: Folia Archaeologica	51	43	1	0,8353	Q3
132	Ñawpa Pacha	36	60	1	0,8336	Q3
133	Industrial Archaeology Review	43	46	1	0,8241	Q3
134	Antípoda	116	17	1	0,8237	Q3
135	Rock Art Research	50	38	1	0,8197	Q3
136	Archeologia Polski	29	65	1	0,8188	Q3
137	Alpine and Mediterranean Quaternary	53	35	1	0,8171	Q3
138	North American Archaeologist	42	43	1	0,8142	Q3
139	Annales Instituti Archaeologici	99	18	1	0,8127	Q3
140	Journal of Island and Coastal Archaeology	110	16	1	0,8114	Q3
141	Midcontinental Journal of Archaeology	38	46	1	0,8106	Q3
142	Materialy po Arkheologii i Istorii Antichnogo i Srednevekovogo...	115	15	1	0,8092	Q3
143	Archaeological Reports	25	68	1	0,8076	Q3
144	Intersecciones en Antropología	77	22	1	0,8072	Q3
145	Scottish Archaeological Journal	31	54	1	0,8059	Q3
146	Southeastern Archaeology	62	27	1	0,8059	Q3
147	Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae	63	26	1	0,8036	Q3
148	Journal of Ancient History and Archaeology	198	8	1	0,7999	Q3
149	Gallia Préhistoire	24	65	1	0,7983	Q3
150	Archaeological Papers of the American Anthropological Association	47	33	1	0,7977	Q3



Tabla 1d. Clasificación Q4, según el índice  $J_s$  para el año 2022, de las 200 mejores revistas arqueológicas internacionales en función de su producción científica (D) durante el periodo 2019-22, edad en años (T) y calidad (Q).

	D 2019-22	T 2022	Q	$J_s$ 2022	Cuartil	
151	Origini	26	56	1	0,7908	Q4
152	Jordan Journal for History and Archaeology	89	16	1	0,7884	Q4
153	Journal of Ancient Civilizations	38	37	1	0,7870	Q4
154	Archeometriai Muhely	78	18	1	0,7868	Q4
155	Journal of Archaeological Research (Springer)	48	29	1	0,7859	Q4
156	Norwegian Archaeological Review	25	54	1	0,7826	Q4
157	Archaeologia Bulgarica	54	25	1	0,7826	Q4
158	Archaeologies	78	17	1	0,7806	Q4
159	Journal of Maritime Archaeology (Springer)	78	17	1	0,7806	Q4
160	Journal of Social Archaeology	63	21	1	0,7804	Q4
161	Archaeological Research in Asia (Elsevier)	189	7	1	0,7804	Q4
162	Arqueología y Territorio Medieval	45	29	1	0,7789	Q4
163	Prilozi Instituta za Arheologiju	32	40	1	0,7768	Q4
164	Archeologia dell'Architettura	47	27	1	0,7759	Q4
165	Journal of Mediterranean Archaeology	37	34	1	0,7749	Q4
166	Advances in Archaeological Practice	136	9	1	0,7719	Q4
167	Palaeohispanica	56	21	1	0,7676	Q4
168	Archaeofauna	38	30	1	0,7642	Q4
169	Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage (Elsevier)	123	9	1	0,7610	Q4
170	Archaeological Dialogues	39	28	1	0,7596	Q4
171	Arqueología de la Arquitectura	49	20	1	0,7478	Q4
172	Archaeologia Baltica	34	28	1	0,7447	Q4
173	Virtual Archaeology Review	77	12	1	0,7414	Q4
174	Journal of African Archaeology	47	19	1	0,7377	Q4
175	PaleoAmerica	108	8	1	0,7341	Q4
176	Interdisciplinaria Archaeologica	68	12	1	0,7279	Q4
177	Munibe Antropologia-Arkeologia	11	73	1	0,7262	Q4
178	Archéo-Nil	24	33	1	0,7247	Q4
179	Kazakhstan Archeology	158	5	1	0,7244	Q4
180	Estonian Journal of Archaeology	29	25	1	0,7151	Q4
181	Journal of Eastern Mediterranean Archaeology and Heritage Studies	78	9	1	0,7116	Q4
182	Rivista di Archeologia	15	45	1	0,7073	Q4
183	Journal of Community Archaeology & Heritage	73	9	1	0,7044	Q4
184	Journal of Conflict Archaeology	38	17	1	0,7026	Q4
185	European Journal of Post-Classical Archaeologies	49	12	1	0,6923	Q4
186	Journal of Contemporary Archaeology	67	8	1	0,6823	Q4
187	Mitteilungen zur Christlichen Archäologie	18	28	1	0,6756	Q4
188	Public Archaeology	20	23	1	0,6657	Q4
189	Studii de Preistorie	21	20	1	0,6558	Q4
190	California Archaeology	30	14	1	0,6558	Q4
191	Queensland Archaeological Research	11	38	1	0,6553	Q4
192	Bioarchaeology of the Near East	27	15	1	0,6519	Q4
193	Archaeologia Maritima Mediterranea	19	19	1	0,6394	Q4
194	AP Arqueología Pública	29	12	1	0,6354	Q4
195	Ethnoarchaeology	26	13	1	0,6322	Q4
196	Journal of Islamic Archaeology	37	9	1	0,6306	Q4
197	Journal of Skyscape Archaeology	40	8	1	0,6263	Q4
198	Journal of Wetland Archaeology	15	21	1	0,6246	Q4
199	Estudos do Quaternário	12	26	1	0,6235	Q4
200	Cartagine. Studi e Ricerche	43	7	1	0,6196	Q4

METHOD ARTICLE

# ARQUEOLOGÍA, OCUPACIONES CAZADORAS-RECOLECTORAS Y EL CERRADO DEL BRASIL CENTRAL: PROPOSICIÓN DE UN MODELO SOCIOCULTURAL Y ECONÓMICO EN CORRELACIÓN CON LOS PUEBLOS CONTEMPORÁNEOS DE LOS BOSQUES TROPICALES

*Archaeology, Hunter-Gatherer Occupations and the Cerrado of Central Brazil: Proposing a Sociocultural and Economic Model in Correlation with Contemporary Tropical Forest Peoples*

*Alex Sandro Alves de Barros,<sup>1</sup> Andrea Soledad Miniguano Trujillo,<sup>2</sup> Edwin Hernán Ríos Rivera,<sup>3</sup> Paulo David Herrera Latorre<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador; Museu de Arqueologia e Etnologia da Universidade de São Paulo, Brasil (alex.alves@unach.edu.ec); <sup>2</sup> Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador (andrea.miniguano@unach.edu.ec); <sup>3</sup> Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador (erios@unach.edu.ec); <sup>4</sup> Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador (pauloherrera@unach.edu.ec)

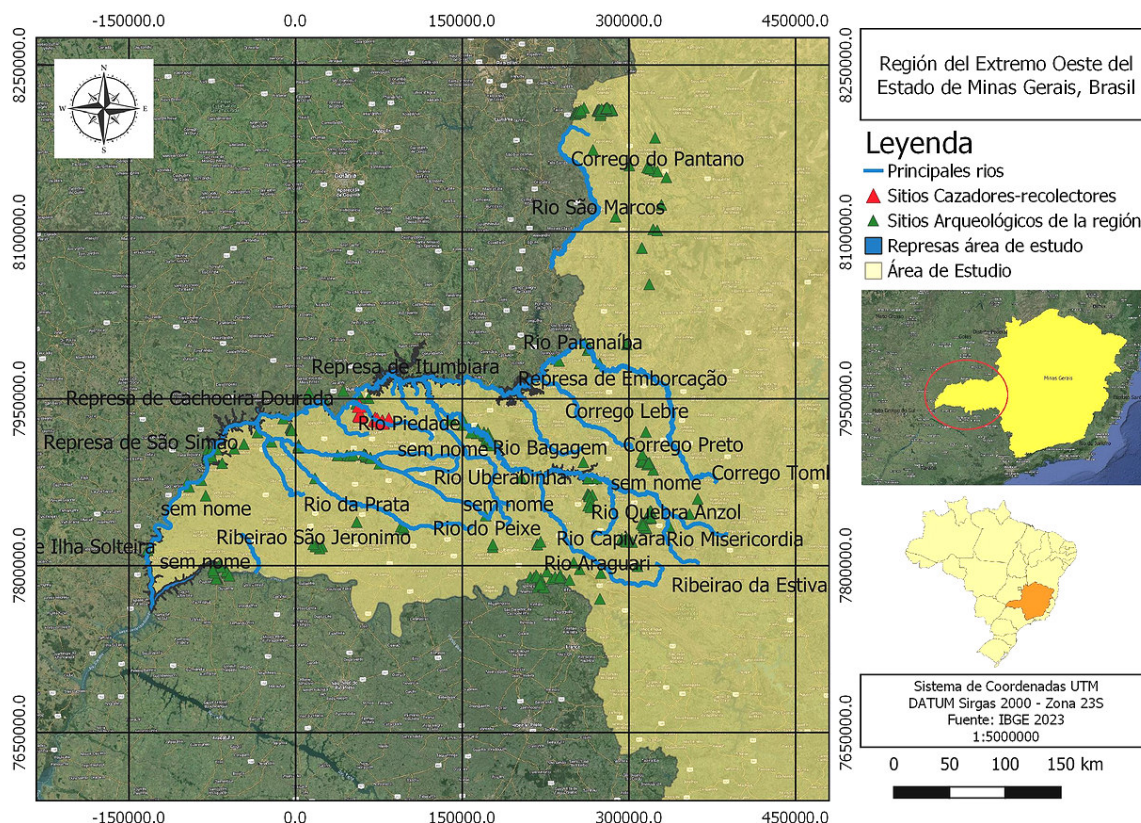


Figura 1. Mapa del área de estudio, región del extremo oeste del Estado de Minas Gerais, Brasil.

*Recibido: 6/3/2024. Aceptado: 25/3/2024. Publicado: 6/4/2024.*

**RESUMEN.** Este artículo tiene como objetivo proponer nuevos enfoques para interpretaciones e inferencias en los contextos arqueológicos de sitios al aire libre relacionados con grupos de cazadores-recolectores que ocuparon los ecosistemas de las sabanas neotropicales de los cerrados brasileños que, debido a la escasez de elementos que puedan corroborar la identificación y caracterización de una posible dinámica sociocultural en torno al uso de los recursos naturales, tienen sus modelos económicos y de subsistencia basados en analogías y correlaciones etnográficas. Desde la perspectiva de los estudios arqueológicos y etnoarqueológicos, proponemos el uso de analogías, correlaciones y discusiones con grupos contemporáneos, que utilizan los recursos naturales de los bosques como principal fuente de alimentación y materiales, como una forma de reconstruir dinámicas del pasado mediante la aplicación de modelos en arqueología.

**PALABRAS CLAVE.** Cazadores-recolectores, pueblos de las florestas, modelos en arqueología, bioma del Cerrado, dinámica sociocultural, Brasil.

**ABSTRACT.** This paper aims to propose new approaches for interpretations and inferences in the archaeological contexts of outdoor sites related to hunter-gatherer groups who occupied the ecosystems of the Brazilian Cerrado neotropical savannas which, due to the scarcity of elements that can corroborate the identification and characterization of a possible sociocultural dynamics around the use of natural resources, have their economic and subsistence models based on ethnographic analogies and correlations. From the perspective of archaeological and ethnoarchaeological studies, we propose the use of analogies, correlations and discussions with contemporary groups, using natural resources of the forests as their main source of food and materials, as a way to reconstruct past dynamics through the application of models in archaeology.

**KEYWORDS.** Hunter-gatherers, forest peoples, models in archaeology, Cerrado biome, sociocultural dynamics, Brazil.

## INTRODUCCIÓN

Sea en el campo de la arqueología, de la antropología o de la rama histórica ecológica que explica los procesos de larga duración de las ocupaciones amerindias en las tierras bajas sudamericanas, más específicamente en territorio brasileño, la cuestión de la subsistencia o dependencia económica de los recursos forestales siempre ha sido vista como un posible, o en algunos estudios de caso, un delimitador intrínseco de la progresión cultural y el desarrollo tecnológico; ya sea desde la perspectiva económica de las ocupaciones de cazadores-recolectores o de los grupos horticultores y agrícolas, independientemente de su densidad de población o grado de domesticación de especies de plantas nativas (Iriarte *et al.* 2020).

Esta limitación para el desarrollo de culturas complejas y una dinámica económica sostenible de aprovisionamiento de recursos naturales está comúnmente ligada a la ocurrencia de una baja variabilidad en relación a los recursos que ofrecen los bosques (fauna y flora) y, por consiguiente, a la pobreza de los suelos tropicales, lo que hace imposible el uso continuo de áreas cultivables (Meggers 1954).

Para este estudio de caso, las poblaciones cazadoras-recolectoras que ocuparon sitios al aire libre de la re-

gión del Cerrado del extremo oeste del Estado de Minas Gerais, Brasil (figura 1), nos basamos únicamente en sitios con presencia de cultura material lítica y, en casos específicos, de porciones diminutas de estructuras de combustión (Alves 2013; Barros 2018), a diferencia de los sitios ubicados en abrigos y cuevas que cuentan con un alto índice de presencia de elementos zooarqueológicos, arqueobotánicos y *ecofactos* (Schmitz 1987; Schmitz *et al.* 1997, 2004; Vialou 2003) que permiten realizar inferencias asociadas a evidencias materiales.

Verificada la complejidad al hacer inferencias dentro de los contextos presentados, es pertinente utilizar estrategias teóricas relacionadas con modelos en arqueología (Clarke 1972) y usar modelos comparativos con grupos contemporáneos que tomen en cuenta similitudes en relación con los recursos ambientales y materiales disponibles en el ecosistema circundante, paisaje ocupado y adaptado, y finalmente los elementos culturales que ambos contextos puedan tener en común. Inicialmente, presentaremos el contexto de la comprensión de los ambientes del Cerrado o las sabanas neotropicales, brindando una breve presentación de los grupos que ocuparon el área de estudio y el contexto de las investigaciones que involucran a grupos cazadores-recolectores y modelos económicos en arqueología; así



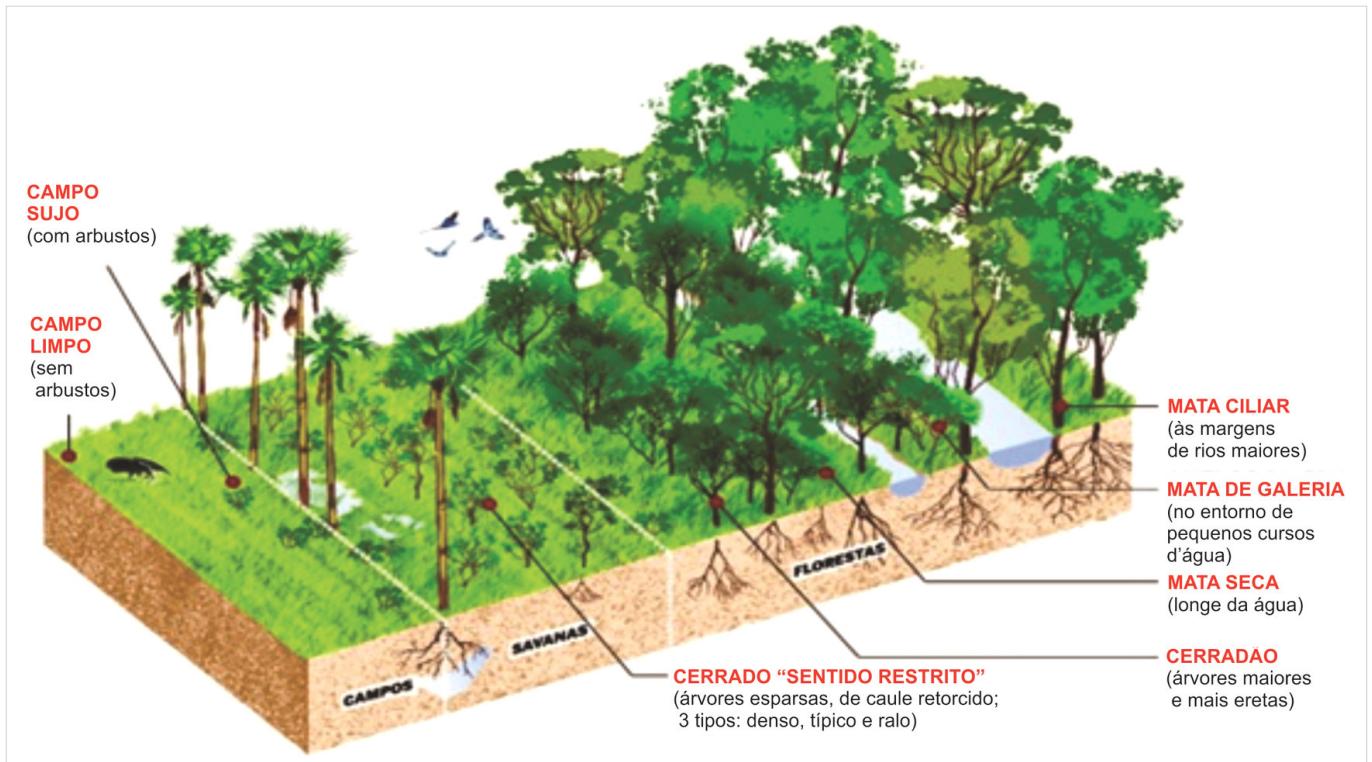


Figura 2. Complejo de vegetación del bioma Cerrado. Fuente: Embrapa Cerrados (2023).

como una breve contextualización de las poblaciones actuales de los bosques tropicales donde, por último, propondremos nuevas perspectivas a viejos problemas para el estudio arqueológico de grupos que ocuparon las florestas tropicales y carecen de evidencias materiales sobre su ecosistema y dinámica cultural, resultando en una factible reconstrucción del pasado con datos del presente.

## EL BIOMA DE LAS SABANAS NEOTROPICALES Y EL CERRADO BRASILEÑO

Cuando pensamos en sabanas, no cabe duda de que las primeras imágenes que aparecen en nuestro imaginario son las de las sabanas africanas, con su fauna única y exuberante en un entorno de bosques abiertos con ríos y lagos que coordinan la dinámica entre los seres humanos y el ecosistema. A pesar del paisaje romántico de los orígenes de la humanidad, las sabanas albergan actualmente a una quinta parte de la población mundial, ocupando un tercio de la superficie terrestre (Moran 2010).

Las sabanas dependen de un régimen regular de lluvias para poder alojar la vida humana con abundancia

de recursos naturales. Cualquier tensión que se produzca entre la dinámica del agua y la explotación de los paisajes provocará desequilibrios que resultarán en un cambio intrínseco en la forma de adaptarse a esos entornos.

Como caso de estudio, tenemos varias poblaciones de cazadores-recolectores en la actual África subsahariana que, debido al estrés en relación con la distribución de los recursos forestales y la escasez o desorden de los regímenes de precipitaciones estacionales, abandonan continuamente formas de vida más diversas y nómadas por el pastoreo o la horticultura y la agricultura.

Los bosques tropicales, y más específicamente las sabanas neotropicales, deben entenderse como ecosistemas complejos y dinámicos (Oliveira y Marquis 2002) y las tensiones causadas en algunos de sus pilares generan cambios ambientales a largo plazo.

El bioma Cerrado o Complejo del Brasil Central (Gomes *et al.* 1982) está formado por dos extremos fitogeográficos, el *Cerradão*, correspondiente a la presencia de componentes arbóreo-arbustivos, y el *Campo Limpo*, integrado por herbáceos-subarbustivos con importantes *ecotonos* (figura 2): *Campo Sujo*, *Campo Cerrado*, *Cerrado stricto sensu* y las *Matas Ciliares* y *Matas de Galeria* (Coutinho 1978; Gomes *et al.* 1982; Ribeiro y Walter 1998).





Figura 3. El cerrado del extremo oeste del Estado de Minas Gerais, Brasil. Aerofotografía realizada por A. S. A. de Barros en septiembre de 2023 en el municipio de Monte Alegre de Minas, río Piedade.

Para las poblaciones cazadoras-recolectoras que desarrollaron allí su dinámica sociocultural durante 8000 años (Alves 2013; Barros 2018), los importantes cursos de agua y sus innumerables ramificaciones sin duda sirvieron como hitos en el paisaje que apoyaron la exploración entre distintas regiones ambientales (figura 3), así como fuente de recursos y espacio de comunicación e intercambio (material y cultural) entre diferentes poblaciones que, a pequeña escala de tiempo, ocupaban densamente la región de los cerrados (Bueno y Dias 2015).

## ARQUEOLOGÍA DEL EXTREMO OESTE DE MINAS GERAIS Y EL CONTEXTO DEL BRASIL CENTRAL

A pesar de existir datos importantes sobre ocupaciones del Pleistoceno para América del Sur (Dillehay *et*

*al.* 1992), con fechas muy antiguas (más o menos 20000 AP) de estas poblaciones en el noreste brasileño (Parenti 1996), la zona del Brasil Central es quizás la región con mayor número de sitios estudiados de cazadores-recolectores.

Según Barros (2018, 2020), los sitios de cazadores-recolectores presentan como principales características la presencia de una industria lítica de moderada variabilidad, con recurrencia de instrumentos formales como raspadores, utensilios plano-convexos (figura 4) y punzones, con aprovechamiento predominante de las rocas circundantes, como las areniscas silicificadas.

En la relación de estas poblaciones con el ecosistema circundante existe un uso predominante de paisajes ubicados cerca de los valles de los grandes ríos y de los cursos que de ellos nacen, utilizados como rutas de entrada y circulación entre nuevas zonas. Esta dinámica promueve desplazamientos rápidos a grandes distancias, siendo preferidas por estas poblaciones áreas con abun-



Figura 4. Instrumentos plano-convexos. Piezas oriundas del sitio Casa de Força, municipio de Monte Alegre de Minas, Museo de Arqueología de Perdizes, Minas Gerais (A. S. A. de Barros, septiembre de 2023).

dancia de recursos naturales, lo cual contribuyó a la formación de sitios con largas secuencias estratigráficas. Debido a la proximidad de los cursos de agua, los sitios se ubicaron en áreas de *Matas de Galeria* o *Matas Ciliares*, así como en zonas de Cerrado con una cobertura vegetal más amplia y la presencia de numerosos taxones nativos, especialmente especies frutales que, en su momento, pudieron para satisfacer una abundante demanda calórica.

### CONTEXTUALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS CON GRUPOS CAZADORES-RECOLECTORES Y MODELOS ECONÓMICOS EN ARQUEOLOGÍA

La cuestión económica para caracterizar las culturas arqueológicas es una práctica de la arqueología brasileña (Prous 1991), con un amplio marco cronológico y

cultural consolidado a través del uso de índices culturales de industrias líticas (talladas) para caracterizar ocupaciones cazadoras-recolectoras o forrajeadoras y la cerámica como indicador de la presencia de poblaciones hortícolas alfareras. Esta premisa surge del alcance de las actividades del PRONAPA en suelo brasileño (Barreto 1999), resultante de la adaptación de la publicación *Method and Theory in American Archaeology* de Willey y Phillips (1958), que terminó consolidando las tradiciones, horizontes y fases para la organización de las culturas arqueológicas.

Siguiendo esta contextualización, en general, tenemos dos modelos de dinámica socioeconómica del «universo» de la arqueología para caracterizar a los grupos denominados cazadores-recolectores: por un lado, la economía cazadora y recolectora (en algunos casos, pescadora) y, por el otro, dinámicas más diversas caracterizadas como forrajeadoras (Lee y Devore 1968; Binford 1983; Kelly 1995).



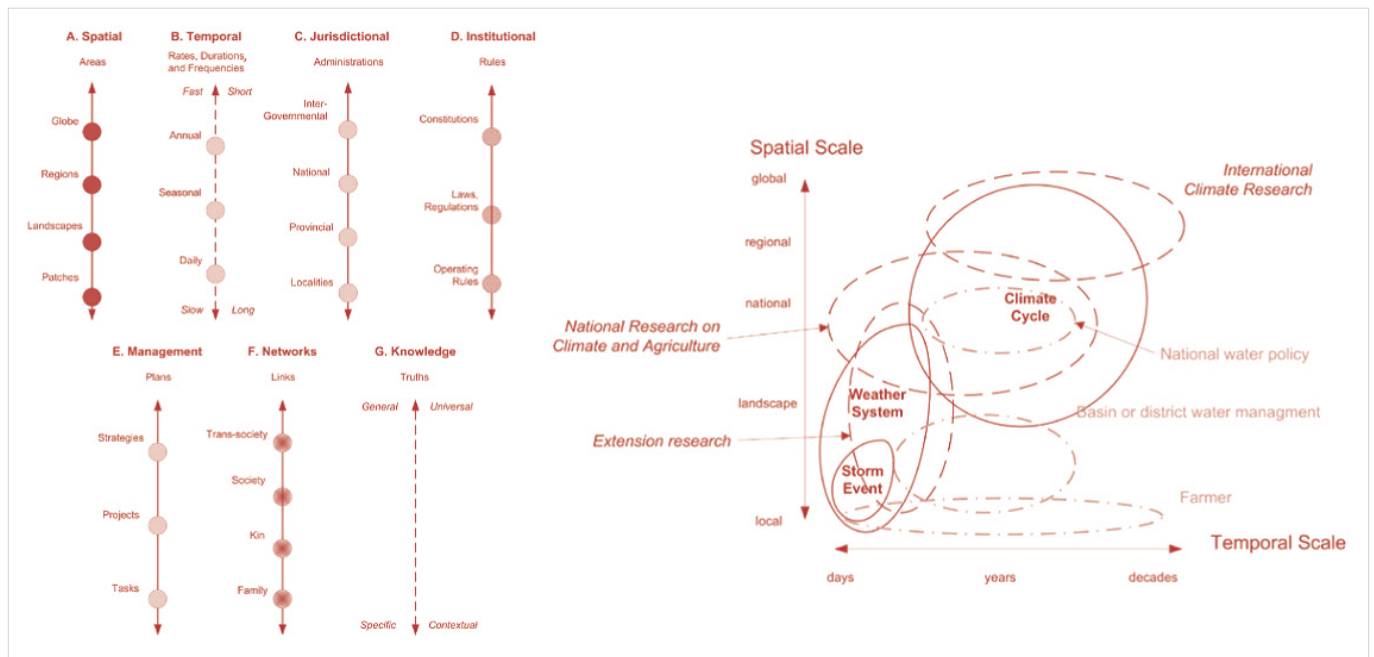


Figura 5. Ilustraciones esquemáticas de diferentes escalas y niveles que son esenciales para comprender y responder a las interacciones entre el hombre y el medio ambiente y un ejemplo esquemático de interacción a escalas y niveles espaciales, organizativos y temporales (Cash *et al.* 2006).

El modelo cazador-recolector se consolidó mediante analogías, el uso de la teoría del alcance medio (Binford 1978, 1980, 1983) y correlaciones etnográficas, teniendo como principio la organización de grupos de baja densidad poblacional con economía proteica basada en el consumo de fauna de grande y medio porte complementado con flora local. Destacamos que estos estudios se realizaron con grupos humanos que viven en ambientes de tundra y regiones árticas, contando con el ejemplo de los Nunamiut y su especialización en la caza del caribú en Alaska (Binford 1978).

Para los grupos forrajeadores tenemos una organización que involucra la recolección de recursos alimentarios de bosques o regiones semiáridas que, de manera complementaria, consumen proteínas obtenidas de la caza de animales pequeños y medianos.

Como ejemplo de esta dinámica hay una miscelánea de estudios sobre grupos subsaharianos como los bosquimanos y los *khoisan* o *san* (Shott 1992; Sadr 1997; Kelly 2013). Dadas las características del ecosistema de los cerrados presentadas anteriormente, tanto los modelos consolidados para grupos de cazadores-recolectores como los grupos de alimentación con economía estricta no se ajustan al patrón de economía de aprovisionamiento disponible en los bosques neotropicales. El modelo de escasez de las zonas secas y la monoeconomía faunística de las zonas templadas producen formas de vida que, en el ámbito de su arqueología, con-

ducirán a una comprensión de la escasa variabilidad alimentaria y ambiental, no coherente con el Cerrado.

Al identificar las dinámicas de alimentación de estos grupos, es necesario ubicar estas ocupaciones del pasado en ambientes dotados de abundantes recursos, lo cual corrobora la idea de adaptabilidad sostenible dentro del ambiente del Cerrado y refuerza el uso exitoso de estos paisajes, confirmada por la ocupación de más de 8000 años de persistencia de este *modus vivendi* (Schmitz 1987; Schmitz *et al.* 1997, 2004; Vialou 2003).

En el «universo» contemporáneo de la antropología y los estudios ecológicos de los grupos humanos actuales, existen registros de poblaciones con prácticas culturales económicas que podrían contribuir mejor a la construcción de un modelo de correlación más cercano a la realidad del antiguo extremo oeste del Estado de Minas Gerais.

Tenemos como premisa a los *hadza* o *hadzabè'e*, etnia perteneciente al territorio central de Tanzania que ocupa paisajes de sabana con abundantes recursos de flora y fauna mediana y pequeña como parte de su dieta (siendo la única discrepancia la presencia de animales de gran tamaño, pero con depredación de estos en proporción nula en relación con el consumo de los productos forestales), con la presencia de importantes fuentes de agua que regulan esta dinámica, como el lago Eyasi, cercano a la llanura del Serengeti (Jones 2016; Berbesque y Marlowe 2009).

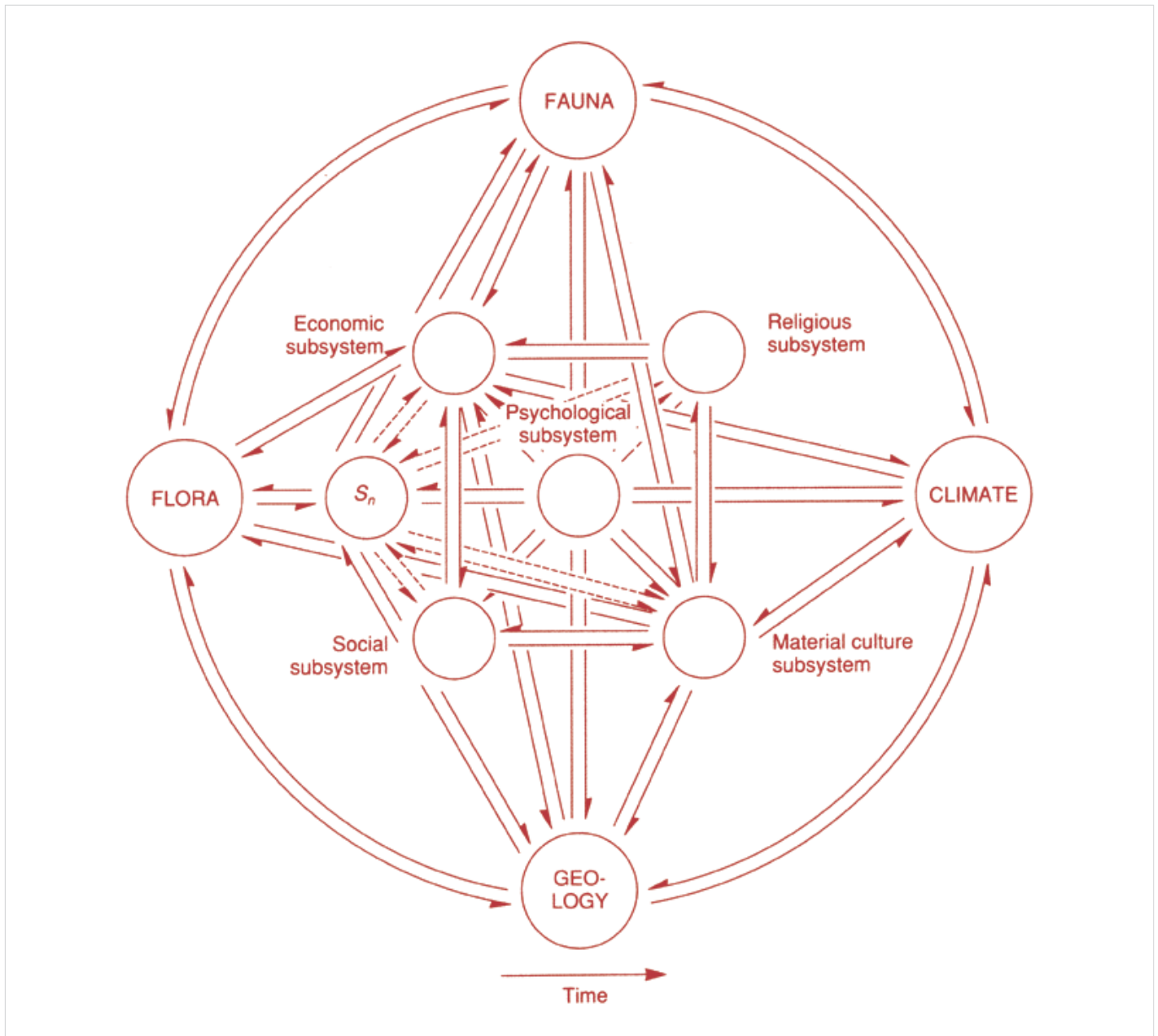


Figura 6. Modelo sistemático de cultura: subsistemas de un sistema sociocultural (Clarke 1984).

Esta evidencia aparece como una advertencia sobre la necesidad de brindar otros modelos en arqueología que permitan correlacionar contextos arqueológicos con realidades culturales que puedan compararse entre diferentes elementos que afectan a la vida de estas poblaciones, como la tecnología, el paisaje, las adaptabilidades en los ecosistemas, la dieta, la movilidad, etc.

## POBLACIONES ACTUALES DE BOSQUES TROPICALES

En el ámbito del problema relacionado con la consolidación de modelos arqueológicos y económicos para

poblaciones «apócrifas», sin descendientes vivos directos (de prácticas culturales) y con escasos documentos materiales para caracterizar una posible dinámica económica de subsistencia, surge la posibilidad de emplear conceptos, métodos y estudios de caso de grupos humanos contemporáneos que coexisten en los bosques tropicales; los cuales, en general, extraen de los bosques la mayor parte de los recursos para su subsistencia, ya sea en términos de dieta, recursos materiales y comercialización de estos recursos como complemento a la economía familiar y comunitaria.

Además de la diferencia entre los contextos ecosistémicos y económicos de la arqueología cazadora-recolectora del área de estudio y las poblaciones contempo-



Figura 7. Correlación entre elementos culturales diferentes, ecosistemas y modelos culturales (Barros 2020).

râneas que dependen de los recursos forestales, propuesta en este ensayo teniendo en cuenta las discrepancias en cuanto a tecnología, organización social, relación con el medio ambiente y sistemas de creencias; no hay duda de que las discusiones actuales sobre los recursos de los bosques tropicales pueden converger en numerosos puntos relacionados con la comprensión del concepto de adaptabilidad humana (Moran 2010).

Pensando en un marco metodológico capaz de correlacionar los dos estudios de caso presentados (cazadores-recolectores del Cerrado y poblaciones contemporáneas que dependen de los recursos forestales), *La dinámica de escala y de escala cruzada: gobernanza e información en un mundo multinivel* de Cash *et al.* (2006) presenta esquemas para decodificar la relación entre ser humano y ambiente, posibilitando una herramienta capaz de analizar diferentes formas de ocupaciones humanas y distintos ambientes desde una perspectiva ambiental, espacial, jurisdiccional, institucional, de gestión de redes y de conocimiento (figura 5).

Lo anterior nos permitiría conjeturar fácilmente modelos más diversos de elementos arqueológicos (figura 6), dejando la dicotomía simplista de «o eres cazador-recolector o forrajeador» al considerar de manera holística elementos intrínsecos al uso de los ecosistemas de los bosques y otros fenómenos que afectan a la vida

sociocultural de las poblaciones que dependen de estos recursos.

La ocupación de las actuales regiones de bosque tropical puede estar relacionada parcialmente con una cuestión de patrimonio cultural. Como ejemplo tenemos poblaciones indígenas que utilizan sus conocimientos ancestrales para mantener estos ambientes (Gadgil *et al.* 1993) y grupos *quilombolas* que ocupan tradicionalmente los ecosistemas de la *Mata Atlântica* del Brasil que, de forma diversificada y sostenible, extraen de los bosques los elementos básicos para su subsistencia alimentaria y materiales para su comercialización local (Adams *et al.* 2013).

El estudio de las poblaciones contemporáneas que obtienen todo su suministro alimentario y material de los bosques tropicales nos permite hacer conjeturas sobre la dinámica del pasado, dada la variabilidad de los recursos disponibles en estos ambientes, la cuestión del ciclo que permite la estacionalidad de estos recursos y la miscelánea de posibilidades estratégicas de «captura dietética» presentes en los *ecotonos* que permean dichos paisajes; generando innumerables fuentes proteicas en tiempos de sequía, permitiendo nuevas formas de adaptabilidad y demanda de recursos y transformando los ambientes inhóspitos de los bosques tropicales en grandes lugares para dinámicas socioculturales sustentables.



## CONCLUSIONES: NUEVAS PERSPECTIVAS SOBRE VIEJOS PROBLEMAS

En la conjetura de las poblaciones actuales de bosques tropicales se evidencia la importancia de estos ecosistemas para la subsistencia de las poblaciones contemporáneas que, por razones económicas y sociales, terminan ocupando áreas marginales de los centros urbanos y constituyen la mayoría de los recursos forestales.

La proposición de correlaciones de diferentes organizaciones socioculturales a través de modelos ecosistémicos y culturales permite verificar matices comunes en relación a los modos de vida en el bosque.

Al comparar los registros arqueológicos de poblaciones cazadoras-recolectoras y grupos históricos y contemporáneos que utilizan el bosque como medio de subsistencia, es posible evaluar qué cultura se ajusta mejor al modelo y así extraer inferencias para reconstruir modelos económicos de aprovisionamiento y adaptación al paisaje.

Siguiendo nuestro objeto de estudio, al comparar las ocupaciones arqueológicas de cazadores-recolectores del Brasil Central con datos contemporáneos sobre las ocupaciones *quilombolas* de la *Mata Atlântica* y datos etnográficos de los actuales *hadzas* de las sabanas africanas, y verificando la persistencia en relación a los datos propuestos para los modelos, podemos inferir qué grupos humanos son los más adecuados para identificar una posible dinámica de aprovisionamiento y adaptabilidad común. En este caso, existe una excelente convergencia entre los grupos de cazadores-recolectores de nuestro estudio y los *hadzas* contemporáneos (figura 7).

Estas correlaciones, en una visión diacrónica y sincrónica, nos permiten comparar modos de vida de di-

ferentes épocas, tipos de datos y paisajes, permitiendo verificar cuál es el modelo etnográfico que mejor se ajusta a las descripciones de los datos arqueológicos, resultando en analogías, teorías de alcance medio o etnográficas con mayor rigor metodológico.

Al correlacionar datos del presente con ocupaciones del pasado, aunque tengamos una discrepancia en relación con los modos de vida, la tecnología, la movilidad y la temporalidad; las preguntas sobre los contextos ambientales y ecosistémicos, la economía alimentaria y el paisaje, cuando se verifican en común, pueden producir comparaciones más cercanas a la realidad, permitiendo alejarse de los modelos clásicos de cazadores-recolectores y forrajeadores hacia axiomas arqueológicos más factibles y capaces de reconstrucciones socioculturales en contextos que carecen de evidencias biológicas u orgánicas de dinámicas sociales en relación con el ecosistema.

Finalmente, las dinámicas culturales cazadoras-recolectoras del Cerrado tienen un importante potencial para albergar abundante vida humana en el pasado, corroborando los más de 8000 años de continuidad cultural. Según Barros (2020), dichas dinámicas, posiblemente, fueron mitigadas o migradas hacia otras regiones debido a las presiones provocadas por la llegada de grupos horticultores y agricultores dotados de la tecnología cerámica, imposibilitando la identificación de características culturales del primer grupo en el segundo modo de vida.

Al identificar esta dinámica, es posible verificar los mismos fenómenos en las poblaciones contemporáneas que ocupan ambientes del Cerrado, ante la expansión de áreas de pastos agrícolas y ganaderos, la degradación de los suelos y el cambio climático que transforman irreversiblemente este bioma.

## BIBLIOGRAFÍA

- ADAMS, C.; L. C. MUNARI; N. VAN VLIET; R. S. S. MURRIETA; B. A. PIPERATA; C. FUTEMMA; N. N. PEDROSO; C. S. TAQUEDA; M. A. CREVELARO; V. L. SPRESSOLA-PRADO. 2013. Diversifying Incomes and Losing Landscape Complexity in Quilombola Shifting Cultivation Communities of the Atlantic Rainforest (Brazil). *Human Ecology* 41: 119-137.
- ALVES, M. A. 2013. *Assentamentos e cultura material indígena anteriores ao contato no Sertão da Farinha Podre, MG, e Monte Alto, SP*. Museu de Arqueologia e Etnologia, Universidade de São Paulo.
- BARRETO, C. 1999. Arqueologia Brasileira: uma perspectiva histórica e comparada. *Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia*, suplemento 3: 201-212. São Paulo.
- BARROS, A. S. A. DE. 2018. *Caçadores-coletores do médio vale do Paranaíba, Minas Gerais: estudo inter-sítios da cadeia operatória e sistema tecnológico*. Dissertação de Mestrado. São Paulo: Museu de Arqueologia e Etnologia, Universidade de São Paulo.

- BARROS, A. S. A. DE. 2020. *Arqueologia regional das ocupações caçadoras-coletoras do Vale do Paranaitba, Minas Gerais: Perenidade e alteridade cultural a partir da preposição de modelos organizacionais para os padrões, sistemas de assentamentos, paisagem e tecnologia lítica*. Projeto de Doutorado aprovado no PPGArq, MAE, USP.
- BERBESQUE, J. C.; F. W. MARLOWE. 2009. Sex Differences in Food Preferences of Hadza Hunter-Gatherers. *Evolutionary Psychology* 7, 4.
- BINFORD, L. R. 1978. Dimensional Analysis of Behavior and Site Structure: Learning from an Eskimo Hunting Stand. *American Antiquity* 43, 3: 330-361.
- BINFORD, L. R. 1980. Willow Smoke and Dog's Tails: Hunter-Gatherer Settlement Systems and Archaeological Site Formation. *American Antiquity* 45, 1: 4-20.
- BINFORD, L. R. 1983. *Working at Archaeology*. Studies in Archaeology. Londres: Academic Press.
- BUENO, L.; A. DIAS. 2015. Povoamento inicial da América do Sul: contribuições do contexto brasileiro. *Revista de Estudos Avançados* 29, 83: 119-147.
- CASH, D. W.; W. N. ADGER; F. BERKES; P. GARDEN; L. LABEL; P. OLSSON; L. PRITCHARD; O. YOUNG. 2006. Scale and Cross-Scale Dynamics: Governance and Information in a Multilevel World. *Ecology and Society* 11, 2: 8. <<https://www.jstor.org/stable/26265993>>.
- CLARKE, D. L., ED. 1972. *Models in Archaeology*. Londres: Methuen.
- COUTINHO, L. M. 1978. O conceito de Cerrado. *Revista Brasileira de Botânica* 1: 17-23.
- DILLEHAY, T. D.; G. A. CALDERÓN; G. POLITIS; M. C. M. C. BELTRÃO. 1992. Earliest Hunter and Gatherers of South America. *Journal of World Prehistory* 6: 145-204.
- EMBRAPA CERRADOS. 2023. *Complexo vegetacional do Bioma Cerrado*. <<https://www.embrapa.br/cerrados>>.
- GADGIL, M.; F. BERKES; C. FOLKE. 1993. Indigenous Knowledge for Biodiversity Conservation. *Ambio* 22, 2-3: 151-156.
- GOMES, I. A.; F. PALMIERI; A. M. BARUQUI; P. E. F. DA MOTTA; U. J. NAIME. 1982. *Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro*. Rio de Janeiro: Embrapa-SNLCS/EPAMG/DRNR.
- IRIARTE, J.; S. ELLIOTT; S. Y. MAEZUMI; D. ALVES; R. GONDA; M. ROBINSON; J. G. DE SOUZA; J. WATLING; J. HANDLEY. 2020. The origins of Amazonian landscapes: Plant cultivation, domestication and the spread of food production in tropical South America. *Quaternary Science Reviews* 248: 106582.
- JONES, N. B. 2016. *Demography and Evolutionary Ecology of Hadza Hunter-Gatherers*. Cambridge Studies in Biological and Evolutionary Anthropology. Cambridge: Cambridge University Press.
- KELLY, R. J. 1995. *The Foraging Spectrum: Diversity in Hunter-Gatherer Lifeways*. Smithsonian Institution Press.
- KELLY, R. J. 2013. *The Lifeways of Hunter-Gatherers: The Foraging Spectrum*. Cambridge University Press.
- LEE, R. B.; I. DEVORE, EDS. 1968. *Man the Hunter*. Chicago: Aldine.
- MEGGERS, B. J. 1954. Environmental Limitation on the Development of Culture. *American Anthropologist* 56, 5: 801-824.
- MORAN, E. F. 1994. *Adaptabilidade Humana: Uma Introdução à Antropologia Ecológica*. Editora da Universidade de São Paulo.
- OLIVEIRA, P. S.; R. J. MARQUIS. 2002. *The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna*. Nueva York: Columbia University Press.
- PARENTI, F. 1996. Problemática da pré-história do Pleistoceno superior no Nordeste do Brasil: o abrigo da Pedra Furada em seu contexto regional. *Anais do I Simpósio Internacional "O Povoamento das Américas" = FUMDHAMentos* 1: 15-53. São Raimundo Nonato: FUMDHAM.
- PROUS, A. 1991. *Arqueologia Brasileira*. Universidade de Brasília.
- RIBEIRO, J. F.; B. M. T. WALTER. 1998. Fitofisionomias do bioma Cerrado. En *Cerrado: ambiente e flora*, eds. S. M. Sano y S. P. Almeida, pp. 89-166. Embrapa-CPAC.
- SADR, K. 1997. Kalahari Archaeology and the Bushman Debate. *Current Anthropology* 38, 1: 104-112. <<https://www.jstor.org/stable/2744444>>.
- SCHMITZ, P. I. 1987. Prehistoric hunters and gatherers of Brasil. *Journal of World Prehistory* 1: 53-126.
- SCHMITZ, P. I.; F. A. SILVA; M. V. BEBER. 1997. *Serranópolis II: pinturas e gravuras dos abrigos*. São Leopoldo: Instituto Anchieta de Pesquisas.
- SCHMITZ, P. I.; A. O. ROSA; A. L. V. BITENCOURT. 2004. Arqueologia nos cerrados do Brasil Central: Serranópolis III. *Pesquisas-Antropologia* 60: 3-286.

- SHOTT, M. J. 1992. On Recent Trends in the Anthropology of Foragers: Kalahari Revisionism and Its Archaeological Implications. *Man N. S.* 27, 4: 843-871.
- VIALOU, A. V. 2003. Santa Elina, MT: Diachronie et synchronie d'un dispositif pariétal complexe. En *Congresso Internacional da Sociedade de Arqueologia Brasileira*, p. 12. São Paulo: Sociedade de Arqueologia Brasileira.
- WILLEY, G. R.; P. PHILLIPS. 1958. *Method and Theory in American Archaeology*. Chicago: The University of Chicago Press.



RESEARCH ARTICLE

**MATERNAL DEATH AS A REPRESENTATION OF THE WAR WITH LIFE IN WESTERN MEXICO: ANALYSIS OF TOMB II AT TINGAMBATO, MEXICO, FROM THE PERSPECTIVE OF THE BIOARCHAEOLOGY OF CARE AND THE MODEL OF THE PALIMPSEST IN HEALTH**

*Ingris Peláez-Ballestas,<sup>1</sup> Alejandro Valdés-Herrera,<sup>2</sup> Carlos Karam-Tapia,<sup>3</sup> Miguel Alberto Ibarra-López,<sup>4</sup> Alfonso Gastélum-Strozzi,<sup>5</sup> Patricia Rodríguez-Nava,<sup>6</sup> Ernesto J. Dena,<sup>7</sup> José Luis Punzo-Díaz<sup>8</sup>*

<sup>1</sup>Rheumatology Unit, Hospital General de México “Dr. Eduardo Liceaga”, Mexico City, Mexico (pelaezin@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5188-7375>); <sup>2</sup> Colegio de Michoacán, Mexico (alex\_vh4@hotmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-8280-6185>); <sup>3</sup> Centro INAH Michoacán, Morelia, Mexico (carlos\_karam@inah.gob.mx, <https://orcid.org/0009-0008-2134-7608>); <sup>4</sup> Centro INAH Michoacán, Morelia, Mexico (miguel\_ibarra\_lop@enah.edu.mx, <https://orcid.org/0009-0001-4402-9986>); <sup>5</sup> ICAT, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Mexico City, Mexico (alfonso.gastelum@icat.unam.mx, <https://orcid.org/0000-0001-9668-5822>); <sup>6</sup> Radiology Department, Hospital General de México “Dr. Eduardo Liceaga”, Mexico City, Mexico (patydena58@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7083-0569>); <sup>7</sup> Radiology Department, Hospital General de México “Dr. Eduardo Liceaga”, Mexico City, Mexico (drernesto.dena@yahoo.com.mx, <https://orcid.org/0000-0002-8028-9355>); <sup>8</sup> Corresponding Author, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Centro INAH Michoacán, Morelia, Mexico (jose\_punzo@inah.gob.mx, <https://orcid.org/0000-0002-1025-9169>)

**ABSTRACT.** *This paper presents, from an approach of archaeoethanatology, osteobiography, bioarchaeology of care and palimpsest, the analysis of one of the most important archaeological findings recently made in western Mexico. It is about a female person buried in a lavish tomb in the Tingambato archaeological site, Michoacán, Mexico, dated 1400 years ago, with more than 19,000 objects covering her body. This research presents the results of the work of almost a decade of studies carried out by different methods on this individual: morphophysical studies, taphonomy, dating, genetics, as well as various techniques of virtual archaeology among others. Through the Index of Care it was possible to systematize all the information obtained by different study methods and integrate it for analysis. The use of archaeoethanatology and the Index of Care makes it possible to perform analyses on specific individuals from the past to establish their health conditions and the probable causes of death. The main limitation that arose was the poor state of preservation in which we received the bones, which unfortunately did not allow us to carry out some morphoscopic and taphonomic studies that would have been relevant.*

**KEYWORDS.** *Index of Care, Tingambato, palimpsest, maternal death, western Mexico, aDNA, paleoimagenology.*

**RESUMEN.** *Este artículo presenta, desde un enfoque de la arqueotanatología, la osteobiografía, la bioarqueología del cuidado y el palimpsesto, el análisis de uno de los hallazgos arqueológicos más importantes realizados recientemente en el Occidente de México. Se trata de una persona del sexo femenino enterrada en una fastuosa tumba del sitio arqueológico de Tingambato, Michoacán, México, fechado hace 1400 años, con más de 19000 objetos que cubrían su cuerpo. Esta investigación presenta los resultados del trabajo de casi una década de estudios realizados mediante diferentes métodos*

*Received: March 20, 2024. Accepted: April 10, 2024. Published: April 24, 2024.*

sobre este individuo: morfofísicos, tafonomía, datación, genética, así como diversas técnicas de arqueología virtual entre otras. Mediante el índice de cuidado fue posible sistematizar toda la información obtenida por los diferentes métodos de estudio e integrarla para su análisis. El uso de la arqueotanatología y el índice de cuidado permite realizar análisis sobre individuos específicos del pasado para establecer sus condiciones de salud y las probables causas de su muerte. La principal limitación que se planteó fue el mal estado de conservación en que recibimos los huesos, lo cual, lamentablemente, no nos permitió realizar algunos estudios morfofísicos y tafonómicos que hubieran sido relevantes.

**PALABRAS CLAVE.** Índice de cuidado, Tingambato, palimpsesto, muerte materna, Occidente de México, ADN, paleoimagenología.

## INTRODUCTION

The archaeology of western Mexico has assumed increasing importance in recent years in our understanding of the dynamics of the relations between different cultures and eras and their connection to the landscape. The archaeological site known as Tinganio or Tingambato in western Mexico includes two tombs within a complex funerary pattern in the Mesoamerican Epiclassic (Piña & Ohi 1982; Punzo 2022).

Tomb 2 is a chamber-type tomb, consisting of a structure with a vaulted ceiling of slabs, and containing a young female individual. The burial is a paradigmatic case due to its opulent treatment and, particularly, given its association with the accoutrements of warriors within

the regional funerary tradition of western Mexico and the Epiclassic.

It is therefore important to analyze the female individual in Tomb 2 within her local and regional context, combining architectural findings with a detailed description of the osseous remains with an emphasis on the conditions of her life. To do so, we used analytical tools such as health-disease care, a reconstruction of the exterior and interior of the tombs, imaging studies and the analysis of genetic material from the osseous remains as well as comparing it to other tombs from the same region and time.

With the above as a starting point, this study has been developed using the theoretical and methodological approach of the bioarchaeology of care (Tilley 2017)

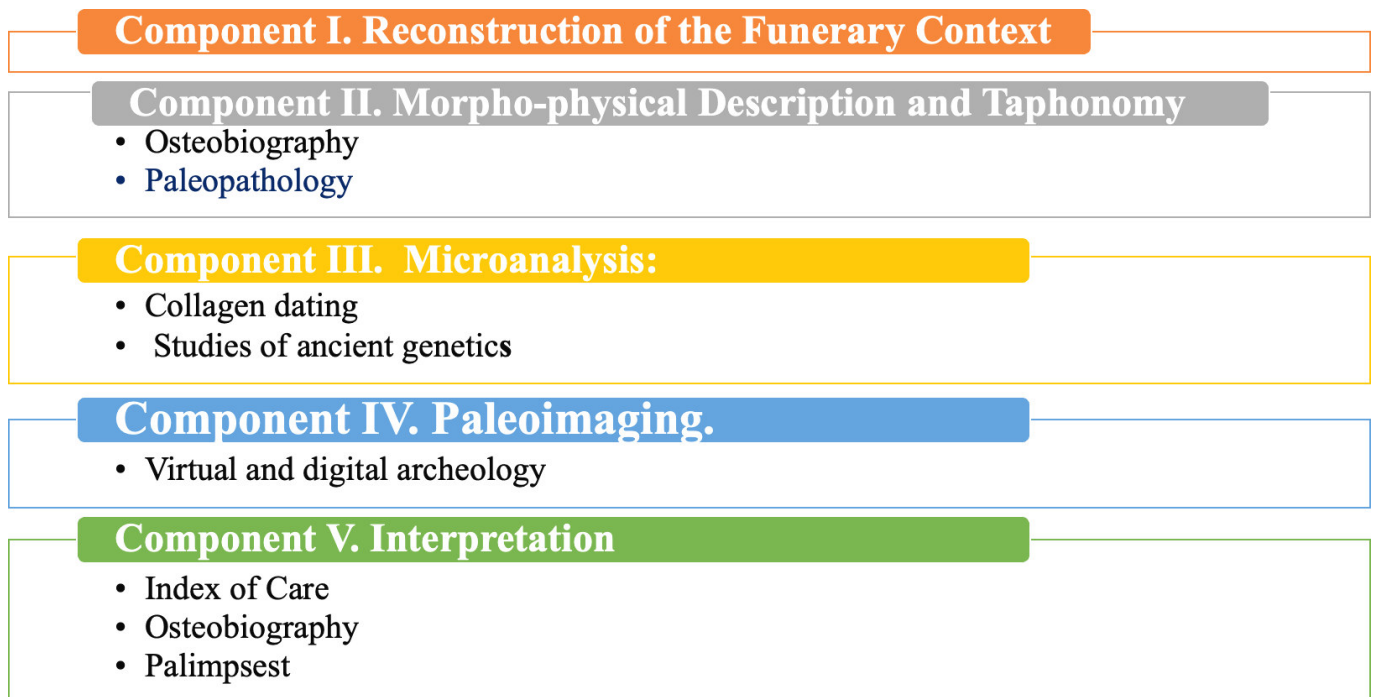


Figure 1. Multimethod methodology for integration into the Index of Care. The methodology used in this study was organized into components, where each component corresponds to each of the steps, methods from different scientific disciplines (components I-IV), and a last component integrates the theoretical approaches used to give an interpretation and a model proposal, such as the palimpsest.

and the palimpsest in health (Vergara 2018; Colmenares-Roa *et al.* 2022). This type of approach has become increasingly important in the study of the cultures of western Mexico, where the site of Tingambato is located, given the special attention to the cult of the dead in the funerary traditions that characterize this cultural region. The aim of this study was to describe, analyze and understand the processes of health, disease, care, and death through an analysis of the funerary context from Tomb 2 at the Tingambato site, Michoacán, and a regional comparison with other funerary sites of the cultures of western Mexico.

## MATERIALS AND METHODS

A multimethod study divided into five components was conducted to integrate all the information related to the individual who laid in Tomb 2 and her context (Figure 1).

### Component I. Reconstruction of the Funerary Context

Information from published archaeological studies on the Tingambato site was incorporated, as well as the reconstruction of Tomb 2 using virtual archaeology techniques to interpret symbolic structures.

### Component II. Morphophysical Description and Taphonomy

The description of the osseous remains of each tomb began with a morphophysical description, taphonomy and identification of pathological lesions and traces of violence to reconstruct the osteobiography (Ortner 2003).

### Component III. Microanalysis

*Collagen dating and studies of ancient genetics.* In this component, analyses were conducted for dating and ancient genetics. For dating, ultrafiltered collagen was extracted from a humerus bone sample. After cleaning and grinding the samples, they were submitted to a chemical procedure with low temperature and 0.5 M HCl to dissolve the mineral phase; continuing with the gelatinization process by means of an acid treatment with 0.2 M HCl at high temperature. The dissolved collagen was filtered to preserve fibers larger than 30-

kD. For the study of ancient genetics, the second upper right molar of the individual found in Tomb 2 was used, and two teeth from the tooth offering were analyzed.

Sequencing was performed to determine the amount of genuine aDNA and that of exogenous DNA. The analysis included the complete genome, number of single-nucleotide polymorphisms (SNP), haplogroups, mitochondrial DNA (mtDNA), and the determination of sex and mtDNA haplogroups (Punzo *et al.* 2019).

### Component IV. Paleoimaging

In this study, different methods of visual and digital archaeology were used, including photogrammetric 3D reconstruction techniques and image exploration with *multi-slice computed tomography* (MSCT, *NeuViz 12 Essence*).

The 2D tomographic reconstructions were complemented with reconstructions with a specific algorithm to obtain complementary 3D images for a morphometric analysis (Bowmaker *et al.* 2011; Conlogue *et al.* 2021).

### Component V. Interpretation (Index of Care)

The Index of Care was reconstructed by submitting the information of the disaggregated analysis to the open access platform (<http://indexofcare.org>) (Tilley 2017, 2024).

### Ethical aspects

This study was approved by the Archaeology Advisory Board (*Consejo de Arqueología-INAH*) with official document number 401.1S.3-2018/1732.

## RESULTS


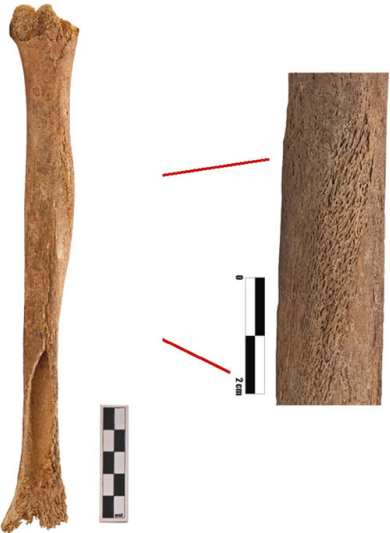

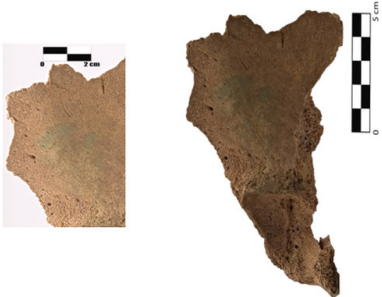
### Index of Care. Stage 1. The Individual

**Individual primary burial, located in Tomb 2 at the Tingambato archaeological site, western Mexico; Tingambato Phase 3, Epiclassic (AD 550–700)**

A young woman is identified lying in Tomb 2 at Tingambato, Michoacán. Her approximate age was be-



Table 1. Description of the human bone remains. The skull was reconstructed using photogrammetric, morphoscopic, and imaging analysis.

Elements	Descriptions	
Bone remains	The condition of bone remains were good quality; 80% of those bones were preserved. The bones of the hands, a large part of both coxal and sacrum, the metatarsals and phalanges of the right foot, manubrium, ribs, vertebrae, occipital, scapulae, and ends of long bones were not found.	
Elements	Descriptions	Example
The upper half of the body, i.e., axial skeleton, shoulder girdle, and skull	Whitish colorations. The Periosteum (outer layer of compact bone) is formed into flakes. It is better observed in the detailed image of the frontal squama (lower right)	
Proximal third of the left humerus (posterior view).	Periostitis present in the proximal end (upper image) and a detail of the area (lower image) where the abnormal bone growth can be better observed.	
Right tibia diaphysis	Horizontal cuts, wide and short length. Compatible with rodent traces.	
Left iliac bone.	Green coloration is observed in the central part of the iliac fossa.	

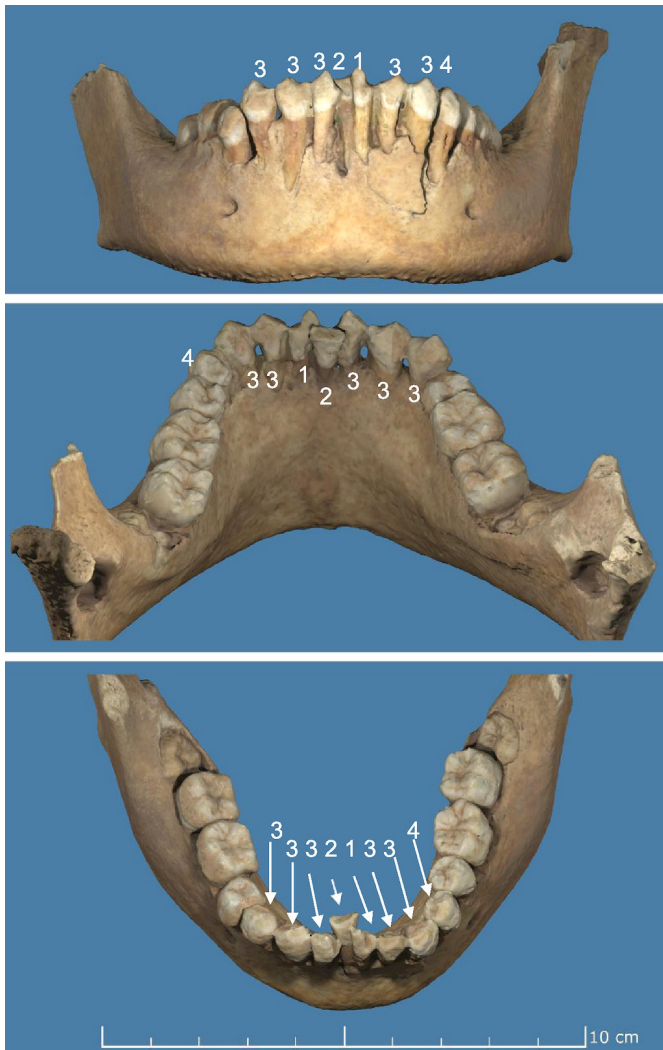


Figure 2. Intentional cultural dental modifications. The models indicate the different intentional cultural modifications observed in mandibular teeth, estimated as: 1) Type B4 in the left central incisor; 2) Type B7 in the right central incisor; 3) Type F4 in both lateral incisors, in both canines and in the right first premolar; and 4) Type B1 in the left first premolar.

tween 16 and 19 years (morphophysical description and MSCT reconstruction). The estimation of age at death and the degree of ossification was assessed using the data proposed by Schaefer *et al.* (2009) and by the degree of dental development proposed by Ubelaker (2007), which shows the age at which each tooth erupts. The mtDNA indicates that she is female, with 9,888 nuclear hits of chromosome X and 100 of chromosome Y, with an XY ratio of 0.0011–0.0012 (1 standard deviation). The haplotype (mtDNA) was type A2q1, with a height between 1.45 and 1.47 meters. The description of the human bone remains elements may be observed in Table 1.

Cultural modifications were observed in some maxillary and mandibular teeth (Romero 1986) (Figure 2).



Figure 3. Indicators of stress: Porotic Hyperostosis (a, b).

Integrating the analysis of Components II and IV, the following indicators of stress and pathologies were identified: Porotic hyperostosis was observed in both parietal bones, near and parallel to the sagittal suture and along the parietal tuberosity, corresponding to a stippled pitting pattern running from anterior to posterior parallel to the sagittal suture (Figure 3a and 3b) as well as incipient *cribra orbitalia* and dental enamel hypoplasia. Data compatible with periostitis (immature bone formation with a porous presence and irregular orientation, in both humeri, it is located on the deltoid tu-





Figure 4. 2-D and 3-D volume-rendered CT. Bone remains of a young individual, with incomplete skull due to the absence of bones of the cranial base and multiple fractures in the calotte bilaterally. Brachycephalic deformation (tabular erect) of the skull. Bones of the face with partial loss of the left upper jaw and partial edentulous with dental decoration.

berosity and in the left humerus and the crest of the greater tubercle) were observed in the long bones (Figure 4 and Table 1).

### Mortuary Context

The archaeological zone of Tingambato is in the State of Michoacán, Mexico, near the town of the same name.

Situated at an altitude of 1,928 meters above sea level, it is bordered to the north by the municipalities of Nahuatzen and Erongaricuaró, to the east by the municipalities of Salvador Escalante and Ziracuaretiro, and to the west by the municipalities of Uruapan and Nahuatzen (INEGI 2009). Tomb 2 is located under a small mound at the Patio Hundido 2 of the Tingambato archaeological site, to the north and equidistant



to Tomb 1, which is located below a room complex in front of Plaza 1. Tomb 1 is a multiple and mixed burial (Figure 5).

Tomb 2, dated AD 597–670, is comprised of a quadrangular base measuring 3.40 meters on its north-south axis and 3.50 meters on the east-west. It is excavated in the filling from the leveling of Tingambato Phase 3. The walls have an average height of 1.30 meters topped by the vault, consisting of large slabs that are concentrically oriented in a right-left direction until they join in the center. These slabs are joined by earthen mortar and close at a height of 2.05 meters. The entrance is approximately 80 centimeters by one meter wide with a slab that supported substantial weight.

Some structural aspects of Tomb 2 could not be described due to the collapse sustained during the excavation process in 2011, but the structural system of Tomb 2 is like that of Tomb 1, which is fully preserved. The mortuary chamber is aligned with the adjoining courtyards to the east, indicating that they were built in the last stage during the construction of the great platform, corroborated by carbon-14 dating. This tomb is located under a mound built after the tomb with a *talud-tablero* decoration; this wall limits accessibility to the tomb.

A female individual, placed on a bed of stone slabs, was found in the northern half of the chamber in an extended dorsal decubitus position with the head pointing westward and the feet to the east (Punzo 2022). She was accompanied by a large offering consisting of grave goods of 18,601 pieces made of shell and sea snails weighing 2,132.5 grams from various species, including *Spondylus princeps*, in addition to earrings, rings, inlays, adornments, bells, and a composite ear flare. She was also found with five pairs of atlatl handles and 827 lapidary elements, primarily of amazonite, and some turquoise tesserae (Valdés 2018; Punzo 2022). In addition, 39 dental crowns were found corresponding to 38 permanent teeth and one deciduous or temporary tooth. The teeth associated with the woman of Tomb 2 belong to different individuals, all except for one individual less than 10 years of age at the time of the funerary deposit (Figure 5).

The funerary customs of the Tingambato site and especially of Tomb 2 are elaborate, which is reflected in the grave goods of green stone, shells, and the teeth of subadult individuals as well as an element associated with war such as the atlatl. These support the hypothesis of a young woman to whom a tribute is being paid.

## Index of Care. Stage 2. Disability and Need for Care

A differential diagnosis would be necessary to determine the origin of periostitis, since this can be due to chronic inflammation secondary to a metabolic disease, a generalized or localized infectious disease, non-specific alteration of the immune system or musculoskeletal overload. Based on current medical evidence, it can be inferred that this can limit activities of daily living. In general, periostitis is acquired and does not compromise the life of the individual.

It is controversial to consider stress indicators as pathologies in and of themselves; rather, they indicate poor health conditions, such as chronic anemia, as is the case of porotic hyperostosis (PH) and *cribra orbitalia* (CO) (Brickley 2018; O'Donnell 2019; O'Donnell *et al.* 2023; Rothschild *et al.* 2021; McCool *et al.* 2021; Anderson 2021; Biehler-Gomez *et al.* 2023).

In recent years, the presence of CO has been questioned as an indicator of anemia or other specific condition, for Rothschild *et al.* the presence of lesions compatible with CO are due to vascular changes rather than pathology (Rothschild *et al.* 2021), however several articles in 2023 contradict this position (O'Donnell *et al.* 2023; Biehler-Gomez *et al.* 2023) and maintain that both CO and PH are indicators of pathological processes such as anemia; in this sense there is evidence from ancient DNA to support this association (Ferrando-Bernal 2023).

Chronic anemia is a hematological disorder secondary to nutritional deficiency or conditions produced by a chronic or acute bleeding, including those related to abnormal menstrual bleeding or hemorrhages during childbirth; the latter can lead to death (Figures 3a, 3b and 4) (WHO 2024a, 2024b; The WOMAN-2 trial collaborators 2023).

Considering the impact that anemia has on the performance of the individual, it may be inferred that the women may have experienced some of these symptoms, with an impact on her daily life. If we consider the hypothesis of a probable death during childbirth, we could relate it to the indicators of chronic anemia and its risk of increased maternal mortality.

The woman was an important person in her community, considering the complex mortuary ritual; without a doubt she received some care that allowed her to reach a certain age, that is, to survive several infections but not the risk of maternal death, hence her mortuary treatment as a warrior woman.

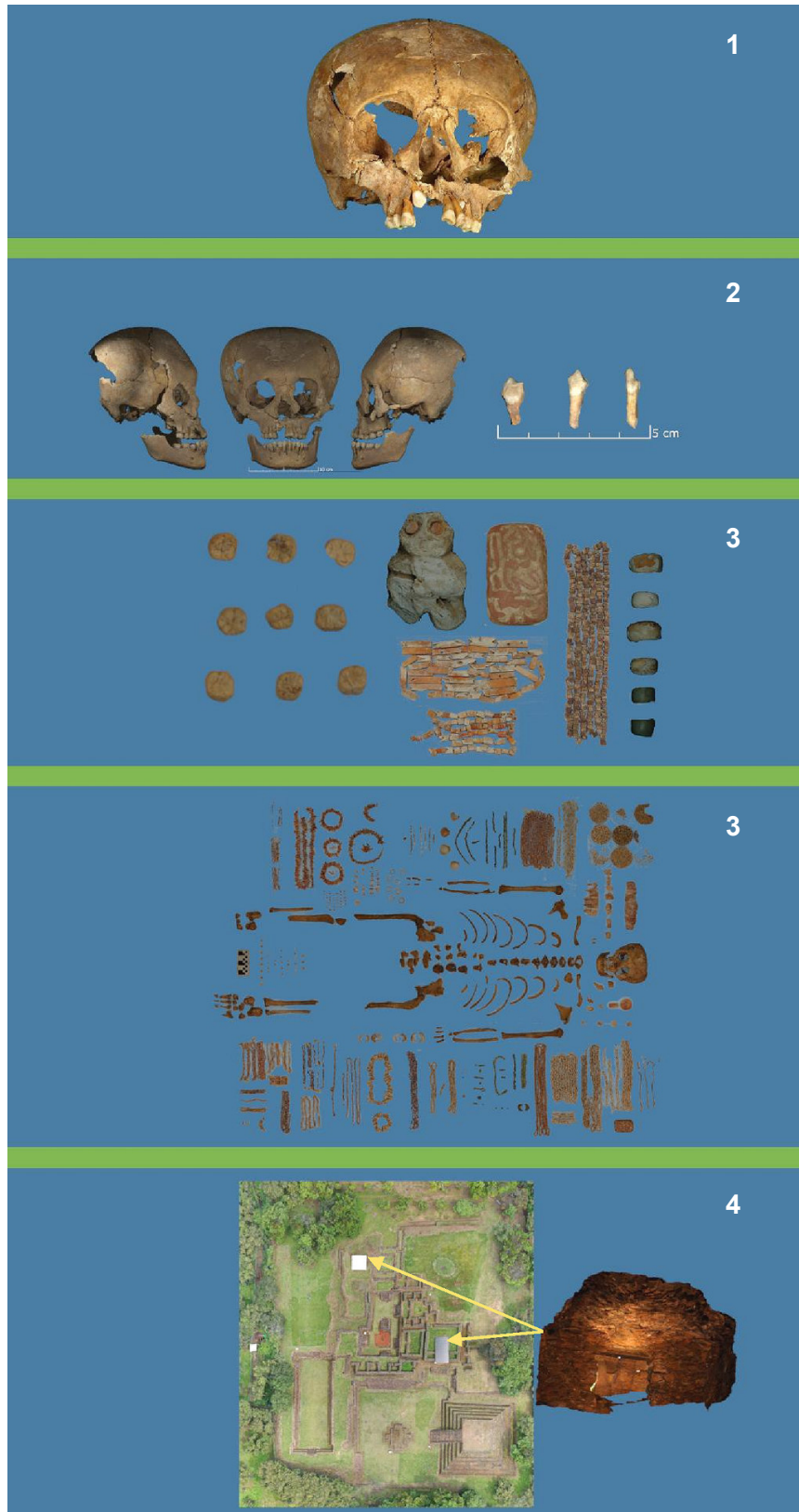


Figure 5. Model of the palimpsest: A proposal to complement the understanding of the health-care-death phenomenon in the past. Layers: 1) Health conditions; 2) cultural modifications of the body; 3) funerary offerings (grave goods); 4) funerary architecture. The palimpsest expresses the complexity and interaction of individual and social processes present in the phenomenon of health-care-death to understand part of the meaning of death in the culture of the Tingambato site. In the case of the *princess*, these human remains reflect a woman, young and of childbearing age, belonging to a social group of some privilege or who, due to her actions in life (the presence of atlatl handles being associated with warriors in other Mesoamerican cultures), merited special treatment in death, as may be documented with the accompaniment of grave goods abundant in lapidary and shell objects and even the teeth of filially unrelated children and adolescents (this can at least be argued by the morphoscopic analysis since mtDNA analysis was inconclusive).

### Stage 3 and Stage 4. Definition of the Care Model

It is difficult to establish a model based on the parameters required in the index, that is, the duration of care, the efforts of the caregiver and the person receiving care.

## DISCUSSION

Complementing the approach of the Index of Care, we proceeded to reconstruct the model of the palimpsest (Figure 5).

The palimpsest expresses the complexity and interaction of individual and social processes experienced by individuals and is understood as an intersectionality (Colmenares-Roa *et al.* 2022). The recognition of these interconnected layers produces an understanding of the phenomenon of health-care-death to understand part of the meaning of death in the culture of the Tingambato site.

Following the model of the palimpsest, the first interpretive layers would be in the health conditions of the woman (Figure 5).

### Layer 1. Health Conditions

The aDNA analysis indicated that she was a woman due to the results provided by the ratio of hits of chromosomes X and Y. The mtDNA analysis of haplogroups or lineages reports that she belonged to haplogroup A2q1. Haplogroup A is that most frequently found in different studies conducted in Mesoamerica, both among ancient and contemporary populations (Acuña & Contreras 2022; Manzanilla-Naim 2022).

In this woman, four indicators of stress documented in different studies on Mesoamerica were identified: *cribra orbitalia*, porotic hyperostosis, enamel hypoplasia, and periostitis. *Cribra orbitalia* and porotic hyperostosis: These manifestations or indicators of stress are described as indicators strongly associated with endemic infectious diseases coupled with a hostile environment or with diseases caused by opportunistic microorganisms in conditions of chronic malnutrition (iron deficiency), inflammatory processes, anemia, and episodic hemorrhagic processes (López 2022; O'Donnell *et al.* 2023; Biehler-Gomez *et al.* 2023; Ferrando-Bernal 2023). It has been documented that there are no differences between men and women in the presentation of these stress indicators; however, it is necessary to con-

sider some biological conditions of women that can contribute to anemia, such as abnormal bleeding during menstruation as well as acute hemorrhages during childbirth that can lead to death (The WOMAN-2 trial collaborators 2023). Pregnancy and childbirth in the pre-Hispanic Nahuatl world have been described as an intrauterine struggle against adverse forces at the birth of the child, beginning now from conception and ending with the delivery. In childbirth, whether the battle was won or lost, the woman was considered a warrior (Johansson 2018).

This is important to note because women who died in childbirth in Mesoamerica were afforded special mortuary treatment and were considered warriors. In some funeral contexts, therefore, offerings of weapons used during the war are observed (Pereira 1997). These observations related to the processes of reproductive health-disease in women, can be hypothesized as potential explanations for the stress indicators found in the woman and as a potential cause of her death, especially if we consider that part of her mortuary offering included an element of war (the six atlatl handles). This remains as a hypothesis since the reconstruction of the archaeoethanatomical process was limited due to the destruction during the excavation of Tomb 2, and the pelvis was destroyed in such a way that it could not be analyzed.

### Layer 2. Cultural Modifications of the Body

The woman in Tomb 2 had tabular-erect cranial modification, which has been identified as early as 8500 to 7000 BC in Mesoamerica and is most frequently documented in the Prehispanic population during the Classic and Epiclassic periods (Tiesler 2022). In addition, dental modifications were identified as aesthetic elements modifying the dental physiology, producing stress, alterations in the functionality of chewing, increase in the rate of caries, and in the pulp response that leads to premature tooth loss (Tiesler 2022).

### Layer 3. Funerary Offerings (Grave Goods)

The rich offerings of shell and lapidary have already been described. Another important element in this layer is the offering of human teeth of young people filially unrelated to the woman in Tomb 2, in which we find some dental pathologies (enamel hypoplasia) associated with intra-uterine stress processes since they were observed in residual teeth. One of the haplotypes of the



molars of the tooth offerings corresponds to H2a2a1 and H5a1i; unfortunately, these cannot be interpreted, as the samples were insufficient (less than 2,500 SNPs), to estimate the haplogroups.

#### Layer 4. Funerary Architecture

The architectural complexity of the tomb compared to those documented for the Epiclassic in western Mexico, and the not easily accessible location, also represents a special treatment at the social and perhaps political level. There are no tombs with a single individual with such an abundant funerary offering in the other sites in western Mexico, supporting the hypothesis of a special treatment for a young woman.

Several limitations were identified in this study. The first involves not having a detailed record of the context due to the conditions of discovery and excavation, when the roof of the tomb collapsed on the osseous remains. The second limitation was not having results of the isotopic analysis that would allow us to identify

the origin and mobility of the *princess*, dietary patterns, and health inequities.

#### CONCLUSION

The Index of Care was useful to systematizing information collected from different sources, starting from a condition of food insecurity, but not social precariousness, such as anemia in the former and the social context inferred by the complex mortuary treatment, rich offerings, and especially the presence of elements associated with war (atlatl handles) in the latter, from which we were able to generate a hypothesis of a possible cause of maternal mortality.

#### Competing Interests

The authors declare that they have no competing interests.

#### Acknowledgements

We would like to thank the *Consejo de Arqueología del INAH*, National Geographic, *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología* (CONACTY), University of Auckland, Harvard University, and all the students and colleagues who have selflessly participated in this study.

#### REFERENCES

- ACUÑA, V.; M.A. CONTRERAS. 2022. The Paleo-DNA of Ancient Mesoamerican Peoples. In *The Routledge Handbook of Mesoamerican Bioarchaeology*, edited by V. Tiesler, pp. 510–530. New York: Routledge.
- ANDERSON, A.S.; M.L. SUTHERLAND; L. O'DONNELL; E.C. HILL; D.R. HUNT; A.D. BLACKWELL; M.D. GURVEN. 2021. Do computed tomography findings agree with traditional osteological examination? The case of porous cranial lesions. *International Journal of Paleopathology* 33: 209–219.
- BIEHLER-GOMEZ, L.; A. PALAMENGI; M. BAUDU; G. CACCIA; G. LANZA; D. GIBELLI; D. MAZZARELLI; C. CATTANEO. 2023. Skeletal Markers of Physiological Stress as Indicators of Structural Violence: A Comparative Study between the Deceased Migrants of the Mediterranean Sea and the CAL Milano Cemetery Skeletal Collection. *Biology* 12(2): 335.
- BOWMAKER, R.J.; R.J. DUNN; K.B. MOYNIHAN; T.J. ROPER; M. ANDREWS. 2011. Construction of a Practical Hyperspectral Image Acquisition System. In *26th International Conference Image and Vision Computing*. New Zealand.
- BRICKLEY, M.B. 2018. *Cribra orbitalia* and porotic hyperostosis: A biological approach to diagnosis. *American Journal of Physical Anthropology* 167(4): 896–902. <<https://doi.org/10.1002/ajpa.23701>>.
- COLMENARES-ROA, T.; J.G. FIGUEROA-PEREA; B. PELCASTRE-VILLAFUERTE; L. CERVANTES-MOLINA; C. JUÁREZ-RAMÍREZ; J. GUADARRAMA; N. RAMÍREZ-HERNÁNDEZ; M.U. PÉREZ; I. PELÁEZ-BALLESTAS. 2022. Vulnerability as a palimpsest: Practices and public policy in a Mexican hospital setting. *Health* 26(6): 753–776. <<https://doi.org/10.1177/1363459320988879>>.
- CONLOGUE, G.J.; A.J. NELSON; A.G. LURIE. 2021. Computed Tomography (CT), Multi-Detector Computed Tomography (MDCT), Micro-CT, and Cone Beam Computed Tomography (CBCT). In *Advances in Paleoimaging. Applications for Paleoanthropology, Bioarchaeology, Forensics, and Cultural Artifacts*, edited by R.G. Beckett & G.J. Conlogue, pp. 111–178.

- FERRANDO-BERNAL, M. 2023. Ancient DNA suggests anaemia and low bone mineral density as the cause for porotic hyperostosis in ancient individuals. *Scientific Reports* 13: 6968.
- INEGI. 2009. *Censos Económicos 2009*. <<https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2009/>>.
- JOHANSSON, P. 2018. Coyolxauhqui, la hermana mayor de Huitzilopochtli. *Arqueología Mexicana* 26(154): 24–31.
- LÓPEZ, R. 2022. Mesoamerican Paleopathology. A Bioarchaeology Approach to Diseases from the Past. In *The Routledge Handbook of Mesoamerican Bioarchaeology*, edited by V. Tiesler, pp. 409–426. New York: Routledge.
- MANZANILLA-NAIM, L.R. 2022. The Multiethnic Population of a Teotihuacan Neighborhood Center. Bioarchaeological, Archaeometric, and Ancient DNA Analyses. In *The Routledge Handbook of Mesoamerican Bioarchaeology*, edited by V. Tiesler, pp. 270–289. New York: Routledge.
- MCCOOL, W.C.; A.S. ANDERSON; D.J. KENNETT. 2021. Using a multimethod life history approach to navigate the osteological paradox: A case study from Prehispanic Nasca, Peru. *American Journal of Physical Anthropology* 175(4): 816–833.
- O'DONNELL, L. 2019. Indicators of stress and their association with frailty in the precontact Southwestern United States. *American Journal of Physical Anthropology* 170(3): 404–417.
- O'DONNELL, L.; J.E. BUIKSTRA; E.C. HILL; A.S. ANDERSON; M.J. O'DONNELL JR. 2023. Skeletal manifestations of disease experience: Length of illness and porous cranial lesion formation in a contemporary juvenil mortality sample. *American Journal of Human Biology* 35(8): e23896.
- ORTNER, D.J. 2003. *Identification of Pathological Conditions in Human Skeletal Remains*. Elsevier Academic Press.
- PEREIRA, G. 1997. Costumbres funerarias y sociedad del Clásico Tardío en la cuenca de Zacapu, Michoacán. *Arqueología* 18: 61–84.
- PIÑA, R.; K. OHI. 1982. *Exploraciones arqueológicas en Tingambato, Michoacán*. Mexico City: INAH.
- PUNZO, J.L. 2022. Revisitando las exploraciones arqueológicas en el sitio de Tingambato, Michoacán: nuevos datos, nuevas tecnologías. *Latin American Antiquity* 33(1): 79–96.
- PUNZO, J.L.; A. VALDÉS; S. LEBLANC; D. REICH. 2019. *Proyecto de Investigación de Poblaciones Antiguas en el Norte y Occidente de México*. Informe técnico parcial. Mexico City: INAH.
- PUNZO, J.L.; M.E. AYALA; M. IBARRA; A. VALDÉS; F. NAVARRO. 2019. *Proyecto Arqueología y Paisaje del Área Centro Sur de Michoacán*. Informe técnico parcial. Morelia: Archivo Técnico del Consejo de Arqueología, INAH.
- REITSEMA, L.J.; B.K. MCLVAINE. 2014. Reconciling “stress” and “health” in physical anthropology: What can bioarchaeologists learn from the other subdisciplines? *American Journal of Physical Anthropology* 155(2): 181–185.
- ROMERO, J. 1986. Nuevos datos sobre mutilación dentaria en Mesoamérica. *Anales de Antropología* 23(1): 349–365.
- ROTHSCHILD, B.M.; M.J. ZDILLA; L.M. JELLEMA; H.W. LAMBERT. 2021. Cribra orbitalia is a vascular phenomenon unrelated to marrow hyperplasia or anemia: Paradigm shift for cribra orbitalia. *The Anatomical Record* 304(8): 1709–1716.
- SCHAEFER, M.; S. BLACK; L. SCHEUER. 2009. *Juvenile Osteology: A Laboratory and Field Manual*. London: Elsevier Academic Press.
- THE WOMAN-2 TRIAL COLLABORATORS. 2023. Maternal anaemia and the risk of postpartum haemorrhage: a cohort analysis of data from the WOMAN-2 trial. *The Lancet Global Health* 11(8): e1249–e1259.
- TIESLER, V. 2022. The Bioarchaeology of Permanent Body Modifications in Mesoamerica. In *The Routledge Handbook of Mesoamerican Bioarchaeology*, edited by V. Tiesler, pp. 329–347. New York: Routledge.
- TILLEY, L. 2017. Showing That They Cared: An Introduction to Thinking, Theory and Practice in the Bioarchaeology of Care. In *New Developments in the Bioarchaeology of Care: Further Case Studies and Expanded Theory*, edited by L. Tilley & A.A. Schrenk, pp. 11–43. Springer.
- TILLEY, L. 2024. *Index of Care*. <<http://www.indexofcare.org>>.
- UBELAKER, D.H. 2007. *Enterramientos humanos: excavación, análisis, interpretación*. *Munibe*, supl. 24. Sociedad de Ciencias Aranzadi.
- VALDÉS, A. 2018. *Elementos marinos y piedras verde-azules como ajuar funerario en la Tumba II de Tingambato, Michoacán: intencionalidad, objetos y persona*. Tesis de Licenciatura. Mexico City: ENAH.
- VERGARA, A. 2018. *Palimpsestos. Aspectos teóricos, territorio, patrimonio, cuerpo y humor*. Mexico City: Ediciones Navarra.
- WHITE, T.D.; M.T. BLACK; P.A. FOLKENS. 2012. *Human Osteology*. Third Edition. Elsevier Academic Press.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION [WHO]. 2024a. *Anaemia*. <[https://www.who.int/health-topics/anaemia#tab=tab\\_3](https://www.who.int/health-topics/anaemia#tab=tab_3)>.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION [WHO]. 2024b. *Informe mundial sobre la discapacidad 2011*. <<https://apps.who.int/iris/handle/10665/75356>>.

RESEARCH ARTICLE

# DOCUMENTACIÓN DIGITAL DEL PATRIMONIO EDIFICADO: MODELADO EN NUBES DE PUNTOS 3D DE LA IGLESIA DE BALBANERA, ECUADOR

## *Digital Documentation of Built Heritage: 3D Point Cloud Modeling of the Balbanera Church, Ecuador*

*Luis Alejandro Velastegui-Cáceres,<sup>1</sup> Byron Guevara-Bonifaz,<sup>1</sup>  
Julia Velastegui-Cáceres,<sup>2</sup> Pedro A. Carretero Poblete,<sup>1</sup>  
Edison Espinoza-Figueroa<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador ([lavelastegui@unach.edu.ec](mailto:lavelastegui@unach.edu.ec), [bgguevara.fiar@unach.edu.ec](mailto:bgguevara.fiar@unach.edu.ec), [pcarretero@unach.edu.ec](mailto:pcarretero@unach.edu.ec)); <sup>2</sup> Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador ([jdvelastegui@espe.edu.ec](mailto:jdvelastegui@espe.edu.ec));

<sup>3</sup> Investigador independiente, Ecuador ([edisonespinoza1995@hotmail.com](mailto:edisonespinoza1995@hotmail.com))

**RESUMEN.** *En la actualidad, el patrimonio edificado enfrenta la amenaza de su deterioro, destrucción o desaparición debido a diversas causas, ya sean de origen natural o provocadas por actividades humanas. Ante este desafío surge la necesidad de utilizar herramientas tecnológicas vanguardistas que posibiliten la documentación exhaustiva de cada elemento arquitectónico histórico como medida para preservar el patrimonio tangible. Esta investigación se enfoca en el levantamiento HBIM («Historic Building Information Modeling») de la Iglesia de Balbanera (Colta, Ecuador) para su documentación. Esta iglesia fue seleccionada por su relevancia histórica y el alto nivel de detalle presente tanto en su estructura externa como en su interior. La metodología comprendió la planificación del levantamiento de información, el levantamiento «in situ» con tecnología de escáner láser 3D, el procesamiento de los datos obtenidos y la generación del modelo HBIM. Como resultado se obtuvo el modelo de la Iglesia de Balbanera, la cuantificación de materiales de obra y la documentación de planos arquitectónicos tanto en planta como en elevación, brindando a los profesionales información veraz y confiable para intervenciones futuras que garanticen la preservación del patrimonio edificado.*

**PALABRAS CLAVE.** *Patrimonio edificado, HBIM, modelado 3D, edificios históricos, iglesia, Balbanera, Ecuador.*

**ABSTRACT.** *Today, built heritage faces the threat of deterioration, destruction or disappearance due to various causes, whether of natural origin or caused by human activities. Faced with this challenge, the need arises to use cutting-edge technological tools that enable the exhaustive documentation of each historical architectural element as a measure to preserve the tangible heritage. This research focuses on the HBIM (Historic Building Information Modeling) survey of the Balbanera Church (Colta, Ecuador) for its documentation. This church was selected for its historical relevance and the high level of detail present in both its external structure and its interior. The methodology included the planning of the information survey, in situ survey with 3D laser scanner technology, processing of the data obtained, and generation of the HBIM model. As a result, the model of the Balbanera Church, the quantification of work materials, and the documentation of architectural plans both in plan and elevation were achieved, providing professionals with accurate and reliable information for future interventions to ensure the preservation of the built heritage.*

**KEYWORDS.** *Built heritage, HBIM, 3D modeling, historic buildings, church, Balbanera, Ecuador.*

*Recibido: 3/4/2024. Aceptado: 22/4/2024. Publicado: 4/5/2024.*



## 1. INTRODUCCIÓN

La arqueología de la arquitectura es casi desconocida en la Sierra del Ecuador, tanto de época prehispánica como colonial. Es obvio que los edificios históricos se pueden estudiar en sus fases constructivas mediante una metodología estratigráfica, tanto si proceden de restos arqueológicos como de construcciones que se encuentran aún en pie y que se vieron alteradas por diferentes motivos a lo largo de los siglos hasta la actualidad.

En Ecuador se encuentra la Iglesia de la Santísima Virgen María Natividad de Balbanera (conocida como Iglesia de Balbanera), considerada como la primera construcción católica del país (cantón Colta, provincia de Chimborazo). Se estima que fue inaugurada el 15 de agosto de 1534 por el fraile dominico Fray Tomás de Berlanga, quien fue el primer obispo de la Audiencia de Quito. Esta iglesia se considera patrimonio cultural emblemático debido a su estructura de estilo colonial, cuya fachada (reconstruida) está compuesta por piedra andesita, adobe y madera; y su interior alberga altares y elementos religiosos que datan de la época colonial (Pilco 2019).

La zona se encuentra situada en un enclave que ha sufrido numerosos episodios sísmicos, entre los que destacan el terremoto de 1645, el de 1698 (con el desplome del volcán Carihuairazo), el del 10 de mayo de 1786 y el que hizo que se desmoronase por última vez la Iglesia de Balbanera el 4 de febrero de 1797, que le causó daños considerables y el derrumbe de gran parte de su fachada. Sin embargo, la iglesia fue reconstruida en varias ocasiones a lo largo de su historia para preservar su estructura y función religiosa (Egred 2000; Caiza 2015).

Las edificaciones patrimoniales requieren estudios meticulosos por el deterioro del tiempo, por lo que su resistencia se vuelve frágil y precisan mantenimiento para su adecuada utilidad (Espinoza 2017). Actualmente, existen nuevas herramientas tecnológicas muy útiles para mejorar y aminorar los costos de mantenimiento del patrimonio construido.

Entre estas herramientas tecnológicas, el BIM (*Building Information Modeling*) ofrece la posibilidad de estructurar la información del proyecto, lo cual incluye aspectos como la configuración geométrica del edificio, la naturaleza de la construcción y las características de los materiales. Estos datos se pueden usar para tomar decisiones fundamentadas que respalden la gestión y el desarrollo del proyecto de mantenimiento de ma-

nera eficiente. Además, permiten un enfoque más estratégico y fundamentado en la toma de decisiones a lo largo del ciclo de vida del edificio, desde su concepción hasta su mantenimiento y operación (Rahimian *et al.* 2020; Yuan *et al.* 2020; Guo *et al.* 2020).

El levantamiento 3D de edificios de gran valor patrimonial es importante por el detalle obtenido de los elementos preexistentes del edificio. Estos elementos son significativos a nivel arquitectónico y arqueológico y, por ello, requieren documentación detallada para su conservación (Martínez y Samp Pedro 2016). En la actualidad, la obtención de dichos datos es menos compleja gracias a la ayuda de diferentes tecnologías como el BIM, ya que permite integrar un único modelo de información geoespacial, geométrica y alfanumérica para el estudio y análisis de una edificación (Chiabrando *et al.* 2016). Con ello se puede garantizar la reconstrucción, valoración y estudio para la futura conservación de edificaciones patrimoniales (Wang *et al.* 2015; Rebolj *et al.* 2017; Yang *et al.* 2020).

Por tanto, el *Heritage Building Information Modelling* (HBIM) se presenta como una metodología alternativa que se basa principalmente en la utilización destacada de la tecnología BIM centrada en la preservación y gestión de edificios con valor histórico, patrimonial y arqueológico (Chiabrando *et al.* 2016; Wang *et al.* 2015; Yang *et al.* 2020; Rebolj *et al.* 2017; Campi *et al.* 2017; Murphy *et al.* 2009).

Con la implementación de la metodología HBIM en edificaciones patrimoniales se consigue información de todos sus componentes, desde sus cimientos hasta la colocación de detalles exteriores. Esta información es significativa, ya que permite realizar un análisis exhaustivo del edificio para localizar fisuras, deformaciones, vestigios e incluso analizar si la estructura puede ser intervenida para su posterior rehabilitación con el paso del tiempo (Wang *et al.* 2015; Rebolj *et al.* 2017; Yang *et al.* 2020). Sin embargo, es una tecnología que presenta un alto costo de adquisición, provocando reticencias en las autoridades responsables (Martín *et al.* 2021).

El proceso de toma de datos se realiza *in situ* con el escáner láser 3D, posicionándolo en varias zonas para que el mismo vaya registrando la información correspondiente al bien patrimonial, manipulándolo según las necesidades del técnico (Amaro *et al.* 2012). El escáner realiza un barrido, captando miles de puntos por segundo con un haz de láser, obteniendo así una nube de puntos en 3D que está compuesta por cientos de miles de mediciones que se realizaron individualmente

Tabla 1. Configuración de parámetros de escaneo.

	Parámetros seleccionados
Perfil	Hasta 20 metros
Número de escaneos	6 escaneos internos – 8 escaneos externos
Resolución	1/4
Tiempo de escaneo	11:15
Ángulos	Vertical: -60 a 90 grados Horizontal: 0 a 360 grados
Sensores activados	Clinómetro, brújula, altímetro y GPS
Color del escaneo	Activado
Tipo de medición ponderada	Ponderada al centro Clear contour activado
Configuración avanzada	Clear sky activado Rango normal

en una superficie, las mismas que contienen un sistema de coordenadas (x, y, z) que ayuda a la composición de un modelo tridimensional de cada detalle del edificio (Mañana-Borrazás *et al.* 2008).

En la actualidad, los escáneres más utilizados en este tipo de levantamientos son los de medio alcance, que presentan un rango de uso entre 0.1 y 150 m con un error posicional de  $\pm 2$  mm, y los de largo alcance que miden un rango de 0.1 m hasta 2 km, pero presentan un error posicional de  $\pm 6$  mm (Sánchez *et al.* 2016).

Incluso si se emplea la técnica de fotogrametría en la documentación de edificaciones, la cual es altamente precisa en la toma de datos, los resultados obtenidos no son adecuados para generar representaciones precisas de las fases históricas anteriores al bien. Esto se debe a la falta de información disponible y a la complejidad inherente de la visualización detallada de la edificación (Loredo *et al.* 2020). Por ello, la presente investigación tiene como propósito ofrecer un instrumento de documentación gráfica para preservar el valor arquitectónico, histórico y arqueológico de un bien patrimonial, disminuyendo el costo de inversión en documentación, ayudando a las entidades gubernamentales a conservar mejor sus edificaciones y a potenciar la inversión en nuevas herramientas tecnológicas (García-Gago *et al.* 2022).

## 2. METODOLOGÍA

Para la presente investigación se eligió la Iglesia de Balbanera por su relevancia histórica y el alto nivel de detalle presente tanto en su estructura externa como en

su interior. La metodología se divide en cuatro etapas: planificación del levantamiento de información, levantamiento *in situ*, procesamiento de datos obtenidos y generación del modelo HBIM.

### 2.1 Parámetros para el levantamiento de información en el campo

Se utilizó la tecnología del escáner láser *Faro Focus 3D*, por lo que se consideraron los condicionantes climáticos del área de estudio, el tránsito de visitantes en el horario en que se planificó la toma de datos, la disponibilidad del espacio y la duración de las baterías del equipo (4 horas).

Este análisis permitió programar los escaneos durante un periodo de dos días para optimizar el modelo de levantamiento, permitiendo un adecuado registro interior y exterior de la iglesia. Se realizaron seis escaneos internos y ocho externos, planificando la ubicación del escáner láser y las esferas según el croquis del edificio. Con ello se garantizó el nivel de detalle tanto en la parte externa como la interna de la iglesia.

Asimismo, se realizó un escaneo programando con puntos de referencia. Como criterio de seguridad, se dispusieron las escenas con el fin de que, entre cada par de estaciones, se garantizase un solapamiento del 30 % como mínimo.

Los puntos de referencia se ubicaron acoplando elementos estáticos para alcanzar mayor estabilidad, principalmente en los exteriores de la iglesia. Esto colaboró en la reducción del error relativo durante la consolidación de las nubes de puntos.

En cuanto al perfil de escaneo, se proyectó que la mayor cantidad de escenas se planificaran con un rango de distancia normal, exceptuando los escaneos con mayor detalle en su composición, que se configuraron con un rango de distancia cercano.

Después de la caracterización de escenas, se generó una nota de campo con una nomenclatura para identificar las referencias en pares de escaneos, facilitando su identificación en la unificación de nubes de puntos. Para este proceso se buscó garantizar un mínimo de tres puntos de referencia entre pares de escenas para disminuir posibles errores. Considerando los detalles de la fachada, se reconfiguraron los parámetros de escaneo (tabla 1). Respecto al parámetro de ángulos de levantamiento horizontal, se modificó a un rango de 0° a 180°, lo cual permitió obtener un levantamiento frontal de alta calidad con una reducción del tiempo de escaneo.

En cuanto a la configuración de la resolución, se realizó considerando los criterios de uniformidad de superficies. Para ello se establecieron tres tipos de escaneo con distancias entre puntos de 3.068, 6.136 y 7.67 mm. Esta configuración permitió mejorar el nivel de detalle necesario para superficies irregulares o uniformes. Respecto a la aplicación de filtros, se mantuvieron activos el cielo y el contorno nítido. Además, los parámetros de exposición se establecieron en base a los perfiles de levantamiento creados, por lo que se configuró una *medición ponderada al ángulo cenital* para los escaneos de interiores y una *medición ponderada al horizonte* para escaneos en exteriores, ya que el horario de los escaneos exteriores se realizó en el lapso de 11:00 AM a 2:00 PM.

## 2.2 Exportación de datos del escaneo láser Focus 3D al software Trimble RealWorks

Tras el levantamiento de información en el campo, se procesaron los escaneos obtenidos utilizando el *software Trimble Real Works*. Debido a la escala del proyecto, se necesitaron varias escenas en los perfiles interior y exterior, que permitieron levantar información completa sobre la morfología de los detalles de la iglesia en nubes con una alta densidad de puntos.

De este modo, se procedió a la unificación de las nubes de puntos dentro del programa *Trimble RealWorks*, desde el cual se importaron catorce carpetas de escaneo en total, correspondientes a ocho escaneos de tomas exteriores y seis de tomas interiores. La importación de todos los escaneos generó una nube cruda con 226 625 115 puntos.

Para el tratamiento de datos de este proceso de documentación, se programó la realización de dos clases de registro: indirecto y directo (objeto a objeto y nube a nube), como objeto de comprobación y garantía de la calidad del proceso.

Con el *software* se configuraron las dimensiones necesarias para reconocer objetivos; en este caso, esferas grandes y pequeñas. Para el reconocimiento de las esferas grandes se consideró un diámetro de 0.20 m y para las esferas más pequeñas otro de 0.10 m. Contemplando el solapamiento mínimo de 30-40 % entre los pares de escaneo, se tomó como técnica de registro principal el autorregistro por planos. El mencionado porcentaje de solapamiento garantizó la unificación de nubes por coincidencia de puntos de forma automatizada, manteniendo la precisión y el nivel de detalle.

## 2.3 Procesamiento de datos e integración de nube de puntos con BIM

Respecto al procesamiento de la nube de puntos, se realizaron dos procesos de reducción de puntos, una segmentación y un muestreo, logrando una nube optimizada que contenía únicamente los puntos correspondientes a la Iglesia de Balbanera.

Para generar un modelo de información completo, se generaron archivos resultantes de las nubes de puntos compatibles con un *software* BIM; para lo cual se seleccionó *Archicad 23*, que permitió la *interoperabilidad* de datos, sin pérdidas de calidad ni detalle. Por tanto, el formato e.57 fue el seleccionado para la exportación de los archivos.

En cuanto a la generación del modelo BIM, se requirió información referente a los elementos modelados. La identificación y caracterización de materiales fue relevante en la documentación, ya que permitió crear la base de información para la generación de componentes dentro del modelado BIM; por lo que se aplicó un análisis de materiales *in situ* que permitió obtener los datos de las características físico-constructivas de cada elemento que formaba la Iglesia de Balbanera.

## 2.4 Generación de planos arquitectónicos y detalles constructivos

La correcta documentación arquitectónica depende de la calidad del modelo generado. El proceso inicial para obtener el modelo implicó la creación de planos a partir de la nube de puntos y luego se integró con aplicaciones BIM; para lo cual se garantizó la calidad y ni-



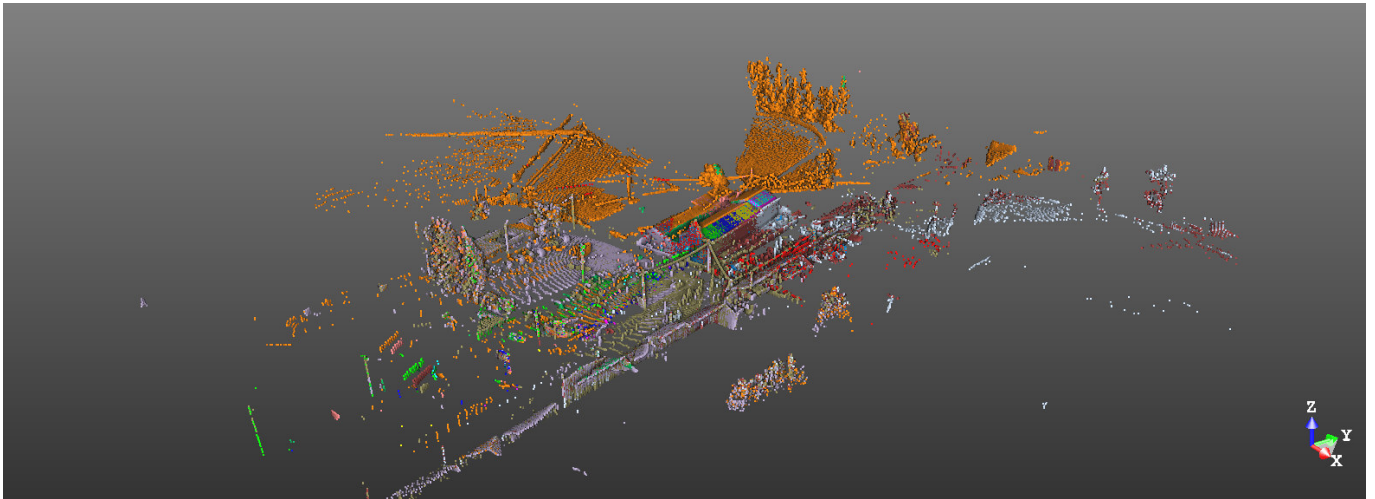


Figura 1. Nube de puntos unificada previa a la depuración.

vel de detalle de las secciones, elevaciones, detalles constructivos y documentos 3D.

### 3. RESULTADOS

Entre los resultados iniciales se obtuvo la nube de puntos unificada mediante la técnica del registro por planos. Con el *software Trimble RealWorks* se realizó una inspección del error y el porcentaje de fiabilidad existente entre los pares de escaneos. Como se obtuvo un solapamiento mínimo del 47 % y máximo del 100 % entre los pares de escaneos, se consideró que dicha prueba era una técnica óptima para la generación de la nube de puntos unificada, ya que el error global de la nube fue de 0.00 m (figura 1).

Para la depuración de la nube de puntos se desarrolló un proceso de segmentación, mediante el cual se eliminaron los objetos escaneados que no se consideraron necesarios para la documentación del edificio. De este modo, se aplicó una segmentación por selección usando las diferentes vistas del programa para conseguir borrar los elementos sobrantes en el escaneo original.

La cantidad inicial de puntos de la nube cruda fue de 226 625 115 puntos y, posteriormente al procedimiento de segmentación, se generó una nube depurada con un total de 217 734 619 puntos, siendo estos correspondientes únicamente al complejo del convento de Balbanera.

En base a un análisis de intensidad de la nube de puntos, se eliminaron puntos coincidentes entre esca-



Figura 2. Nube depurada de la Iglesia de Balbanera.



Figura 3. Modelado 3D con características de materialidad y superficies.

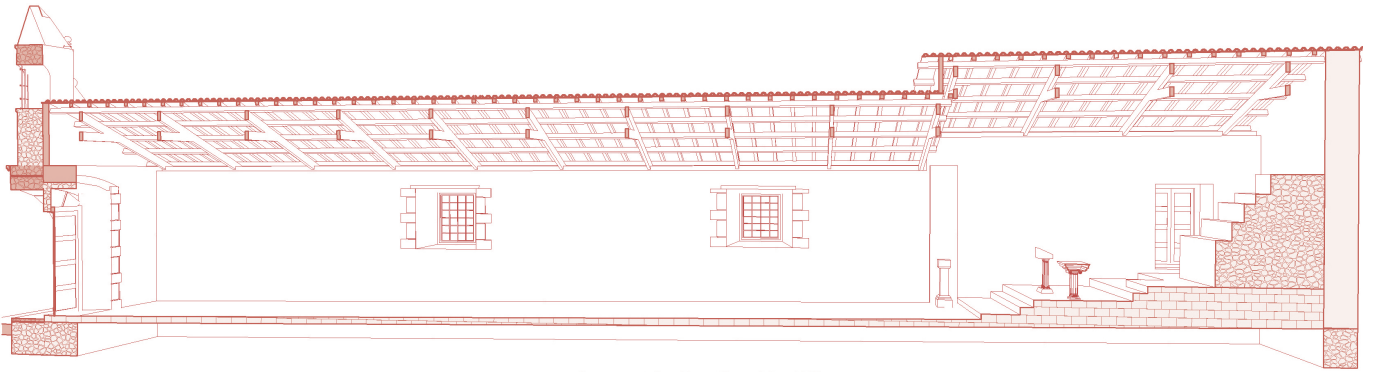
neos muy densos y pesados para el consumo de recursos informáticos. Tras el proceso de muestreo, se obtuvo una nube de puntos simplificada con una reducción final correspondiente a 211 633 018 puntos (figura 2).

El procedimiento de escaneo 3D permitió obtener un modelo de nube unificado e integrado, formado me-

dante la conexión y fusión de varias nubes de puntos individuales. Este modelo de nube resultante se incorporó al sistema BIM a través de la exploración de diferentes extensiones de exportación hacia el *software* BIM correspondiente. De este modo, se verificó que existen dos formatos de importación de nube de puntos que

Tabla 2. Información obtenida referente al esquema de muros.

ESQUEMA DE MUROS					
Material de construcción	Cantidad	Espesor fino del muro	Longitud del muro (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
Ladrillo	4	0.20	25.62	38.57	7.80
	4		25.62	38.57	7.80
Piedra	1	1.10	9.05	25.35	27.89
Piedra	2	0.25	1.38	3.07	0.76
Piedra	2	0.85	6.93	9.84	8.36
	5		17.36	38.26	37.01
Tapial	4	0.80	11.10	59.23	47.37
Tapial	5	1.10	78.86	342.93	382.08
	9		89.96	402.16	429.45
	18		132.94	478.99	474.26



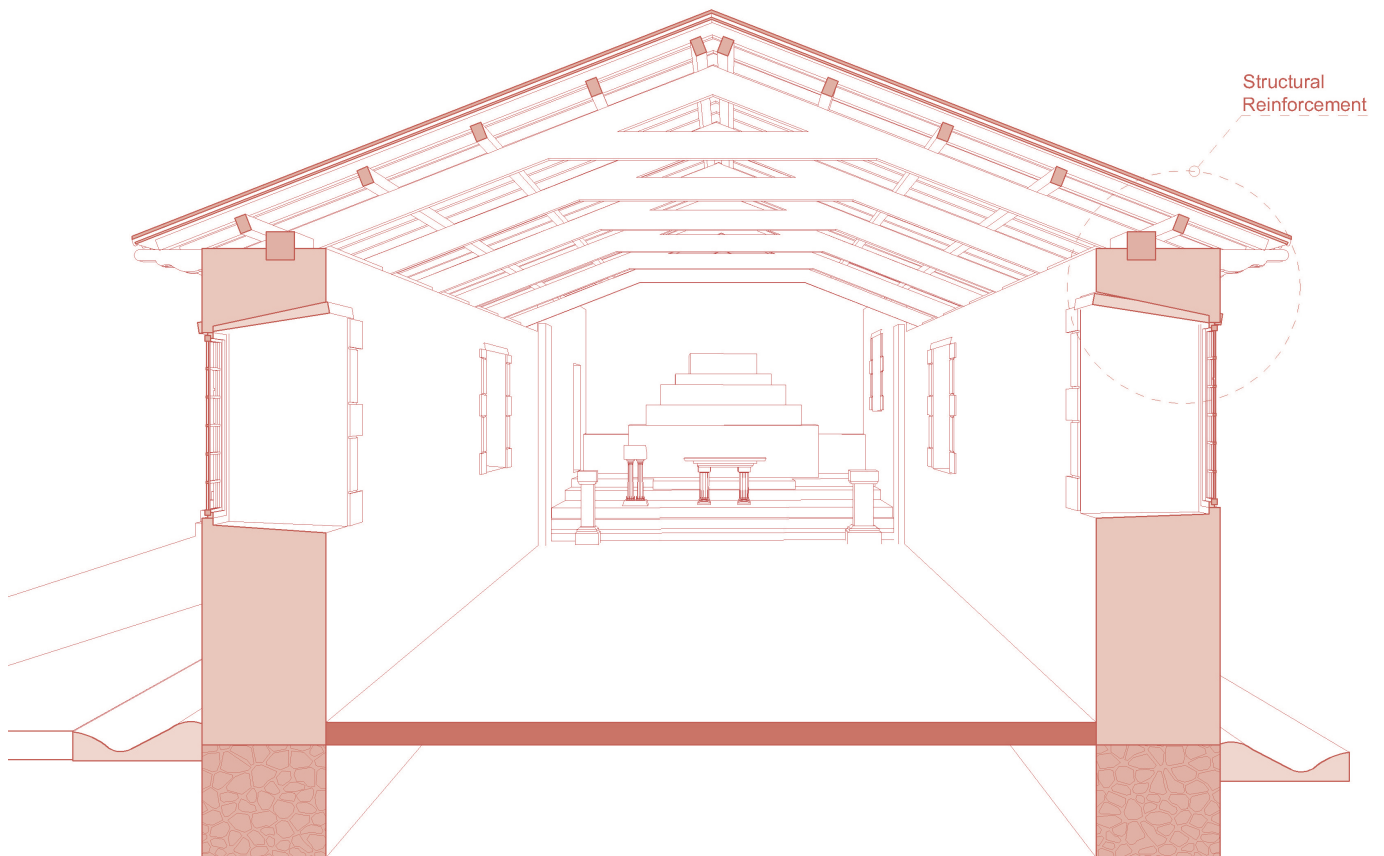
Isometric Section B - B''

Figura 4. Corte longitudinal isométrico B-B'.

permiten la *interoperabilidad* entre diferente *software*: .xyz y .e57.

El formato .e57 posibilitó la interconexión y sincronización de la nube de puntos y el modelo 3D, debido a que optimizó el trabajo mediante la detección de aristas e intersecciones; lo cual permitió una representación más completa y precisa del objeto de estudio en el entorno BIM, siendo de gran utilidad en el momento del modelado con herramientas de diseño. Por otro lado, la seguridad del levantamiento obtenido en base

a la nube de puntos permitió generar un modelado detallado referente a la geometría de los elementos que conforman la Iglesia de Balbanera (figura 3). Mediante el *software* BIM se obtuvo un modelado de los elementos del edificio —que se encuentra referenciado tanto en planta como en alzados, cortes e isometrías— gracias a la *interoperabilidad* del *software* junto al proceso de levantamiento de materiales y objetos constructivos; por lo que fue factible caracterizar la configuración material y constructiva de dichos elementos usando las fun-



Isometric Section A - A''

Figura 5. Representación de elementos constructivos según las geometrías del levantamiento.



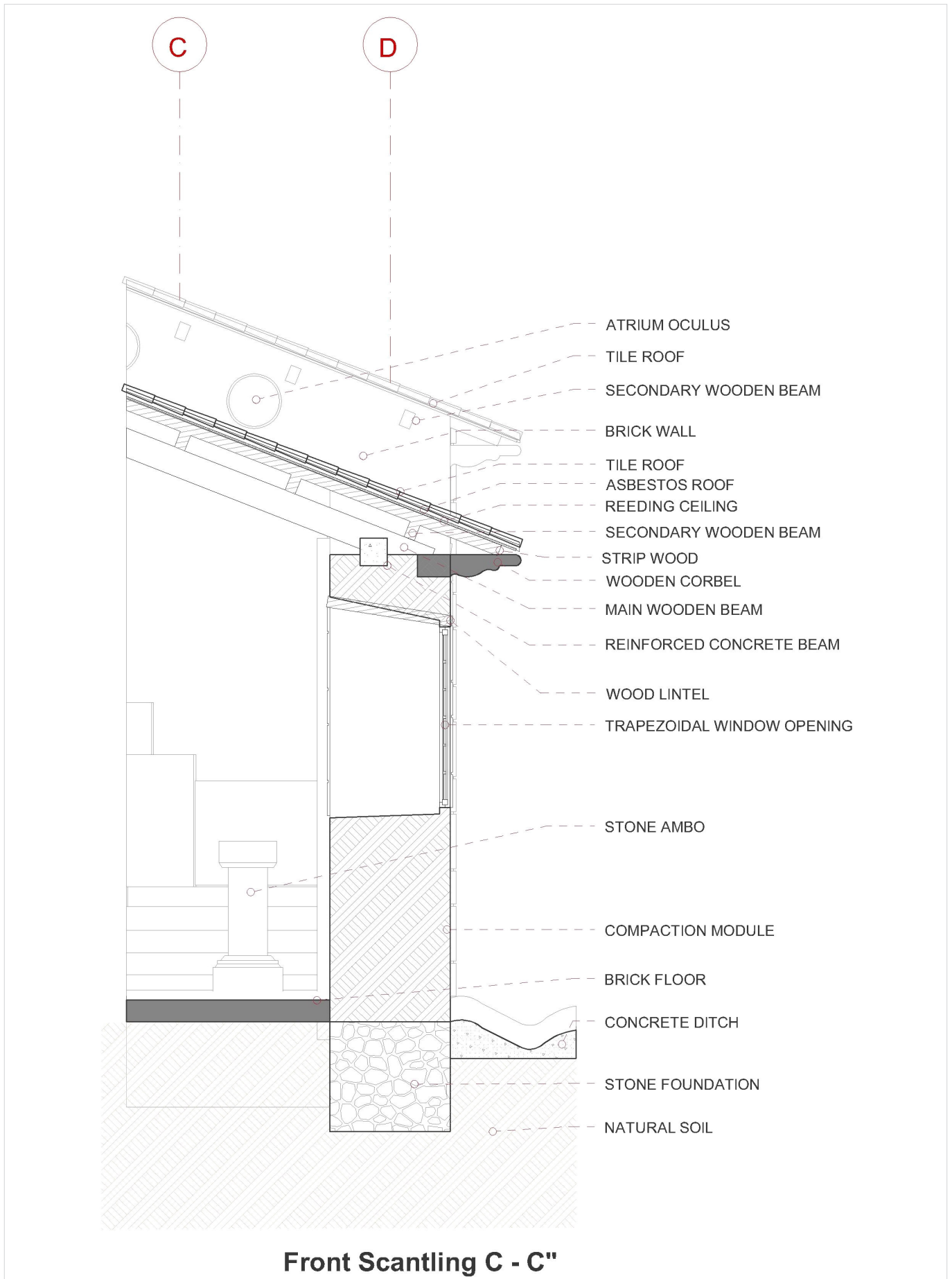


Figura 6. Detalles del escantillón frontal del modelo realizado.

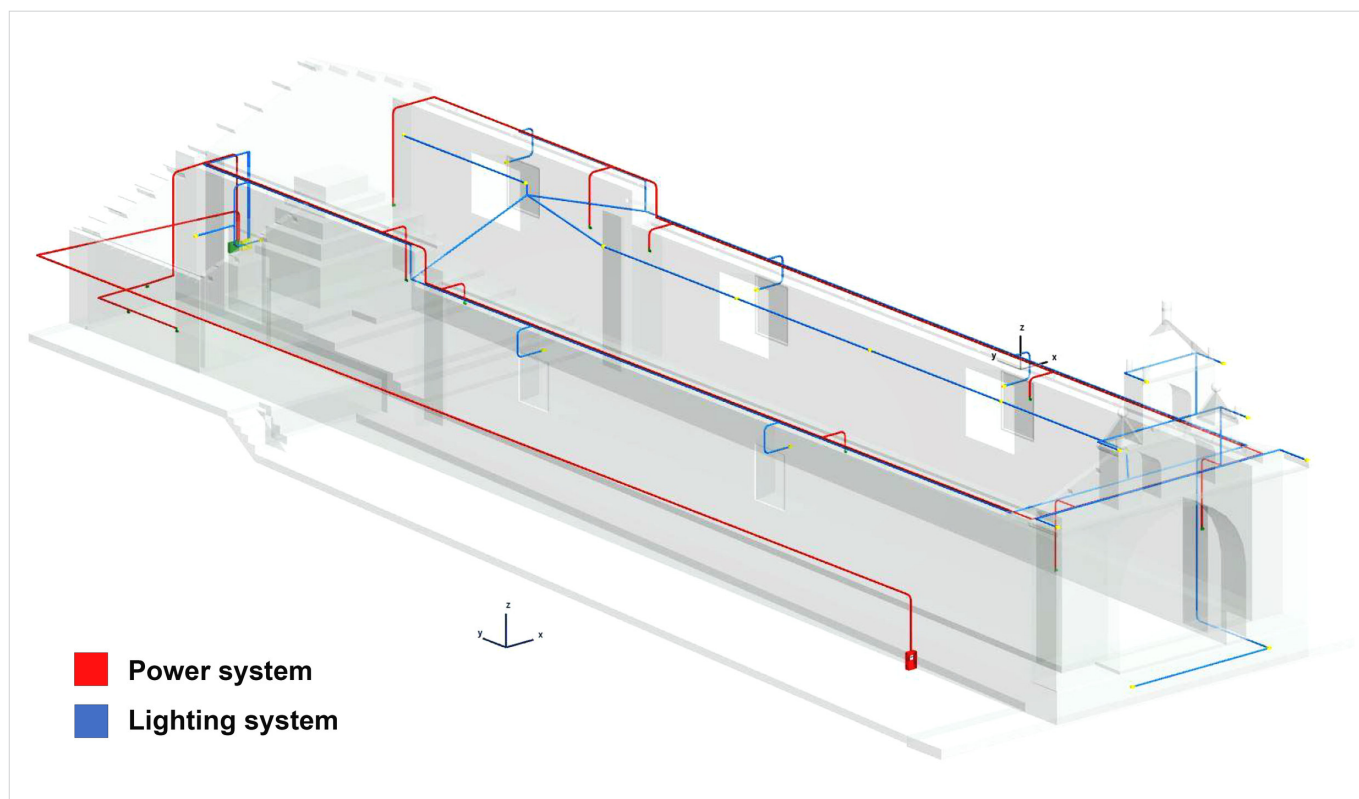


Figura 7. Diagrama MEP de instalación eléctrica en la Iglesia de Balbanera.

ciones del *software* BIM referentes a la cuantificación de materiales, superficies y componentes de construcción.

Como resultado se obtuvieron esquemas de cuantificación con cantidades fieles a la realidad de la edificación. Estos esquemas se determinaron conforme a la generación de componentes con distintas unidades de medida, dependiendo del elemento cuantificado, como se observa en la tabla 2 del esquema de muros. Al mismo tiempo, fue posible comprender la estructura de la Iglesia de Balbanera y la documentación de los datos resultantes en forma de planos de construcción, lo cual conformó detalles constructivos representados en el desarrollo gráfico del modelado.

Los planos generados fueron la base de la documentación del edificio histórico, contribuyendo a un análisis y registro más detallado de la estructura; donde las bondades del escaneo 3D permitieron la obtención de características constructivas muy difíciles de identificar con un levantamiento manual, como es el caso de la ubicación de las vigas (cerchas) principales. En el caso de las vigas se identificó, por medio de la nube de puntos, que en su conformación presentan una variación consecutiva de  $1^\circ$  entre la disposición de sus ejes ubicados en el alzado izquierdo de la iglesia, tal como se puede identificar en la figura 4.

El proceso de *referenciación* del modelado a través de la nube de puntos permitió generar un alto nivel de detalle en la representación de planos e isometrías que muestren la realidad geométrica y la morfología íntegra de la Iglesia de Balbanera. Además, se pudieron identificar los elementos constructivos completos a partir de escenas de escaneo plasmadas con detalle en el proceso de documentación. Así se conformaron los detalles y representaciones arquitectónicas que visualizan mejor cada parte de la iglesia levantada; por lo cual se representaron los planos y detalles arquitectónicos con un modelo de detalle macro y micro. El nivel macro permitió un análisis del conjunto de la iglesia, como se observa en la figura 5.

Estos datos son valiosos para entender la forma y los elementos macros que conforman la iglesia durante la restauración de edificios históricos; mientras que el aporte a nivel micro permite un detalle de volúmenes pequeños que pueden conformar elementos estructurales, como los elementos ornamentales, tal como se muestra en la figura 6. Así, la identificación de estos niveles de representación permitió actualizar las características constructivas de la iglesia en exteriores e interiores. Además, el análisis micro del modelo de nube resultante generó puntos de instalaciones vistas sobre la mampostería de la iglesia, posibilitando la obtención

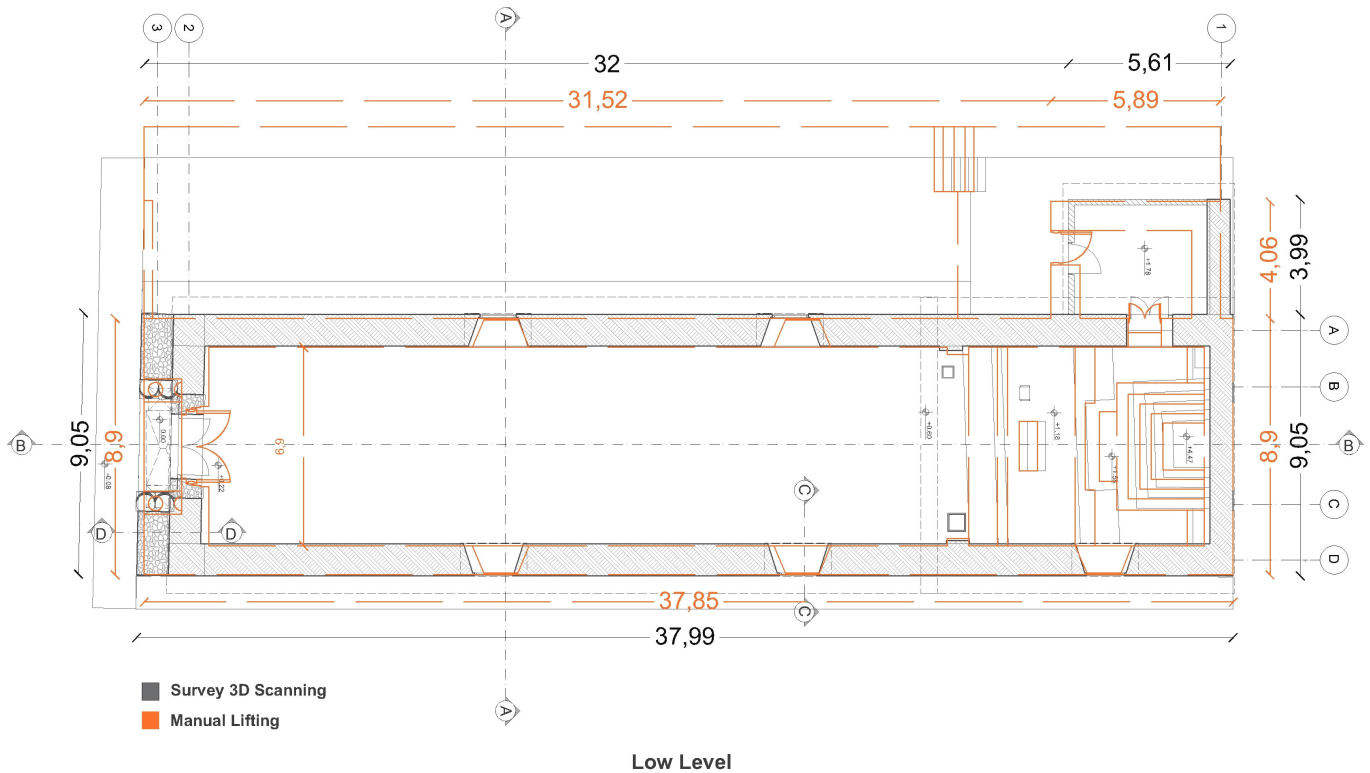


Figura 8. Superposición de planos en planta de la Iglesia de Balbanera.

de detalles de instalaciones con diagramas MEP (*Mechanical, Electrical and Plumbing*) (figura 7). Posteriormente, se presentó de forma gráfica la disposición y funcionamiento de las instalaciones, lo cual optimizó la planificación y representación de los sistemas existentes en este edificio histórico.

Junto al desarrollo gráfico, se consideró la identificación de diferencias que se puedan reflejar al realizar una superposición de plantas para comparar los errores de levantamiento que presenta el método tradicional respecto al método de escaneo 3D. Así se identificaron variaciones en dimensiones y ángulos de colocación de elementos.

En el levantamiento inicial se verificaron distintas desviaciones; considerando que para la elaboración de la planta arquitectónica los elementos colindantes forman una perpendicular, esta premisa no se cumple para los elementos de la iglesia. Con el análisis comparativo se comprobó que el porcentaje de error generado por un levantamiento manual fue alto, afectando incluso a la dimensión global del edificio, como se muestra en la figura 8.

Mediante el levantamiento 3D se obtuvieron resultados gráficos que verificaron grandes variaciones sobre el objeto construido. Existen elementos que conforman la cubierta donde se identificó que difieren

aproximadamente entre 1° y 2° en la distancia de ejes de elementos estructurales del levantamiento manual. Estas dimensiones podrían llegar a ser imperceptibles al estar bajo un proceso de levantamiento por métodos tradicionales. Se observaron diferencias en las medidas de las aristas, la geometría y la ubicación de vanos y elementos representativos como el altar de la Virgen. Se pudo afirmar que el uso y aplicación de tecnologías de registro 3D permitió generar un modelo fiel a la realidad que puede usarse para aplicaciones BIM dentro del objeto de valoración, evaluación, registro o incluso para determinar propuestas de intervención.

#### 4. CONCLUSIONES

En el proceso de investigación se ha apreciado que, a pesar de las diversas aplicaciones previamente documentadas de la tecnología láser en la generación de proyectos (HBIM), existen pocos estudios de caso. La mayoría de los análisis se concentran en la etapa subsiguiente a la exportación de datos provenientes de la nube de puntos y no hay un mayor registro referente a la fase de obtención de datos, como en el caso estudiado por Almukhtar *et al.* (2021). Por ello, se realizó un análisis más minucioso de la fase de adquisición de datos para



que esta metodología pueda ser replicada en los diferentes escenarios de las edificaciones patrimoniales a nivel nacional e internacional. Este análisis contribuye al conocimiento actual en relación con la relevancia de la especificación de los datos necesarios en la nube de puntos y, con ello, asegura que los datos recopilados satisfacen los estándares de calidad y eficiencia exigidos, tanto durante la fase de adquisición como en el procesamiento.

Esta investigación permite un proceso integral interconectado de todas las fases del modelado, desde la obtención de la nube de puntos hasta el modelo en un sistema BIM, para que pueda ser utilizado por los profesionales afines a la construcción y restauración. Contar con un registro de la metodología desde el levantamiento en el campo hasta el trabajo de gabinete garantiza una comunicación directa y un intercambio de los datos obtenidos en el proceso de escaneo y, con ello, la verificación de los requisitos, así como la *interoperabilidad* dentro del contexto del sistema BIM.

Por otro lado, la comparativa entre los datos obtenidos mediante el método HBIM y los resultados del método convencional presentó una notoria diferencia en precisión y tolerancia aceptable; ya que el último registro de levantamiento de información de la iglesia, previo al de la presente investigación, fue realizado aproximadamente ocho años atrás mediante el uso de cinta métrica y distanciómetro, teniendo como producto una base vectorial impresa en papel.

La información obtenida a través del escáner láser 3D y su emparejamiento con *software* permitió un proceso de *interoperabilidad* con el sistema BIM para obtener un registro de alta precisión y detalle de la Iglesia de Balbanera. Mediante esta tecnología fue posible conseguir un sistema de documentación, lo que posibilita la preservación digital de todas las características técnico-constructivas del inmueble.

La obtención de este documento digital resulta de gran utilidad ya que contiene información de sitios sensibles a posibles deformaciones o alteraciones, detalles morfológicos completos de todos sus elementos, tanto ornamentales como estructurales, junto a una identificación de fallos suscitados durante el proceso constructivo y reconstructivo del inmueble, evidenciados en errores de elementos que no se encontraban aplomados.

La utilización de un *software* BIM para la ejecución del presente trabajo de investigación permitió generar mayor alcance respecto al desarrollo de un modelo tridimensional que procesa e identifica cada elemento constructivo empleado en la construcción.

El tiempo y recursos optimizados al emplear esta herramienta informática determina el punto decisivo en la elección de un *software* BIM en vez de un CAD.

Con la obtención del modelo HBIM de la Iglesia de Balbanera se evidenció la cuantificación de materiales de obra, brindando a los profesionales información veraz y confiable que se podrá emplear para posibles intervenciones futuras.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMUKHTAR, A.; Z. O. SAEED; H. ABANDA; J. H. M. TAH. 2021. Reality Capture of Buildings Using 3D Laser Scanners. *CivilEng 2*, 1: 214-235.
- AMARO, J. L.; M. AGUILAR; J. A. BARRERA. 2012. *Nuevas tecnologías y métodos tradicionales en el levantamiento de patrimonio arquitectónico*. En *XI Congreso Internacional de Expresión Gráfica Aplicada a la Edificación*, pp. 575-582. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- CAIZA, I. 2015. *Plan estratégico turístico de los valores patrimoniales del Cantón Colta en la provincia de Chimborazo*. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Chimborazo.
- CAMPI, M.; A. DI LUGGO; S. SCANDURRA. 2017. 3D modeling for the knowledge of architectural heritage and virtual reconstruction of its historical memory. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLII-2/W3*: 133-139.
- CHIABRANDO, F.; G. SAMMARTANO; A. SPANÒ. 2016. Historical buildings models and their handling via 3D survey: From points clouds to user-oriented HBIM. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLI-B5*: 633-640.
- EGRED, J. 2000. *El Terremoto de Riobamba*. Riobamba: Abya Yala.
- ESPINOZA, L. S. 2017. *Evaluación estructural de la edificación patrimonial Estupiñán Orejuela de la ciudad de Quito*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

- GARCÍA-GAGO, J.; L. J. SÁNCHEZ-APARICIO; M. SOILÁN; D. GONZÁLEZ-AGUILERA. 2022. HBIM for supporting the diagnosis of historical buildings: case study of the Master Gate of San Francisco in Portugal. *Automation in Construction* 141: 104453. <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104453>>.
- GUO, J.; L. YUAN; Q. WANG. 2020. Time and cost analysis of geometric quality assessment of structural columns based on 3D terrestrial laser scanning. *Automation in Construction* 110: 103014. <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103014>>.
- LOREDO, A. J.; J. GARCÍA-SANZ-CALCEDO; A. M. REYES. 2020. Use of BIM with photogrammetry support in small construction projects. Case study for commercial franchises. *Journal of Civil Engineering and Management* 26, 6: 513-523. <<https://doi.org/10.3846/jcem.2020.12611>>.
- MAÑANA-BORRAZAS, P.; A. RODRÍGUEZ; R. BLANCO-ROTEA. 2008. Una experiencia en la aplicación del Láser Escáner 3D a los procesos de documentación y análisis del Patrimonio Construido: su aplicación a Santa Eulalia de Bóveda (Lugo) y San Fiz de Solovio (Santiago de Compostela). *Arqueología de la Arquitectura* 5: 15-32. <<https://doi.org/10.3989/arq.arqt.2008.87>>.
- MARTÍN, R.; J. I. MURILLO; M. Á. UTRERO. 2021. Reflexiones y criterios relativos a la creación de modelos BIM de edificios históricos. *Arqueología de la Arquitectura* 18: e113. <<https://doi.org/10.3989/arq.arqt.2021.005>>.
- MARTÍNEZ, A.; J. X. SAMPEDRO. 2016. *Análisis de las características estructurales y técnica constructiva de la arquitectura colonial del Templo de Balnera, Cantón Colta, provincia de Chimborazo*. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Chimborazo.
- MURPHY, M.; E. MCGOVERN; S. PAVIA. 2009. Historic building information modelling (HBIM). *Structural Survey* 27, 4: 311-327. <<https://doi.org/10.1108/02630800910985108>>.
- PILCO, M. M. 2019. *Gestión patrimonial y la diversificación de la oferta turística del cantón Colta, provincia de Chimborazo*. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Chimborazo.
- RAHIMIAN, F. P.; S. SEYEDZADEH; S. OLIVER; S. RODRIGUEZ; N. DAWOOD. 2020. On-demand monitoring of construction projects through a game-like hybrid application of BIM and machine learning. *Automation in Construction* 110: 103012. <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103012>>.
- REBOLJ, D.; Z. PUČKO; N. CUŠ-BABIČ; M. BIZJAK; D. MONGUS. 2017. Point cloud quality requirements for Scan-vs-BIM based automated construction progress monitoring. *Automation in Construction* 84: 323-334. <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.09.021>>.
- SÁNCHEZ, M.; E. GIL; C. MUNICIO; J. A. FERNÁNDEZ. 2016. Aplicaciones del escaneado láser en patrimonio histórico-artístico. En *La Convención de la Edificación (Granada, 2016)*, pp. 789-798.
- WANG, C.; Y. K. CHO; C. KIM. 2015. Automatic BIM component extraction from point clouds of existing buildings for sustainability applications. *Automation in Construction* 56: 1-13. <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.04.001>>.
- YANG, L.; J. C. P. CHENG; Q. WANG. 2020. Semi-automated generation of parametric BIM for steel structures based on terrestrial laser scanning data. *Automation in Construction* 112: 103037. <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103037>>.
- YUAN, L.; J. GUO; Q. WANG. 2020. Automatic classification of common building materials from 3D terrestrial laser scan data. *Automation in Construction* 110: 103017. <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103017>>.



RESEARCH ARTICLE

## PEDRA DAS LETRAS: ARTE RUPESTRE NO CENTRO-OESTE DE PIRIPIRI, BRASIL

### *Pedra das Letras: Rock Art in the Central West of Piripiri, Brazil*

*Luis Carlos Duarte Cavalcante  
Sônia Maria Campelo Magalhães  
Heralda Kelis Sousa Bezerra da Silva*

Laboratório de Arqueometria e Arte Rupestre, Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina, Piauí, Brasil  
(✉ [cavalcanteufpi@ufpi.edu.br](mailto:cavalcanteufpi@ufpi.edu.br))



Figura 1. Localização do sítio arqueológico Pedra das Letras; vista panorâmica do bloco arenítico e detalhes da localização do pequeno abrigo elevado e do nicho lateral com pinturas rupestres.

**RESUMO.** O sítio arqueológico Pedra das Letras está localizado no povoado Barro, área rural do município de Piripiri, Piauí, Brasil. O objetivo deste trabalho é apresentar os primeiros dados do levantamento desse sítio arqueológico recém-cadastrado no IPHAN, além dos principais problemas que atuam em sua degradação. A Pedra das Letras consiste de um bloco de arenito contendo um pequeno abrigo rochoso elevado e um nicho lateral com pinturas rupestres vermelhas.

Recebido: 3/5/2024. Aceito: 8/5/2024. Publicado: 17/5/2024.

Edited & Published by Pascual Izquierdo-Egea [P. I. Egea]. Arqueol. Iberoam. Open Access Journal.  
Creative Commons License (CC BY 4.0). <https://n2t.net/ark:/49934/334>. <https://purl.org/aia/5313>.



*Na parede rochosa do fundo do abrigo são encontradas 58 pinturas e no nicho lateral foram identificadas sete impressões de mãos. A figura mais recorrente nos painéis pictóricos é a impressão de mãos, tendo sido identificadas 45 representações desse motivo, elaboradas com diferentes técnicas de execução. As demais figuras foram atribuídas à classe de abstratas, algumas delas sem contorno nitidamente definido. Entre os principais problemas de conservação, destacam-se o avançado estado de degradação do arenito, ninhos de insetos (como cupins e vespas), eflorescências salinas, desgaste causado pelas águas das chuvas, e plantas presas ao bloco rochoso.*

**PALAVRAS-CHAVE.** *Pinturas rupestres, impressões de mãos, Pedra das Letras, Piripiri, Brasil.*

**ABSTRACT.** *The Pedra das Letras archaeological site is located in the Barro village, a rural area in the municipality of Piripiri, Piauí, Brazil. The aim of this paper is to present the first data from the survey of this archaeological site, which has recently been registered at the IPHAN, as well as the main problems affecting its degradation. Pedra das Letras consists of a sandstone block containing a small elevated rock shelter and a side niche with red rock paintings. 58 paintings were found on the rock wall at the back of the shelter, and seven handprints have been identified in the side niche. The most frequent figure in the pictorial panels is the handprint, with 45 representations of this motif having been identified, made using different execution techniques. The remaining figures were attributed to the abstract class, some of them without a clearly defined outline. The main conservation problems include the advanced state of degradation of the sandstone, insect nests (such as termites and wasps), salt efflorescence, wear and tear caused by rainwater, and plants attached to the rock block.*

**KEYWORDS.** *Rock paintings, handprints, Pedra das Letras, Piripiri, Brazil.*

## INTRODUÇÃO

Nos últimos quinze anos diversas publicações têm divulgado dados inéditos sobre o acervo de sítios arqueológicos de Piripiri, município situado no norte do Estado do Piauí, no Nordeste do Brasil.

Contudo, até dezembro de 2022, os relatos abrangiam apenas o sudeste da área, sobretudo o vale do riacho Corrente, nas imediações dos povoados Buriti dos Cavalos, Cadoz Velho e Jardim (Cavalcante 2015, 2016).

Os trabalhos de pesquisa desenvolvidos até este momento têm focado no levantamento sistemático dos sítios arqueológicos identificados no mencionado recorte geográfico, tendo revelado a ocorrência expressiva de pinturas rupestres produzidas em diversas cores, embora o uso de um amplo espectro de tonalidades vermelhas seja claramente dominante (Cavalcante *et al.* 2014; Cavalcante 2015, 2016).

Além das pinturas rupestres, a maioria conhecida desde 1995 e 1997 (NAP-UFPI/IPHAN 1995, 1997), outros vestígios de atividades humanas pré-históricas foram identificados nos trabalhos realizados a partir de 2009, a exemplo de gravuras rupestres (inclusive pintadas), cerâmicas, líticos, pigmentos minerais de diversas cores, pilões ou almofarizes e amoladores-polidores fixos (Cavalcante *et al.* 2014, 2024; Cavalcante 2022).

Esforços têm sido empreendidos no sentido de diagnosticar os principais agentes naturais e antrópicos que atuam na degradação desse abundante patrimônio, do mesmo modo que a realização de prospecções frequentes está permitindo alcançar uma compreensão mais aprofundada sobre o contexto ambiental e cultural da área (Silva & Cavalcante 2017; Cavalcante 2022).

Muito trabalho ainda resta a ser feito e a expectativa é envolver o maior número possível de estudantes de graduação e de pós-graduação nessa desafiadora tarefa. Por enquanto, apenas dois sítios foram parcialmente escavados e somente dois foram datados. O Pedra do Cantagalo I e o Entrada do Caminho da Caiçara foram escavados (Cavalcante 2018; Cavalcante *et al.* 2019). Uma idade  $^{14}\text{C}$  de  $1180 \pm 30$  anos antes do presente (Beta 420913) foi obtida para carvões resgatados de uma estrutura de combustão bem preservada em estratigrafia do sítio Pedra do Cantagalo I (Cavalcante *et al.* 2017).

O outro sítio datado foi o Pedra do Atlas, para o qual foi obtida uma idade  $^{14}\text{C}$  de  $830 \pm 30$  anos antes do presente (Beta 632745) a partir de um fragmento cerâmico encontrado em superfície (Cavalcante *et al.* 2022).

Recentemente, seis sítios arqueológicos, até então desconhecidos, foram catalogados pelo Grupo de Educação Patrimonial e Arqueologia (GEPAR), coordena-



Figura 2. Vista panorâmica do pequeno abrigo elevado do sítio Pedra das Letras.

do pela Professora Elaine Ignácio, da Universidade Federal do Piauí (UFPI) (SICG-IPHAN 2024). Os novos achados localizam-se no povoado Barro, região da Cacimba Preta, no centro-oeste do município de Piri-piri, área geográfica para a qual não se tinha, até então, notícias sobre a ocorrência de sítios de arte rupestre, vestígio cultural mencionado nas fichas de cadastro desse acervo no Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN).

Neste trabalho, o objetivo primordial é apresentar os primeiros dados do levantamento da Pedra das Letras, um dos sítios arqueológicos recém-encontrados no povoado Barro, no centro-oeste de Piri-piri, cujos procedimentos de campo centraram na descrição do sítio, das pinturas rupestres nele identificadas, além dos agentes de degradação que exercem influência direta na conservação desse patrimônio.

## TRABALHO DE CAMPO

O procedimento prático de campo adotado no levantamento do sítio arqueológico Pedra das Letras en-

contra-se pormenorizadamente descrito em diversas publicações (Cavalcante 2015, 2016), constando, neste caso, das etapas listadas a seguir:

- Obtenção das coordenadas de localização geográfica.
- Levantamento do sítio arqueológico, com foco na descrição, orientação geográfica, direção de abertura, medidas dimensionais, entre outros aspectos relacionados.
- Levantamento das pinturas rupestres, com ênfase na descrição, identificação dos tipos de figuras, cores em que foram executadas, estado físico de aplicação da tinta no suporte rochoso, verificação de eventual ocorrência de cenas reconhecíveis a partir da relação entre as figuras discerníveis, largura do traço pictórico, entre outros aspectos relacionados.
- Levantamento dos problemas de degradação que exercem influência na conservação do suporte e das pinturas rupestres.
- Registro fotográfico panorâmico do sítio arqueológico e de seu entorno, além de registro fotográfico panorâmico e de detalhes das pinturas rupestres, e dos problemas de degradação que exercem influência em sua conservação.





Figura 3. Detalhes das pinturas rupestres existentes na parede rochosa do abrigo do sítio Pedra das Letras.

## O SÍTIO ARQUEOLÓGICO PEDRA DAS LETRAS

Antes de abordar o levantamento do sítio Pedra das Letras (Figura 1) é preciso mencionar que os moradores da comunidade do entorno se referem a ele com esta denominação, embora o cadastro recente do referido sítio no IPHAN tenha sido feito usando a denominação “O Desespero da Subida”, nome para o qual não se sabe qual teria sido a inspiração.

Outro detalhe a esclarecer é que o sítio Pedra das Letras é constituído de um pequeno abrigo rochoso elevado, contendo pinturas rupestres, e de um pequeno nicho lateral, contendo somente pinturas vestigiais em processo acelerado de desaparecimento.

Ao se referir ao sítio arqueológico, os moradores do entorno o fazem apenas em relação ao pequeno abrigo, não mencionando o nicho com figuras vestigiais, de onde se depreende que o painel vestigial para eles não existe ou não tem importância.

No IPHAN, o dito nicho lateral da Pedra das Letras encontra-se cadastrado como sendo outro sítio arqueológico, com a denominação “Círculos Concêntricos”, quando na realidade é apenas um painel lateral de pinturas da Pedra das Letras, situado no mesmo bloco rochoso do abrigo e muito próximo a este último.

Dadas essas considerações, cabe deixar claro que, nesta publicação, optou-se por manter a denominação pela qual o dito sítio arqueológico é conhecido pelos moradores locais, Pedra das Letras, considerando as pinturas rupestres, tanto do abrigo arenítico quanto do nicho lateral, como pertencentes a um mesmo sítio, e não a dois, como foram cadastrados no IPHAN.

## O bloco arenítico e o entorno

Em síntese, o sítio arqueológico Pedra das Letras consiste em um pequeno abrigo rochoso elevado (Figura 2), situado na extremidade angular de um pequeno e delgado bloco arenítico da Formação Cabeças,



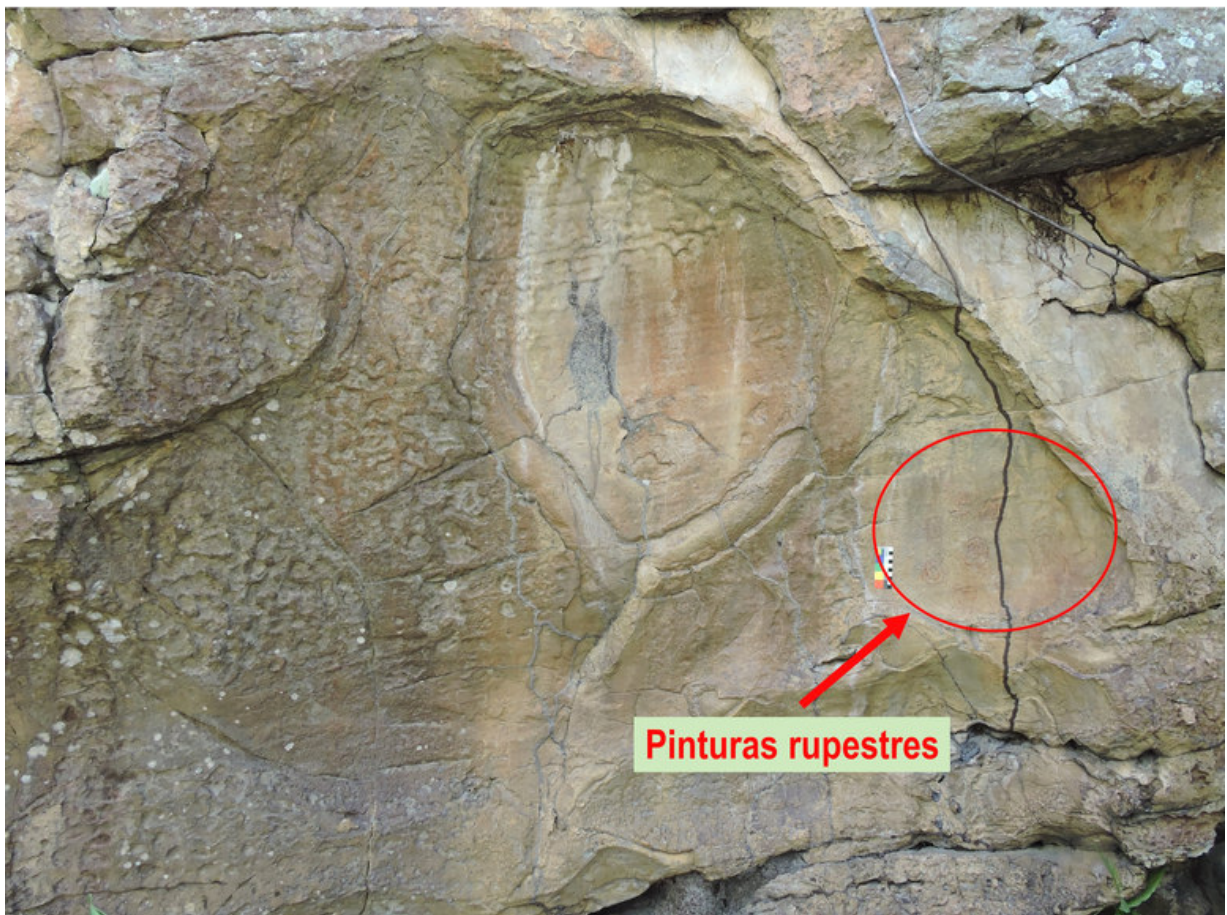


Figura 4. Vista panorâmica do nicho lateral da Pedra das Letras.



Membro-Oeiras, na lateral do qual existe um pequeno nicho formado por erosão alveolar. A altura do bloco arenítico é de 6,29 m e a dimensão da lateral em que fica o pequeno nicho é de 20,45 m.

O piso rochoso do abrigo fica 2,98 m acima do nível médio do solo atual, enquanto a altura do teto ao piso é de 1,11 m. A profundidade máxima do abrigo é de 92 cm e a parede ao fundo tem extensão de 1,81 m. A orientação do abrigo é ~185° sudoeste para ~20° nordeste, tendo abertura voltada para ~110° sudeste.

O pequeno nicho rochoso lateral, semiabrigado, estende-se de ~74 cm até ~2,70 m de altura em relação ao nível médio do solo atual, com uma largura máxima de 2,10 m. A orientação do nicho lateral é ~290° noroeste para ~115° sudeste, com abertura voltada para ~215° sudoeste. O abrigo arenítico situa-se 9 m à direita do nicho lateral. Diferentemente do abrigo rochoso, que é mais elevado em relação ao solo atual, o nicho dispõe de sedimentos passíveis de escavação logo abaixo da parte inferior.

A vegetação do entorno não é expressivamente densa, mas se apresenta verdejante, sendo majoritariamente constituída por espécies típicas de cerrado com pequeno e médio porte. Essa estatura da vegetação local é suficiente para camuflar o bloco arenítico da Pedra das Letras em meio à paisagem, deixando-o encoberto na mata. A região é rica em recursos hídricos, com a confluência de dois riachos a aproximadamente 950 m de distância do sítio arqueológico. O riacho mais próximo passa a menos de 500 m do bloco rochoso e a área ainda é servida por mais algumas lagoas próximas.

### As pinturas rupestres do abrigo rochoso elevado

Pinturas rupestres vermelhas em variadas tonalidades são encontradas em toda a parede rochosa do fundo do abrigo elevado (Figura 3). Identifica-se uma quantidade expressiva de impressões de mãos, ora totalmente preenchidas com tinta, ora na forma de carimbos, quando diferentes padrões curvilíneos ou longitudinais paralelos foram previamente pintados nas palmas das mãos e, às vezes, nos dedos, antes delas serem impressas na superfície rochosa, resultando carimbos com morfologias variadas.

Além da impressão de mãos, observa-se ainda a ocorrência de figuras abstratas, em geral com formas geométrizadas, a exemplo de traços paralelos dispostos de forma vertical, horizontal ou inclinada, entre outras figuras não reconhecíveis.

Em todo o painel são observados traços ou manchas que sugerem a limpeza de dedos das mãos impregnados com resíduos de tinta vermelha.

A largura média do traço pictórico das figuras é de ~1 cm, sugerindo o uso dos dedos das mãos como pinéis na execução das pinturas rupestres.

A análise detalhada do painel pictórico apontou a ocorrência de 58 pinturas rupestres, entre as quais foram contabilizadas 38 impressões de mãos. As demais figuras foram atribuídas à classe de abstratas, algumas delas sem contorno nitidamente definido. Em alguns pontos são observadas sobreposições de figuras entre si ou de figuras e manchas de tinta sem contorno definido.

### As pinturas rupestres do nicho lateral

Conforme mencionado, o nicho lateral (Figura 4) contém pinturas rupestres vestigiais (Figura 5), sendo, no entanto, possível distinguir sete impressões de mãos em forma de carimbos, na cor vermelha, observando-se somente a representação das palmas das mãos. A largura do traço pictórico varia de menos de 1 mm até 7,5 mm, relativamente mais fina do que a largura de traço dos carimbos de mãos encontrados no abrigo rochoso próximo. No nicho não são observadas sobreposições entre os carimbos de mãos.

### Principais problemas de conservação

Os principais problemas que atuam na degradação do sítio Pedra das Letras são de origem natural, destacando-se o avançado estado de degradação em que se encontra a rocha arenítica que serve de suporte às pinturas rupestres, apresentando fissuras, trincas e deslocamentos. Além disso, observam-se: i) ninho e galerias de cupins, inclusive sobrepondo alguns pontos com arte rupestre; ii) ninhos de vespas construídos à base de argila; iii) manchas geradas pela cristalização de eflorescências salinas; iv) desgaste da superfície rochosa causado pelo escoamento de água das chuvas (o que está removendo a película externa protetora do arenito, havendo áreas colonizadas por microrganismos – produzindo manchas esbranquiçadas e esverdeadas); v) escamação da superfície do suporte rochoso.

No mês de julho a luz do sol incide diretamente sobre as pinturas da extremidade direita do abrigo, no início da manhã, pelo menos no horário entre ~8 h e ~10 h. Plantas presas ao bloco rochoso, inclusive em algumas áreas próximas às pinturas, atuam na degradação física (comprimindo mecanicamente o arenito-su-

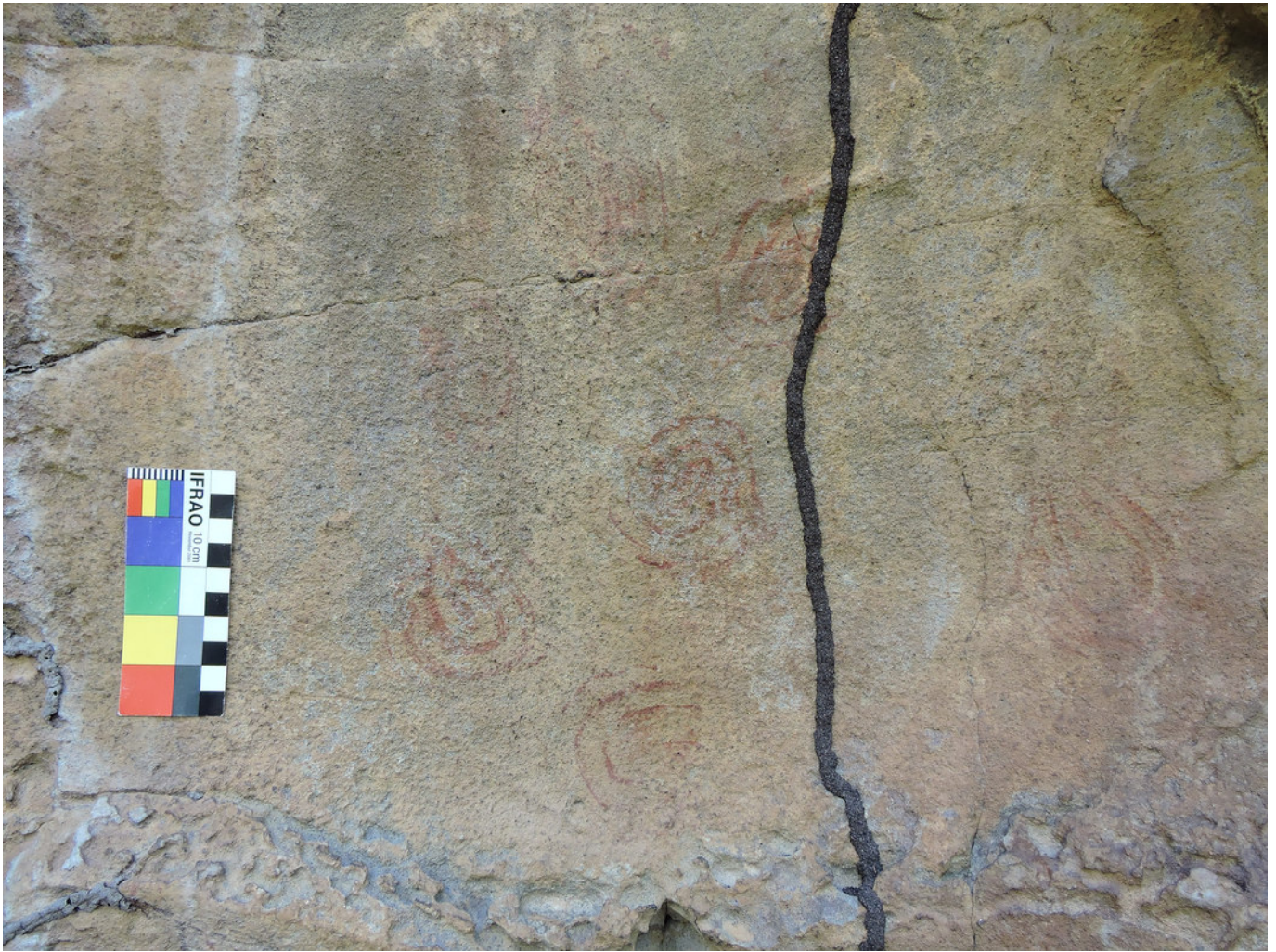


Figura 5. Detalhes das pinturas rupestres vestigiais do nicho lateral da Pedra das Letras.

porte), química (excreção de ácidos orgânicos) e biológica (gerando um microclima favorável à proliferação de microrganismos).

Deve-se mencionar ainda a ocorrência de finos traços horizontais, longos e paralelos entre si, de cor aproximadamente preta, localizados no centro do painel de pinturas, sobre os quais não se tem indícios da origem.

Não foram encontrados indícios significativos de problemas de degradação causados pela ação humana direta.

### **BREVES CONSIDERAÇÕES SOBRE ARTE RUPESTRE E IMPRESSÕES DE MÃOS NO CENTRO-NORTE DO PIAUÍ**

Os sítios de arte rupestre do centro-norte do Piauí, em sua vasta maioria, não contêm a representação de figuras miniaturizadas e de cenas do dia a dia, como é comum encontrar em sítios da Tradição Nordeste de

pinturas, destacadamente na área do Parque Nacional Serra da Capivara e em seus arredores (Pessis 2003; Martin 2008). No centro-norte do Estado o traço pictórico é mais largo, as figuras são, em geral, de maiores dimensões, predominando motivos abstratos e, muito frequentemente, com formas geométricas. A exceção é composta pelos zoomorfos (em geral figuras lagartiformes), os ditos propulsores de dardos (também interpretados como ornitomorfos) e, mais raramente, pelos antropomorfos. Uma representação que se destaca nos sítios do centro-norte do Piauí com muita recorrência é a impressão de mãos, quase onipresente na região (Magalhães 2011; Cavalcante 2019).

O trabalho mais abrangente sobre a arte rupestre do centro-norte do Piauí é seguramente a tese de doutorado de Sônia Maria Campelo Magalhães (2011), pesquisadora que se debruçou sobre uma extensa área geográfica do Estado e examinou as características morfológicas das pinturas com riqueza de detalhes. Na área em que investigou, Magalhães aponta tanto a frequên-



cia das impressões de mãos nos sítios arqueológicos quanto a recorrência desse motivo nos sítios em que é encontrado.

Além da tese de doutorado da autora mencionada, outros trabalhos também relatam a ocorrência de impressões de mãos nas pinturas rupestres de sítios arqueológicos da região, a exemplo de Lage *et al.* (2007; na Pedra do Cartório, Parque Nacional de Sete Cidades), Mendes Junior *et al.* (2009; na Pedra do Lagarto, Parque Nacional de Sete Cidades), Magalhães *et al.* (2010; na Pedra do Americano, Parque Nacional de Sete Cidades), Magalhães *et al.* (2015; no sítio Tamboril, área rural de Barras), Sousa (2017; no conjunto de sítios arqueológicos Poço da Onça, em Piracuruca) e Cavalcante *et al.* (2023; na Pedra da Inscrição, Parque Nacional de Sete Cidades).

No caso específico da área do município de Piripiri, que configura o entorno mais imediato do sítio de arte rupestre objeto de investigação neste trabalho, a ocorrência de impressões de mãos foi relatada na maioria dos sítios arqueológicos até agora estudados, a exemplo do Fazendinha I (10 representações) (Cavalcante & Rodrigues 2016), do Caminho da Caiçara II (4 representações) (Cavalcante & Rodrigues 2020), do Pedra do Dicionário (11 representações) (Cavalcante & P. Rodrigues 2012), do Pedra do Atlas (6 representações) (Cavalcante & Rodrigues 2009), do Pedra Ferrada

(4 representações) (Cavalcante *et al.* 2013), do Cadoz Velho I (60 representações) (Cavalcante & A. Rodrigues 2012) e do Pedra do Cantagalo I (60 representações, quantificadas a partir do exame detalhado do acervo fotográfico do primeiro autor deste artigo) (Cavalcante & Rodrigues 2010).

Pessis, Asón-Vidal e Martin (2021) publicaram recentemente uma análise importante sobre impressões de mãos em diversos sítios arqueológicos do Nordeste do Brasil, mostrando que nesse recorte geográfico as tipologias encontradas são realisticamente variadas e os padrões pictóricos desse motivo são complexos.

## CONCLUSÃO

A partir do que aqui foi exposto, pode-se considerar que as 45 impressões de mãos encontradas no sítio Pedra das Letras (38 representações no abrigo rochoso elevado e sete exemplares no nicho lateral) são uma amostra representativa dos diferentes padrões pictóricos desse motivo encontrados no Nordeste do Brasil.

Além disso, é preciso reconhecer que a quantidade expressiva de 200 impressões de mãos já documentadas em sítios arqueológicos de Piripiri o torna uma área propícia para a investigação mais aprofundada sobre esta figura específica no acervo de pinturas rupestres locais.

## Agradecimentos

Os autores são gratos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade em pesquisa concedida a L. C. D. Cavalcante (Processo 315709/2020-0), à Universidade Federal do Piauí (UFPI) pelo apoio com o transporte ao campo, e aos moradores do povoado Barro pela acolhida.

## REFERÊNCIAS

- CAVALCANTE, L. C. D. 2015. Pinturas rupestres da região arqueológica de Piripiri, Piauí, Brasil. *Arqueología Iberoamericana* 26: 6-12.
- CAVALCANTE, L. C. D. 2016. Sítios arqueológicos do vale do Buriti dos Cavalos: uma breve revisão. *Arqueología Iberoamericana* 30: 16-22.
- CAVALCANTE, L. C. D. 2018. Arqueometria e o sítio arqueológico Pedra do Cantagalo I: uma estratégia de investigação como modelo para a América do Sul. *Cadernos do LEPAARQ* 15/30: 315-326.
- CAVALCANTE, L. C. D. 2019. Rupestrian Paintings from the Archaeological Area of Piripiri, Piauí, Brazil: A Current Overview. *Global Journal of Archaeology & Anthropology* 7/5: 555725.
- CAVALCANTE, L. C. D. 2022. Pedra do Atlas: uma síntese das pesquisas arqueológicas e perspectivas futuras. *Arqueología Iberoamericana* 49: 36-44.
- CAVALCANTE, L. C. D.; A. L. N. FERREIRA; M. CASTRO; N. G. SOUSA. 2013. Arte rupestre no quintal: o caso da Pedra Ferrada e o desafio da preservação patrimonial. *Rupestreweb*. <<https://www.rupestreweb.info/pedraferrada.html>>.

- CAVALCANTE, L. C. D.; E. V. FREITAS; C. D. C. CARVALHO; J. W. L. SOUSA. 2023. Pedra da Inscrição: arte rupestre no Parque Nacional de Sete Cidades, Brasil. *Arqueología Iberoamericana* 52: 135-143.
- CAVALCANTE, L. C. D.; J. M. LEITE; J. W. L. SOUSA. 2022. Investigação arqueométrica de cerâmicas arqueológicas do sítio Pedra do Atlas, Brasil. *Arqueología Iberoamericana* 50: 116-127.
- CAVALCANTE, L. C. D.; A. A. RODRIGUES. 2010. Arte rupestre e problemas de conservação da Pedra do Cantagalo I. *International Journal of South American Archaeology* 7: 15-21.
- CAVALCANTE, L. C. D.; A. A. RODRIGUES. 2012. Pinturas rupestres do sítio Cadoz Velho I, Piripiri, Piauí. *Rupestreweb*. <<https://www.rupestreweb.info/piripiri.html>>.
- CAVALCANTE, L. C. D.; A. A. RODRIGUES. 2016. Fazendinha I: descoberta de um novo sítio pré-histórico e descrição preliminar de suas inscrições rupestres e problemas de conservação. *Arqueología Iberoamericana* 30: 44-50.
- CAVALCANTE, L. C. D.; A. A. RODRIGUES. 2020. Arte rupestre e problemas de conservação do sítio arqueológico Caminho da Caiçara II. *Arqueología Iberoamericana* 45: 93-100. <<https://doi.org/10.5281/zenodo.3903991>>.
- CAVALCANTE, L. C. D.; P. R. A. RODRIGUES. 2009. Análise dos registros rupestres e levantamento dos problemas de conservação do sítio Pedra do Atlas, Piripiri, Piauí. *Clio Arqueológica* 24/2: 154-173.
- CAVALCANTE, L. C. D.; P. R. A. RODRIGUES. 2012. Pedra do Dicionário: registros rupestres e propostas de intervenção de conservação. *Clio Arqueológica* 27/2: 241-264.
- CAVALCANTE, L. C. D.; A. A. RODRIGUES; E. N. L. COSTA; H. K. S. B. SILVA; P. R. A. RODRIGUES; P. F. OLIVEIRA; Y. R. V. ALVES; J. D. FABRIS. 2014. Pedra do Cantagalo I: uma síntese das pesquisas arqueológicas. *Arqueología Iberoamericana* 23: 45-60.
- CAVALCANTE, L. C. D.; H. K. S. B. SILVA; J. D. FABRIS; J. D. ARDISSON. 2017. Red and yellow ochres from the archaeological site Pedra do Cantagalo I, in Piripiri, Piauí, Brazil. *Hyperfine Interactions* 238: 22.
- CAVALCANTE, L. C. D.; J. W. L. SOUSA; H. K. S. B. SILVA. 2019. Análise químico-mineralógica e parâmetros de queima de cerâmicas do sítio arqueológico Entrada do Caminho da Caiçara, Brasil. *Arqueología Iberoamericana* 43: 20-34.
- CAVALCANTE, L. C. D.; J. W. L. SOUSA; H. K. S. B. SILVA; S. M. C. MAGALHÃES. 2024. Lajedo do Riacho Braço Forte: um repositório de marcas antigas de atividade humana no caminho das águas, Brasil. *Arqueología Iberoamericana* 53: 35-45.
- LAGE, M. C. S. M.; L. C. D. CAVALCANTE; A. S. GONÇALVES. 2007. Intervenção de conservação no Sítio Pequeno, Parque Nacional de Sete Cidades, Piauí, Brasil. *Fundamentos* 1/6: 115-124.
- MAGALHÃES, S. M. C. 2011. *A arte rupestre do centro-norte do Piauí: indícios de narrativas icônicas*. Tese de Doutorado, História. Niterói: Universidade Federal Fluminense.
- MAGALHÃES, S. M. C.; P. R. A. RODRIGUES; K. A. R. OLIVEIRA; F. J. L. SILVA. 2010. A preservação e conservação do sítio Pedra do Americano, PARNA. Sete Cidades, Piracuruca, PI. *Fundamentos* 1/9: 1046-1056.
- MAGALHÃES, S. M. C.; E. L. S. SILVA; L. C. D. CAVALCANTE. 2015. Pinturas rupestres do sítio Tamboril, Barras, Piauí, Brasil. *Arqueología Iberoamericana* 28: 3-8.
- MARTIN, G. 2008. *Pré-história do Nordeste do Brasil*. Recife: Ed. Universitária da UFPE.
- MENDES JUNIOR, J. Q.; E. A. SOUSA; L. C. D. CAVALCANTE; M. C. S. M. LAGE. 2009. Conservação de arte rupestre no sítio Pedra do Lagarto, Parque Nacional de Sete Cidades, Piauí, Brasil. *Mneme* 10/25: 13-32.
- NAP-UFPI/IPHAN. 1995. *Cadastramento e mapeamento dos sítios arqueológicos do Piauí. Relatório de atividades do projeto de levantamento e mapeamento dos sítios arqueológicos do Piauí. 3.ª Etapa*. Teresina: UFPI/IPHAN.
- NAP-UFPI/IPHAN. 1997. *Cadastramento e mapeamento dos sítios arqueológicos do Piauí. Relatório de atividades do projeto de levantamento e mapeamento dos sítios arqueológicos do Piauí. 4.ª Etapa*. Teresina: UFPI/IPHAN.
- PESSIS, A. M. 2003. *Imagens da pré-história: Parque Nacional Serra da Capivara*. São Paulo: FUMDHAM/Petrobrás.
- PESSIS, A. M.; I. ASÓN-VIDAL; G. MARTIN. 2021. As mãos do passado: desenhos, impressões e marcas de mãos nos registros rupestres da região Nordeste do Brasil. *Fundamentos* 18/2: 3-28.
- SICG-IPHAN. 2024. *Realizar a busca de sítios arqueológicos em Piripiri, município ao norte do Estado do Piauí*. <<https://sicg.iphan.gov.br/sicg/pesquisarBem>>. Acesso livre.
- SILVA, H. K. S. B.; L. C. D. CAVALCANTE. 2017. Estratégias de campo e de laboratório utilizadas na investigação do sítio arqueológico Pedra do Cantagalo I. *Arqueología Iberoamericana* 33: 35-41.
- SOUSA, M. J. R. 2017. *Análise morfológica dos registros rupestres do complexo de sítios arqueológicos Poço da Onça, Piracuruca, Piauí*. Dissertação de Mestrado, Arqueologia. Teresina: Universidade Federal do Piauí.

RESEARCH ARTICLE

# TECNOLOGÍAS GEOESPACIALES PARA LA DOCUMENTACIÓN DIGITAL 3D DE LAS CONSTRUCCIONES SUBTERRÁNEAS PATRIMONIALES: CATACUMBAS DE SICALPA VIEJO, ECUADOR

## *Geospatial Technologies for 3D Digital Documentation of Underground Heritage Constructions: Catacombs from Sicalpa Viejo, Ecuador*

*Luis Alejandro Velastegui-Cáceres,<sup>1</sup> Byron Guevara-Bonifaz,<sup>1</sup> Julia Velastegui-Cáceres,<sup>2</sup> Pedro A. Carretero Poblete<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador (lavelastegui@unach.edu.ec, bgguevara.fiar@unach.edu.ec, pcarretero@unach.edu.ec); <sup>2</sup> Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador (jdvelastegui@espe.edu.ec)



Figura 1. Ubicación de las catacumbas de la Iglesia de Nuestra Señora de las Nieves en Sicalpa Viejo (Colta, Ecuador).

**RESUMEN.** *La conservación del patrimonio cultural subterráneo requiere documentación digital 3D de alta precisión. En Ecuador, este tipo de patrimonio se encuentra amenazado principalmente por eventos naturales de tipo sísmico. Las catacumbas de la Iglesia de Nuestra Señora de la Nieves (Sicalpa Viejo, Ecuador) tienen un alto valor patrimonial, ya que fueron construidas en la época colonial y han pasado por eventos sísmicos significativos, como el terremoto de 1797. La presente investigación presenta una metodología que usa tecnología vanguardista para la obtención de documentación*

*Recibido: 6/5/2024. Aceptado: 17/5/2024. Publicado: 25/5/2024.*



*digital considerando las particularidades de este tipo de construcciones subterráneas patrimoniales. Como resultado, se obtuvo el modelado 3D de todo el entorno de las catacumbas: nichos, osario, vestigios de huesos humanos de la época y detalles en piedra. Esta clase de documentación digital 3D es de gran utilidad para plantear proyectos de conservación del patrimonio cultural subterráneo antes o después de un evento sísmico.*

**PALABRAS CLAVE.** *Construcciones subterráneas, modelado 3D, catacumbas, conservación, patrimonio cultural, Sicalpa Viejo, Ecuador.*

**ABSTRACT.** *The conservation of underground cultural heritage requires high-precision 3D digital documentation. In Ecuador, this type of heritage is mainly threatened by natural seismic events. The catacombs of the Church of Our Lady of the Snows, at Sicalpa Viejo, Ecuador, have a high heritage value, because they were built in colonial times and have been through significant seismic events, such as the earthquake of 1797. This research presents a methodology that uses cutting-edge technology to obtain digital documentation, taking into account the particularities of this type of underground heritage constructions. As a result, 3D modeling of the entire environment of the catacombs was obtained: niches, ossuary, vestiges of human bones of that time and details in stone. This kind of 3D digital documentation is very useful for planning conservation projects of underground cultural heritage before or after a seismic event.*

**KEYWORDS.** *Underground constructions, 3D modeling, catacombs, conservation, cultural heritage, Sicalpa Viejo, Ecuador.*

## INTRODUCCIÓN

El patrimonio cultural que se encuentra en áreas subterráneas es susceptible al deterioro o destrucción por eventos naturales como las inundaciones, el paso del tiempo o los terremotos, como en este caso, entre otros. Las catacumbas de la Iglesia de Nuestra Señora de las Nieves (Sicalpa Viejo, Ecuador) se encuentran ubicadas en el cantón Colta (Chimborazo) y tienen un alto valor patrimonial (figura 1), ya que fueron construidas en la época colonial y han sobrevivido a terremotos importantes como el de 1797.

Al llegar los españoles a la zona, en 1534, se asentaron en el llano que se sitúa al otro lado de esta comunidad, que llamaron Liribamba o Riobamba (hoy Sicalpa). Posiblemente, esta área estaba ocupada por familias puruhaes que, más tarde habrían sido sometidas por los incas. Según Costales (1964), la Iglesia de la Virgen o de Nuestra Señora de las Nieves fue iniciada en 1747 y concluida en 1779, cuando fue bendecida por Francisco Aguiar, obispo de Quito. No obstante, se supone que se asienta sobre otras construcciones religiosas anteriores y, posiblemente, sobre algún tipo de templo puruhá. Se situaba en la parte alta de la comunidad, sobre un plinto, construida en una sola nave con 48 m de largo y 8,5 m de ancho. En el último gran terremoto registrado, que destruyó la antigua Riobamba en 1797, la iglesia quedó sepultada hasta 1950, en que comenzó su nueva reconstrucción que no siguió el patrón de la original, como se puede apreciar en su fachada.

Las catacumbas (figura 2) que se sitúan bajo el altar de la Iglesia de Nuestra Señora de las Nieves (figura 3) poseen un alto valor patrimonial, cultural y religioso (Sánchez 2024). Contienen 32 nichos, construidos con piedra andesita, caliza y ladrillo, donde se sepultaba a clérigos y personajes destacados de la ciudad en época colonial, que eran envueltos en mortajas de tela (Chapabay y Paredes 2024; Tene 2022). Hoy apenas se aprecian unos fragmentos de huesos de algunos nichos.

Las características que presentan las catacumbas ubicadas en Sicalpa Viejo requieren una documentación digital 3D con alto nivel de detalle debido a los elementos que contienen.

En la actualidad, la utilidad de tecnologías vanguardistas se ha convertido en un pilar fundamental para el registro 3D del patrimonio cultural (Glanfield 2023; Gradante *et al.* 2016; Tanasi *et al.* 2023; Velastegui *et al.* 2024). Cabe señalar que, pese a la diversidad de tecnologías existentes, se precisa identificar la más apropiada de acuerdo con el área de estudio.

El patrimonio cultural subterráneo, como es el caso de las catacumbas, requiere tecnología que no necesite luz natural, además de la versatilidad de esta metodología para áreas con limitado espacio (Aricò *et al.* 2023). La documentación digital del patrimonio cultural mediante el uso de tecnologías se convierte en la base para la conservación del patrimonio (Mendoza *et al.* 2023). Por ello, la metodología de documentación digital 3D del patrimonio cultural subterráneo que se presenta en esta investigación permite obtener una documentación





Figura 2. Catacumbas de la Iglesia de Nuestra Señora de las Nieves.

digital con alto nivel de detalle y precisión, que posibilita el levantamiento y modelado 3D de todos los elementos que se encuentran en la zona estudiada. Además, en base a estos resultados, se pueden plantear proyectos de conservación considerando las diversas amenazas naturales que presenta el área.

## METODOLOGÍA

Las catacumbas destacan por su diseño, ya que se encuentran en los cimientos de la Iglesia de Nuestra

Señora de las Nieves. La solidez de su edificación, tanto en términos de materiales como de técnicas constructivas, ha permitido que soporten eventos sísmicos considerables, como el de 1797, que destruyó la ciudad de Riobamba (Egred 2000; Pilco 2019). Sin embargo, las catacumbas se encuentran expuestas al deterioro, principalmente por eventos sísmicos recurrentes debido a su ubicación geográfica.

Se utilizó un escáner láser marca *Faro Focus 3D Serie X* que cuenta con un láser tipo 1, el cual utiliza un rayo láser que se refleja en un objeto y vuelve al escáner. La distancia se mide con exactitud milimétrica por el cam-



Figura 3. Fachada de la Iglesia de Nuestra Señora de las Nieves.



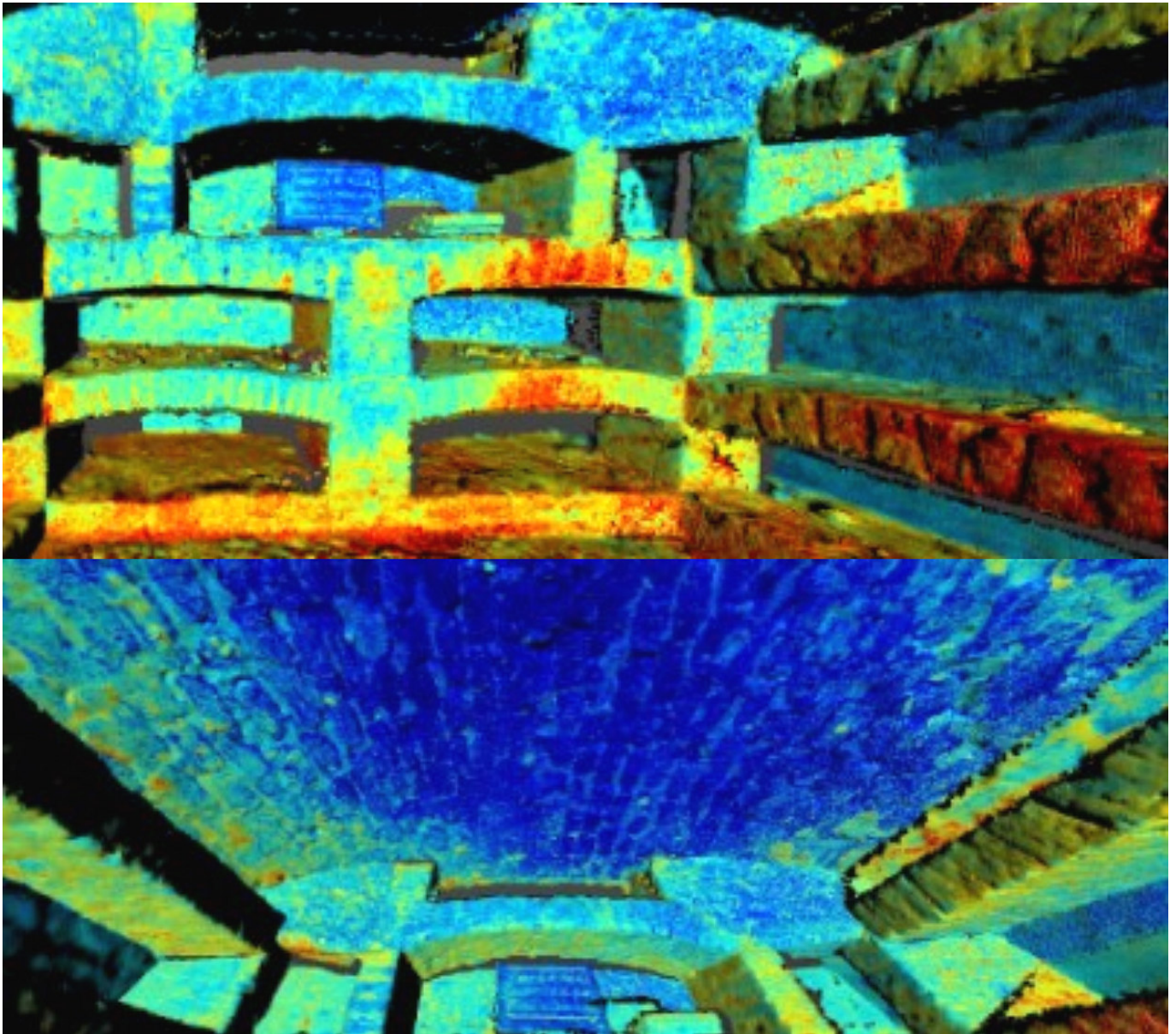


Figura 4. Modelado 3D obtenido del procesamiento de la nube de puntos 3D.

bio de fase entre el rayo emitido y el recibido. Para el ángulo vertical, el espejo desvía el rayo láser en dirección vertical sobre el mismo objeto y el ángulo se codifica al mismo tiempo que la medición de la distancia. Para el ángulo horizontal, el escáner láser gira 360° horizontalmente y el ángulo se codifica al mismo tiempo que la medición de la distancia.

Para la presente investigación se realizó un flujograma para la obtención de datos y el procesamiento de las nubes de puntos obtenidas. Se partió de la planificación previa al levantamiento, donde se especificaron las ubicaciones que debía tener el escáner láser terrestre en cada escena para obtener la mayor cantidad puntos. Posteriormente, se realizó el escaneo *in situ* y, con ello, el trabajo de gabinete para el procesamiento de los da-

tos obtenidos en el campo mediante el uso de *software* especializado, como el *Trimble RealWorks*, que permite un modelado 3D con alto nivel de detalle.

Las catacumbas se encuentran situadas en la parte subterránea la iglesia. Cabe señalar que, al existir ausencia de luz natural, la tecnología del escáner láser terrestre fue la más apropiada, ya que posibilita la toma de datos en áreas con ausencia de luz, lo cual permitió obtener con alta precisión nubes de puntos en escala de grises.

De acuerdo con la forma de las catacumbas, se planificaron tres escaneos distribuidos de forma que existiese un traslape aproximado del 40 % entre los planos. Respecto a la configuración de los parámetros de escaneo, se consideró un perfil de hasta 10 m, con tiempo



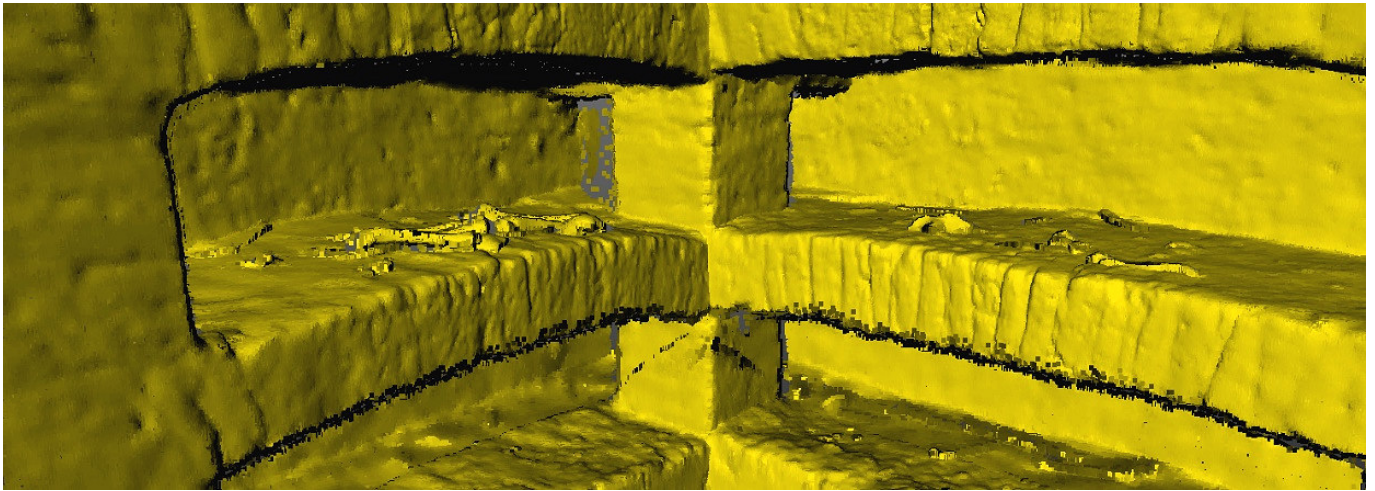


Figura 5. Documentación digital 3D de nichos y fragmentos de huesos humanos.

de 20 minutos entre cada escaneo, con la finalidad de obtener nubes de puntos con alto nivel de detalle. Los ángulos se programaron en horizontal de  $0^\circ$  a  $360^\circ$  y en vertical de  $-60^\circ$  a  $90^\circ$  para la toma de datos en todo el entorno de las catacumbas. De acuerdo con las ca-

racterísticas del área de estudio, se analizó y determinó que el tipo de mediación ponderada más apropiada era la ponderada al centro.

Una vez obtenidas las nubes de puntos, se procedió a la unificación de las mismas por coincidencia de pla-

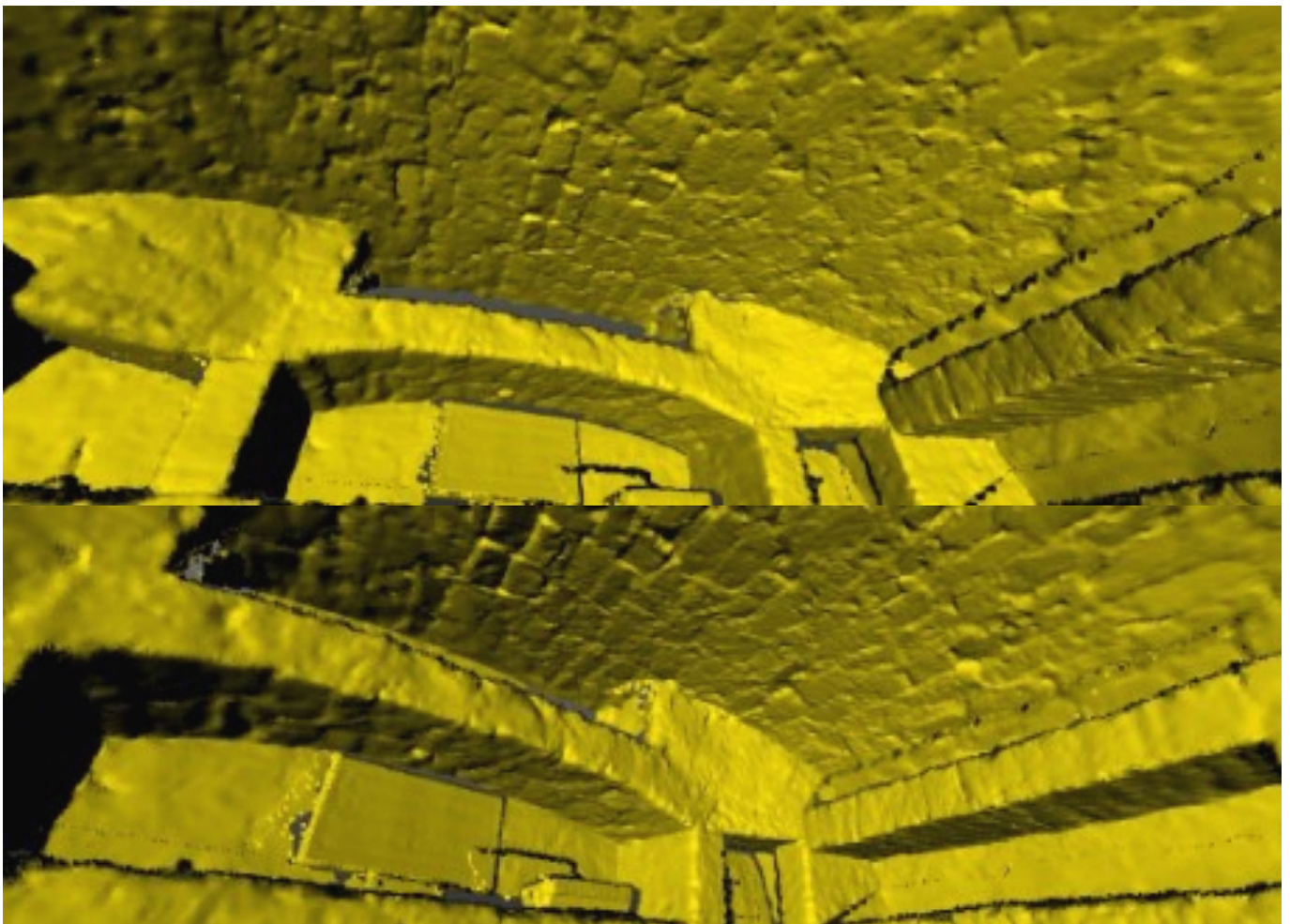


Figura 6. Documentación digital 3D del entorno superior de las catacumbas.



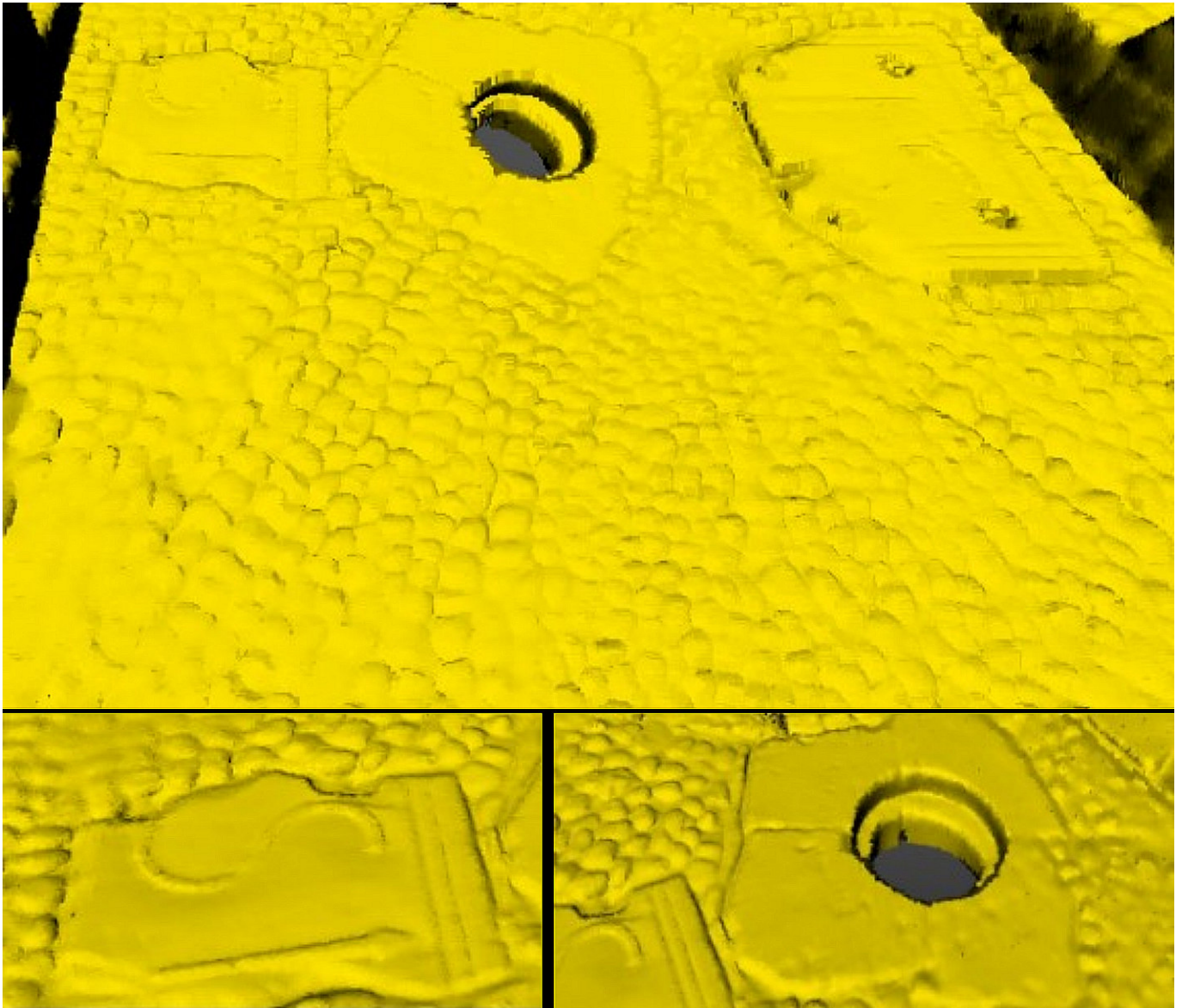


Figura 7. Documentación digital 3D del piso de las catacumbas con siglas talladas en piedra y osario.

nos debido al alto porcentaje de traslape entre cada escaneo realizado. Con la unificación, se identificaron las zonas que requerían segmentación para depurar la nube de puntos y delimitar apropiadamente el área de estudio. En base a las nubes de puntos unificadas, se obtuvo el modelado 3D de todo el entorno de las catacumbas, desde los nichos y el osario hasta los detalles en piedra.

## RESULTADOS

Como resultado de los escaneos realizados en las catacumbas, se consolidaron tres escaneos con un total de 78.526.471 puntos, que fueron unificados mediante el registro de planos, ya que se obtuvo aproximada-

mente un 40 % de puntos coincidentes entre los planos. Mediante el proceso de segmentación, se logró la nube de puntos purificada con un total de 63.925.194 puntos, lo cual permitió obtener una nube de puntos del área de estudio con un alto nivel de detalle (figura 4). La cantidad de puntos recolectados en cada escaneo y la densidad de estos facilitaron el modelado 3D de los fragmentos de huesos y, con ello, la obtención de la documentación digital 3D, no solo de los nichos sino también de este tipo de vestigios (figura 5). Pese al tamaño de los fragmentos de los huesos, fue factible el modelado 3D mediante la tecnología del escáner láser terrestre, debido a la configuración que se realizó en cada uno de los escaneos realizados.

En ciertos nichos existe la presencia de vestigios de huesos humanos pertenecientes a personajes importan-

tes de la época colonial. Contar con el registro global de las catacumbas permite reconocer los detalles de su construcción, como en el caso de la parte superior de las mismas, que mantiene su material de piedra original y su forma de arco de medio punto (figura 6). Este concepto de ingeniería de la época colonial precisa una documentación digital 3D para futuras intervenciones de conservación, considerando que este tipo de patrimonio cultural es propenso a un colapso en caso de un evento sísmico de gran magnitud.

También fue posible registrar digitalmente los detalles que se encuentran en el piso de las catacumbas, ya que el escáner láser tiene un ángulo vertical de toma de datos de  $-60^\circ$  a  $90^\circ$ . El modelado 3D contiene los detalles más finos, incluidas las siglas SI que apuntan hacia el agujero del osario, que son consideradas símbolos cristianos (figura 7). En la toma de datos se presenta la ausencia de puntos en el centro del piso, ya que este tiene, bajo el agujero que marca el osario, un pozo de 4 m aproximadamente, donde irían a parar los huesos reducidos de los difuntos, de forma que se pudieran reutilizar los nichos con nuevos cuerpos.

## CONSIDERACIONES FINALES

Las catacumbas, al encontrarse situadas en los cimientos de la Iglesia de Nuestra Señora de las Nieves, presentan ausencia de luz natural y un entorno cerrado con dificultad de acceso, lo que implica unas características particulares para seleccionar la tecnología que se adap-

te a la toma de datos digitales 3D en ese tipo de entornos. La tecnología del escáner láser terrestre presenta esta adaptabilidad para el levantamiento de información en áreas subterráneas. Por ello, la configuración de los parámetros del equipo es dirimente para la obtención de productos de calidad y con alto nivel de detalle.

La documentación digital 3D de las catacumbas comprende el conjunto de elementos que presenta el área de estudio, desde su estructura y nichos hasta los tallados en piedra que yacen en el suelo, conformado por cantos rodados de río y dos grandes lápidas con las siglas SI apuntando hacia el agujero central del osario. La obtención de un registro con todo el entorno y detalles precisó varios escaneos con configuración angular horizontal de  $0^\circ$  a  $360^\circ$  y vertical de  $-60^\circ$  a  $90^\circ$ .

La documentación digital de construcciones subterráneas patrimoniales va de la mano del uso de tecnologías vanguardistas para optimizar tiempo y costes. Por ello, la metodología de la presente investigación se enmarca en la adaptabilidad para la documentación digital de patrimonios culturales que tengan características similares a las catacumbas de la Iglesia de Nuestra Señora de las Nieves.

Considerando que la zona de estudio es altamente sísmica, se destaca la importancia de contar con la documentación digital 3D de las catacumbas con alto nivel de detalle y precisión. Este tipo de documentación digital es de gran utilidad para el planteamiento de proyectos de conservación del patrimonio cultural subterráneo antes o después de un evento sísmico.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARICÒ, M.; M. LA GUARDIA; M. LO BRUTTO. 2023. 3D Data Integration for Web Fruition of Underground Archaeological Sites: A Web Navigation System for the Hypogeum of *Crispia salvia* (Marsala, Italy). *Heritage* 6, 8: 5899-5918.
- CHAPALBAY, N. P.; A. D. PAREDES. 2024. *Catálogo ilustrado del estudio iconográfico e iconológico de la iglesia "Virgen de las Nieves" de la parroquia de San Luis*. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Chimborazo.
- COSTALES, A. 1964. *La Azucena del Puruhá*. Riobamba: Casa de la Cultura Ecuatoriana.
- EGRED, J. 2000. *El terremoto de Riobamba*. Vol. 2. Quito: Abya Yala.
- GLANFIELD, M. L. 2023. *Applying 3D Structured Light Scanning to Roman Leather Insoles from Vindolanda: A Novel Approach to Podiatric Data Collection*. Master's Thesis. University of Western Ontario, Canada.
- GRADANTE, I.; M. SGARLATA; D. TANASI. 2016. 3D Digital Technologies to Record Excavation Data: The Case of the Catacombs of St. Lucy (Siracusa, Sicily). En *8th International Congress on Archaeology, Computer Graphics, Cultural Heritage and Innovation*, pp. 71-77. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- MANZANO, C. A.; R. ARTEÑO. 2018. Rescate patrimonial de las catacumbas de Sicalpa Viejo. En *Innovación, desarrollo humanístico y ciencia joven*, pp. 6-25. Colombia: REDIPE.
- MENDOZA, M. A. D.; E. DE LA HOZ; J. E. G. GÓMEZ. 2023. Technologies for the Preservation of Cultural Heritage: A Systematic Review of the Literature. *Sustainability* 15, 2: 1059.



- PILCO, M. M. 2019. *Gestión patrimonial y la diversificación de la oferta turística del cantón Colta, provincia de Chimborazo*. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Chimborazo.
- SÁNCHEZ, E. M. 2024. *Las iglesias patrimoniales y el turismo religioso en la provincia de Chimborazo*. Tesis de Grado. Universidad Técnica de Ambato.
- TANASI, D.; D. CARDONA; S. HASSAM; K. KINGSLAND; M. KRAFT; P. TRAPANI; D. CALDERONE; L. DE GIORGI; G. LEUCCI. 2023. Remote sensing surveying at the Abbatija tad-Dejr Catacombs (Rabat, Malta). *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* 30: e00271.
- TENE, S. N. 2022. *Estudio cultural sobre la construcción y utilización de las catacumbas de Sicalpa Viejo, situadas en la Archibasílica de la Virgen de las Nieves: Riobamba*. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Chimborazo.
- VELASTEGUI-CÁCERES, L. A.; B. GUEVARA-BONIFAZ; J. VELASTEGUI-CÁCERES; P. A. CARRETERO; E. ESPINOZA-FIGUEROA. 2024. Documentación digital del patrimonio edificado: modelado en nubes de puntos 3D de la Iglesia de Balbanera, Ecuador. *Arqueología Iberoamericana* 53: 83-94.

## RESEARCH ARTICLE

# SOBRE LA PARADOJA DE LA SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA EN LA ARQUEOLOGÍA DE LOS FENÓMENOS SOCIALES

## *On the Paradox of the Second Law of Thermodynamics in the Archaeology of Social Phenomena*

*Pascual Izquierdo-Egea*

Laboratory of Theoretical Archaeology & Archaeonomy,  
Research Chair in Archaeological Science, Zaragoza, Spain (✉ [arqueologia@laiesken.net](mailto:arqueologia@laiesken.net))

**RESUMEN.** Una nueva contribución de la «arqueología de los fenómenos sociales» demuestra que la segunda ley de la termodinámica no siempre se cumple entre las sociedades humanas porque la entropía, representada por la conflictividad social, no aumenta en todos los casos analizados cuando el proceso es irreversible; en cambio, sí lo hace la inestabilidad social.

**PALABRAS CLAVE.** Paradoja, segunda ley, termodinámica, arqueología, fenómenos sociales, entropía, conflictividad, proceso irreversible, inestabilidad.

**ABSTRACT.** A new contribution of the “archaeology of social phenomena” shows that the second law of thermodynamics is not always fulfilled among human societies because entropy, represented by social conflict, does not increase in all the cases analyzed when the process is irreversible; however, social instability does.

**KEYWORDS.** Paradox, second law, thermodynamics, archaeology, social phenomena, entropy, conflict, irreversible process, instability.

## INTRODUCCIÓN

Este estudio, gracias a los logros de la arqueología como ciencia social nomotética, conocida como *arqueología de los fenómenos sociales* o *arqueonomía* (PIE 2017, 2018a, 2018b, 2018c, 2018d, 2019a, 2019b, 2019c, 2020a, 2020b, 2021b, 2022a, 2022b, 2023b; Flores e Izquierdo-Egea 2018), aporta evidencias que contradicen el cumplimiento de la segunda ley de la termodinámica entre las sociedades humanas, tal como se infiere a partir de los fenómenos sociales «fossilizados».

Las pruebas materiales provienen del registro funerario de algunas sociedades antiguas y demuestran que esa ley no se cumple en todos los casos analizados porque la entropía (Klotz y Rosenberg 2008: 3), represen-

tada por la conflictividad social interna, no siempre aumenta cuando el proceso es irreversible; en cambio, sí lo hace la inestabilidad social, lo cual pone en entredicho el total cumplimiento de la segunda ley de la termodinámica en los procesos sociales del pasado.

## LA PARADOJA SOCIAL DE LA SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA

La ecuación de la energía libre de Gibbs ( $\Delta G$ ), tal como se demostró anteriormente (*vide* PIE 2019c: 81; 2020a: 30), se puede adaptar a los procesos sociales del pasado ( $\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S \rightarrow E = \Delta D - R \cdot \Delta C$ ). A su vez, podemos despejar  $\Delta C$ :  $E + R \cdot \Delta C = \Delta D \rightarrow R \cdot \Delta C =$

*Recibido: 25/5/2024. Aceptado: 1/6/2024. Publicado: 8/6/2024.*

$\Delta D - E \rightarrow \Delta C = (\Delta D - E)/R$ . Según esta última expresión, en los procesos sociales irreversibles, donde la energía libre es negativa ( $E < 0$ ), aumentaría la entropía en forma de conflictividad interna ( $\Delta C$ ) al incrementar el numerador de esta última ecuación sumándose a la variación de la desigualdad social ( $\Delta D$ ), sobre todo en coyunturas económicas adversas donde disminuyese notoriamente la riqueza relativa media ( $R$ ). Es decir, cuando  $E < 0$  (proceso irreversible)  $\rightarrow \Delta C > 0$  (entropía).<sup>1</sup>

Sin embargo, esto debiera cumplirse *si los fenómenos sociales se comportasen igual que los naturales*, algo que no ocurre en todos los casos analizados en el presente estudio, lo cual pone en entredicho la segunda ley de la termodinámica aplicada a las sociedades humanas del pasado. Esta paradoja ya fue advertida anteriormente (*vide* PIE 2020a: 30), aunque entonces se enunció de forma incorrecta, lo cual se comprobó tras haberla contrastado con todas las evidencias materiales examinadas aquí.

Según la segunda ley de la termodinámica, la entropía ( $S$ ) del universo, es decir, «... *the entropy of the system plus the entropy of the surroundings...*» (Grossman 2014: 55), siempre aumenta cuando un proceso es espontáneo, o sea, irreversible (Tolman y Fine 1948; Prigogine 1978; Serway y Jewett 2008; Sala y López 2011: 263, 264). «*The second law of thermodynamics states that... [the entropy of the system] remains constant (in reversible processes) or increases in value (in irreversible processes)*» (Planck 1969: 87-88).

De forma más precisa, «*the second law of thermodynamics states that the entropy of the universe (that is, system plus surroundings) always increases in an irreversible process and remains constant in a reversible process*» (Grossman 2014: 55):

$$\Delta S_{\text{universo}} = \Delta S_{\text{sistema}} + \Delta S_{\text{entorno}} \geq 0$$

De hecho, «*all changes in which entropy increases will occur spontaneously...*» (Boltzmann 1974: 22), «*general thermodynamics proceeds from the fact that... all natural processes are irreversible*» (Boltzmann 1995: 401), «... *all processes which actually take place in nature, if the second law be correct, are in reality irreversible...*» (Planck 1969: 88) y «... *the general thermodynamics of the second law is formulated in such a way that the unconditional irrever-*

*sibility of all natural processes is asserted as a so-called axiom...*» (Boltzmann 1995: 401). O sea, «*only irreversible processes contribute to entropy production*» (Prigogine 1978: 778) y «*if those processes are not irreversible, the entire edifice of the second law will crumble*» (Planck 1969: 86).

«Esto es lo que cabría esperar, pero, al contrastar empíricamente esta ley de la termodinámica, surge una paradoja», tal como se había anticipado en sociedades modernas como Alemania y España o en otras antiguas de la Mesoamérica prehispánica (PIE 2020a: 30). De hecho, en los casos analizados en el presente estudio, *no todos los procesos sociales irreversibles producen entropía (conflictividad social)*.

Lo que sí se cumple siempre es que *el aumento de la entropía genera inestabilidad social*, no al revés. Todo lo cual obliga a reformular la segunda ley de la termodinámica cuando se aplica a las sociedades humanas: *un proceso social es inestable porque ha aumentado la entropía (desorden) en forma de conflictividad; en otras palabras, el incremento de la entropía (conflictividad) genera inestabilidad social*.

## EVIDENCIAS MATERIALES DE SOCIEDADES QUE CONTRADICEN LA SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA

Así lo atestiguan numerosas excepciones a la regla que incumplen la segunda ley de la termodinámica, *donde en procesos sociales irreversibles expresados por la energía libre negativa, en los cuales mengua la economía, disminuye la entropía en forma de conflictividad, no al contrario, y sigue habiendo estabilidad*.

Estas evidencias materiales proceden del registro funerario de la Medellín oriental (Badajoz, España), la *Conisturgis* prerromana según Almagro-Gorbea (2008, 2010) y posterior *Metellinum* romana, de c. 650-625 AC o c. 500-475 AC; Los Villares (Albacete, España) cuando estalla la crisis ibérica de la segunda mitad del siglo V antes de nuestra era (c. 450-425 AC); la Ampurias griega (Gerona, España) de c. 400-350 AC o la de comienzos de la época romano-republicana (c. 200-150 AC); el Teotihuacan (México) de c. 350-450 DC (PIE 2021b: 163, tabla 1) o la civilización maya representada por el Altar de Sacrificios (Guatemala) de c. 900-950 DC.

O, a la inversa, también contamos con evidencias materiales donde *en procesos sociales reversibles, expresados por la energía libre positiva, aumenta la entropía y no*

<sup>1</sup> Puede apreciarse una semejanza entre  $\Delta C = (\Delta D - E)/R$  y la primera ecuación fundamental de la conflictividad:  $C = D/R$  (*vide* PIE 2020a).



se mantiene constante tal como preconiza la segunda ley de la termodinámica: en el Bajo Ebro ibérico (Mas de Mussols y Mianes, Tarragona, España) de la segunda mitad del siglo VI AC o en la Ampurias griega (Gerona, España) de c. 350-300 AC (*vide* PIE 2022b sobre todos estos registros funerarios). Además, contamos con novedades recientes obtenidas a partir de investigaciones inéditas, gracias a las cuales se ha comprobado que ocurre lo mismo durante 650-625 AC en la necrópolis fenicia Laurita (Pellicer 2007) de Almuñécar (Granada, España), la antigua *Sexi* de la costa granadina, o en la Setefilla oriental (Aubert 1975, 1978, 1980-81; Brandherm y Krueger 2017) de 600-575 AC, situada en el Bajo Guadalquivir (Lora del Río, Sevilla, España).

Todo ello pone de manifiesto un comportamiento diferenciado de la entropía en los contextos sociales, lo cual obliga a matizar que *la conflictividad es entropía social* y, por tanto, *la termodinámica social no se comporta exactamente igual que la termodinámica natural*. De hecho, no es necesario enumerar todos los casos conocidos que incumplen la segunda ley de la termodinámica en el contexto de las sociedades humanas del pasado, basta con que uno solo deje de cumplirla para que quede invalidada.

Otro argumento fundamental, quizás más evidente que el anterior, es que la disminución de la entropía expresada por la conflictividad, *que se observa constantemente en todos los registros funerarios*, contradice radicalmente y, por tanto, *refuta el cumplimiento de la segunda ley de la termodinámica en todas las sociedades humanas*, pues, según su enunciado, la entropía solo puede aumentar o mantenerse constante y nunca disminuye.

En síntesis, hay sólidos argumentos, basados en sendas evidencias empíricas, que ponen en tela de juicio la segunda ley de la termodinámica de los fenómenos naturales, obligando a reformularla nuevamente en función del contexto social:

1) *En los procesos sociales irreversibles no siempre aumenta la entropía. Esto contradice la segunda ley de la termodinámica:  $\Delta S_{\text{universo}} = \Delta S_{\text{sistema}} + \Delta S_{\text{entorno}} > 0$ .*

2) *En los procesos sociales reversibles no suele mantenerse constante la entropía, lo cual contradice la segunda ley de la termodinámica cuando se aplica a los fenómenos sociales del pasado:  $\Delta S_{\text{universo}} = \Delta S_{\text{sistema}} + \Delta S_{\text{alrededores}} = 0$ .*

3) *Por tanto, la entropía social o conflictividad, a diferencia de la entropía natural, puede aumentar o disminuir y no se mantiene constante.*

4) *La entropía social siempre genera inestabilidad, no irreversibilidad.*

La entropía social puede disminuir (también puede hacerlo la entropía natural de un sistema durante un proceso, cf. v. g. Çengel y Boles 2012: 337), pero la segunda ley se refiere al sistema y su entorno o alrededores y la entropía del universo debe aumentar, por lo que la entropía del entorno de la sociedad debe crecer para que se cumpla la segunda ley de la termodinámica. Examinemos esa posibilidad buscando una posible explicación para salvar el enunciado de dicha regla. Si la actividad económica de la sociedad aumenta, el impacto negativo sobre el entorno natural (agricultura, ganadería, minería, tala de bosques, contaminación, etc.) será mayor, generando allí un incremento antrópico de entropía que compensaría el descenso de la entropía social, de modo que el balance total podría cumplir la ley; *pero esto no se puede demostrar a partir de las evidencias empíricas disponibles y no se cumple en los casos examinados en este estudio.*

En todo caso, los argumentos expuestos, comprobados empíricamente, plantean la excepcionalidad de una termodinámica social diferenciada de la natural hasta que no se demuestre lo contrario de forma fehaciente, con pruebas irrefutables que desmientan las evidencias aportadas aquí.

## TERMODINÁMICA Y ESTABILIDAD SOCIAL

El universo tiende a ser cada vez más caótico (Çengel y Boles 2012: 348) porque la entropía sigue aumentando. Sin embargo, en esa lucha permanente entre caos y orden, la vida, con las sociedades humanas a la cabeza, representa el máximo exponente de la energía ordenada u organizada en forma de materia frente a la energía desordenada, desorganizada o caótica.

Si traducimos a nivel social esa lucha permanente entre un orden cohesionador y un caos disgregador, donde acaba venciendo este último, *hay que buscar la clave en la interacción permanente entre conflictividad (iC) y cohesión (iO), operando a modo de fuerza centrífuga y centrípeta respectivamente, que determina el grado de estabilidad ( $Q > 0$ ) o inestabilidad ( $Q < 0$ ) de una sociedad*, expresado por la ecuación  $Q = iO - iC$  (PIE 2019c: 81), donde  $iO = O/O_0$  e  $iC = C/C_0$ . Lo anterior es un reflejo de la interacción universal entre la energía ordenada (materia) y la desordenada, entre el orden y el caos, entre la vida y lo inerte. La termodinámica nos dice que la entropía universal siempre aumenta y las sociedades humanas, como máxima expresión organizativa de la vida (materia pensante) siguen reproduciendo y opo-

niendo resistencia a ese fatal e inevitable destino donde la entropía alcance su máximo e imponga la muerte térmica del universo.

Por otro lado, existe una relación directa entre irreversibilidad ( $E < 0$ ) e inestabilidad ( $Q < 0$ ). Lo prueba la siguiente ecuación, deducida a partir de  $Q = iO - iC$  y  $E = D(iO - 1/iD)$ ,<sup>2</sup> pues es evidente que ambos parámetros son directamente proporcionales:

$$E = D[(Q + iC) - (1/iD)] \quad (1)$$

Si despejamos  $Q$ , se aprecia mejor:

$$Q = (E/D) - iC + (1/iD) \quad (2)$$

Es decir, si  $E < 0$ , entonces  $Q < 0$ , o sea, *la irreversibilidad del proceso contribuye a generar inestabilidad social*, así como la reversibilidad hace lo contrario, es decir, contribuye a generar estabilidad. Asimismo, modificando lo que se afirmaba en otra publicación (PIE 2020a: 33), *cuando aumenta la entropía en forma de conflictividad interna, crece la inestabilidad social*. Esto es fundamental para entender el desarrollo de las sociedades humanas a lo largo del tiempo (*ibidem*).

De lo anterior se deduce que la estabilidad social es indirectamente proporcional a la conflictividad (entropía) y la inestabilidad social es directamente proporcional a la conflictividad interna ( $-Q \propto C$ ).<sup>3</sup> O sea, la inestabilidad y la entropía social (expresada por la conflictividad) son directamente proporcionales. Por tanto, *cuando la conflictividad interna (entropía) aumente, también lo hará la inestabilidad social*. En otras palabras, *la estabilidad de una sociedad aumenta cuando disminuye su entropía en forma de conflictividad y desciende cuando crece su entropía*.

De lo cual cabe deducir que la estabilidad de una sociedad es inversamente proporcional a su entropía en forma de conflictividad interna. Por contra, *la inestabilidad de una sociedad aumenta cuando se incrementa*

*su entropía y disminuye cuando desciende su conflictividad*. Luego la inestabilidad de una sociedad es directamente proporcional a su entropía en forma de conflictividad interna.

No obstante, *aun cuando en las sociedades humanas sea la entropía (desorden) de un proceso, en forma de conflictividad, la que genera directamente inestabilidad, la irreversibilidad, aunque pase a un segundo plano, sigue interviniendo indirectamente en la génesis de la inestabilidad* como viene demostrado por la ecuación (2).

## REVERSIBILIDAD VS. IRREVERSIBILIDAD

A nivel meramente conceptual, un proceso donde un estado inestable inicial ( $-Q_0$ ) se transforme en un estado estable final ( $Q$ ) debe ser reversible ( $-Q_0 + E \rightarrow Q$ ). Luego cabría deducir que la inestabilidad precisaría de una reversibilidad del proceso para alcanzar la estabilidad final del estado inestable inicial. Si el proceso fuese irreversible ( $-E$ ), el estado inestable inicial ( $-Q_0$ ) no podría transformarse en un estado estable final ( $Q$ ); es decir, seguiría siendo inestable. En otras palabras, *la irreversibilidad no puede generar estabilidad; o bien la reversibilidad no puede generar inestabilidad*.

Ahora bien, la irreversibilidad sí es importante y decisiva en el colapso de las sociedades o civilizaciones, pues actúa como catalizador del proceso, tal como se vio en otros estudios recientes (*vide v. g.* PIE 2021a, 2023a para comprobarlo empíricamente con el registro funerario de las civilizaciones teotihuacana de la Mesoamérica prehispánica y la argárica de la península ibérica durante la Edad del Bronce, respectivamente). Es un requisito ineludible para que culmine el declive definitivo de la sociedad. En este caso, se cumple la segunda ley de la termodinámica. Es decir, no siempre ocurre esto mientras la sociedad «vive»; en cambio, sí tiene lugar cuando esta «muere» (o hay ruptura). Esa es otra paradoja.

En otras palabras, *para que una sociedad colapse, el proceso tiene que ser irreversible*. En cambio, mientras la sociedad no colapsa, o sea, se mantiene «viva» (o hay continuidad), la entropía, en forma de conflictividad, aumenta o disminuye al margen de que el proceso implicado sea irreversible o reversible, como ya se vio antes. En Teotihuacan (México), por ejemplo, apenas aumenta ligeramente la conflictividad interna cuando se produce el colapso; en cambio, sí lo hace significativamente el riesgo de guerra, o sea, la conflictividad externa (cf. PIE 2021a).

<sup>2</sup> Esta ecuación se deduce así:  $E = \Delta D - R \cdot \Delta C \rightarrow E = (D - D_0) - (D/C)(C - C_0)$ . Despejando, se obtiene:  $E = D[(1/iC) - (1/iD)] \rightarrow E = D[iO - (1/iD)]$ , porque  $C = D/R \rightarrow R = D/C$  y  $1/iC = iO$ .

<sup>3</sup> Ateniéndonos a la ecuación de la estabilidad social,  $Q = iO - iC$ , para que se genere inestabilidad ( $-Q$ ), se cumplirá la premisa  $Q < 0$ , luego  $iC > iO$ , es decir, la variación temporal de la conflictividad ( $iC$ ) será superior a la de la cohesión social ( $iO$ ). En términos termodinámicos,  $iC$  representa el desorden o entropía e  $iO$  el orden o cohesión. Es una dialéctica permanente entre dos magnitudes macroscópicas opuestas que presentarán tres estados: 1) estable ( $Q > 0$ ) cuando  $iO > iC$ , 2) inestable ( $Q < 0$ ) cuando  $iO < iC$ , 3) equilibrio ( $Q = 0$ ) cuando  $iO = iC$  (estado ideal).

## CONFLICTIVIDAD Y ESTABILIDAD

La conflictividad, interpretada como entropía en el ámbito social, puede ser considerada como la energía que se disipa o pierde y, por tanto, que no aprovecha la sociedad. Las sociedades complejas son inevitablemente conflictivas (*vide* PIE 2020a), tal como sostiene la *ley de la conflictividad* en la *arqueología de los fenómenos sociales*: «todas las sociedades complejas son conflictivas» (PIE 2019b: 68).

Ciertamente, una sociedad más estable aprovechará mejor su energía frente a otra más inestable, es decir, generará menos entropía, o sea, conflictividad, y su cohesión será mayor. Para profundizar en esta cuestión, se podría traer a colación o recurrir a una analogía con la teoría atómica de Niels Bohr (1913), según la cual los electrones que orbitan alrededor del núcleo necesitan absorber energía para subir a una órbita estacionaria de mayor energía o bien desprenderla si descienden a otra de inferior energía. Al aplicar esto a los estados estables o inestables de las sociedades humanas del pasado, observamos a través del registro material que, en un estado estable, la variación de la conflictividad ( $iC$ ) es inferior a la de la cohesión ( $iO$ ); mientras que en un estado inestable ocurre lo contrario:  $iC > iO$ .

También podríamos pensar en el símil de una interacción permanente entre una fuerza centrífuga (la conflictividad) y otra centrípeta (la cohesión) que nunca alcanzaría el equilibrio entre ambas. En ese proceso continuo, se produciría una alternancia en el predominio de una y otra, definiendo así el estado inestable o inestable de la sociedad en cada momento. En todo caso, *una sociedad que pase de un estado estable a otro inestable perderá cohesión* (energía cohesionadora) *y ganará conflictividad* (energía disgregadora), de tal modo que el balance arroje un saldo a favor de esta última. Por contra, *una sociedad que pase de un estado inestable a otro estable ganará cohesión y perderá conflictividad*, de forma que el balance arroje un saldo a favor de la primera.

### El mecanismo de la estabilidad

La clave del proceso radica en la conflictividad ( $C$ ). Cuando aumenta genera inestabilidad, cuando disminuye produce estabilidad; y el mecanismo que subyace es  $iR - iD$ , donde el estado de la economía ( $R$ ) y la desigualdad social ( $D$ ) en un momento determinado se expresa mediante índices que indican la variación temporal de ambos parámetros respecto del momento anterior ( $iR = R/R_0$ ,  $iD = D/D_0$ ).

Así pues, cuando una sociedad pase de un estado inestable a otro estable, reducirá su conflictividad o entropía social (perdiendo menos energía), de forma que  $iR - iD > 0$ , lo cual implica que  $iR > iD$ . Por contra, cuando una sociedad pase de un estado estable a otro inestable, aumentará su conflictividad o entropía social (perdiendo más energía):  $iR < iD \rightarrow iR - iD < 0$ .

En síntesis, el incremento de la conflictividad siempre genera inestabilidad social; luego el descenso de la conflictividad siempre genera estabilidad social. Lo cual no implica en absoluto que la conflictividad desaparezca; será mayor en el primer caso o menor en el segundo, pero nunca desaparecerá en las sociedades complejas, porque las sociedades complejas son conflictivas según la ley de la conflictividad social (*vide supra*).

Se ha observado el comportamiento de ambos parámetros, es decir, cómo interactúan tanto en la civilización ibérica arcaica del Bajo Ebro (*c.* 600-400 AC) y Los Villares (*c.* 550-400 AC) como en la Ampurias griega y romana de época republicana (*c.* 550-100 AC), la Marsella romana de los siglos I-II DC, la cuenca del río Balsas en el México prehispánico o bien, sin salir de este último marco espacio-temporal, en Teotihuacan (*ss.* II-VII AD); apreciando que en cada proceso (periodo temporal en este caso) siempre prevalece uno de los dos. Es decir, si aumenta la conflictividad ( $iC$ ) disminuye la cohesión ( $iO$ ) y viceversa, si crece la cohesión ( $iO$ ) se reduce la conflictividad ( $iC$ ).

Por otro lado, al emplear  $O - C$ , se observa el contraste entre sociedades muy estables como la del Bajo Ebro y otras más inestables como Teotihuacan, Los Villares o la Ampurias griega y romana de los siglos VI-II AC, o alguna muy inestable como la Marsella romana de los siglos I-II DC; aunque es un cementerio de la Córdoba romana de los siglos I-II DC el que muestra la máxima inestabilidad registrada hasta ahora (*vide* PIE 2022b para consultar las fuentes de estos datos empíricos).

### Conflictividad y desigualdad

La primera ecuación fundamental de la conflictividad ( $C = D/R$ ) nos recuerda que *si el crecimiento de la economía ( $R$ ) es inferior al incremento de la desigualdad ( $D$ ), habrá inestabilidad en la sociedad*, porque la conflictividad o entropía aumentará y será mayor que la cohesión social ( $iC > iO$ ); por consiguiente, la estabilidad ( $Q = iO - iC$ ) será negativa ( $Q < 0$ ).

Esto nos remite a los estados ideales o posibles de la fluctuación (variación temporal expresada por índices)



de los dos parámetros fundamentales (D, R) que definen la conflictividad social (C) a partir del registro funerario. Estados ideales: 1)  $iD > iR$  (conflictivo), 2)  $iD = iR$  (equilibrio), 3)  $iD < iR$  (cohesión). Estados posibles o reales: 1)  $iD \gg iR$  (máxima conflictividad, mínima cohesión), 2)  $iD > iR$  (conflictivo), 3)  $iD = iR$  (equilibrio), 4)  $iD < iR$  (cohesión), 5)  $iD \ll iR$  (mínima conflictividad, máxima cohesión). O bien, a la inversa para el caso de la cohesión (O), estados posibles o reales: 1)  $iR \gg iD$  (máxima cohesión, mínima conflictividad), 2)  $iR > iD$  (cohesión), 3)  $iR = iD$  (equilibrio), 4)  $iR < iD$  (conflictivo), 5)  $iR \ll iD$  (mínima cohesión, máxima conflictividad).

## CONCLUSIONES

1. En las sociedades humanas no se cumple la segunda ley de la termodinámica en todos los casos. Es decir, cuando un proceso es irreversible, debería aumentar la entropía y no siempre es así, tanto cuando se observan las sociedades del pasado a través de su registro funerario como las actuales mediante los datos estadísticos; aunque se visualiza con mayor claridad en las primeras debido a la precisión de los parámetros empleados en las mediciones de los fenómenos sociales codificados en sus ajueres. Esta paradoja pone en entredicho la validez de la segunda ley de la termodinámica cuando se intenta aplicar a las sociedades humanas.

2. En cambio, cuando un proceso desemboca en un estado inestable de la sociedad, sí ha aumentado la entropía (desorden) en forma de conflictividad. En el contexto social, la inestabilidad sustituye a la irreversibilidad en la conceptualización de dicha ley. Esta novedad es fundamental para entender la termodinámica del comportamiento social y obliga reformular la segunda ley en otros términos acordes con las evidencias empíricas de los registros materiales de las sociedades del pasado y del presente, tal como se expresó más arriba: *cuando un proceso social incrementa la conflictividad interna (entropía social, desorden), provoca el aumento de la inestabilidad en el seno de la sociedad*. Es el aumento de la entropía social el que incrementa la inestabilidad social. En otras palabras, la conflictividad creciente siempre genera inestabilidad. Hay una proporción directa entre ambas variables: *si disminuye la conflictividad (entropía), desciende la inestabilidad*, o sea, aumenta la estabilidad. Dicho de otra forma, *existe una relación directa entre conflictividad e inestabilidad e indirecta entre conflictividad y estabilidad*. Es decir, todo aumento

de C ( $\Delta C > 0$ ) genera inestabilidad ( $-Q$ ,  $Q < 0$ ) al igual que todo descenso de C ( $\Delta C < 0$ ) produce estabilidad ( $Q > 0$ ). Por tanto, la conflictividad (C) es directamente proporcional a la inestabilidad o estabilidad negativa ( $-Q$ ) e inversamente proporcional a la estabilidad ( $Q = iO - iC$ ): cuando aumenta C ( $iC > iO$ ) también lo hace  $-Q$  ( $Q < 0$ ) y cuando disminuye C ( $iC < iO$ ) aumenta Q ( $Q > 0$ ).

3. La desigualdad social genera conflictividad. Lo hace con mayor intensidad cuando la economía va mal, es decir, cuando hay crisis económica. En un proceso paralelo y simultáneo, la prosperidad económica genera cohesión social mientras la desigualdad social disminuya o no crezca de forma desmesurada. Es el saldo del balance de ambos parámetros (conflictividad y cohesión social) el que determina la estabilidad (si es positivo,  $iR - iD > 0$ ) o inestabilidad social (si es negativo,  $iR - iD < 0$ ).

4. Como corolario de la anterior conclusión, se puede plantear el siguiente silogismo: 1) el incremento de la desigualdad ( $\Delta D > 0$ ) genera conflictividad ( $\Delta C > 0$ ), 2) el incremento de la conflictividad ( $\Delta C > 0$ ) genera inestabilidad ( $Q > 0$ ), 3) luego el incremento de la desigualdad ( $\Delta D > 0$ ) acaba generando (o genera indirectamente) inestabilidad ( $Q > 0$ ):  $D \rightarrow C \rightarrow -Q$ .

5. De lo anterior cabe deducir una nueva ley de la arqueología de los fenómenos sociales o arqueonomía. Es la ley de la estabilidad social: *una sociedad será estable cuando descienda su conflictividad y será inestable cuando aumente su conflictividad; porque el incremento de la conflictividad (entropía) genera inestabilidad social al igual que su descenso produce estabilidad*.

6. Examinando nuevamente  $E = \Delta D - R \cdot \Delta C$ , si despejamos  $\Delta C$ , tenemos  $\Delta C = (\Delta D - E)/R$ . Es decir, un incremento de desigualdad social producirá un incremento de conflictividad, coincidiendo con  $C = D/R$ . En otras palabras, cuando aumente la desigualdad también lo hará la conflictividad, si bien dicho incremento puede ser atenuado por la prosperidad coyuntural de la economía y la reversibilidad del proceso (energía libre positiva).

7. Todo esto deja entrever que la termodinámica de los fenómenos sociales no funciona exactamente igual que la de los fenómenos naturales. Estamos ante un contexto de máxima complejidad donde la energía expresa su mayor nivel de organización como materia viva pensante. O sea, todos los procesos sociales deberían ser irreversibles y eso no es así porque hay procesos reversibles y otros irreversibles aplicando la ecuación de la energía libre de Gibbs a las sociedades humanas, espe-

cialmente cuando se observa analíticamente su registro funerario del pasado. *Y no parece que la analogía postulada que fundamenta la relación entre la conflictividad social y la entropía termodinámica deba ser puesta en entredicho por ello.*

## Conclusión final

Las evidencias empíricas de esta investigación han permitido poner de relieve la necesidad de adaptar la termodinámica natural al contexto social para salvar las contradicciones que afloran cuando se aplica directamente. La prueba más evidente (1) proviene de la misma *entropía social*, es decir, la *conflictividad*, la cual puede aumentar o disminuir a diferencia de la *entropía natural* (que solo puede aumentar o mantenerse constante, pero nunca disminuye). Es decir, *en los procesos irreversibles no siempre aumenta la entropía social*, a diferencia de la natural, sino que también disminuye. Otro argu-

mento contundente (2) proviene del incumplimiento de la segunda ley de la termodinámica en determinados casos ya expuestos, que serán muchos más a medida que avancen los análisis de los registros funerarios en el futuro. Finalmente (3), *el incremento de la entropía social siempre genera inestabilidad, no irreversibilidad*. Estas tres evidencias empíricas, amén de otras que puedan ser aisladas más adelante, constituyen los pilares sobre los que se asienta esta revisión crítica y bastan para poner en entredicho la aplicación directa de la termodinámica natural a las sociedades humanas sin someterla a una adaptación en función de su comportamiento diferenciado en el complejo contexto social, donde las leyes naturales experimentan transformaciones adaptativas que obligan a modificarlas. Este nuevo enfoque, aunque resulte innovador y claramente revolucionario, solo es fruto de la inferencia a partir de las evidencias empíricas analizadas que cualquiera puede comprobar. Así funciona la verdadera ciencia.

## REFERENCIAS

- ALMAGRO-GORBEA, M. 2008. Medellín-Conisturgis: reinterpretación geográfica del suroeste de Iberia. *Boletim da Sociedade de Geografia de Lisboa* 126: 84-115.
- ALMAGRO-GORBEA, M. 2010. La colonización tartésica: toponimia y arqueología. *Paleohispanica* 10: 187-199.
- AUBET, M.E. 1975. *La necrópolis de Setefilla en Lora del Río, Sevilla (túmulo A)*. Barcelona. Programa de Investigaciones Protohistóricas 2.
- AUBET, M. E. 1978. *La necrópolis de Setefilla en Lora del Río, Sevilla (túmulo B)*. Barcelona. Programa de Investigaciones Protohistóricas 3.
- AUBET, M. E. 1980-81. Nuevos hallazgos en la necrópolis de Setefilla (Sevilla). *Mainake* 2-3: 87-115.
- BOLTZMANN, L. 1974 [1886]. The Second Law of Thermodynamics. En *Theoretical Physics and Philosophical Problems*, pp. 13-32. Dordrecht: D. Reidel.
- BOLTZMANN, L. 1995 [1964]. *Lectures on Gas Theory*. Trad. S. G. Brush. Nueva York: Dover Publications, Inc. [Berkeley: University of California Press].
- BOHR, N. 1913. On the Constitution of Atoms and Molecules. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* 26, 151: 1-25.
- BRANDHERM, D.; M. KRUEGER. 2017. Primeras determinaciones radiocarbónicas de la necrópolis de Setefilla (Lora del Río) y el inicio del periodo orientalizante en Andalucía occidental. *Trabajos de Prehistoria* 74, 2: 296-318.
- ÇENGEL, Y. A.; M. A. BOLES. 2012. *Termodinámica*. México: McGraw-Hill. 7.<sup>a</sup> ed.
- FLORES, J. C.; P. IZQUIERDO-EGEA. 2018. Una comparación entre transiciones de fase y conflictos sociales aplicada a las antiguas civilizaciones mesoamericanas. *Arqueología Iberoamericana* 38: 50-54.
- GROSSMAN, J. C. 2014. *Thermodynamics: Four Laws that Move the Universe*. Chantilly, Virginia: The Great Courses, The Teaching Company.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2017. *Fundamentos de la arqueología de los fenómenos sociales I*. Advances in Archaeology 3. Graus. <<https://purl.org/aa/03>>.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2018a. Leslie A. White y la medición objetiva del cambio cultural de la humanidad. *Arqueología Iberoamericana* S2: 15-18.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2018b. Implementando una ecuación estadística para medir el colapso en la antigua Mesoamérica. *Arqueología Iberoamericana* S2: 23-26.

- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2018c. Una ecuación estadística para medir el riesgo de guerra en la Mesoamérica prehispánica. *Arqueología Iberoamericana* 39: 67-70.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2018d. Boltzmann y la conexión de la termodinámica con la arqueología de los fenómenos sociales. *Arqueología Iberoamericana* 40: 101-104.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2019a. Midiendo el grado de desarrollo urbano a través del registro funerario. *Arqueología Iberoamericana* 42: 50-53.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2019b. Sobre la ley fundamental de la arqueología de los fenómenos sociales. *Arqueología Iberoamericana* 43: 67-70.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2019c. Termodinámica y arqueología de los fenómenos sociales. *Arqueología Iberoamericana* 44: 80-87.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2020a. Sobre la ley de la conflictividad en la arqueología de los fenómenos sociales. *Arqueología Iberoamericana* 45: 29-34.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2020b. Nomothetic Archaeology: A Revolution in Progress. *Arqueología Iberoamericana* 45: 101-104.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2021a. Teotihuacan y las fluctuaciones de la economía mesoamericana. *Arqueología Iberoamericana* 47: 161-174.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2021b. Sobre la ley del colapso de las civilizaciones según la arqueología de los fenómenos sociales. *Arqueología Iberoamericana* 48: 103-108.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2022a. La ley de la desigualdad social según la arqueología de los fenómenos sociales. *Arqueología Iberoamericana* 49: 117-120.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2022b. Sobre la mecánica del proceso de colapso de las civilizaciones. *Arqueología Iberoamericana* 50: 98-103.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2023a. Observing the Evolution of Argaric Civilization through the Mortuary Record. *Arqueología Iberoamericana* 51: 3-8.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2023b. Arqueología de la irreversibilidad social y las crisis económicas. *Arqueología Iberoamericana* 51: 29-35.
- KLOTZ, I. M.; R. M. ROSENBERG. 2008. *Chemical Thermodynamics. Basic Concepts and Methods*. Hoboken: Wiley.
- PELLICER, M. 2007. *La necrópolis Laurita (Almuñécar, Granada) en el contexto de la colonización fenicia*. Cuadernos de Arqueología Mediterránea 1. Barcelona: Publicaciones del Laboratorio de Arqueología, UPF.
- PLANCK, M. 1969 [1917]. *Treatise on Thermodynamics*. Mineola, Nueva York: Dover Publications.
- PRIGOGINE, I. 1978. Time, Structure, and Fluctuations. *Science* 201, 4358: 777-785.
- SALA, J. M.; L. M. LÓPEZ. 2011. *Termodinámica fundamental*. Universidad de La Rioja.
- SERWAY, R. A.; J. W. JEWETT, JR. 2008. *Física para ciencias e ingeniería*. Vol. 1. Trad. V. Campos Olguín. México, D. F.: Cengage Learning Editores. 7.<sup>a</sup> ed.
- TOLMAN, R. C.; P. C. FINE. 1948. On the Irreversible Production of Entropy. *Reviews of Modern Physics* 20, 1: 51-77.



RESEARCH ARTICLE

# ANÁLISIS, DESCRIPCIÓN Y PROBABLES FUNCIONES DE LOS PATRONES DE ASENTAMIENTO EN LA CULTURA BOLAÑOS, MÉXICO

## *Analysis, Description and Probable Functions of Settlement Patterns in the Bolaños Culture, Mexico*

*María Teresa Cabrero G.*

Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM, México  
(✉ [cabrerot@unam.mx](mailto:cabrerot@unam.mx))

**RESUMEN.** *La carga cultural que traían los colonos prehispánicos llegados al cañón de Bolaños, México, la aplicaron con gran éxito al nuevo ambiente natural al cual se enfrentaron. Reprodujeron el patrón de asentamiento circular conocido, pero adaptaron sus elementos a las nuevas condiciones geográficas de la región. Así se cumplía con el mandato de los dioses según sus creencias y, a su vez, con las necesidades de la élite de la sociedad.*

**PALABRAS CLAVE.** *Patrones, asentamiento, cultura Bolaños, México.*

**ABSTRACT.** *The cultural load brought by the pre-Hispanic settlers who arrived at the Bolaños Canyon, Mexico, was applied with great success to the new natural environment they faced. They reproduced the known circular settlement pattern, but adapted its elements to the new geographical conditions of the region. In this way, they fulfilled the mandate of the gods according to their beliefs and, in turn, with the needs of the society's elite.*

**KEYWORDS.** *Settlement, patterns, Bolaños culture, Mexico.*

## INTRODUCCIÓN

La cultura Bolaños fue el resultado de la migración de un grupo de personas pertenecientes a la «tradición Teuchitlán», así denominada por P. Weigand, asentada en el centro de Jalisco, cuyo rasgo característico fueron los conjuntos circulares formados por edificios rectangulares y uno más en el centro, asociados a la costumbre mortuoria de las tumbas de tiro.

Weigand (1996) la denominó «tradición» por «la persistencia en el tiempo», añadiendo que este peculiar patrón de asentamiento estaba dedicado al culto religioso. Bajo ese postulado, considero que lo reprodujeron en el cañón de Bolaños los recién llegados de acuerdo con el bagaje cultural conocido. En base a lo anterior, uno de los centros más importantes de esta «tradición»,

según Weigand, fue el sitio conocido como Guachimontones (término popular derivado del inglés *watch* y el español «montones» o cerros), que caracterizó como el centro regulador. Considero que los dirigentes de este sitio o de algunos otros que existían (figura 1) tomaron la decisión de establecer contacto con el área de Chalchihuites, donde se explotaba la piedra verde (malaquita), objeto muy codiciado por todas las culturas por considerarlo sagrado. Sería una mercancía muy valiosa cuya distribución les redituara riqueza.

La zona de Chalchihuites se encuentra en el oeste del Estado de Zacatecas y al norte del centro de Jalisco, por lo cual habría que cruzar la Sierra Madre Occidental a pie. La mejor opción sería atravesar el cañón de Bolaños, empleando el río como vía de comunicación hasta su nacimiento en el valle de Valparaíso, ya en

*Recibido: 28/5/2024. Aceptado: 10/6/2024. Publicado: 21/6/2024.*



Figura 1. Patrón de asentamiento de la tradición Teuchitlán.

Zacatecas. Esta ruta tenía dos grandes ventajas: la primera se debía a que el río era manso y ancho, por lo cual el viaje sería seguro y rápido; y la segunda consistía en que el cañón estaba deshabitado, por lo que su colonización sería tranquila. La región reunía los factores esenciales para su ocupación y establecer una ruta de intercambio comercial muy favorable para su economía, convirtiendo a la cultura Bolaños en el importador y distribuidor de piedra verde más importante entre los grupos que vivían en el Occidente de México.

## ETAPA DE ADAPTACIÓN, DESARROLLO Y CONSOLIDACIÓN DE LA CULTURA BOLAÑOS

La ventaja de ser una región deshabitada para su ocupación se vio limitada por el ambiente natural al cual se enfrentaron los recién llegados, ya que mientras en el centro de Jalisco existía un clima templado, grandes extensiones planas de tierra para el cultivo y abundante agua, en el cañón ocurría todo lo contrario: el clima era muy cálido, la vegetación dominante consistía en cactáceas, había pocas extensiones llanas para cultivar y el agua solo se localizaba en el río. Por tanto, los recién llegados debieron de pasar por un periodo de adaptación a las nuevas condiciones ambientales, que no impidió desarrollar y establecer el bagaje cultural conocido: conjuntos circulares en la mesa alta de las elevaciones y terracedo agrícola de las mismas (Cabrero 1989).

En una segunda etapa se reconocen dos nuevos y distintos patrones de asentamiento: el primero corresponde al surgimiento de un patrón rectangular (figura 2) y el segundo al aprovechamiento de múltiples terrazas artificiales, principalmente para el cultivo, aunque algunas se emplearon para construir un nuevo patrón consistente en dos plataformas situadas en la parte posterior de la terraza (unidas con una rampa empedrada hacia el centro) y dos habitaciones al frente (figura 3).

Considero que, a falta de terrenos planos donde construir patrones rectangulares o circulares como representantes del culto, optaron por el patrón de dos plataformas unidas, usando la terraza más ancha para colocar los edificios «sagrados» (figura 3).

Las fechas de  $^{14}\text{C}$  obtenidas demuestran que el patrón circular fue el utilizado para colonizar el cañón, el siguiente y contemporáneo consistió en las dos plataformas en la parte trasera de las terrazas artificiales, y el tercero fue el patrón rectangular (Cabrero 1989, 2015; Cabrero y López 2002).

## DESARROLLO DE LA CULTURA BOLAÑOS

Hacia principios de nuestra era, el contingente enviado para ocupar el cañón de Bolaños debió de entrar a través del río hasta encontrar un pequeño valle conocido hoy día como el pueblo de San Martín de Bolaños. En el lado oeste del río había una zona plana sobre la margen y, enfrente, un cerro con dos elevaciones y una mesa central; por lo que decidieron asentarse en ambas zonas. En la margen plana del río fundaron el conjunto circular conocido como Pochotitán y ocuparon el cerro llamado El Piñón para asentarse. En ambos sitios construyeron tumbas de tiro. Con el tiempo, estos dos asentamientos constituyeron el centro de control de la ruta de intercambio comercial (Cabrero 1989; Cabrero y López 2002). Desconozco el momento y las causas de la independencia del centro rector (en el centro de Jalisco) que originó su propio desarrollo en el cañón de Bolaños, pero está claro que lograron crear su propia cultura a partir del bagaje sociocultural que traían al ocupar una región lejana al centro de origen.

Una vez asentados en este valle, parte del contingente colonizador debió de seguir adelante hasta encontrar el nacimiento del río y el comienzo del cañón, ambos en el valle de Valparaíso, en el suroeste de Zacatecas. En ese lugar fundaron dos sitios, uno a cada lado del nacimiento del cañón, conocidos como La Florida y Las Pilas del Álamo (figura 4). El primero muestra un conjunto circular en la parte central y, a su alrededor, diversas habitaciones; y sobre la ladera este construyeron seis tumbas de tiro. En el segundo hay dos conjuntos circulares. En el piso del valle edificaron dos conjuntos circulares y algunas tumbas de tiro; ambos están muy destruidos por el asentamiento actual (Cabrero 1989).

La pendiente natural de la terraza donde se localiza el sitio de La Florida se va suavizando hasta llegar al valle, mientras que la ubicación de Las Pilas del Álamo continúa en la sierra. El emplazamiento de ambos sitios explicaría el tamaño y la complejidad de La Florida, al que debe agregarse la presencia de tumbas de tiro excavadas en la parte media de la ladera (Cabrero y López 2009). Los conjuntos circulares se multiplicaron en las partes altas de las elevaciones que circundan el valle de Valparaíso, las cuales fueron terracedas y muestran restos habitacionales (Cabrero 1989).

En total se localizaron 97 sitios a lo largo del cañón, de los cuales solo se lograron identificar 20 conjuntos circulares completos debido a la constante intromisión de los lugareños, que aprovechan las piedras para la



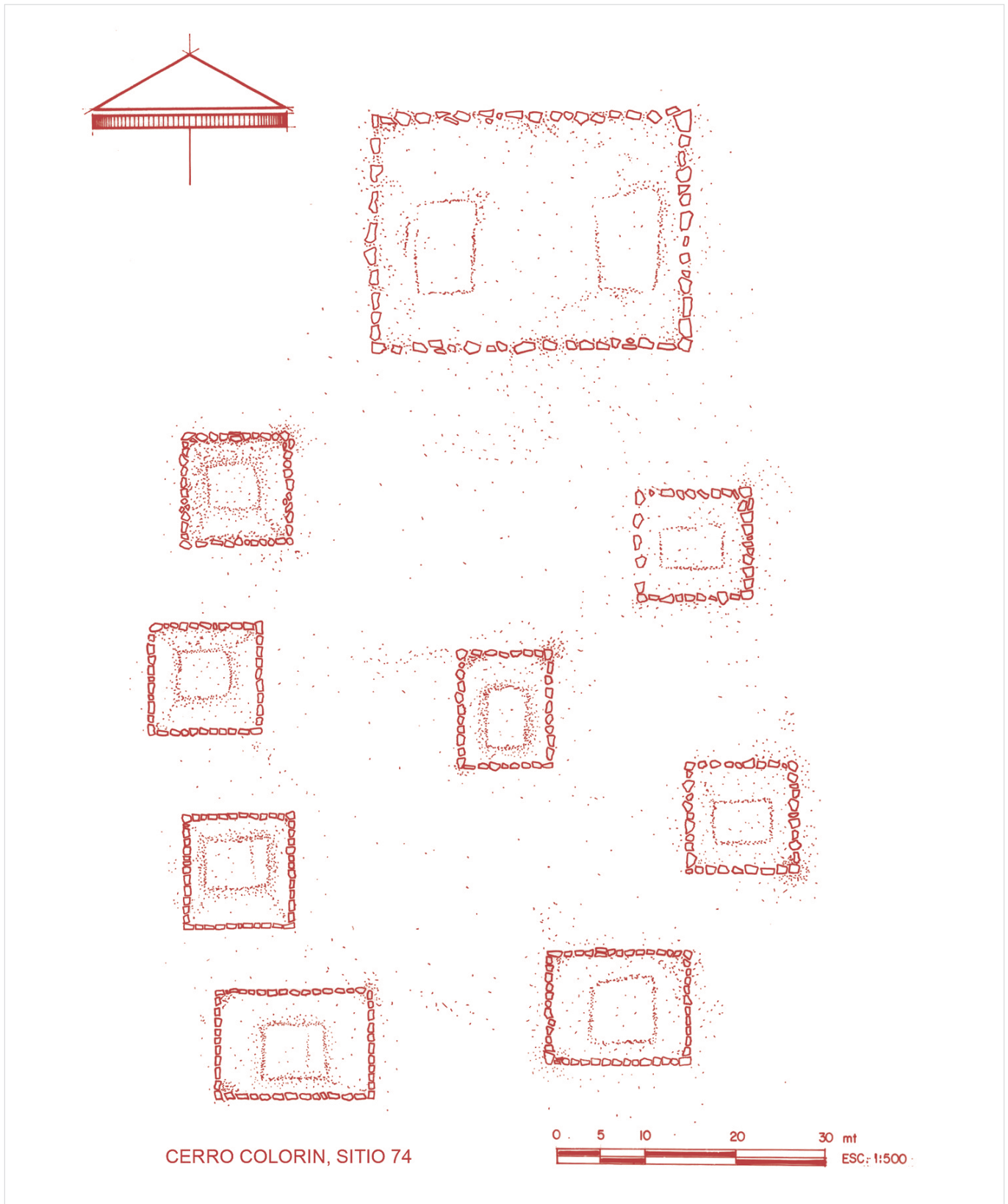


Figura 2. Patrón rectangular.

construcción de bardas que delimitan la propiedad; cuatro con patrón rectangular y cuatro con estructuras en la parte trasera de la terraza. En todos los casos, los sitios están rodeados por terrazas artificiales ocupadas

por una habitación, lo cual significa que el grupo de campesinos vivía en ellas y su labor era el cultivo de plantas (maíz y frijol principalmente) que alimentaban al grupo dominante.

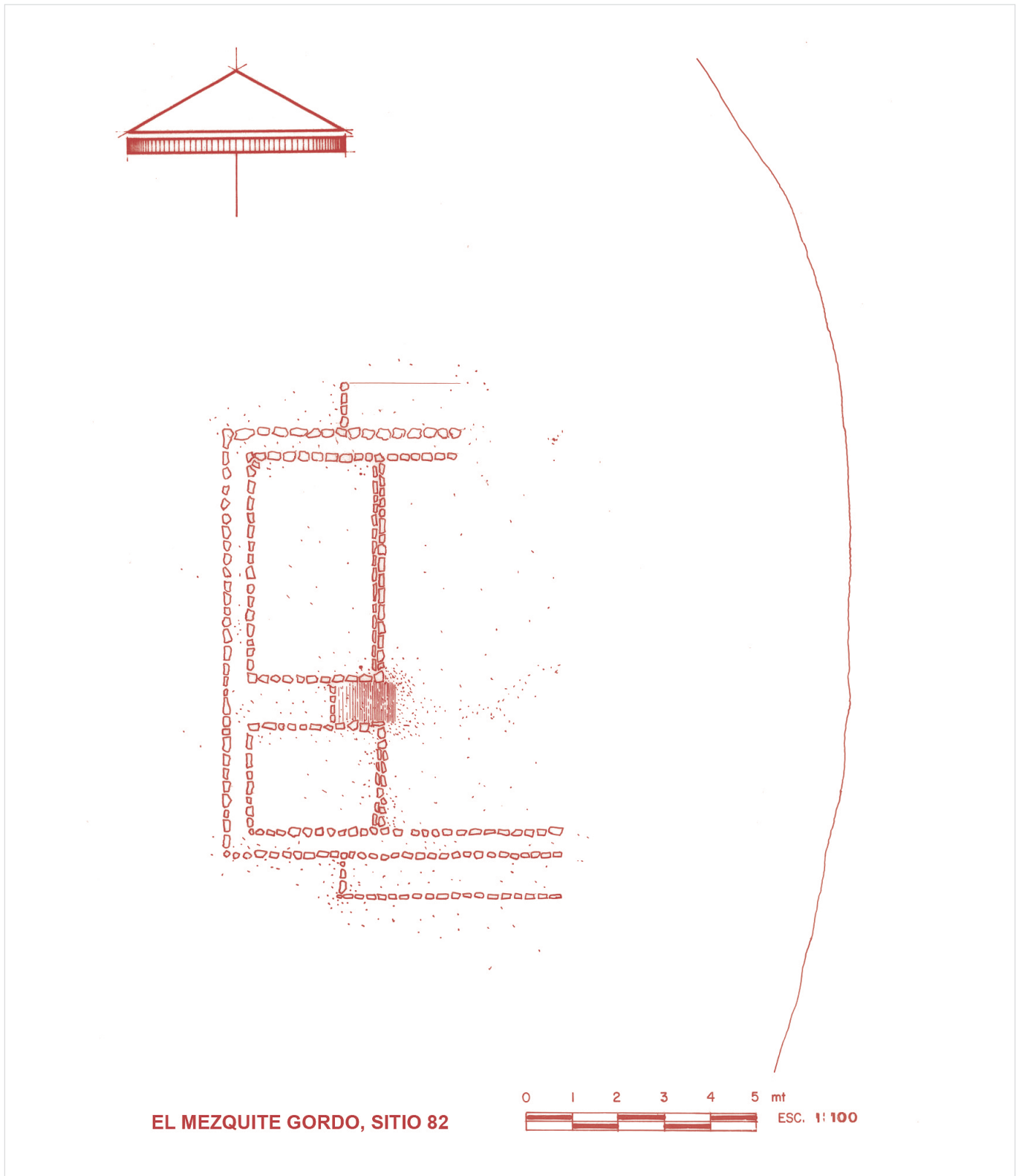


Figura 3. Dos plataformas unidas situadas en la parte posterior de la terraza.

### RASGOS QUE PRESENTAN LOS CONJUNTOS CIRCULARES

Todos los conjuntos circulares muestran más de diez restos de habitaciones de forma rectangular alrededor;

unos están separados y otros son de menor tamaño, pero contiguos y algunos conservan el montículo central. Serán descritos de acuerdo con su ubicación, de norte a sur a lo largo del cañón, empezando en el valle de Valparaíso.

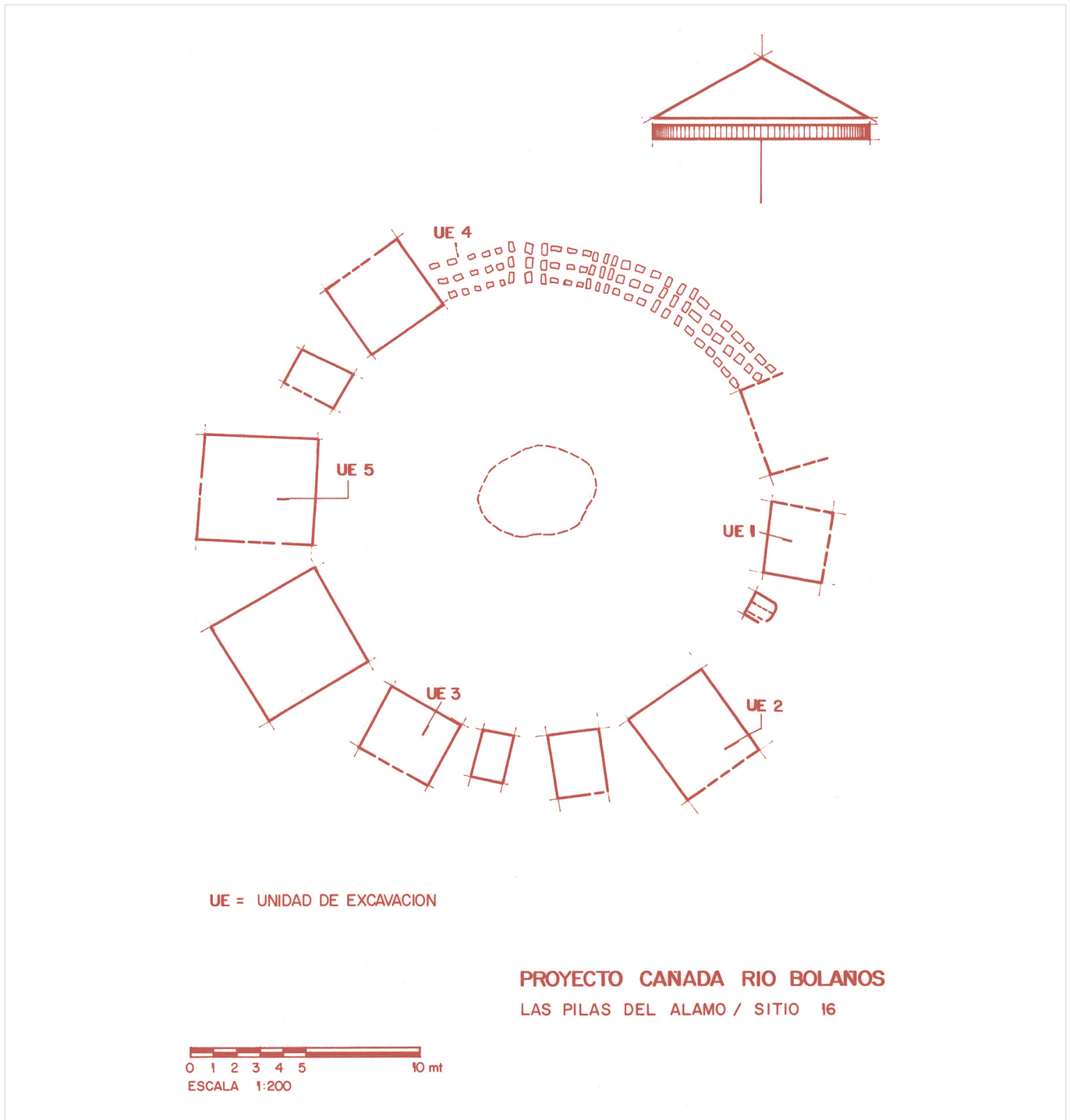


Figura 4. Conjunto circular en la parte superior donde se inicia el cañón.

### Características de los conjuntos circulares en el valle de Valparaíso

1) LA CAÑADA. Se conservó solamente medio círculo, observando cuatro habitaciones y dos empedrados.

2) EL CHACUACO. Se preservó un círculo completo con diez habitaciones íntegras y dos muy pequeñas, y un segundo círculo en el que se conservaron cinco cuartos (figura 5).

3) EL SALTO. Con siete habitaciones separadas y siete más unidas formando el círculo (figura 6).

4) LA FLORIDA. Un círculo con siete habitaciones, tres juntas y una circular en el centro del círculo. También hay un medio círculo con ocho habitaciones.

5) LAS PILAS DEL ÁLAMO. Círculo completo grande con diez habitaciones y un montículo circular en el centro. El conjunto muestra una entrada empedrada hacia el norte (figura 4).



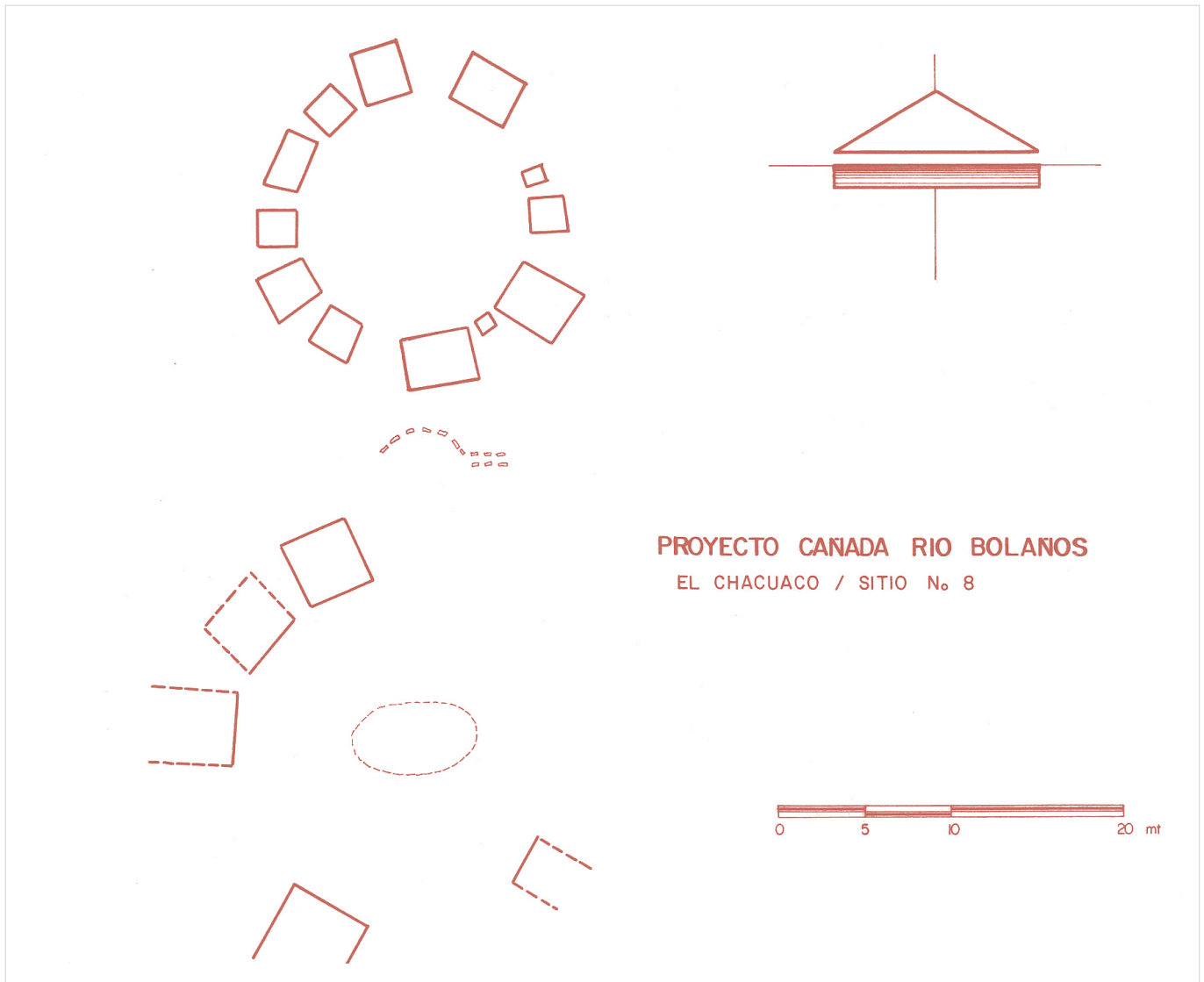


Figura 5. Dos conjuntos circulares contiguos.

6) EL CHILAR. Muy destruido, únicamente se pudo identificar medio círculo.

7) SAN JOSÉ DEL VERGEL. Dos conjuntos circulares con ocho y diez estructuras alrededor, respectivamente; cada uno de los cuales con un montículo central.

8) LA LECHUGUILLA. Conjunto circular con diez estructuras alrededor y una central también circular.

9) EL CAPULÍN. Dos círculos completos con siete habitaciones alrededor y una central cada uno.

### En la zona de Mezquitic

10) CERRO PRIETO. Un círculo con cinco habitaciones alrededor, un montículo en el centro y una entrada empedrada hacia el este. Se excavó el edificio situado hacia el este observando que presentaba dos cuerpos (Cabrero 1989).

11) CERRO PRIETO. En la mesa alta del cerro había un segundo conjunto circular con seis edificios grandes y uno circular en la parte central. Este conjunto estaba abierto hacia el este. Para entrar al mismo, se construyeron tres terrazas con un acceso empedrado (Cabrero 1989).

12) TOTUATE. Conjunto circular muy deteriorado, ya que fue excavado por Kelley en 1965 y publicado en 1971, así como por Hrdlička en 1903 (figura 7).

13) CHIMALTITÁN. Conjunto circular con siete habitaciones alrededor (figura 8).

14) LAS BOCAS. Conjunto circular con cinco habitaciones grandes, situado en el lado este a la orilla del río.

15) BANCO DE LAS CASAS. Situado sobre la margen este del río. Este sitio es muy grande y se observa un probable conjunto circular y una plaza rectangular; sin embargo, no se pudo reconocer con mayor detalle por

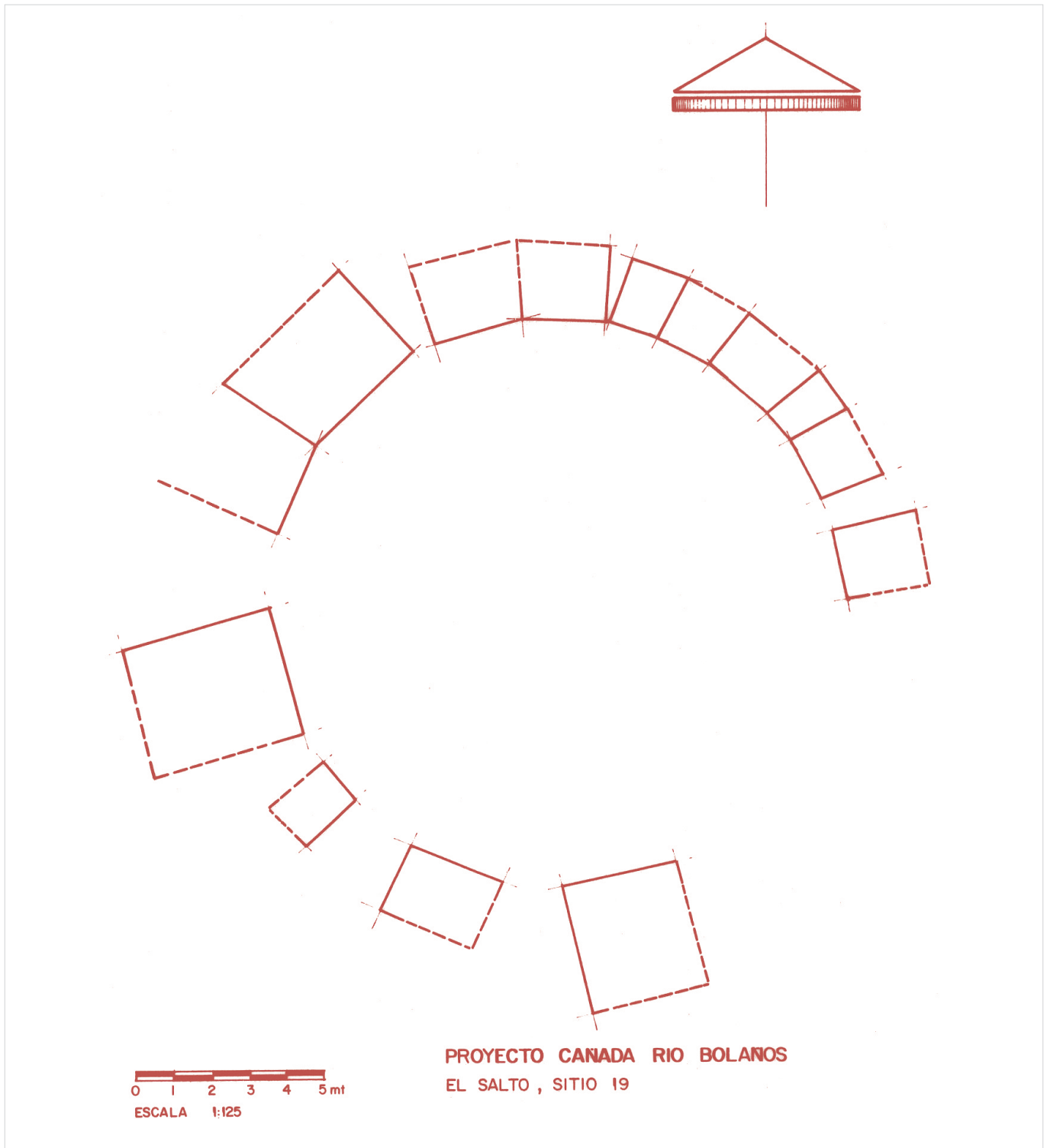


Figura 6. Conjunto circular con grandes habitaciones y posibles almacenes contiguos.

presentar un avanzado saqueo de todas las manifestaciones humanas. Es particularmente el de mayor tamaño y duración temporal, ya que mostró ambos patrones de asentamiento muy deteriorados.

16) LA PEÑA. Situado sobre la margen este del río, muy cerca del sitio anterior. Se extiende hacia la elevación terracada del cañón. Presenta un patrón de asen-

tamiento rectangular con dos edificios o estructuras en la parte trasera de cada terraza.

#### En la zona al sur de la anterior

17) LA PINTA. Sobre una terraza se construyó una plataforma rectangular con dos habitaciones en el interior,

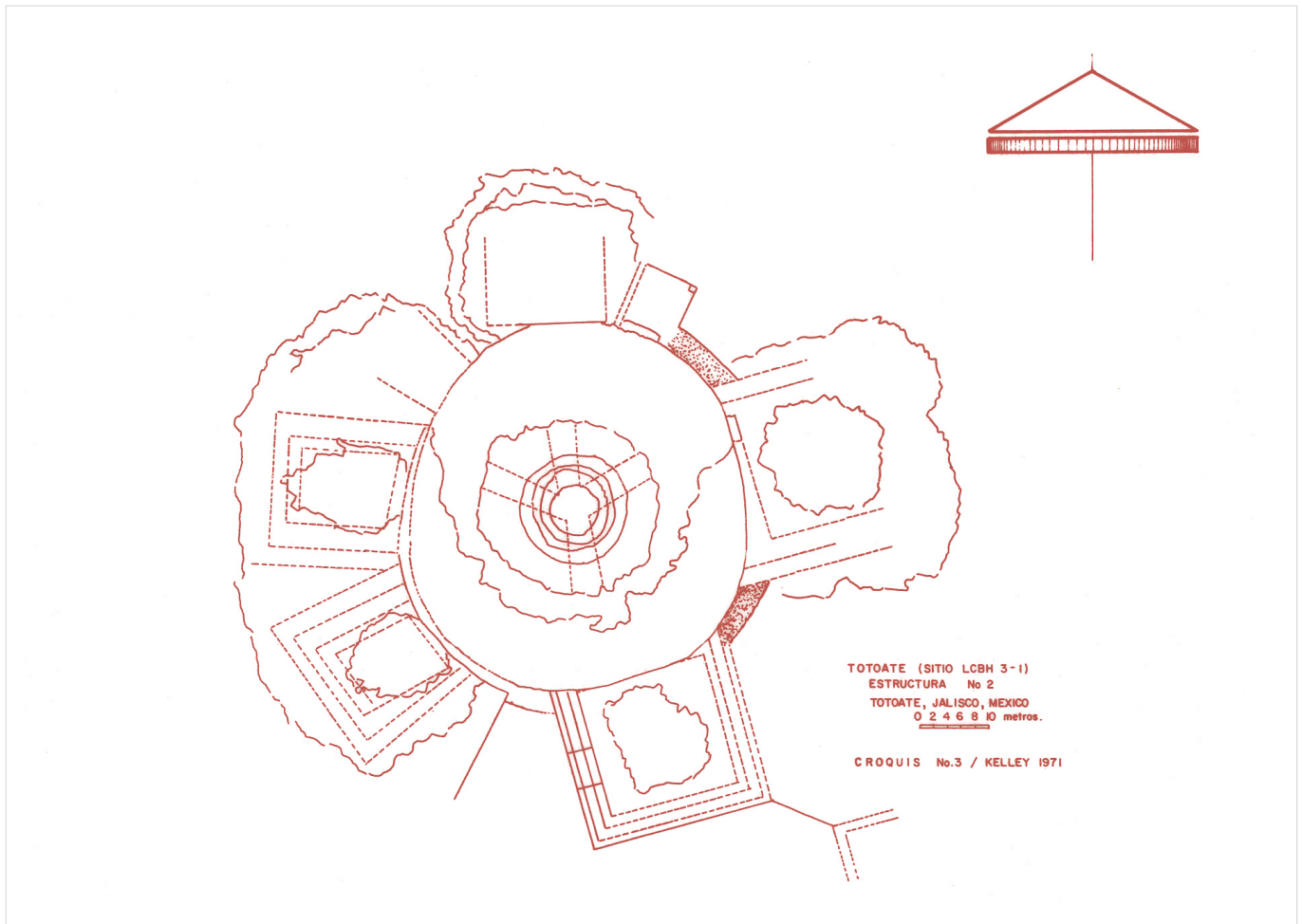


Figura 7. Conjunto circular excavado por Kelley (1971).

con un acceso empedrado en la parte media y, frente a ellas, se edificaron dos habitaciones más (figura 9).

18) EL MEZQUITE GORDO. Sobre una plataforma alargada se construyeron dos habitaciones rectangulares y una más cuadrada, unidas por una escalinata central.

### Patrón de asentamiento rectangular

19) LA JOYA. Conjunto rectangular con seis habitaciones: tres al norte, una al este y dos al sur.

20) CERRO COLORÍN. Conjunto rectangular con siete habitaciones y una central. Cerrando el conjunto se presenta una estructura de mayor tamaño con dos habitaciones en el interior de la terraza (figura 2).

Se detectó el cambio del patrón circular por el rectangular en varios sitios ubicados sobre la colina oeste, donde se encuentran Cerro Prieto y Totuate.

21) En TOTUATE, Kelley (1971) excavó una plataforma rectangular con cuatro estructuras orientadas hacia los cuatro puntos cardinales, muy grandes, cerrando el espacio interior (figura 7).

22) Hacia el oeste de los dos sitios anteriores se excavaron tres sitios que reflejaron el cambio del patrón circular al rectangular. Las fechas de  $^{14}\text{C}$  demostraron el periodo en que se efectuó dicho cambio (Cabrero 2018) (figura 10).

Trataré de inferir las supuestas funciones de cada tipo de patrón de asentamiento de acuerdo con la configuración del paisaje y la adaptación del ser humano a este, en base a los hallazgos de las excavaciones arqueológicas llevadas a cabo durante el desarrollo del proyecto.

Considero que estos patrones de asentamiento tuvieron tres funciones: la primera, de mayor importancia, es la relacionada con el culto; la segunda es que actuaron como viviendas de sacerdotes y gobernantes; y la tercera se refiere a su función como almacenes de alimentos (en el caso de los círculos) debido al difícil acceso a ellos (figura 6).

Los colonos, como ya se mencionó, adaptaron el patrón circular al nuevo paisaje; sin embargo, no siempre pudieron hacerlo, debido al agreste paisaje que encontraron, pero el ser humano se caracteriza por su habili-



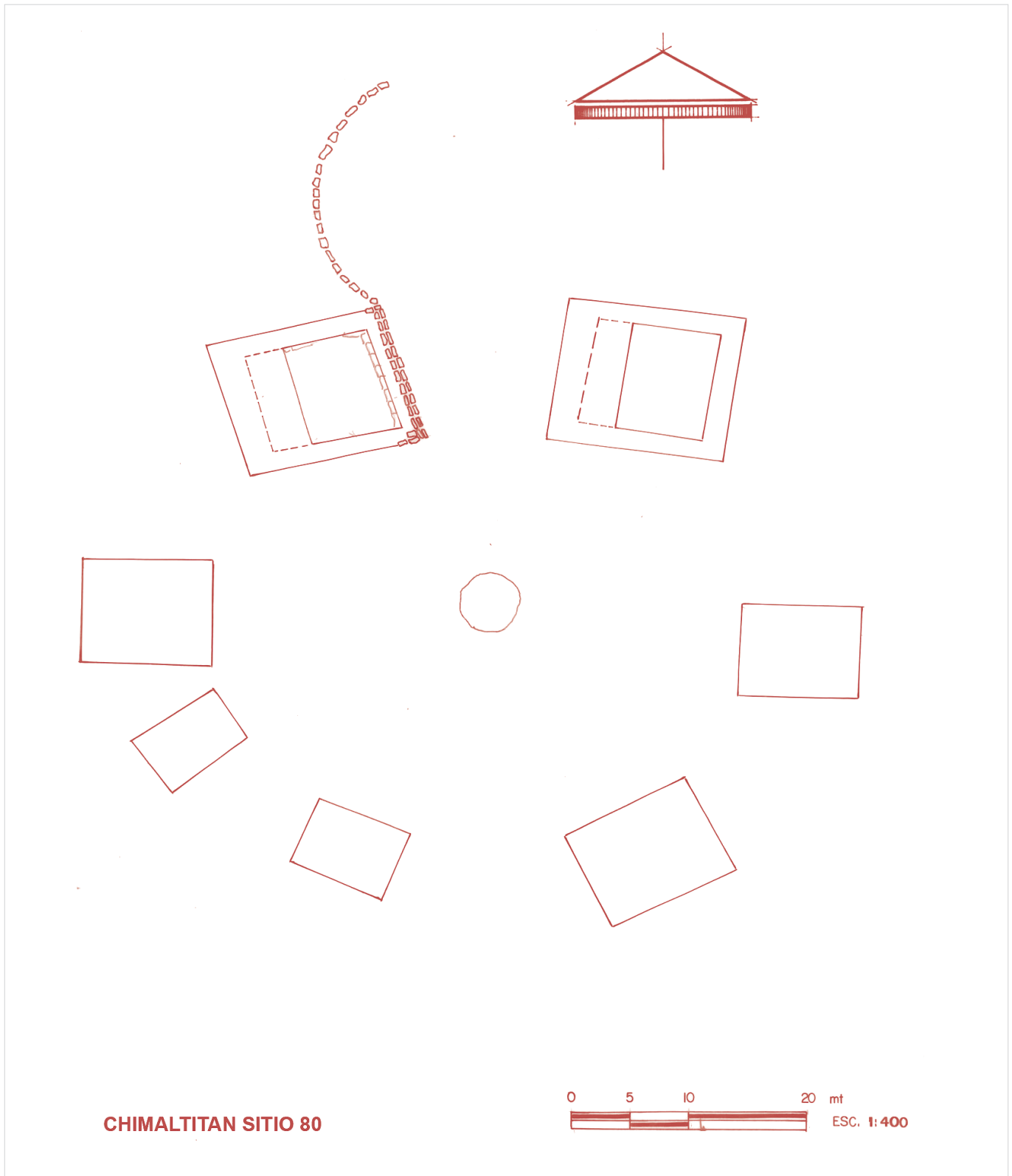


Figura 8. Conjunto circular con siete habitaciones alrededor.

dad de adaptación a nuevas situaciones, en este caso naturales. Así se explica la fundación de un sitio en cada lado del inicio del cañón, pues tendrían la posibilidad de controlar el paso de las futuras caravanas de comerciantes que llegaran o salieran del cañón (sitios de La

Florida y Las Pilas del Álamo) (Cabrero 1989). Los primeros colonos que entraron al cañón utilizaron muy probablemente el río como medio de transporte hasta llegar al primer valle; y decidieron fundar los futuros centros de control de la ruta comercial que pretendían

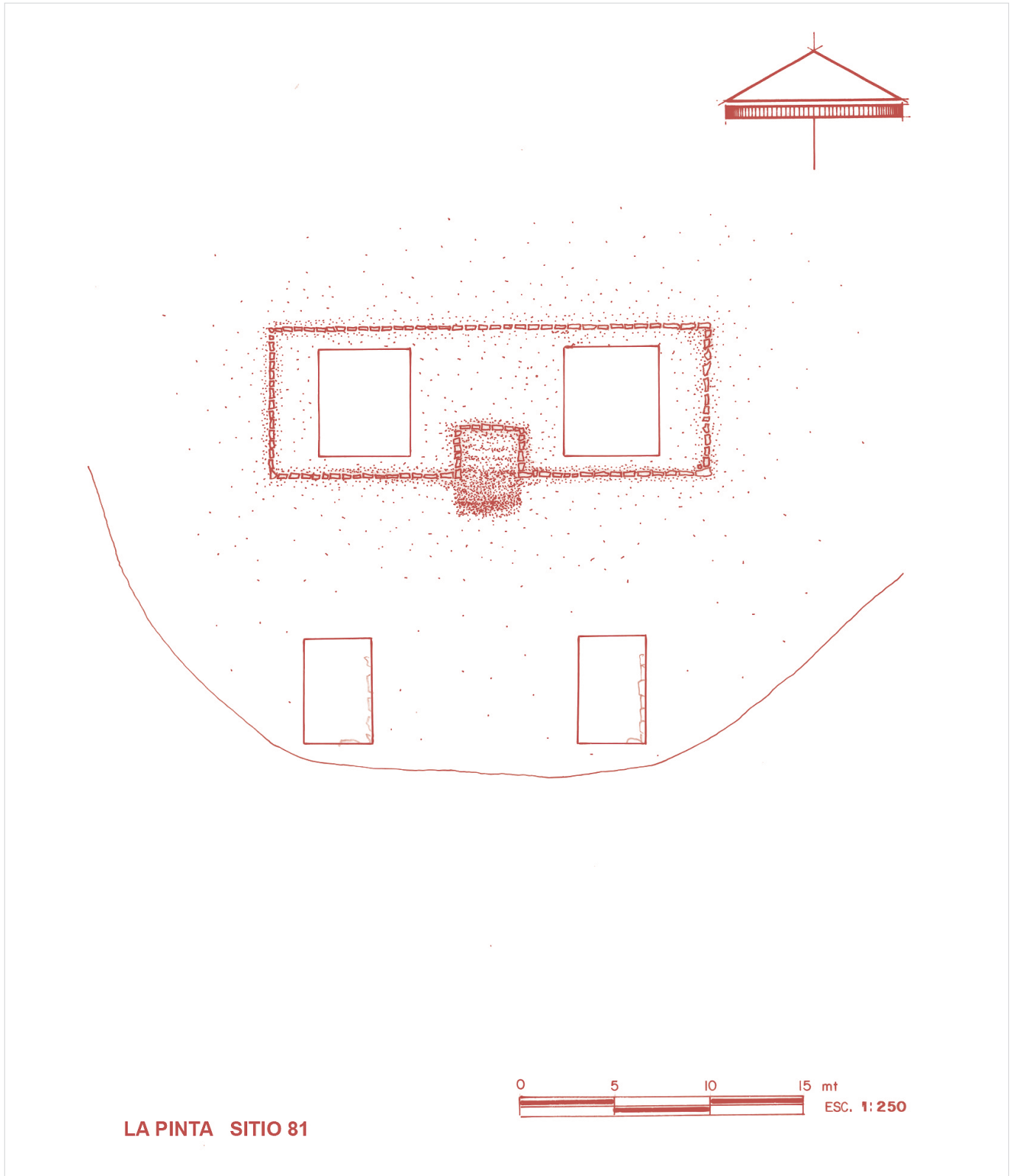


Figura 9. Dos plataformas unidas en la parte posterior de la terraza.

establecer. La margen oeste del río era lo suficiente grande como para poder edificar un conjunto circular que fuese el lugar de acopio de las mercancías que transitarían a lo largo del cañón (Pochotitán); y frente a este existía un cerro desde el cual controlar el paso de las

caravanas de comerciantes, ya que presentaba una mesa central y una elevación a cada lado (El Piñón).

El primero se construyó con habitaciones grandes capaces de guardar todo tipo de mercancías; en el segundo viviría el gobernante con sus familiares, los sa-

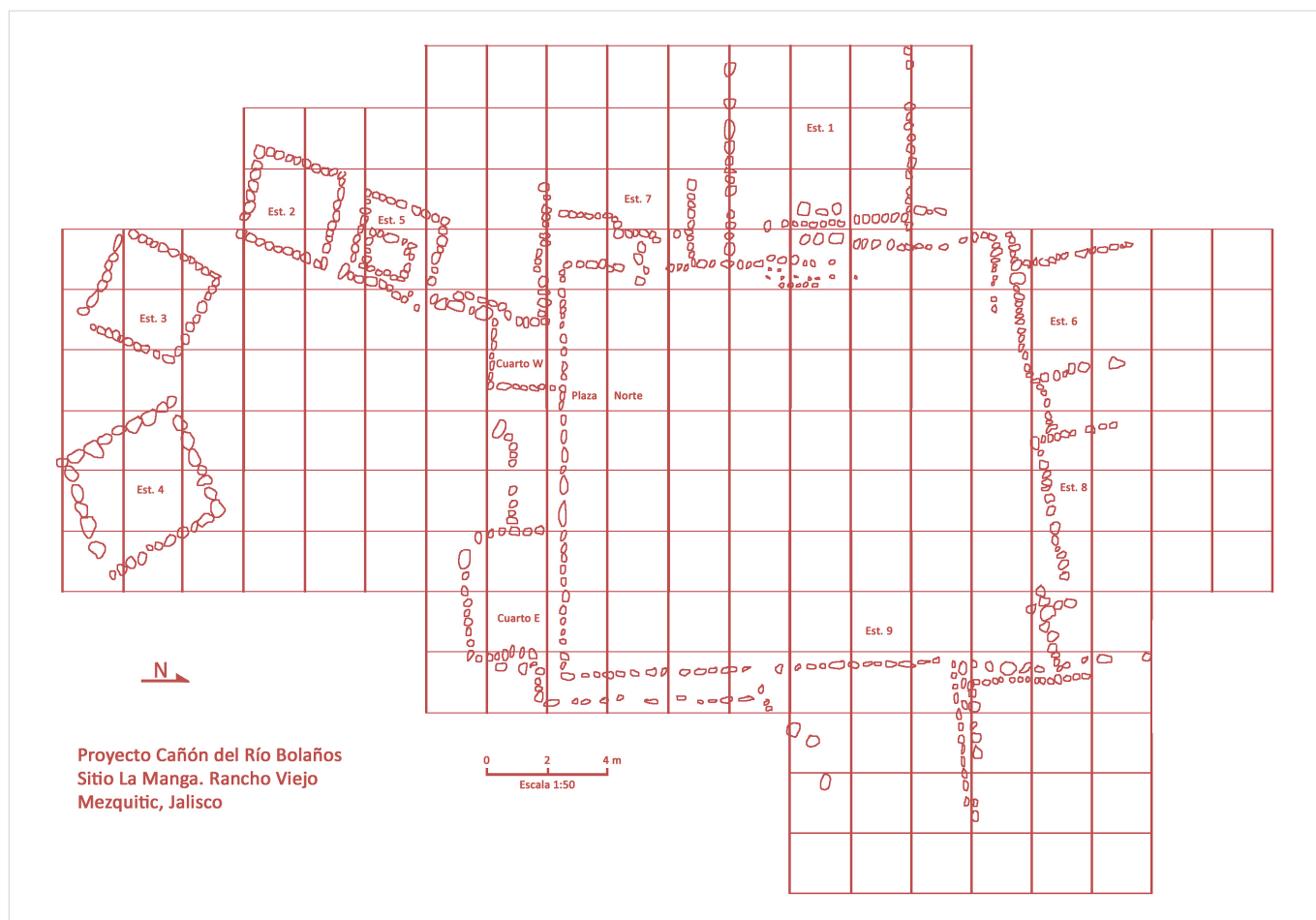


Figura 10. Combinación del patrón rectangular y el circular.

cerdotes, la élite, el grupo de ceramistas que produjeron las ofrendas mortuorias que se depositaron en las tumbas de tiro a la muerte del gobernante y sus familiares y, por último, habría espacio para la construcción de un juego de pelota (Cabrero y López 2002).

Las fechas de  $^{14}\text{C}$  señalan la secuencia cronológica de ambos sitios, así como su importancia en el desarrollo de la ocupación del cañón; en base a ellas se logró conocer la secuencia cronológica de cada edificio, su probable función, la antigüedad de las tumbas de tiro (Cabrero y López 2002), la presencia de influencia teotihuacana y maya (Cabrero 2015, 2023) (la primera en entierros directos y la segunda en tumbas de tiro), la entrada de una oleada de gente originaria del norte ajena a la cultura Bolaños, así como la decadencia y desaparición de esta última.

Retomando las probables funciones de los sitios descritos, continuaré con el patrón circular, cuya mayor presencia se da en el valle de Valparaíso y, en menor medida, en el siguiente lugar accesible: la península donde se fundó Totuate. La elevación frente a este se aprovechó para la construcción de dos conjuntos conoci-

dos como Cerro Prieto y la estribación de la sierra donde se detectó el cambio del patrón circular al rectangular, todos ellos respaldados por fechas de  $^{14}\text{C}$  (Cabrero 2018). En general, los conjuntos circulares muestran una serie de construcciones individuales y varias continuas hasta formar el círculo; todos presentan entre nueve y doce habitaciones, pero es muy difícil asegurar qué funciones tenían ambos tipos de habitaciones. Sin embargo, expondré algunas hipótesis basadas en los hallazgos efectuados en sitios extensamente excavados, como La Florida, Pochotitán, El Piñón, Las Bocas, Cerro Prieto y el grupo de la colina alta en Mezquitic.

Comenzaremos con los conjuntos del valle de Valparaíso. Esta zona está rodeada por elevaciones de difícil acceso, por lo que la parte más alta de algunos montes se ocupó construyendo uno de estos círculos con la probable intención de señalarlo como «divino», es decir, donde vivían los dioses y sus representantes en la Tierra: los gobernantes y los sacerdotes (habitaciones separadas). Ambos requerirían un lugar donde se guardarían los alimentos (habitaciones juntas, figura 6); a su vez, el campesinado que los sostendría viviría en



terrazas delimitadas por un muro de contención. Lo anterior explicaría la presencia de los conjuntos circulares y las terrazas artificiales con una o más habitaciones en cada una de ellas.

El segundo tipo de patrón de asentamiento señalado consiste en dos habitaciones contiguas con una entrada empedrada en la parte media (figuras 3 y 9). Aun cuando se desconoce su antigüedad por falta de fechas, considero que fue una modificación del patrón circular, debido probablemente a la carencia de espacio natural; ya que este tipo de patrón se encontró en terrazas artificiales construidas en elevaciones pequeñas al sur del valle de Valparaíso, donde había escaso espacio para construir un lugar de culto. Sin embargo, su presencia indica la importancia religiosa de las comunidades (sitios de La Pinta y El Mezquite Gordo).

Por último, tenemos el patrón rectangular identificado en varios sitios a lo largo del cañón. Como ya fue señalado, la excavación en la colina oeste de los sitios de Cerro Prieto y Totuate registró el cambio del patrón circular al rectangular (Cabrero 2018). Su presencia se atribuyó a la entrada al cañón de un primer grupo de gente perteneciente a la cultura denominada Loma San Gabriel, proveniente del sur de Durango (Kelley 1972, 1974, 1980, 1985, 2002). Varios siglos después, entró al cañón una segunda oleada de gente proveniente de esa misma región, reconocida dentro del cañón como Cerro Colotlán, y se asentó en la zona norte (Mason 1913; Cabrero 2021).

Como ya se indicó, la cultura Bolaños se desarrolló por el interés en contactar con la cultura Chalchihuites, de la cual recibió una sustancial influencia en la decoración cerámica, especialmente la incisa y la esgrafiada (Cabrero 1989; Kelley y Kelley 1971); por lo cual, no es de extrañar que la cultura Loma San Gabriel, que representaba una extensión tardía de la cultura Chalchihuites, estuviera presente en el cañón y, como en el caso de la tradición de los conjuntos circulares, esta estableciera el patrón de asentamiento rectangular que se empleaba en ambas culturas (Chalchihuites y Loma San Gabriel).

## DISCUSIÓN

Se han presentado los rasgos característicos del patrón de asentamiento que se empleó en la cultura Bolaños, desde sus orígenes hasta su desaparición. También se hizo notar el probable origen de este, así como los cambios sucedidos a través del tiempo, provocados

por la intervención de las culturas norteñas. Sin embargo, falta explicar las funciones que desempeñaron dichos patrones de asentamiento; por ello, trataré de señalarlas más extensivamente en relación con el ambiente natural de la región.

El ser humano, desde que ocupa un lugar preponderante en este planeta, ha desarrollado una variedad infinita de actividades que le permitan vivir seguro ante los embates de la naturaleza, los cuales no puede dominar. Por lo tanto, creó la presencia de entes con poderes extraordinarios que lo protegieran; de esa manera surgió la religión, presente entre todos los pueblos del mundo y en todos los tiempos. Para mantener a dichos entes contentos, les llama «dioses», les construye un lugar donde habitar (templos) y los cuida, alimenta y visita con frecuencia para pedirles su protección. Cada pueblo concibe una religión de acuerdo con sus creencias, pero todos coinciden en que fue creada para la protección de los seres humanos.

Pero regresando al problema que nos atañe, considero que los tres tipos de patrones ya descritos en la cultura Bolaños tuvieron la función relacionada con la religión. Su presencia se asocia directamente con la geografía de la zona. En el valle de Valparaíso se aprovechó la mesa alta de las elevaciones, donde se construyeron los conjuntos circulares. A lo largo del cañón se terracearon las pendientes laterales y se seleccionó la terraza más alta, pero con poco espacio. Lo anterior lo solucionaron cambiando el patrón: construyendo en la parte posterior de la terraza dos habitaciones contiguas con una entrada empedrada en la parte intermedia. Por último, al llegar una oleada de gente que utilizaba un patrón rectangular, encontraron en las laderas altas la superficie adecuada para construir mediante el patrón rectangular al uso.

Los tres tipos de patrón tienen una triple finalidad: servían como lugares de culto, por la cercanía al cielo, donde moraban los dioses; constituían la residencia del gobernante y los sacerdotes; y funcionaban como almacenes para su sustento.

## CONCLUSIONES

La adaptación de los colonos durante la ocupación original del cañón de Bolaños y las respuestas al nuevo y desconocido ambiente natural son un ejemplo del poder que ejerce el ser humano ante las fuerzas naturales, siempre custodiado por los entes sobrenaturales denominados «dioses».

Su adaptación material ante cualquier circunstancia constata, una vez más, que no hay límites para su paso por este mundo y su capacidad para desarrollar una cultura ante cualquier circunstancia natural o proveniente de sus congéneres.

## BIBLIOGRAFÍA

- CABRERO, M. T. 1989. *Civilización en el Norte de México*. Ciudad de México: UNAM.
- CABRERO, M. T. 2015. Presencia teotihuacana en la cultura Bolaños. *Arqueología Iberoamericana* 27: 3-11.
- CABRERO, M. T. 2018. La cultura Bolaños en el valle de Mezquitic, Jalisco. *Arqueología Iberoamericana* 40: 16-32.
- CABRERO, M. T. 2021. Cerro Colotlán: última morada del grupo étnico tepecano. *Arqueología Iberoamericana* 47: 102-114.
- CABRERO, M. T. 2023. Presencia maya en las tumbas de tiro de la cultura Bolaños, México: un caso insólito. *Arqueología Iberoamericana* 52: 128-134.
- CABRERO M. T.; C. LÓPEZ. 2002. *Civilización en el Norte de México II*. Ciudad de México: UNAM.
- CABRERO M. T.; C. LÓPEZ. 2009. La Florida un centro de control en la región de Bolaños, Zacatecas y Jalisco. *Arqueología Iberoamericana* 3: 5-19.
- HRDLÍČKA, A. 1903. The region of ancient Chichimecs with notes on the Tepecanos and the ruins of the La Quemada, Mexico. *American Anthropologist* 5, 3: 385-440.
- MASON, J. A. 1913. The Tepehuan Indians of Azqueltan. En *Proceedings of the 18th International Congress of Americanists*, pp. 344-351.
- KELLEY, J. C. 1971. Archaeology of the Northern Frontier: Zacatecas and Durango. *Handbook of Middle American Indians* 10-11: 768-804. Austin: University of Texas.
- KELLEY, J. C. 1972. Mesoamerican Colonization of Zacatecas-Durango. En *Mesa Redonda en Chihuahua*. Sociedad Mexicana de Antropología.
- KELLEY, J. C. 1974. Speculations on the Culture History of Northwestern Mesoamerica. En *The Archaeology of West Mexico*, ed. B. Bell, pp. 19-39. Ajijic, Jalisco, Mexico.
- KELLEY, J. C. 1980. Alta Vista, Chalchihuites: Port of Entry on the Northwestern Frontier. En *Rutas de Intercambio en Mesoamérica y Norte de México (XVI Mesa Redonda)*, t. I, pp. 53-64. Sociedad Mexicana de Antropología.
- KELLEY, J. C. 1985. The Chronology of the Chalchihuites Culture. En *The Archaeology of West and Northwest Mesoamerica*, eds. M. S. Foster y P. C. Weigand, pp. 269-287. Boulder: Westview Press.
- KELLEY, J. C. 2002. A Mesoamerican Colonization of Zacatecas-Durango: The Loma San Gabriel and Chalchihuites Cultures. En *Homenaje al Dr. John Charles Kelley*, eds. M. T. Cabrero, J. Litvak y P. Jiménez, pp. 83-98. Ciudad de México: UNAM.
- KELLEY, J. C.; E. A. KELLEY. 1971. *An Introduction to the Ceramics of the Chalchihuites Culture of Zacatecas and Durango, Mexico. Part I: The Decorated Wares*. Mesoamerican Studies 5. Carbondale: Southern Illinois University.
- WEIGAND, P. C. 1996. La evolución y ocaso de un núcleo de civilización: la tradición Teuchitlán y la arqueología de Jalisco. En *Las cuencas del Occidente de México: época prehispánica*, eds. E. Williams y P. C. Weigand, pp. 185-246. El Colegio de Michoacán.



RESEARCH ARTICLE

# MONITORAMENTO IN SITU DE PARÂMETROS AMBIENTAIS NO SÍTIO ARQUEOLÓGICO CAMINHO DA CAIÇARA II, BRASIL

## *In Situ Monitoring of Environmental Parameters at the Caminho da Caiçara II Archaeological Site, Brazil*

*Luis Carlos Duarte Cavalcante*  
*Andre Luiz das Neves Beserra*  
*Heralda Kelis Sousa Bezerra da Silva*

Laboratório de Arqueometria e Arte Rupestre, Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina, Piauí, Brasil  
(✉ [cavalcanteufpi@ufpi.edu.br](mailto:cavalcanteufpi@ufpi.edu.br))



Figura 1. Vista panorâmica do sítio arqueológico Caminho da Caiçara II, paredão rochoso principal e detalhes das pinturas rupestres.

*Recebido: 3/6/2024. Aceito: 15/6/2024. Publicado: 28/6/2024.*



**RESUMO.** O sítio arqueológico Caminho da Caiçara II está localizado no povoado Cadoz Velho, área rural do município de Piripiri, Piauí, Brasil. Consiste de um grande paredão vertical e de um pequeno bloco de arenito contendo 101 pinturas rupestres nas cores vermelha e amarela. São figuras abstratas e carimbos de mãos humanas, além de uma pegada de ave e de um propulsor de dardos. Há gravuras rupestres na forma de cúpules. Este artigo reporta os resultados do monitoramento *in situ* de parâmetros ambientais tais como temperatura e umidade relativa do ar ambiente, temperatura da rocha em áreas com e sem pinturas rupestres, além da velocidade dos ventos que atingem o sítio arqueológico investigado. Os dados experimentais obtidos indicam que a ação térmica nos filmes pictóricos das pinturas rupestres do sítio Caminho da Caiçara II é nitidamente mais intensa do que em outros sítios arqueológicos próximos. A incidência solar direta nas pinturas rupestres durante a maior parte do dia e do ano é o principal agente responsável pelo aquecimento elevado dos filmes pictóricos.

**PALAVRAS-CHAVE.** Pinturas rupestres, parâmetros ambientais, monitoramento *in situ*, arqueometria, Caminho da Caiçara II, Piripiri, Brasil.

**ABSTRACT.** The Caminho da Caiçara II archaeological site is located in the village of Cadoz Velho, a rural area in the municipality of Piripiri, Piauí, Brazil. It consists of a large vertical wall and a small sandstone block containing 101 rock paintings in red and yellow colors. There are abstract figures and human handprints, as well as a bird's footprint and a spear-thrower. There are rock engravings in the shape of cupules. This paper reports the results of *in situ* monitoring of environmental parameters such as ambient air temperature and relative humidity, rock temperature in areas with and without rock paintings, as well as the speed of the winds that reach the archaeological site under investigation. The experimental data obtained indicate that the thermal action on the pictorial films of the rock paintings from the Caminho da Caiçara II site is clearly more intense than in other nearby archaeological sites. Direct sunlight on the rock paintings for most of the day and year is the main agent responsible for the high heating of the pictorial films.

**KEYWORDS.** Rock paintings, environmental parameters, *in situ* monitoring, archaeometry, Caminho da Caiçara II, Piripiri, Brazil.

## INTRODUÇÃO

Localizado no povoado Cadoz Velho, área rural do município de Piripiri, no norte do Estado do Piauí, Brasil, o sítio arqueológico Caminho da Caiçara II (Figura 1) consiste em um grande paredão arenítico vertical contendo pinturas e gravuras rupestres, além de um pequeno bloco de arenito, situado na frente do paredão principal, no qual pinturas vestigiais também são encontradas.

Ao relatarem o levantamento sistemático desse sítio, Cavalcante e Rodrigues (2020) descrevem um acervo de 101 pinturas rupestres, composto por figuras abstratas, em geral geométrizadas, e impressões de mãos, além de uma pegada de ave e de um propulsor de dardos. As figuras são elaboradas majoritariamente em variadas tonalidades de cor vermelha, embora sejam encontradas algumas pinturas amarelas. A ocorrência de gravuras rupestres na forma de cúpules também é mencionada pelos autores citados, os quais enfatizam a vulnerabilidade das pinturas e gravuras aos intemperis-

mos e agentes erosivos atuantes no sítio, especialmente no paredão rochoso vertical.

Neste artigo, objetiva-se abordar o monitoramento *in situ* de parâmetros ambientais no sítio arqueológico supramencionado, pontualmente pela avaliação da temperatura do suporte rochoso em áreas com a ocorrência de pinturas rupestres e em áreas adjacentes sem pinturas rupestres, bem como pela aferição da temperatura e da umidade relativa do ar ambiente, e ainda por meio de medições da velocidade dos ventos ocorrentes no entorno. Os fatores investigados, conjunta ou separadamente, podem causar danos, muitas vezes irreparáveis, ao patrimônio arqueológico.

Outros sítios arqueológicos da região foram submetidos ao mesmo procedimento experimental aqui abordado, como parte integrante de uma estratégia mais ampla de pesquisa adotada no centro-norte do Piauí (Cavalcante *et al.* 2014; Cavalcante 2015a, 2015b, 2016, 2018). O monitoramento *in situ* de parâmetros ambientais foi realizado nos sítios Letreiro da Pedra Riscada (Cavalcante *et al.* 2015, município de Domin-

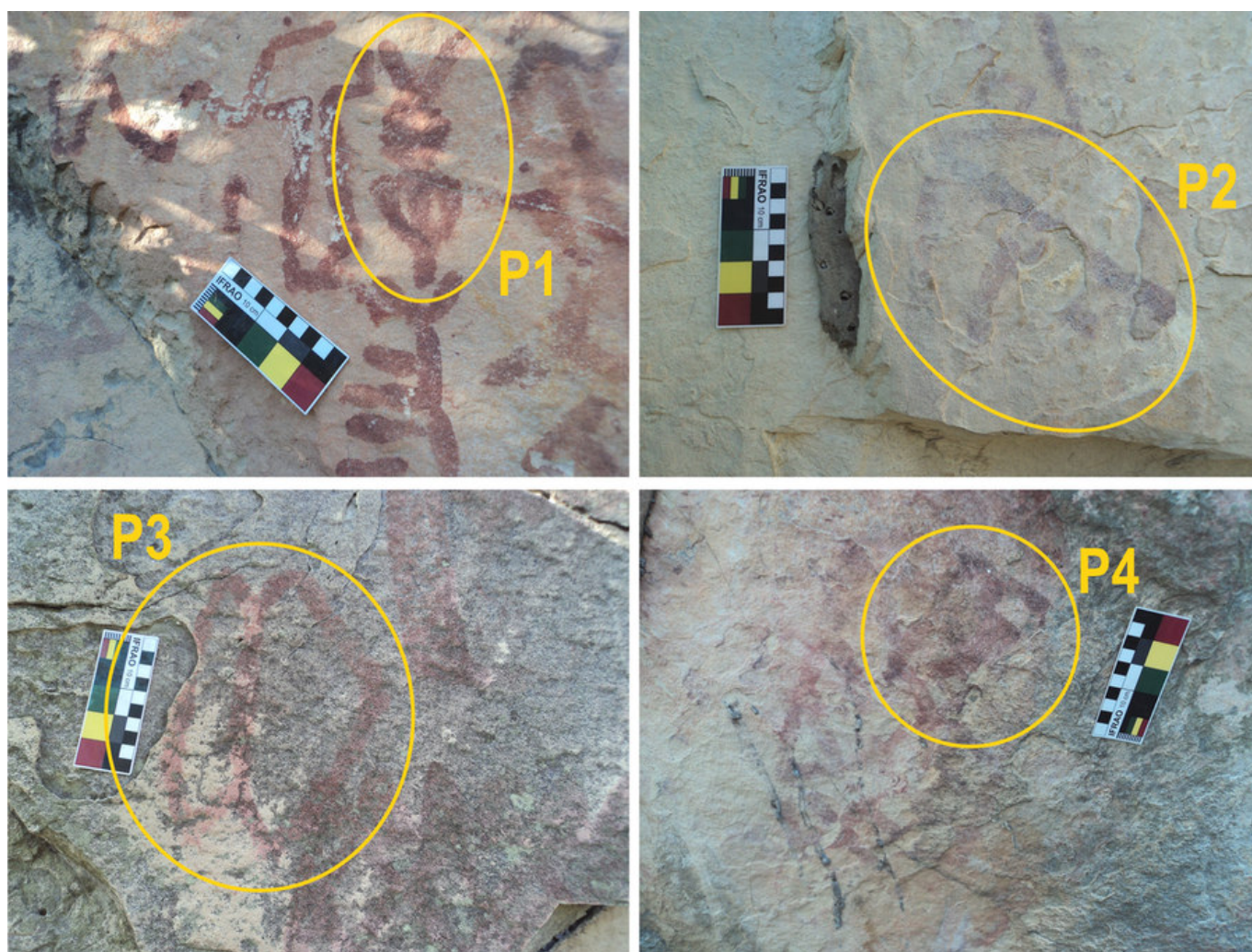


Figura 2. Pontos do sítio arqueológico Caminho da Caiçara II em que foi realizado o monitoramento da temperatura do suporte rochoso em áreas com e sem pinturas rupestres.

gos Mourão), Pedra do Cantagalo I (Cavalcante *et al.* 2017, município de Piripiri) e Tamboril (Magalhães *et al.* 2019, município de Barras).

## PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O monitoramento experimental *in situ* foi realizado em quatro expedições a campo. As primeiras aferições ocorreram em junho de 2014, logo após o período de chuvas na região. Medidas efetuadas em novembro de 2014 possibilitaram acompanhar a evolução dos parâmetros ambientais no auge do período de estiagem. Medidas realizadas em março de 2015 possibilitaram aferições no auge do período de chuvas. Finalmente, uma última etapa de medidas em junho de 2015 permitiu concluir o ciclo de monitoramento, tendo sido realizada logo após o término do período chuvoso. A seleção das datas para o monitoramento *in situ* levou

em conta a necessidade de avaliação sistemática dos parâmetros ambientais investigados, tanto ao longo do dia quanto sazonalmente em diferentes períodos do ano.

Em todas as expedições, as medidas *in situ* abrangeram o monitoramento i) da temperatura do ar ambiente, ii) da umidade relativa do ar ambiente, iii) da velocidade dos ventos ocorrentes no entorno, e iv) da temperatura do suporte rochoso em áreas com pinturas rupestres e em áreas adjacentes sem pinturas rupestres, em quatro pontos do sítio arqueológico Caminho da Caiçara II, identificados como P1, P2, P3 e P4 (Figura 2).

As medidas de temperatura ambiente e de umidade relativa do ar foram efetuadas com um termohigrômetro digital da *Instrutemp*, operando entre  $-10$  a  $+50$  °C, para temperatura, e 15 a 95%, para umidade, com resoluções correspondentes de  $0,1$  °C e 1% e precisões respectivas de  $\pm 1$  °C e  $\pm 5\%$ . Para a avaliação de temperatura em áreas do suporte rochoso com pinturas



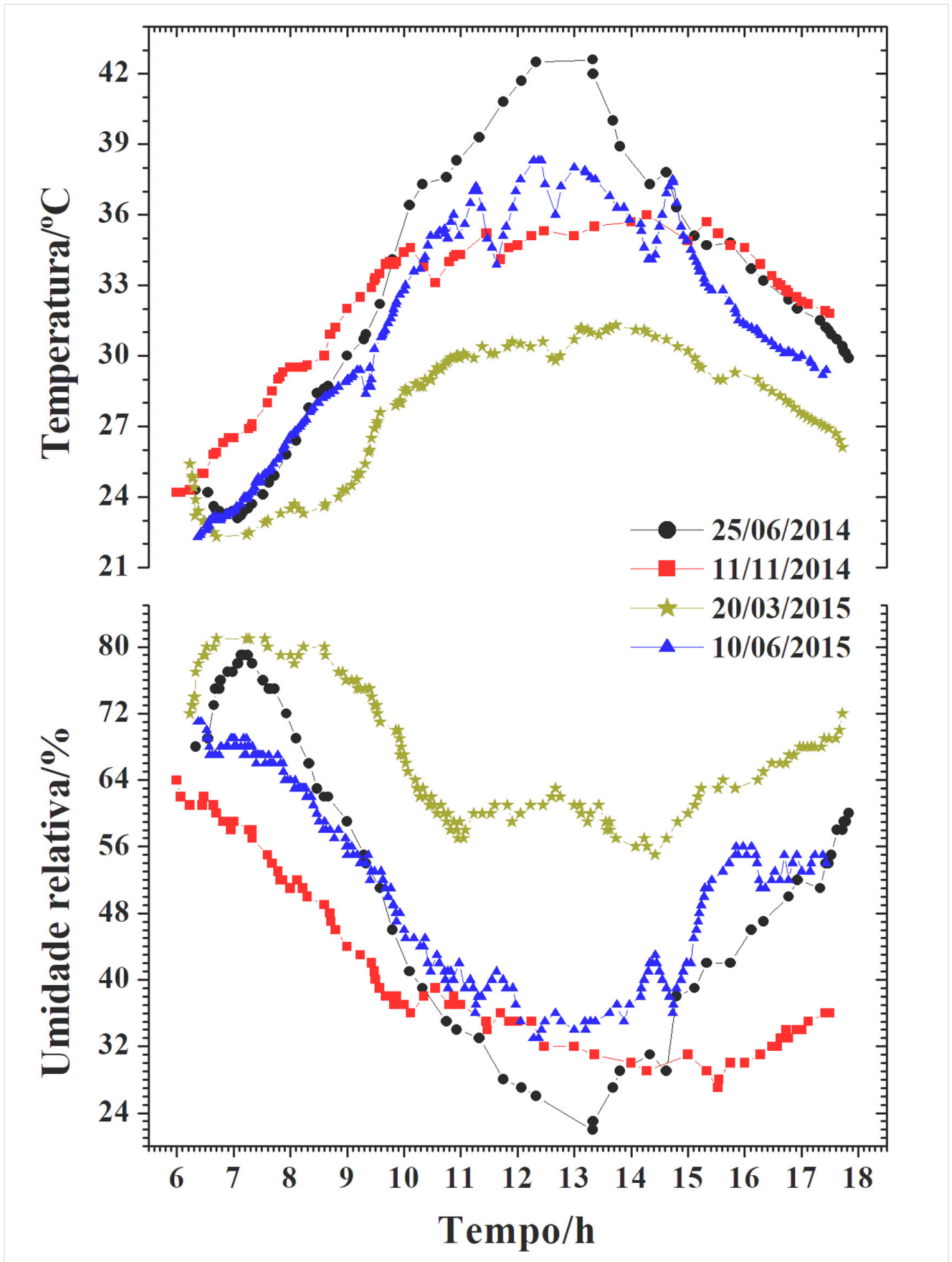


Figura 3. Temperatura e umidade relativa do ar ambiente monitoradas em junho e novembro de 2014 e em março e junho de 2015.



Tabela 1. Temperatura mínima e máxima do ar e umidade relativa máxima e mínima do ar e amplitudes correspondentes em cada período de monitoramento.

Data	Temperatura do ar/°C	Horário	Amplitude de temperatura/°C	Umidade relativa/%	Horário	Amplitude de umidade/%
25/06/2014	23,1	06:47	19,5	79	07:08	57
	23,1	07:04		79	07:15	
	42,6	13:19		22	12:19	
11/11/2014	24,2	06:00	11,8	64	06:00	37
	24,2	06:04		27	15:32	
	36,0	14:17				
20/03/2015	22,3	06:42	9,0	81	06:42	26
	31,3	13:44		81	07:33	
				55	14:25	
10/06/2015	22,3	06:22	16,0	71	06:22	38
	38,3	12:18		71	06:26	
	38,3	12:25		33	12:17	
				33	12:22	
Todo o período de monitoramento			20,3			59

rupestres e, comparativamente, em áreas imediatamente adjacentes, sem tinta pré-histórica, foi utilizado um termômetro infravermelho ITTI-550 da *Instrutemp*, projetado para a medida de temperatura de superfícies, com escala entre  $-32$  a  $+530$  °C, resolução de  $0,1$  °C e precisão de  $\pm 2\%$ . A velocidade dos ventos foi aferida com um anemômetro digital portátil ITAN-700 da *Instrutemp*, com escala de  $0$  a  $20$  m/s.

A aferição da temperatura do suporte rochoso em áreas com e sem pinturas rupestres foi realizada em intervalos de uma em uma hora, enquanto a temperatura e a umidade relativa do ar ambiente foram medidas continuamente a cada vez que um dos dois parâmetros exibiu alguma alteração numérica na tela do termohigrômetro. A aferição da velocidade dos ventos também foi realizada continuamente, conforme as correntes de ar eram detectadas pelo anemômetro.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 mostra os resultados das medidas de temperatura e umidade relativa do ar ambiente durante o

período investigado, observando-se que o mês de março exibiu as temperaturas mais baixas e a correspondente umidade mais elevada. No outro extremo está o mês de junho, com temperaturas mais elevadas e umidade correspondente mais baixa.

O monitoramento demonstrou que esses dois parâmetros apresentam um comportamento dinâmico, variando consideravelmente de um ano para o outro, a exemplo dos dados coletados em junho de 2014 e em junho de 2015.

Os valores máximos e mínimos da temperatura e da umidade relativa do ar estão sumarizados na Tabela 1, onde também são apresentadas as amplitudes correspondentes a cada um dos parâmetros em cada período de monitoramento.

A amplitude térmica no dia 25 de junho de 2014 foi de  $19,5$  °C, com mínima de  $23,1$  °C nas primeiras horas da manhã e máxima de  $42,6$  °C as 13h 19min. Em 11 de novembro de 2014 a amplitude térmica foi de  $11,8$  °C, com mínima de  $24,2$  °C no início da manhã e máxima de  $36,0$  °C as 14h 17min. Em 20 de março de 2015 a amplitude térmica correspondente foi de  $9,0$  °C, com mínima de  $22,3$  °C no início da manhã e

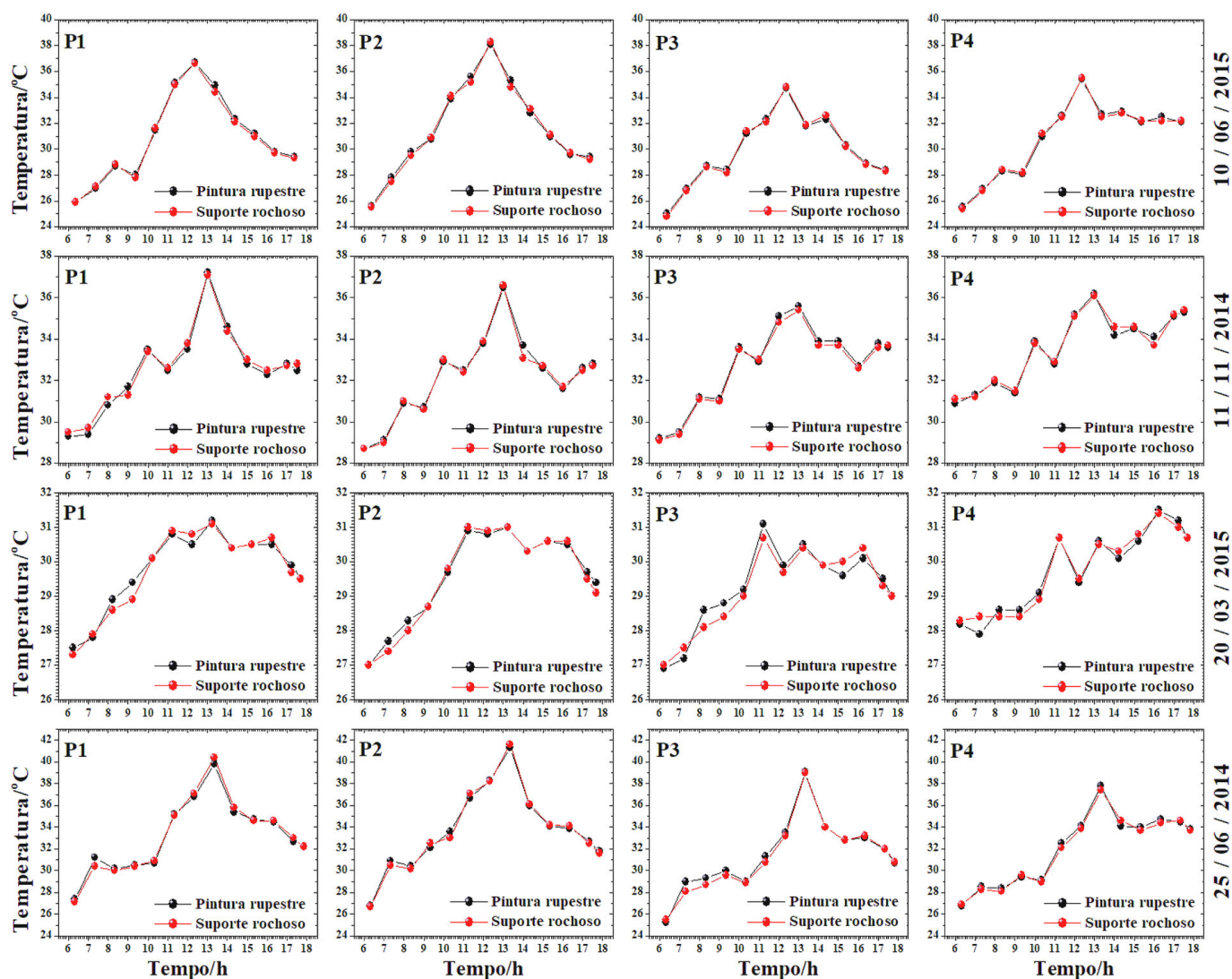


Figura 4. Temperatura do suporte rochoso do sítio Caminho da Caiçara II em áreas com e sem a ocorrência de pinturas rupestres nos pontos P1, P2, P3 e P4 em junho e novembro de 2014 e em março e junho de 2015.

máxima de 31,3 °C às 13h 44min. A amplitude térmica durante o período de monitoramento no dia 10 de junho de 2015 foi de 16,0 °C, com mínima de 22,3 °C nas primeiras horas da manhã e máxima de 38,3 °C próximo ao meio-dia.

De forma geral, as maiores temperaturas foram verificadas no intervalo entre as 10 e as 15 horas, com picos térmicos entre as 12 e as 14 horas.

A amplitude térmica geral do ar ambiente no período em que as medidas experimentais foram realizadas foi de 20,3 °C, com máxima de 42,6 °C em junho de 2014 e mínima de 22,3 °C em março e em junho de 2015.

A amplitude da umidade relativa do ar durante o tempo de monitoramento no dia 25 de junho de 2014 foi de 57%, com máxima de 79% próxima das 7 horas e mínima de 22% próxima das 13 horas. Em 11 de

novembro de 2014 a amplitude de umidade foi de 37%, com máxima de 64% no início da manhã e mínima de 27% às 15h 32min. Em 20 de março de 2015 a amplitude de umidade relativa do ar ambiente foi de 26%, com máxima de 81% nas primeiras horas da manhã e mínima de 55% às 14h 25min. Em 10 de junho de 2015 a amplitude de umidade do ar foi de 38%, com máxima de 71% no início da manhã e mínima de 33% próxima ao meio-dia.

Em relação a todo o período de monitoramento dos parâmetros ambientais no sítio Caminho da Caiçara II, a amplitude geral da umidade relativa do ar foi de 59%, com máxima de 81% em março de 2015 e mínima de 22% em junho de 2014.

De forma geral, os menores valores de umidade relativa acompanharam os maiores valores de temperatura do ar ambiente, no intervalo entre as 10 e as 15 horas.

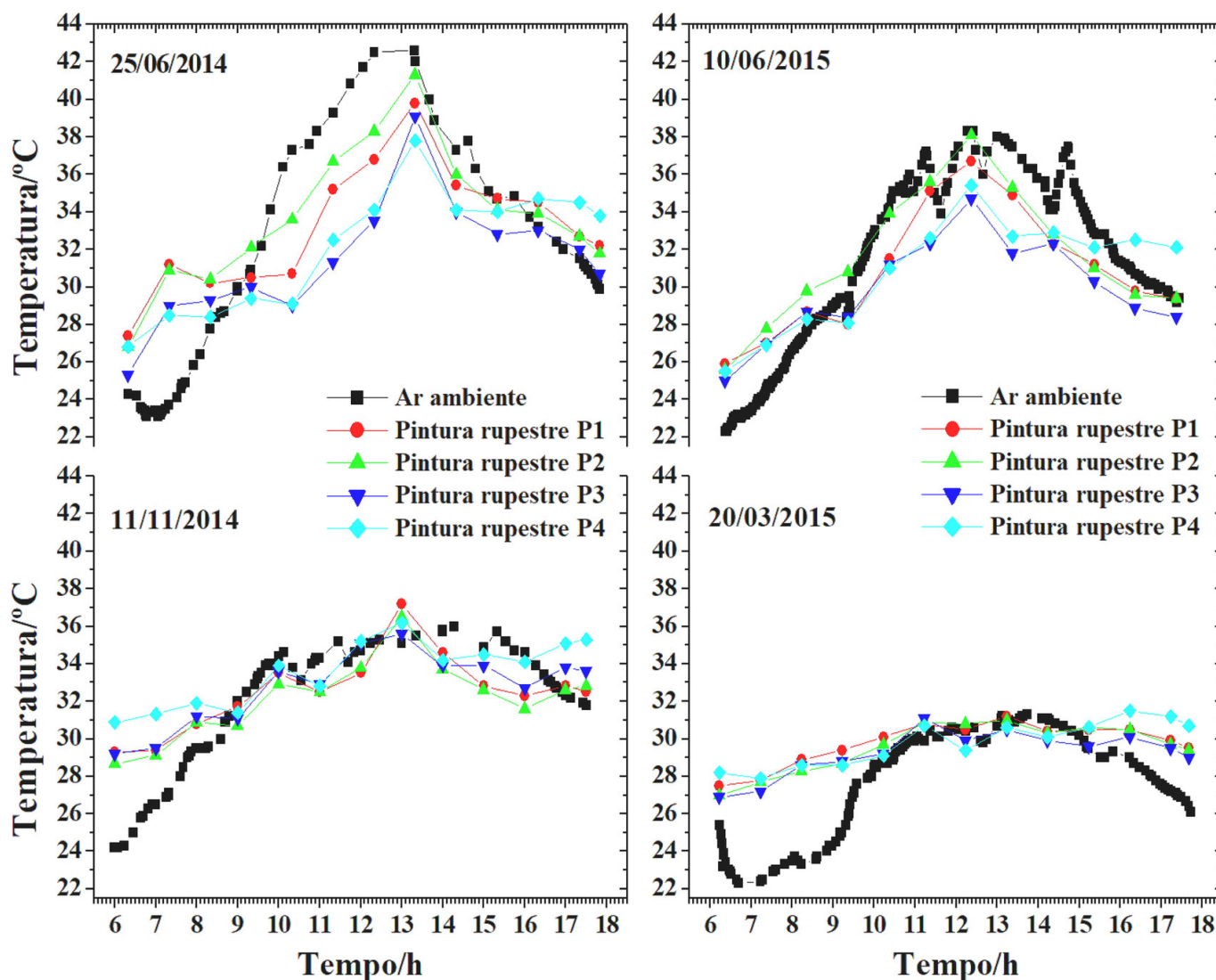


Figura 5. Temperatura do suporte rochoso em quatro pontos (P1, P2, P3 e P4) com pinturas rupestres do sítio Caminho da Caiçara II, em comparação com a temperatura do ar ambiente, em junho e novembro de 2014 e em março e junho de 2015.

Conforme mencionado, as condições ambientais em junho de 2014 apresentaram-se criticamente mais agressivas do que em junho de 2015. Em junho de 2014, foi detectada uma umidade mínima de 22%, quando a temperatura do ar atingiu um pico de 42,6 °C por volta das 13 horas. Essa umidade é 11% abaixo do valor mínimo verificado em junho de 2015, 33% próximo ao meio-dia, para uma temperatura 4,3 °C mais baixa do que a máxima verificada em 2014.

Em novembro, diferentemente do que foi observado nos meses de março e junho, mesmo no fim da tarde a umidade relativa do ar se mantém muito baixa, não ultrapassando os 36%, diante de uma temperatura de 31,8 °C próxima das 18 horas.

Os resultados do monitoramento da temperatura em áreas com e sem pinturas rupestres nos pontos P1, P2,

P3 e P4 do suporte rochoso do sítio Caminho da Caiçara II são mostrados na Figura 4. De modo geral, não foram verificadas diferenças significativas de temperatura entre áreas pintadas e sem tinta pré-histórica.

Visto que não há diferenças significativas da temperatura atuante na rocha em áreas com e sem pinturas rupestres, é mais informativo analisar as curvas da temperatura atuante somente nas pinturas rupestres nos quatro pontos que foram avaliados, em comparação com a curva das temperaturas atuantes no ar ambiente, em cada período de monitoramento *in situ* (Figura 5).

Considerando o conjunto geral de dados dos quatro períodos de monitoramento, observa-se que a temperatura do ar é mais baixa do que a temperatura atuante nos filmes pictóricos das pinturas rupestres nos pontos P1, P2, P3 e P4 tanto no início da manhã quanto no



Tabela 2. Temperatura mínima e máxima observada em quatro pontos (P1, P2, P3 e P4) com pinturas rupestres do sítio Caminho da Caiçara II, em junho e novembro de 2014 e em março e junho de 2015, e as amplitudes térmicas correspondentes a cada período de monitoramento.

Data	Temperatura em P1/°C	Horário	Temperatura em P2/°C	Horário	Temperatura em P3/°C	Horário	Temperatura em P4/°C	Horário
25/06/2014	27,4	06:19	26,8	06:19	25,3	06:19	26,8	06:19
	39,8	13:19	41,3	13:19	39,1	13:19	37,8	13:19
Amplitude/°C	12,4		14,5		13,8		11,0	
11/11/2014	29,3	06:00	28,7	06:00	29,2	06:00	30,9	06:00
	37,2	13:00	36,5	13:00	35,6	13:00	36,2	13,00
Amplitude/°C	7,9		7,8		6,4		5,3	
20/03/2015	27,5	06:14	27,0	06:14	26,9	06:14	27,9	07:14
	31,2	13:14	31,0	13:14	31,1	11:14	31,5	16:14
Amplitude/°C	3,7		4,0		4,2		3,6	
10/06/2015	25,9	06:22	25,6	06:22	25,0	06:22	25,5	06:22
	36,7	12:22	38,1	12:22	34,7	12:22	35,4	12:22
Amplitude/°C	10,8		12,5		9,7		9,9	
Amplitude global/°C	13,9		15,7		14,1		12,3	

fim da tarde e que, eventualmente, nas horas mais quentes do dia, o ar pode apresentar-se mais aquecido do que os filmes pictóricos das pinturas, a exemplo do que foi verificado em junho de 2014 e em junho de 2015 quando a discrepância apresentou-se mais acentuada.

Observando-se em uma mesma escala de intensidade, verifica-se também que tanto o ar ambiente quanto os filmes pictóricos apresentam temperaturas mais baixas e uniformes no mês de março e temperaturas mais elevadas e discrepantes no mês de junho.

O exame dos dados sumarizados nas Tabelas 1 e 2 revela claramente que a amplitude térmica do ar é criticamente mais elevada do que a amplitude correspondente nos filmes pictóricos das pinturas rupestres dos quatro pontos investigados, aumento certamente causado pela influência das correntes de ar atuantes e pelo teor de água variável disponível no ar atmosférico.

Na Tabela 2 também se observa que a amplitude térmica do ponto P4 é em geral mais baixa do que nos pontos P1, P2 e P3, o que se explica pelo fato que o ponto P4 está localizado em um bloco rochoso isolado e a pintura rupestre nele monitorada fica permanentemente protegida da incidência solar direta, diferentemente das pinturas dos pontos P1, P2 e P3 que estão localizadas no paredão arenítico vertical e são atingidas pela radiação solar direta durante o ano inteiro e em longos momentos do dia.

Conforme pode ser observado nas Figuras 6 e 7, os ventos são mais frequentes e intensos no mês de novembro, tendo sido detectadas rajadas com velocidade máxima de  $4,9 \text{ m s}^{-1}$ , equivalente a  $17,64 \text{ km h}^{-1}$ .

Em junho os ventos são pouco frequentes e intensos, mostrando-se ausentes durante a maior parte do tempo de monitoramento. A velocidade máxima verificada em junho não ultrapassou  $2,5 \text{ m s}^{-1}$ , equivalente a  $9,00 \text{ km h}^{-1}$ .

Em 20 de março de 2015, quando foi realizado o monitoramento dos parâmetros ambientais no auge do período chuvoso, não foram detectadas movimentações de correntes de ar. Contudo, em um monitoramento prévio em 19 de março (Figura 7), no intervalo entre as 11 e as 18 horas, foram verificadas algumas rajadas de vento em um curto período de tempo, no intervalo entre  $\sim 11\text{h }30\text{min}$  e  $\sim 13\text{h }50\text{min}$ , tendo sido aferida uma velocidade máxima de  $3,9 \text{ m s}^{-1}$ , equivalente a  $14,04 \text{ km h}^{-1}$ .

## CONSIDERAÇÕES GERAIS

Para melhor compreender os efeitos danosos da temperatura nos filmes pictóricos das pinturas rupestres do sítio Caminho da Caiçara II, a Tabela 3 mostra a amplitude térmica do ar e em diferentes pontos com pin-

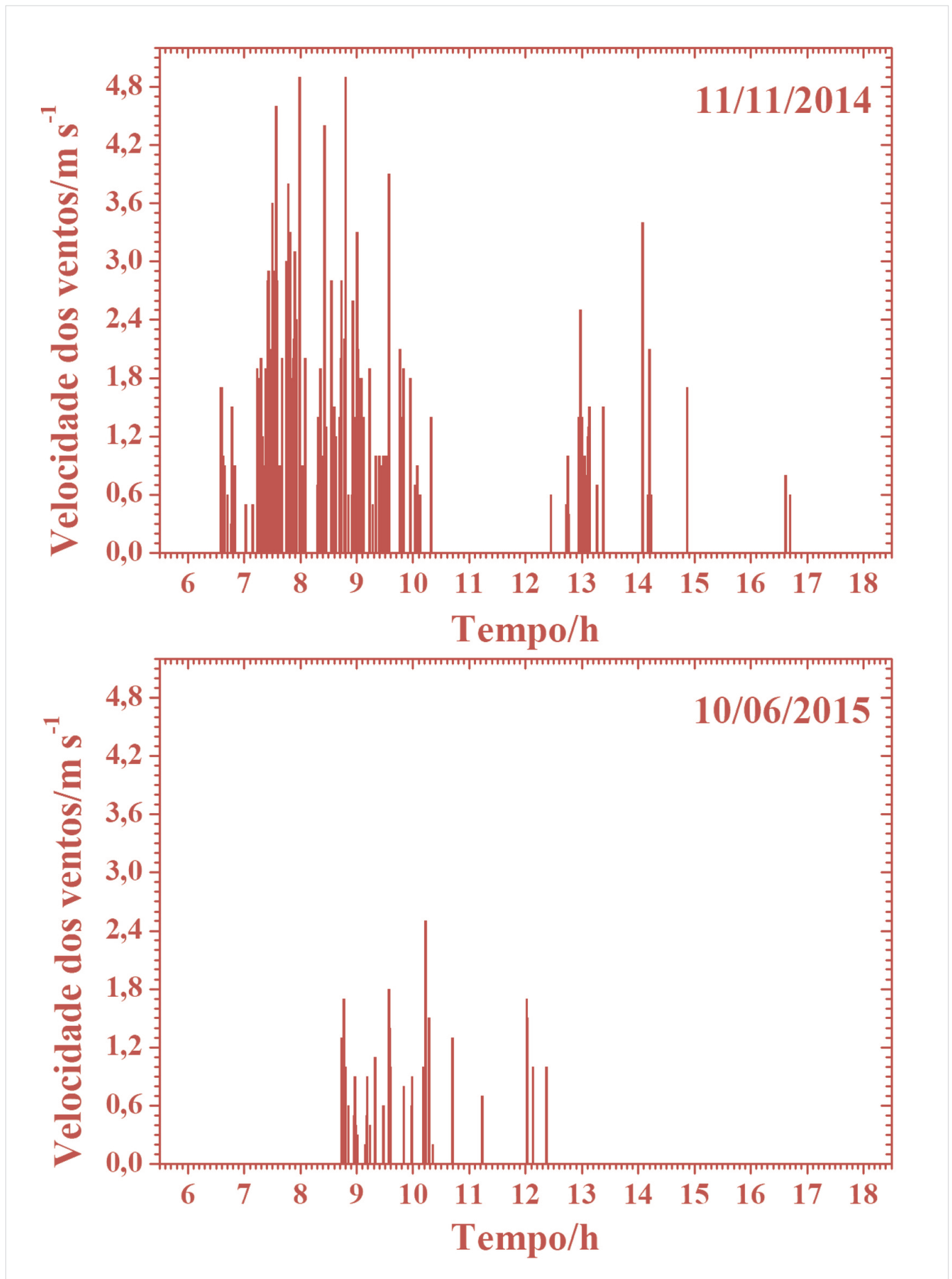


Figura 6. Velocidade dos ventos incidentes no sítio Caminho da Caiçara II, em novembro de 2014 e em junho de 2015.

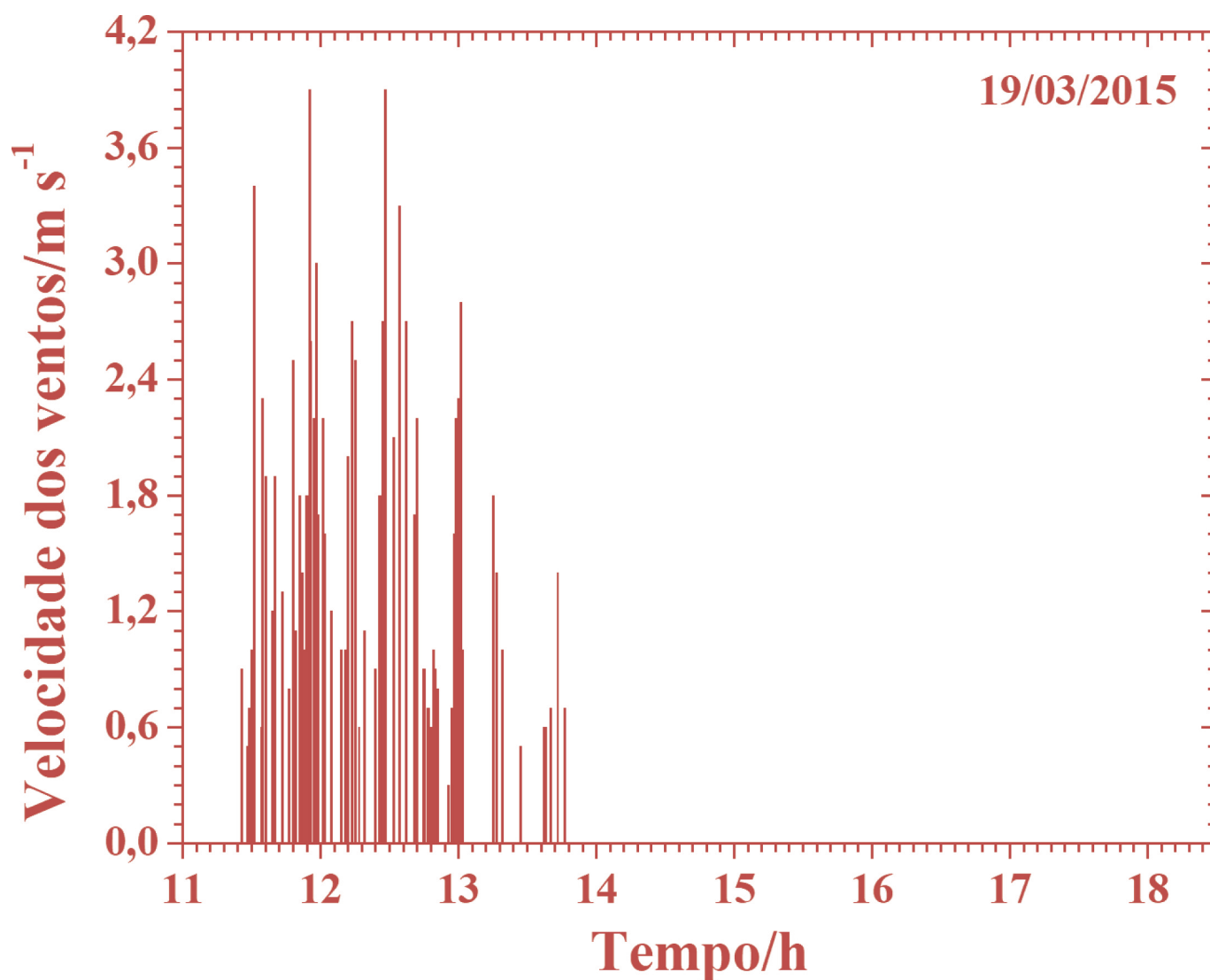


Figura 7. Velocidade dos ventos incidentes no sítio Caminho da Caiçara II, em março de 2015.

turas rupestres nos sítios arqueológicos Letreiro da Pedra Riscada (Cavalcante *et al.* 2015) e Pedra do Cantagalo I (Cavalcante *et al.* 2017), que estão geograficamente próximos do sítio Caminho da Caiçara II: em linha reta o Pedra do Cantagalo I dista aproximadamente 1,3 km, enquanto o Letreiro da Pedra Riscada está a aproximadamente 35,4 km.

Observa-se que a amplitude térmica tanto do ar ambiente quanto dos filmes pictóricos de pinturas rupestres em diferentes pontos do sítio Caminho da Caiçara II é criticamente mais elevada do que a amplitude correspondente verificada nos sítios Pedra do Cantagalo I e Letreiro da Pedra Riscada. No mês de junho, a amplitude térmica do ar no sítio Caminho da Caiçara II é de 16,0 a 19,5 °C, enquanto no sítio Pedra do Cantagalo I varia de 3,8 a 7,3 °C e no sítio Letreiro da Pedra Riscada varia de 4,6 a 5,3 °C. Em novembro, o ar ambiente apresenta amplitude térmica de 11,8 °C

no Caminho da Caiçara II e 5,4 °C no Letreiro da Pedra Riscada.

No mês de junho, a amplitude térmica dos filmes pictóricos das pinturas rupestres do sítio Caminho da Caiçara II varia de 9,7 a 14,5 °C, enquanto na Pedra do Cantagalo I é de 4,2 a 6,2 °C e no Letreiro da Pedra Riscada é de 2,6 a 7,3 °C. Em novembro, a amplitude térmica dos filmes pictóricos do Caminho da Caiçara II é de 5,3 a 7,9 °C, enquanto no Letreiro da Pedra Riscada varia de 3,4 a 3,5 °C.

Essa diferença expressiva nos valores de amplitude térmica encontrada nos filmes pictóricos dos sítios arqueológicos em questão é atribuída ao fato que as pinturas rupestres do Caminho da Caiçara II estão dispostas em paredão rochoso vertical, portanto, mais expostas às condições ambientais do que as pinturas rupestres dos sítios Pedra do Cantagalo I e Letreiro da Pedra Riscada, dispostas em abrigo sob-rocha.



Tabela 3. Comparativo da amplitude da temperatura do ar e em diferentes pontos com pinturas rupestres dos sítios arqueológicos Letreiro da Pedra Riscada, Pedra do Cantagalo I e Caminho da Caiçara II, e amplitude da umidade relativa do ar nos respectivos períodos de monitoramento.

Sítio arqueológico	Data	Amplitude					
		Temperatura do ar/°C	Umidade relativa do ar/%	Temperatura em pontos com pinturas rupestres/°C			
				P1	P2	P3	P4
Letreiro da Pedra Riscada (Cavalcante <i>et al.</i> 2015)	13/11/2011	5,4	23	3,4	3,5		
	15/06/2012	5,3	37	6,7	7,3		
	14/10/2012	7,5	30	5,9	6,1	6,9	
	27/12/2012	9,8	43	6,7	7,1	8,1	
	22/06/2013	4,6	14	2,6	3,0	3,5	
	Global	11,9	62	8,6	9,8	10,8	
Pedra do Cantagalo I (Cavalcante <i>et al.</i> 2017)	Junho 2012	3,8	35	5,7	6,2		
	13/10/2012	9,8	28	8,4	7,6		
	28/12/2012	11,2	49	5,7	6,4		
	05/04/2013	6,1	12	3,0	3,0		
	Junho 2013	7,3	26	4,2	4,6		
	Global	13,6	66	10,3	9,6		
Caminho da Caiçara II	25/06/2014	19,5	57	12,4	14,5	13,8	11,0
	11/11/2014	11,8	37	7,9	7,8	6,4	5,3
	20/03/2015	9,0	26	3,7	4,0	4,2	3,6
	10/06/2015	16,0	38	10,8	12,5	9,7	9,9
	Global	20,3	59	13,9	15,7	14,1	12,3

No Caminho da Caiçara II as pinturas recebem incidência solar direta durante a maior parte do dia e praticante durante todo o ano, diferentemente das pinturas rupestres do Pedra do Cantagalo I e do Letreiro da Pedra Riscada, onde o inverso é observado, com raríssimas exceções. No sítio Caminho da Caiçara II, além das pinturas estarem em um paredão arenítico vertical, a vegetação frontal é muito rarefeita e essencialmente arbustiva e herbácea.

Como já reportado, elevadas amplitudes térmicas geram tensões nos minerais constituintes dos filmes pictóricos das pinturas rupestres e isso leva ao surgimento de fissuras nas camadas de tintas antigas, favorecendo a deterioração desses vestígios arqueológicos (Hall *et al.* 2007).

Hall e colaboradores (2007) colocam que as temperaturas dos filmes pictóricos das pinturas rupestres resultam do balanço energético e das propriedades térmicas dos minerais constituintes, com a entrada de calor nas camadas de tintas tendo origem principalmente na incidência direta da radiação solar. Segundo esses autores, a quantidade de radiação solar absorvida depende da fração refletida de tal radiação pela superfície das camadas de tinta das pinturas. O acúmulo de calor nos filmes pictóricos resulta em uma mudança de temperatura – e a quantidade dessa mudança de temperatura depende da capacidade térmica dos minerais constituintes das camadas de tinta, bem como da espessura de cada camada (Hall *et al.* 2007), ou seja, a variação de temperatura na camada de tinta depende da presença,

ou não, de radiação solar diretamente incidente e do momento e duração dessa radiação em uma pintura rupestre.

Ao contrário do que foi observado por Hall *et al.* (2007), no sítio Caminho da Caiçara II não foram verificadas diferenças significativas da temperatura nos filmes pictóricos e em áreas adjacentes sem pinturas rupestres.

Hoerlé (2006) observou que a temperatura apresenta um gradiente conforme se aprofunda no suporte rochoso de pinturas rupestres, diminuindo paulatinamente, à medida que se distancia da superfície em direção ao interior da rocha. Disso se depreende que a ação térmica é mais severa e destrutiva nas camadas mais superficiais dos filmes pictóricos das pinturas.

Em discordância com o que relatam Hall *et al.* (2010), no sítio Caminho da Caiçara II as pinturas rupestres não se mostraram mais quentes do que a rocha-suporte, conforme se observa na Figura 4.

## CONCLUSÃO

O monitoramento sistemático *in situ* de parâmetros ambientais no sítio arqueológico Caminho da Caiçara II foi realizado nos meses de junho, novembro e março, possibilitando traçar um perfil confiável e consistente da temperatura e umidade relativa do ar, da temperatura em diferentes pontos da rocha com pinturas rupestres e em pontos adjacentes sem a ocorrência de tinta, além da velocidade dos ventos no entorno.

Os resultados experimentais obtidos indicam que a ação térmica nos filmes pictóricos das pinturas rupestres do sítio Caminho da Caiçara II é nitidamente mais intensa do que a ação térmica nos filmes pictóricos de pinturas rupestres de outros sítios arqueológicos próximos.

A incidência solar direta nas pinturas rupestres durante a maior parte do dia e do ano é o principal agente responsável pelo aquecimento elevado dos filmes pictóricos.

## Agradecimentos

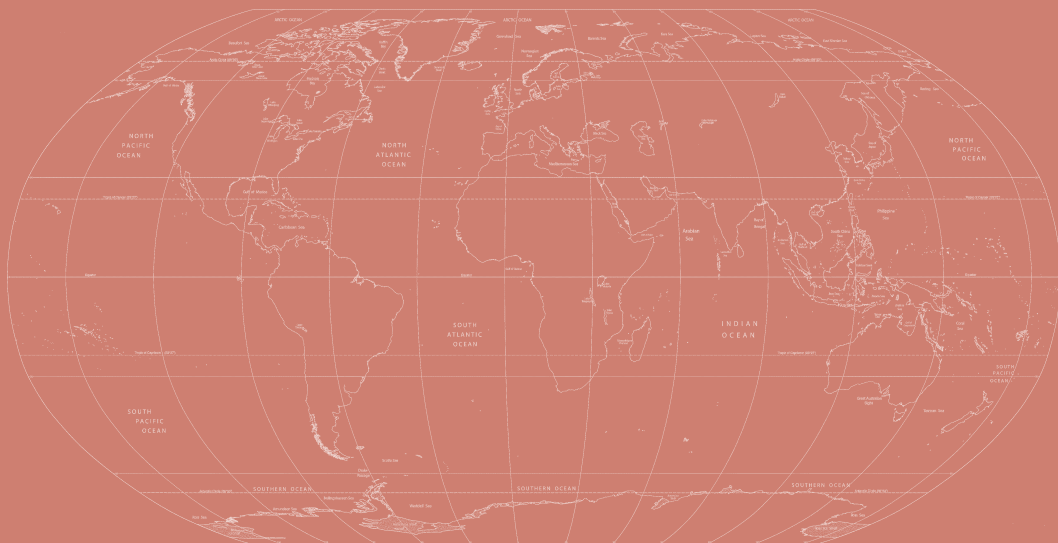
Os autores são gratos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade em pesquisa concedida a L. C. D. Cavalcante (Processo 315709/2020-0) e à Universidade Federal do Piauí (UFPI) pelo apoio com o transporte ao campo.

## REFERÊNCIAS

- CAVALCANTE, L. C. D. 2015a. Pinturas rupestres da região arqueológica de Piripiri, Piauí, Brasil. *Arqueologia Iberoamericana* 26: 6-12.
- CAVALCANTE, L. C. D. 2015b. Arqueometria em sítios de arte rupestre da região arqueológica de Piripiri, Piauí, Brasil. *Cadernos do CEOM* 28/43: 7-19.
- CAVALCANTE, L. C. D. 2016. Sítios arqueológicos do vale do Buriti dos Cavalos: uma breve revisão. *Arqueologia Iberoamericana* 30: 16-22.
- CAVALCANTE, L. C. D. 2018. Arqueometria e o sítio arqueológico Pedra do Cantagalo I: uma estratégia de investigação como modelo para a América do Sul. *Cadernos do LEPAARQ* 15/30: 315-326.
- CAVALCANTE, L. C. D.; Y. R. V. ALVES; H. K. S. B. SILVA. 2017. Avaliação *in situ* dos problemas de conservação do sítio arqueológico Pedra do Cantagalo I. *Rupestreweb*. <<https://www.rupestreweb.info/cantagalo.html>>.
- CAVALCANTE, L. C. D.; A. A. RODRIGUES. 2020. Arte rupestre e problemas de conservação do sítio arqueológico Caminho da Caiçara II. *Arqueologia Iberoamericana* 45: 93-100.
- CAVALCANTE, L. C. D.; A. A. RODRIGUES; E. N. L. COSTA; H. K. S. B. SILVA; P. R. A. RODRIGUES; P. F. OLIVEIRA; Y. R. V. ALVES; J. D. FABRIS. 2014. Pedra do Cantagalo I: uma síntese das pesquisas arqueológicas. *Arqueologia Iberoamericana* 23: 45-60.
- CAVALCANTE, L. C. D.; H. K. S. B. SILVA; Y. R. V. ALVES. 2015. Medidas experimentais *in situ* para avaliar o estado de conservação do sítio arqueológico Letreiro da Pedra Riscada, Domingos Mourão, Piauí, Brasil. *Rupestreweb*. <<https://www.rupestreweb.info/letriropedrariscada.html>>.
- HALL, K.; I. MEIKLEJOHN; J. AROCENA. 2007. The thermal responses of rock art pigments: Implications for rock art weathering in southern Africa. *Geomorphology* 91/1-2: 132-145.
- HALL, K.; I. MEIKLEJOHN; P. SUMNER; J. AROCENA. 2010. Light penetration into Clarens sandstone and implications for deterioration of San rock art. *Geoarchaeology* 25/1: 122-136.
- HOERLÉ, S. 2006. Rock temperatures as an indicator of weathering processes affecting rock art. *Earth Surface Processes and Landforms* 31/3: 383-389.
- MAGALHÃES, S. M. C.; E. L. S. SILVA; H. K. S. B. SILVA; L. C. D. CAVALCANTE. 2019. Tamboril: levantamento arqueológico, parâmetros ambientais e primeiros dados arqueométricos. In *A produção do conhecimento nas Ciências Humanas* 3, pp. 65-80. Ponta Grossa: Atena Editora.



**ARQUEOLOGÍA  
IBEROAMERICANA**  
*Seguimos haciendo historia.*  
**2009-2024**



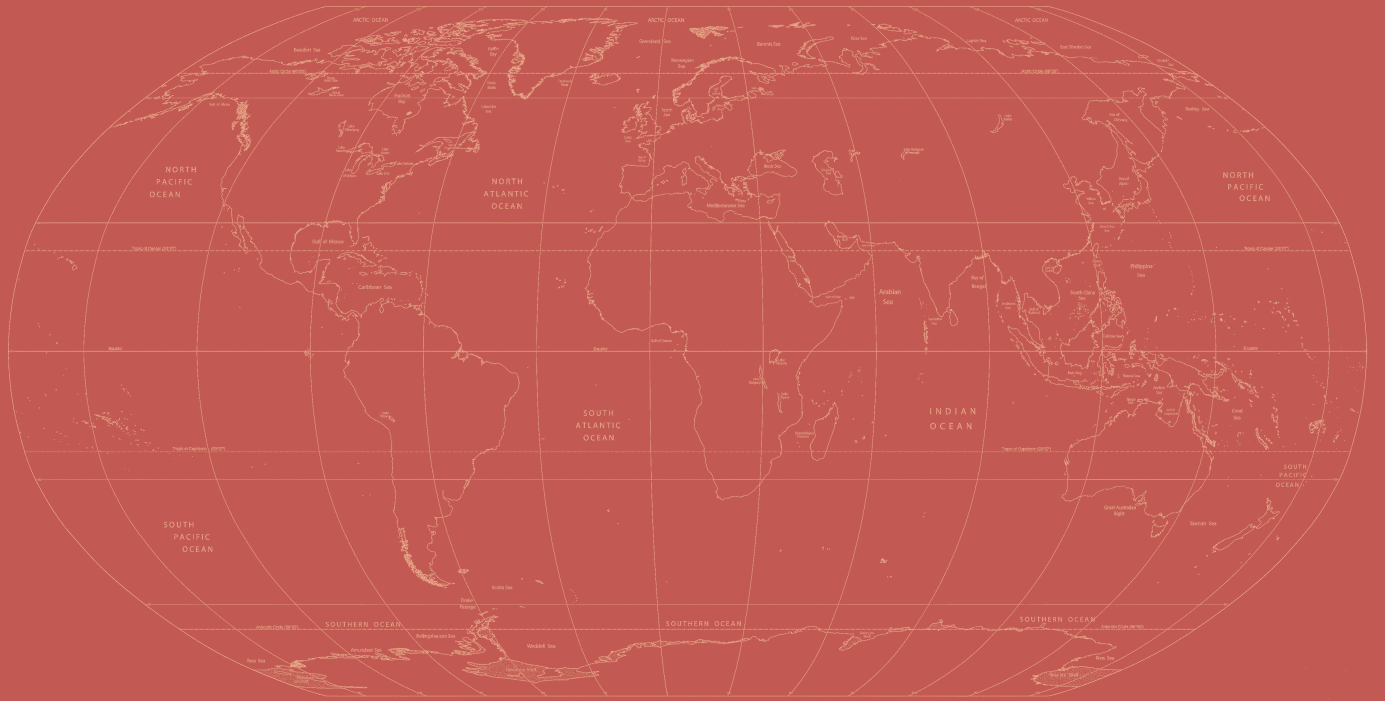


ACABOSE DE IMPRIMIR  
LA 53.<sup>a</sup> EDICIÓN DE LA REVISTA  
«ARQUEOLOGÍA IBEROAMERICANA»  
EL DÍA 30 DE JUNIO DEL AÑO 2024  
EN EL LABORATORIO DE ARQUEOLOGÍA TEÓRICA,  
PINA DE EBRO, ZARAGOZA, ARAGÓN, ESPAÑA,  
COMUNIDAD IBEROAMERICANA DE NACIONES.

*«La maldad ha devorado este mundo.  
Solo la bondad puede salvarlo.»  
(P. I. Egea, 2022)*

Laboratory of Theoretical Archaeology & Archaeonomy  
Research Chair in Archaeological Science

This journal was founded in Graus, Huesca,  
Aragon, Spain, January 2009.



ISSN 1989-4104



9 771989 410005



53