

DOCUMENTACIÓN, MICROFOTOGRAFÍA Y CARACTERIZACIÓN MULTIANALÍTICA DE PIGMENTOS DE LA CUEVA DE LOS MACHINES, OAXACA, MÉXICO¹

CARLOS VIRAMONTES ANZURES²

CLAUDIA JAELE JIMÉNEZ MU³

JESÚS EDUARDO MEDINA VILLALOBOS⁴

DENISSE ARGOTE ESPINO⁵

MARÍA ANTONIETA MONDRAGÓN⁶

RESUMEN

Las cuevas prehistóricas del valle de Oaxaca conforman un paisaje cultural con una extensa secuencia de ocupación humana, desde la transición del Pleistoceno final/Holoceno temprano hasta el periodo Posclásico de la época prehispánica. A pesar de los numerosos estudios arqueológicos realizados en esta área, desde mediados del siglo xx, pocos se han centrado en las manifestaciones rupestres. Este artículo aborda la investigación efectuada en la Cueva de los Machines, uno de los cuarenta sitios con arte rupestre registrados por el proyecto arqueológico Paisaje, arte rupestre y ocupación de las cuevas prehistóricas del valle de Oaxaca (PAROCVO). El trabajo incluye los resultados de la documentación de los motivos gráficos, levantamientos fotogramétricos, el examen microfotográfico de las técnicas de producción rupestre y el estudio de la composición mineralógica y elemental de los pigmentos empleados con la aplicación de la espectroscopia Raman y la fluorescencia de rayos X (FRX).

Palabras clave: Oaxaca, cuevas prehistóricas, arte rupestre, arqueometría.

¹ Agradecemos a la comunidad de Unión Zapata, San Pablo Villa de Mitla y a Leobardo Pacheco Arias, responsable del Corredor Arqueológico del Valle de Tlacolula Oaxaca, por su invaluable apoyo para el desarrollo del trabajo de campo.

² Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), Delegación Querétaro.

³ INAH, Delegación Querétaro.

⁴ INAH, Delegación Querétaro.

⁵ INAH, Delegación Querétaro.

⁶ Centro de Física y Tecnología Aplicada, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

DOCUMENTATION, MICROPHOTOGRAPHY, AND MULTIANALYTICAL CHARACTERIZATION OF PIGMENTS FROM CUEVA DE LOS MACHINES, OAXACA, MEXICO

ABSTRACT

The prehistoric caves of the Oaxaca Valley form a cultural landscape with an extensive sequence of human occupation, from the transition of the Late Pleistocene-Early Holocene to the Postclassic period of the pre-Hispanic era. Despite the numerous archaeological studies carried out in this area since the mid-20th century, few have focused on rock art. This article addresses the research conducted in the Cueva de los Machines, one of the 40 sites with rock art registered by the archaeological project “Landscape, rock art, and occupation of the prehistoric caves of the Oaxaca Valley” (PAROCVO). The work includes the results of the documentation of graphic motifs, photogrammetric surveys, microphotographic examination of rock production techniques, and the study of the mineralogical and elemental composition of the pigments used with the application of Raman spectroscopy and X-Ray fluorescence (XRF).

Keywords: Oaxaca, prehistoric caves, rock art, archaeometry.

LAS CUEVAS PREHISTÓRICAS DEL VALLE DE OAXACA

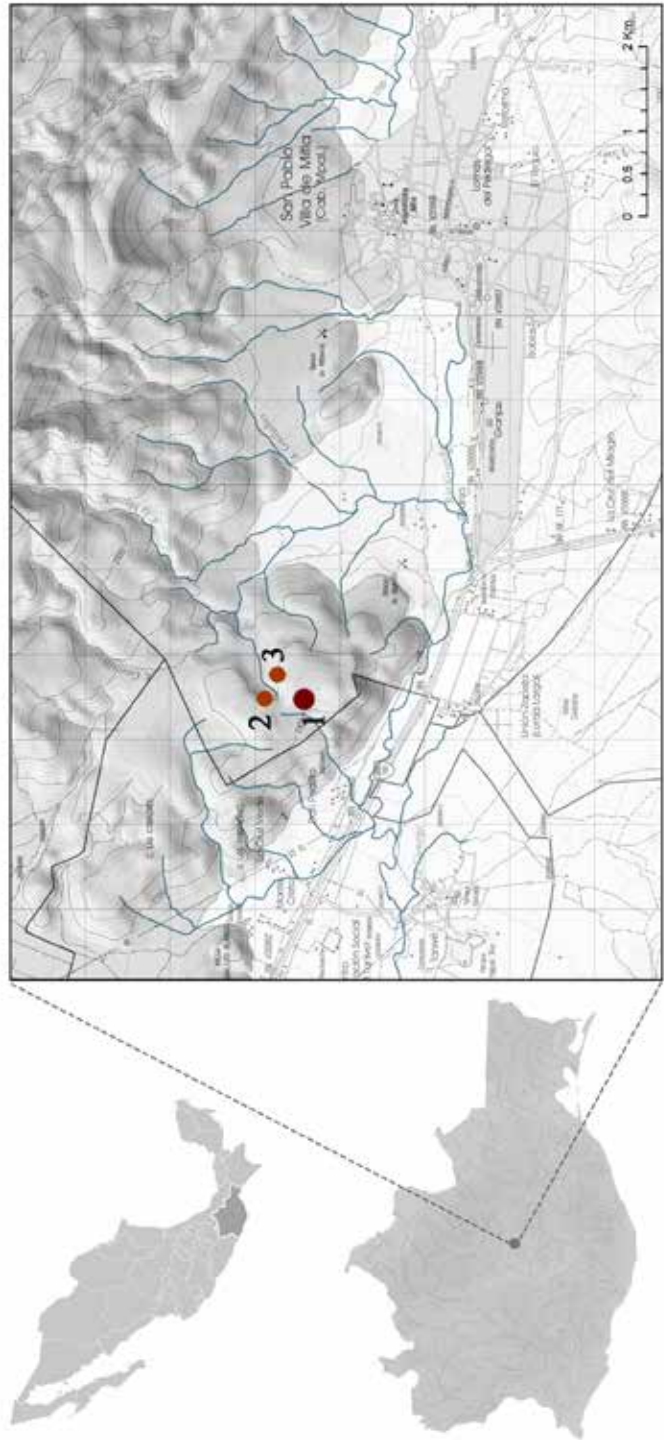
El paisaje cultural de las cuevas prehistóricas de Yagul, Mitla y Unión Zapata está compuesto por un complejo de abrigos y cuevas situadas entre los 1600 y 2000 msnm; la mayoría de las cavidades son de dimensiones reducidas y, con algunas excepciones, no superan los 10 m de profundidad. Estas oquedades se localizan en el extremo oriental del valle de Tlacolula, 7 km al oeste de la zona arqueológica de Mitla, en un espacio de clima semiárido con una precipitación anual promedio de 500 mm y temperatura media de 17.7°C. En esta área de los valles centrales abundan los flujos de lava andesítica-dacítica y vastos depósitos de ignimbritas y tobas endurecidas, que forman amplias mesetas de areniscas calcáreas del periodo Cretácico, con presencia de formaciones volcánicas de ignimbritas, riolitas y andesitas del Mioceno (Martínez *et al.* 2008).

Las primeras investigaciones arqueológicas en el área se realizaron en Yagul entre 1954 y 1961 bajo la dirección de John Paddock, Ignacio Bernal y Lorenzo Gamio, complementadas con las excavaciones de Paddock en Caballito Blanco entre 1959 y 1960 (Paddock 1955; Bernal y Gamio 1974; Schávelzon 2009). En ninguno de estos estudios se investigaron los abrigos del área o las manifestaciones rupestres, aunque, irónicamente, la meseta de Caballito Blanco debe su nombre a una pintura rupestre de color blanco y dimensiones considerables ubicada en el extremo suroeste del macizo rocoso (Viramontes, Jiménez y Medina 2022).

Es posible que la investigación más significativa en cuanto a su impacto en la arqueología regional sea la de Kent V. Flannery dentro de *Prehistory and Human Ecology of the Valley of Oaxaca*. Entre 1964 y 1967, este proyecto identificó más de 70 cuevas, abrigos rocosos y sitios a cielo abierto (Finsten, Flannery y Macnider 1989), de los cuales Guilá Naquitz, Cueva Blanca y Gheo-Shih fueron excavados extensivamente (Flannery, 2009a; Flannery y Hole, 2019a; Hole y Flannery, 2024). Posteriormente, Stephen Kowalewski, Richard Blanton y colaboradores impulsaron otro proyecto de gran impacto en el conocimiento sobre el patrón de asentamiento y el proceso de poblamiento en el valle durante la época prehispánica: *The Valley of Oaxaca Settlement Pattern Project*, desarrollado entre 1971 y 1977 (Blanton *et al.* 1982; Kowalewski *et al.* 1989).

Más adelante, Nelly Robles destacó la relevancia del sistema de cuevas del sector oriental del valle de Tlacolula mediante el Proyecto de investigación y conservación de las cuevas prehistóricas del Valle de Tlacolula, que constituyó el primer esfuerzo coordinado y enfocado en la investigación y conservación del área. Este trabajo amplió significativamente el catálogo de cuevas, abrigos y campamentos registrados y, en 2010, su labor derivó en la inscripción de las cuevas en la Lista de Patrimonio Mundial de la Humanidad de la UNESCO. Robles también llevó a cabo el Proyecto de investigación y conservación de las cuevas prehistóricas de Yagul y Mitla entre 2010 y 2011, que generó, entre otros logros,

Figura 1. Mapa de localización con los principales sitios mencionados en el texto



Fuente: elaboración propia. 1) Cueva de los Machines; 2) Guilá Naqitz; 3) Cueva de la Paloma.

una base de datos con información detallada sobre las características generales de los diferentes sitios dentro de la poligonal de protección; este proyecto contempló la elaboración de fichas con las principales características de cada sitio registrado. Esta base de datos se fortaleció con los aportes de los proyectos operativos del Corredor arqueológico del Valle de Oaxaca (2005-2018) y del Corredor arqueológico del Valle de Tlacolula, Oaxaca (a partir del 2018). Entre los sitios registrados en el marco de estos proyectos destaca la Cueva de los Machines, identificada con la clave CAVO-C18 (figura 1).⁷

En 2011, Nelly Robles y Antonio Martínez publicaron el artículo “Paisajes prehistóricos en Oaxaca. Avances en la investigación de las Cuevas Prehistóricas de Yagul y Mitla”, en el cual abordan, entre otros temas, la Cueva de los Machines. Sobre los motivos pictóricos de este sitio, mencionan la presencia de “figuras mitológicas como lo es la que representa a *Yahui*, personaje mitológico fuertemente relacionado con las cuevas y el inframundo” (Robles y Martínez 2011, 103).⁸ Posteriormente, Ríos (2021) presentó un análisis del arte rupestre de la región, tomando como punto de partida el trabajo realizado desde 2005. Basado en la propuesta de Gradin (1988), llevó a cabo una clasificación morfológica de algunos de los motivos pintados en seis sitios, tres de ellos en el área de las cuevas prehistóricas (La Paloma, Cueva de los Machines y Caballito Blanco) y tres en las inmediaciones del polígono de protección (Xaagá, La Pintada y Cerro Danush); lamentablemente, el análisis se basó en dibujos poco exactos e incompletos de los grafismos. Finalmente, en 2021 elaboramos el registro exhaustivo de 25 cuevas, abrigos y soportes con manifestaciones rupestres, algunos de los cuales habían sido reportados previamente en el expediente presentado ante la UNESCO.

EL PROCESO DE POBLAMIENTO EN LOS VALLES DE OAXACA

El valle de Oaxaca es una de las áreas culturales principales de Mesoamérica, donde arqueológicamente se han documentado distintos procesos de cambio social que van desde la ocupación de grupos de cazadores recolectores, y el establecimiento de aldeas con comunidades igualitarias, hasta el desarrollo de cacicazgos conformados por sociedades diferenciadas y el surgimiento de una de las primeras organizaciones estatales mesoamericanas después de la fundación de Monte Albán (tabla 1).

⁷ La cueva fue registrada en 2007 por Antonio Martínez Tuñón y Luis García Lalo. Su nombre deriva del motivo principal (véase figura 10), que fue interpretado por personas de la comunidad como un “machín” o un mono. Sin embargo, este elemento corresponde a la representación de un felino (Martínez 2012).

⁸ De acuerdo con Hermann (2009), *yahui* es el equivalente mixteco de *xiuhcóatl*, la serpiente de fuego náhuatl que en los códices mixtecos está dotada de extremidades con garras y cabeza de serpiente o lagarto con las fauces abiertas.

Tabla 1. Cronología del valle de Oaxaca

Años de la era común	Periodos de Mesoamérica	Fases culturales del valle de Oaxaca	
1200-1521 d. C.	Posclásico tardío	MA V tardío	Chila
1000-1200 d. C.	Posclásico temprano	MA V temprano	Lyobaa tardío
850-1000 d. C.			Lyobaa temprano
650-850 d. C.	Clásico tardío	MA IIIB/IV tardío	Xoo
500-650 d. C.		MA IIIB/IV temprano	Peche
350-500 d. C.	Clásico temprano	MA IIIA	Pitao
200-350 d. C.		Transición MA II-III A	Tani
100 a. C.-200 d. C.	Formativo tardío	MA II	Nisa
300-100 a. C.		MA I tardío	Pe
500-300 a. C.		MA I temprano	Daniban
750-500 a. C.	Formativo medio	Rosario	
850-750 a. C.		Guadalupe	
1150-850 a. C.	Formativo temprano	San José	
1400-1150 a. C.		Tierras Largas	
1600-1400 a. C.		Espiridión	
2500-1600 a. C.	Arcaico	Martínez	
4000-2500 a. C.		Blanca	
6000-4000 a. C.		Jícaras	
10000-6000 a. C.		Naquitz	
<10000 a. C.	Paleoindio	El Fuerte	

Fuente: modificado de Pacheco Arias 2017, figura 9.

Se estima que los primeros grupos humanos en llegar a la región datan del Pleistoceno final/Holoceno temprano, entre 11000 y 10000 a.C. Se trataba de bandas de cazadores recolectores que aprovechaban de diversas maneras los recursos estacionales que el entorno les ofrecía. Se ha reportado el hallazgo en superficie de puntas de proyectil con acanaladura basal, un posible matadero de fauna pleistocénica y huesos de animales con fracturas artificiales y huellas de cocción en el nivel inferior de Cueva Blanca (Finsten, Flannery y Macnider 1989; Winter 2014; Flannery 2019a; 2019b; Winter y Alarcón 2021).

La fase Naquitz va del 10000 al 6000 a.C. y su caracterización se basa en la excavación de diferentes contextos arqueológicos en Guilá Naquitz y Gheo Shih. Guilá Naquitz es un pequeño abrigo donde hubo al menos seis ocupaciones en el transcurso de cuatro mil años. Cada una de ellas corresponde a un campamento distinto, los cuales estuvieron habitados por microbandas de cuatro a cinco individuos entre finales de verano y principios de invierno. La actividad de los grupos estuvo enfocada a la recolección, almacenamiento y consumo de plantas silvestres, aunque también realizaron otras labores asociadas con la cinegética y la manufactura de herramientas líticas (Flannery 2009a). Por otro lado, Gheo Shih era un campamento a cielo abierto que posiblemente albergaba de 25 a 50 personas entre junio y septiembre, cuando distintas microbandas se congregaban en el fondo del valle durante la época de lluvias (Marcus y Flannery 2007). A esta etapa pertenecen las evidencias más antiguas de plantas domesticadas en el continente americano, en Guilá Naquitz, con el descubrimiento de restos de bule (*Lagenaria siceraria*), datados en 8900 ± 40 a.P. (8030 - 7915 cal a.C.); y calabaza (*Cucurbita pepo*) de 8990 ± 60 a.P. (8085 - 7955 cal a.C.) y 8910 ± 50 a.P. (8035 - 7920 cal a.C.) (Flannery 2009b).⁹

Un hito importante ocurrió en la fase Jícaras entre 6000 y 4000 a.C., cuando se documentaron en Guilá Naquitz los restos macrobotánicos más antiguos de maíz (*Zea mays*) en proceso de domesticación, datados en 5410 ± 40 a.P. (4340-4220 cal a.C.) y 5420 ± 60 a.P. (4355 - 4065 cal a.C.) (Piperno y Flannery 2001).¹⁰ Hacia el 4000-3000 a.C. se tienen documentados campamentos de caza en Cueva Blanca, donde fueron recuperados una gran variedad de puntas de proyectil (tipo San Nico-

⁹ El bule es una planta domesticada en Asia que fue introducida al continente americano a partir de diversas migraciones humanas durante el Pleistoceno Final y el Holoceno Temprano (Ericson *et al.* 2005); sin embargo, el fruto se aprovechó esencialmente como recipiente para el transporte de líquidos, semillas u otros recursos. Lo anterior significa que su domesticación responde a una innovación tecnológica que también fue adoptada por los primeros pobladores de Oaxaca (Flannery 2009a). En contraparte, la calabaza parece ser una domesticación local que ocurrió en los valles intermontanos del actual territorio mexicano (Smith 1997).

¹⁰ Sin embargo, las investigaciones arqueológicas han demostrado que la domesticación inicial del maíz tuvo lugar en la cuenca del río Balsas, en el actual estado de Guerrero. Piperno *et al.* (2009) recuperaron almidones y fitolitos de *Zea mays* L. en instrumentos líticos procedentes del abrigo de Xihuatoxtla, donde la datación del estrato, a partir de carbón asociado, arrojó una edad de 7920 ± 40 a.P. (8990-8610 cal a.P.).

las, La Mina, Trinidad, Tilapa) y restos óseos de diferentes animales con modificaciones culturales. Flannery y Hole (2019b) sugieren que estos contextos podrían indicar un cambio en la organización social, con la presencia de campamentos de trabajo aprovechados por un número reducido de individuos que originalmente vinieron de un campamento base para diversificar las tareas. De ser así, esto implicaría un cambio en los patrones de movilidad y subsistencia, en donde las sociedades del valle habrían pasado hacia un sedentarismo semipermanente.

La fase Martínez (2500-1600 a.C.) es la última del Preclásico y por ello debería constituir una etapa cultural de gran relevancia, toda vez que marcaría la transición entre el nomadismo y el sedentarismo en la región. Desafortunadamente, hasta 2022 no se contaba con dataciones absolutas y su caracterización se sustentaba en la excavación parcial de un sitio: el Abrigo de los Martínez. Acorde con la evidencia arqueológica, esta etapa se distingue por la escasez de puntas de proyectil, la presencia de gran variedad de artefactos líticos tallados y un notorio incremento de instrumentos de molienda (Flannery 2003a; Flannery y Hole 2019b). Excavaciones recientes en la Cueva de la Paloma, ubicada a 350 m al sureste de Guilá Naquitz, han revelado nuevos contextos arqueológicos con ocupación entre 3849 ± 25 a.P. (2455 - 2204 cal a.C.) y $3639 \pm$ a.P. (2133-1927 cal. a.C.) (Viramontes, Jiménez y Medina 2023). En la cueva identificamos una extensa zona de quema con múltiples fogones y una zona de trabajo de instrumentos de líticos. Esta investigación, actualmente en curso, permitirá profundizar en el conocimiento de los grupos humanos del valle de Oaxaca previo al surgimiento de las primeras aldeas en el periodo Formativo. Sin embargo, tentativamente podemos señalar que, para la fase Martínez, las personas continuaban aprovechando las cuevas para el establecimiento de campamentos de distinta índole; seguía en uso una tecnología lítica expeditiva, basada en una industria de lascas; y aún había una predilección por el consumo de plantas silvestres, a pesar de la presencia de especies domesticadas desde milenios atrás.

El inicio de la vida sedentaria representó un cambio significativo, pues las primeras comunidades se establecieron en zonas de mayor producción agrícola en el valle. No obstante, las cuevas continuaron usándose de distintas formas después del Preclásico, particularmente en el Posclásico debido al apogeo de Yagul y Mitla como centros urbanos prominentes de la región.

LA CUEVA DE LOS MACHINES

Se trata de una pequeña concavidad de 70 m² ubicada en un escarpe en la cima de la Mesa Pequeña, a 1948 msnm. La cueva está orientada hacia el suroeste y ofrece una amplia vista del valle de Tlacolula, Mitla, el cerro Nueve Puntas y las montañas en el horizonte. La entrada tiene un ancho de 9.40 m sobre la línea de goteo, y sus dimensiones máximas son de 5.50 m de altura y 7.90 m de profundidad. En el sector derecho hay una pequeña covacha y, al frente, una terraza

acondicionada con pequeños bloques de roca. La cueva se formó en un antiguo sustrato del Cenozoico compuesto de tobas riolíticas.

En superficie se observaron pocos materiales arqueológicos. Entre los fragmentos de cerámica se identificaron tiestos de pasta gris correspondientes a cajetes de silueta compuesta (tipo G3M), cajetes cónicos (tipo G35) y cántaros; también hay fragmentos de pasta café, asociados a ollas globulares y comales, según la tipología de Caso, Bernal y Acosta (1967). En lítica tallada se encontraron núcleos con desbaste multidireccional, lascas de adelgazamiento con huellas de uso y desechos de talla de diversas materias primas. En lítica pulida se localizaron cantos rodados y bloques con superficies desgastadas por fricción.

Las paredes de la cueva están decoradas con 64 elementos gráficos, en su mayoría pintura rupestre. Para la elaboración de estos motivos se emplearon diferentes técnicas, como el delineado en distintos grosores, tinta plana y negativo o estarcido, todas en varias tonalidades de rojo, con excepción de un par de cruces blancas que parecen ser de factura reciente. El único petrograbado del sitio representa un rostro humano, elaborado mediante percusión (para los ojos y la boca) y abrasión (para el contorno de la cara).

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DE LA CUEVA

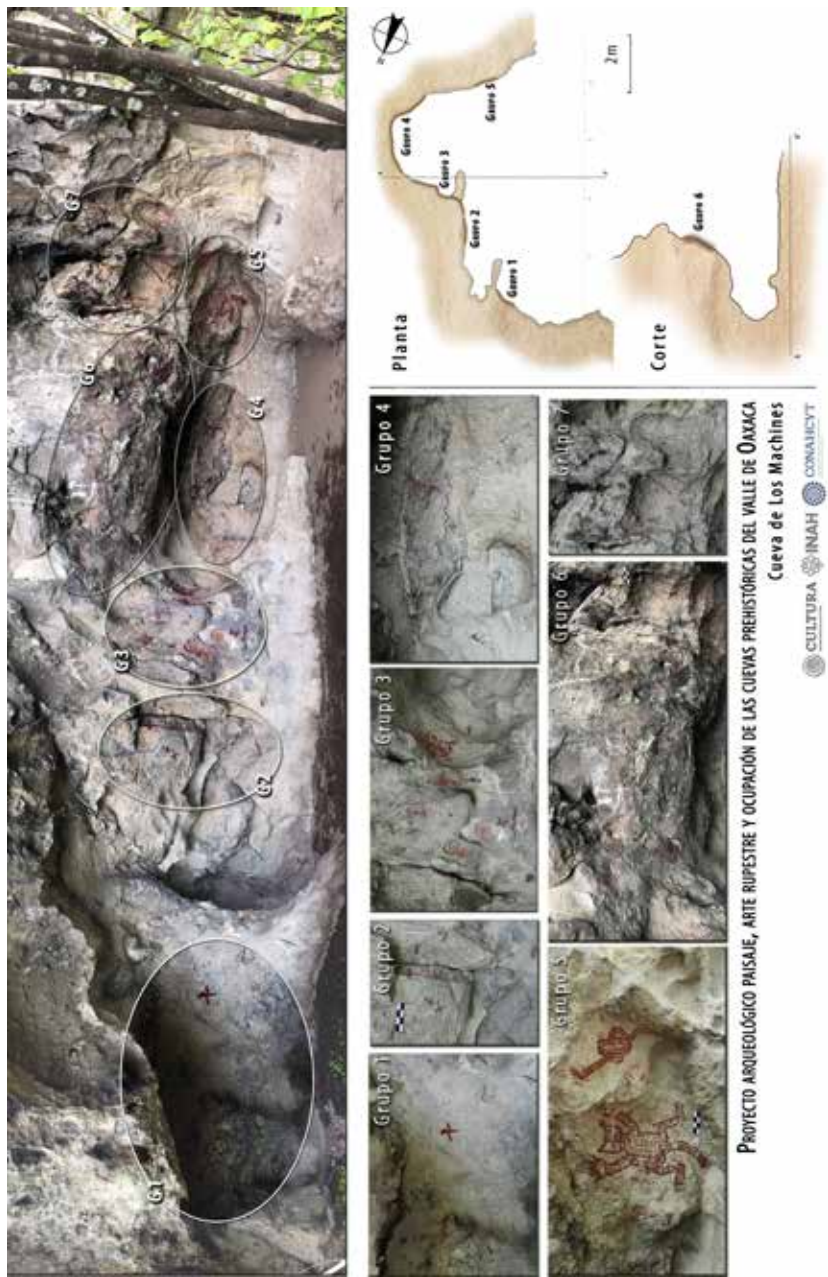
Para el registro fotográfico del sitio arqueológico y la elaboración de calcos digitales, restituciones y realce de color, empleamos diversas tecnologías que ya hemos implementado en otros contextos, logrando una documentación integral tanto de los soportes rocosos como de los motivos.¹¹ El soporte se dividió en siete grupos pictóricos: cinco en la parte media de la cueva y dos en el sector superior, definidos en función de la agrupación de motivos y las irregularidades o fracturas naturales de la roca (figura 2).

El registro fotográfico en alta resolución incluyó tomas generales, por grupo y por grafismo. A partir de las fotografías de cada motivo se generaron archivos en falso color, utilizando el *plugin DStretch*, que opera en el software libre *ImageJ*. Con programas de diseño gráfico se realizaron ajustes de óptica, exposición, brillo, contraste, tono y luminosidad. Estos procesos permitieron elaborar calcos digitales que facilitan el análisis individual y de conjunto de los elementos pictóricos, así como una restitución colorimétrica mediante la superposición del calco digital sobre una imagen general de los soportes rocosos (figuras 3 y 4).

Este trabajo también permitió determinar con precisión los puntos de toma de muestras para los análisis mediante espectroscopía Raman y la localización específica de puntos de lectura para los análisis de pigmentos y el sustrato rocoso mediante fluorescencia de Rayos X (FRX), tema que se abordará más adelante.

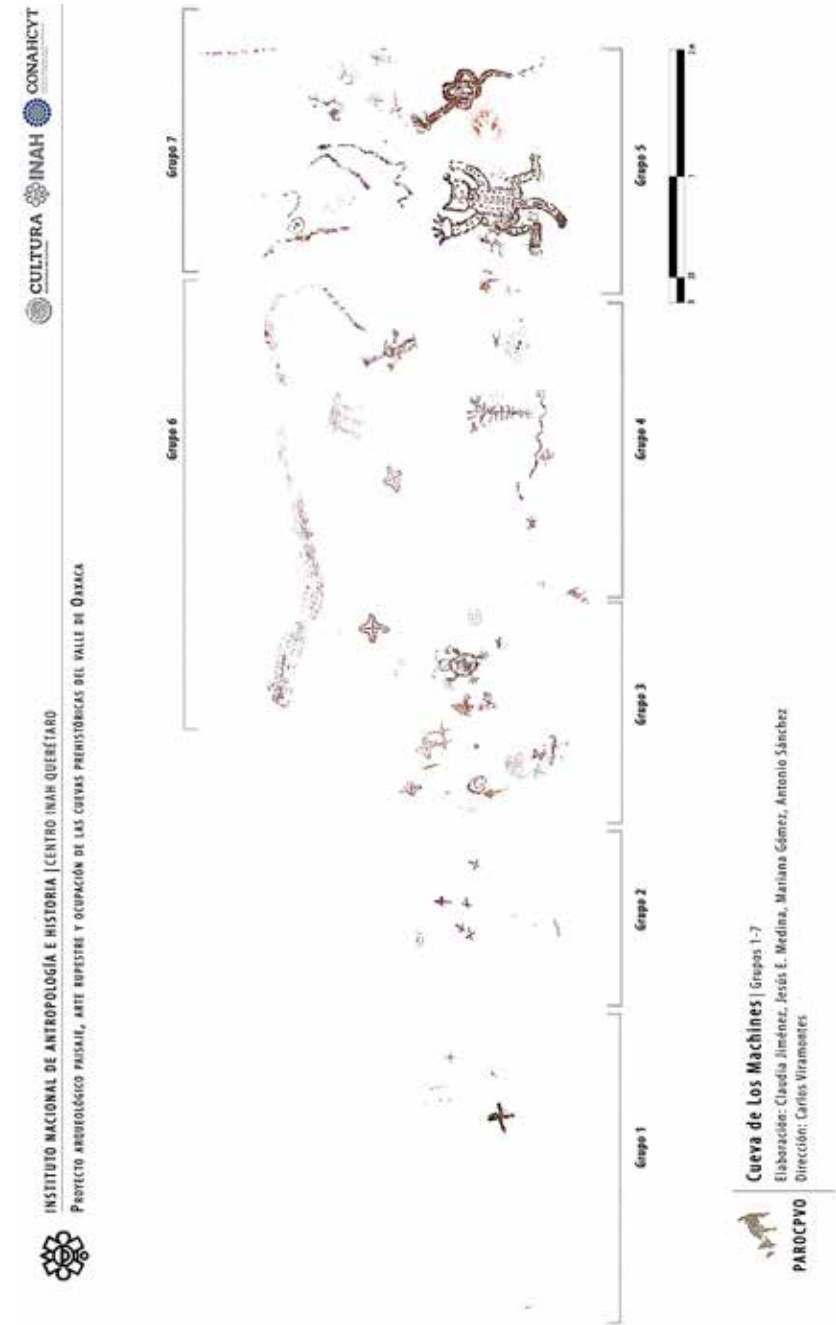
¹¹ La metodología empleada fue desarrollada por el proyecto Arte rupestre en la cuenca del río Victoria; para un mayor detalle del proceso véase el texto de Viramontes y García (2020) y Viramontes, Jiménez y Medina (2023).

Figura 2. Vista frontal de la Cueva de los Machines y croquis de planta donde se indica la ubicación de los grupos pictóricos



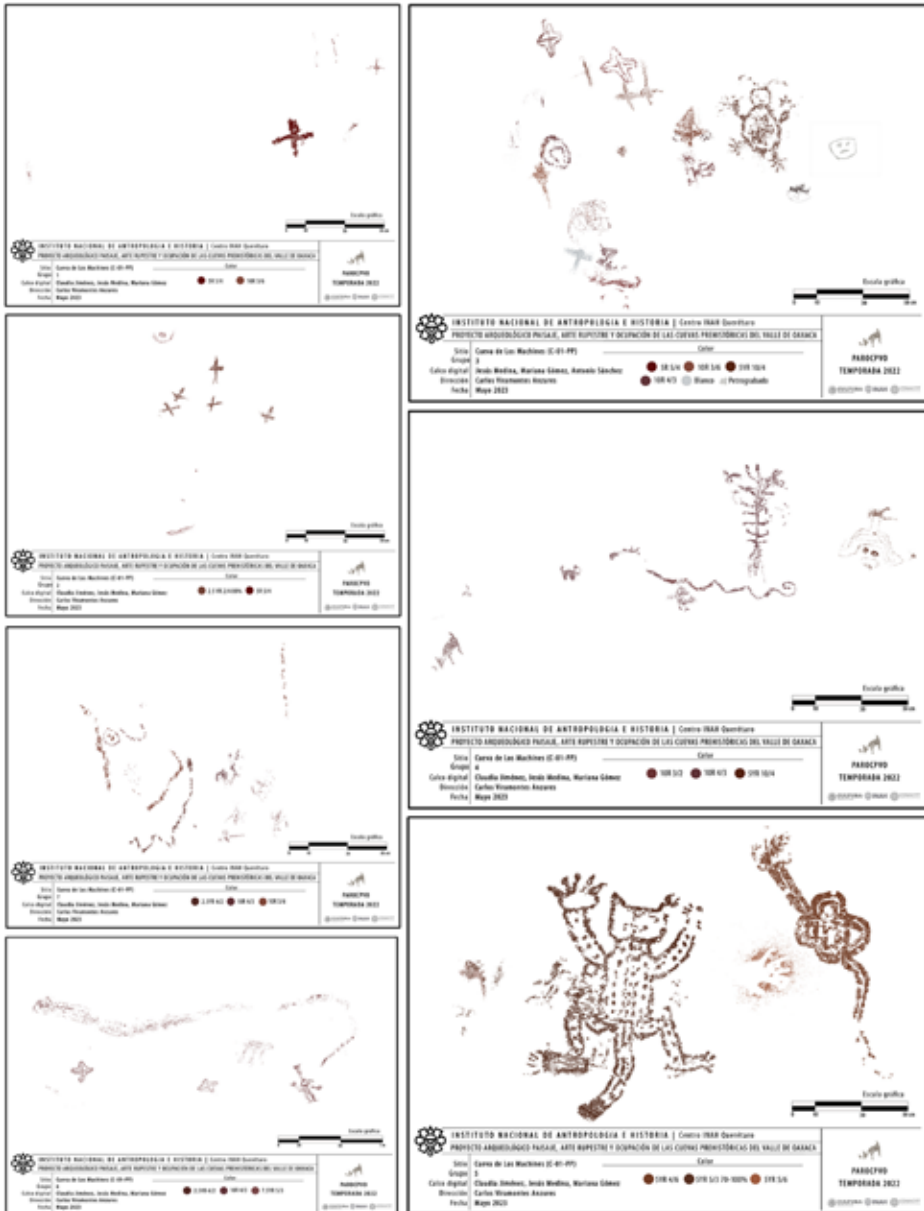
Fuente: modificado de Viramontes, Jiménez y Medina 2022.

Figura 3. Calco general de la distribución de los motivos pictóricos



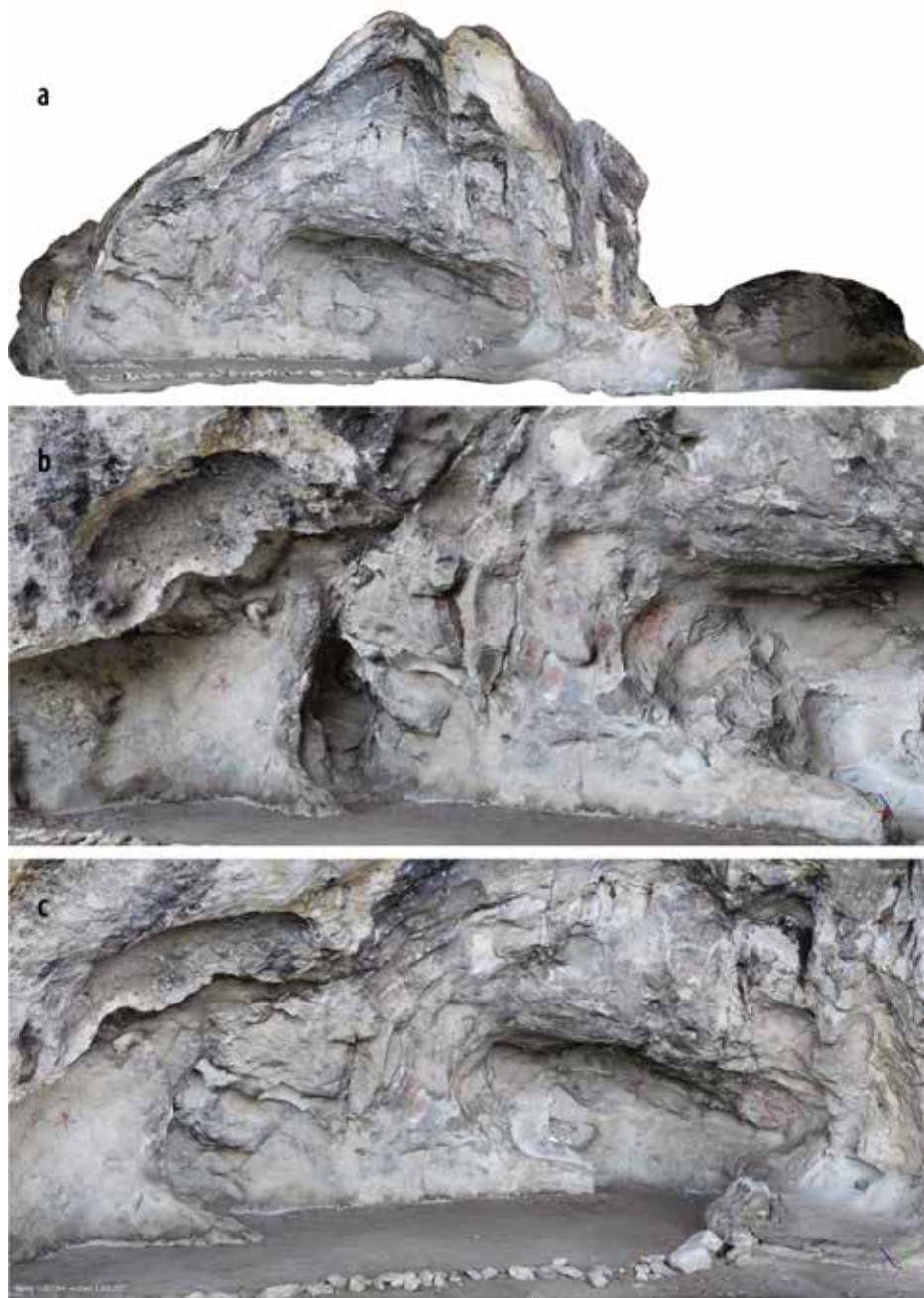
Fuente: Viramontes *et al.* 2024.

Figura 4. Calcos digitales correspondientes a los diferentes grupos de la Cueva de los Machines



Fuente: modificado de Viramontes *et al.* 2024.

**Figura 5. a) Ortomosaico de la Cueva de los Machines;
b) y c) diferentes perspectivas de las paredes decoradas
al interior de la cueva a partir del modelo 3D**



Fuente: Viramontes, Jiménez y Medina 2022.

Paralelamente al registro fotográfico se elaboró la planimetría de la cueva y el levantamiento fotogramétrico para generar modelos tridimensionales. Este registro incluyó 130 imágenes capturadas con una cámara Canon EOS Rebel T6. Todas las fotografías fueron procesadas con el software Agisoft Metashape Professional (versión 1.7.0), de donde se obtuvo una nube dispersa de 114 949 puntos y después una nube densa de 16 845 526 puntos; la malla resultante fue de 3 300 579 caras con 1 652 825 vértices y finalmente se generó un ortomosaico de 15540 x 6827 píxeles. También se crearon modelos fotogramétricos de cada grupo pictórico, a partir de los cuales se produjeron ortomosaicos filtrados en el *plugin DStretch*. Esto permitió obtener imágenes de alta calidad que proporcionan una perspectiva completa de los grupos, los motivos que los conforman y su ubicación en la cueva, facilitando su análisis en gabinete (figura 5).

Entre los motivos documentados hay elementos figurativos, como representaciones de figuras humanas, zoomorfos y una impronta de mano en negativo; también se registraron diseños no figurativos, principalmente cruces, círculos concéntricos, líneas rectas u onduladas, y varias manchas, entre otros. En el sector izquierdo de la cueva (grupos 1 y 2) predominan diseños de cruces simples en diferentes tonalidades de rojo, junto con algunos elementos geométricos: una línea curva con una elipse en el centro, dos líneas semi paralelas en la parte inferior, algunos puntos aislados y un posible diseño antropomorfo. En el grupo 3, situado al centro del soporte, destacan varios motivos cruciformes con contorno externo, interpretados en otros contextos como una abstracción gráfica del planeta Venus.¹² En este grupo también aparecen cruces sencillas en un rojo más intenso, un círculo concéntrico, líneas, manchas y una figura humana que corresponde a la forma de representación arquetípica, delineada de frente en una disposición estática, con pies, manos y cabeza circulares, en posición horizontal, lo cual podría simbolizar enfermedad o muerte.

Se observan asimismo tres figuras zoomorfas: un ave (aunque el diseño está incompleto, sólo se conservan el cuerpo, patas con garras y parte del cuello, mientras que la cabeza se ha perdido con el tiempo), un posible cérvido, del cual apenas se distinguen los trazos principales y otra figura zoomorfa con cuerpo elíptico parcialmente rellenado, cabeza circular con ojos, nariz y boca, extremidades con cinco garras y antenas. Este último motivo ha sido identificado por los guías locales como una “catarina”, aunque esta interpretación parece poco confiable.¹³ Finalmente, en el extremo derecho del grupo 3, se encuentra el único petrograbado del sitio: una cabeza humana con ojos y boca.

En la parte más profunda de la cueva (grupo 4), se ha formado una concavidad donde es posible observar lo que parecen ser dos pequeños cérvidos, uno de ellos

¹² Son comunes en la imaginería rupestre de México y el sur de Estados Unidos, así como de varias partes de América del Sur y el Caribe. Incluso es posible encontrarlos en la iconografía mesoamericana, como la famosa estela del Templo de Venus en Chichén Itzá.

¹³ Coleóptero de la familia *Coccinellidae*, también conocido como “mariquita”.

en estado avanzado de deterioro; la disposición y forma de la cola sugieren que podrían tratarse de venados cola blanca (*Odocoileus virginianus*). En la parte superior se aprecia otro posible cuadrúpedo y, a su derecha, lo que la tradición popular interpreta como una planta de maíz sobre una línea ondulada que termina en espiral, junto con otro zoomorfo, posiblemente un ave. Llamam la atención dos pequeñas cúpulas naturales aprovechadas para pintar los ojos de una cara plasmada de frente, con cabello o tocado.

En el sector derecho de la concavidad (grupo 5) se encuentra el elemento que da nombre a la cueva: la representación de un felino con manchas en el cuerpo, de aproximadamente 1.20 m de longitud, desde la punta de la cola hasta las garras. Este motivo pictórico fue elaborado de manera poco convencional para la época prehispánica, con las extremidades abiertas y en perspectiva aparentemente cenital. El delineado es grueso y de tonalidad roja, casi guinda. Asociado espacialmente al felino se observa un diseño en forma de atadura, también realizado con un delineado grueso. Entre ambos grafismos destaca la impronta de una mano izquierda al negativo.¹⁴

En la parte superior externa de la concavidad se aprecian otras dos representaciones de Venus, así como una figura humana de casi 60 cm de longitud (grupo 6). Esta última está plasmada de frente, a la tinta plana, con las extremidades inferiores ligeramente flexionadas. Un brazo se eleva hacia arriba y otro hacia abajo; las manos son prominentes, y la cabeza da la impresión de llevar un gran tocado similar a un alargado sombrero de copa. La adición posterior de una línea más oscura a la altura de la cabeza contribuye a la ilusión de que la figura posee una nariz puntiaguda. En la parte superior, varias líneas paralelas y serpentiformes enmarcan la concavidad del fondo de la cueva que contiene al grupo 4. Entre este motivo y la figura antropomorfa se observa otro diseño, también formado por líneas paralelas, que podría ser de naturaleza zoomorfa.

Finalmente, en el extremo derecho se aprovecharon dos concavidades (grupo 7). En una de ellas, se observa la mitad de una pequeña roca esférica que sobresale del soporte, cuyo contorno y centro están parcialmente pintados de color rojo. De esta roca se desprende una línea, plasmada mediante un delineado grueso, que circunda toda la concavidad. En el centro de la concavidad derecha, hay algunas líneas rectas y quebradas, una cruz y un último motivo, aparentemente un antropomorfo.

ANÁLISIS CON MICROFOTOGRAFÍA: PROPUESTA DE PRODUCCIÓN PICTÓRICA

Para llevar a cabo un análisis detallado de las técnicas de producción pictórica, se realizaron tomas fotográficas utilizando un microscopio digital portátil Celes-

¹⁴ Aunque en la Cueva de los Machines sólo localizamos un motivo de este tipo, las manos al negativo son un tema recurrente en el arte rupestre del valle; hasta ahora hemos identificado poco más de 25 improntas.

tron Pro. Gracias a esta herramienta y a la medición de los trazos, se observó que se emplearon pinceles de diversos grosores, desde muy finos de unos pocos milímetros hasta algunos centímetros. Esta variedad, combinada con los estilos, técnicas y tonalidades, permite inferir la existencia de al menos cinco eventos pictóricos que no sólo reflejan diferentes temporalidades, sino también grupos con un trasfondo cultural diverso.

Iconográficamente las cruces son los motivos más representados y su elaboración se llevó a cabo mediante delineado y tinta plana. Un primer tipo muestra un contorno fino de 3 a 5 mm de grosor que después fue rellenado con una herramienta de 2 cm de ancho o probablemente con los dedos. También se pintaron cruces de trazo sencillo y grueso (2cm aproximadamente) donde se observan recargas de pintura. En ambos casos, las tintas parecen ser las mismas.

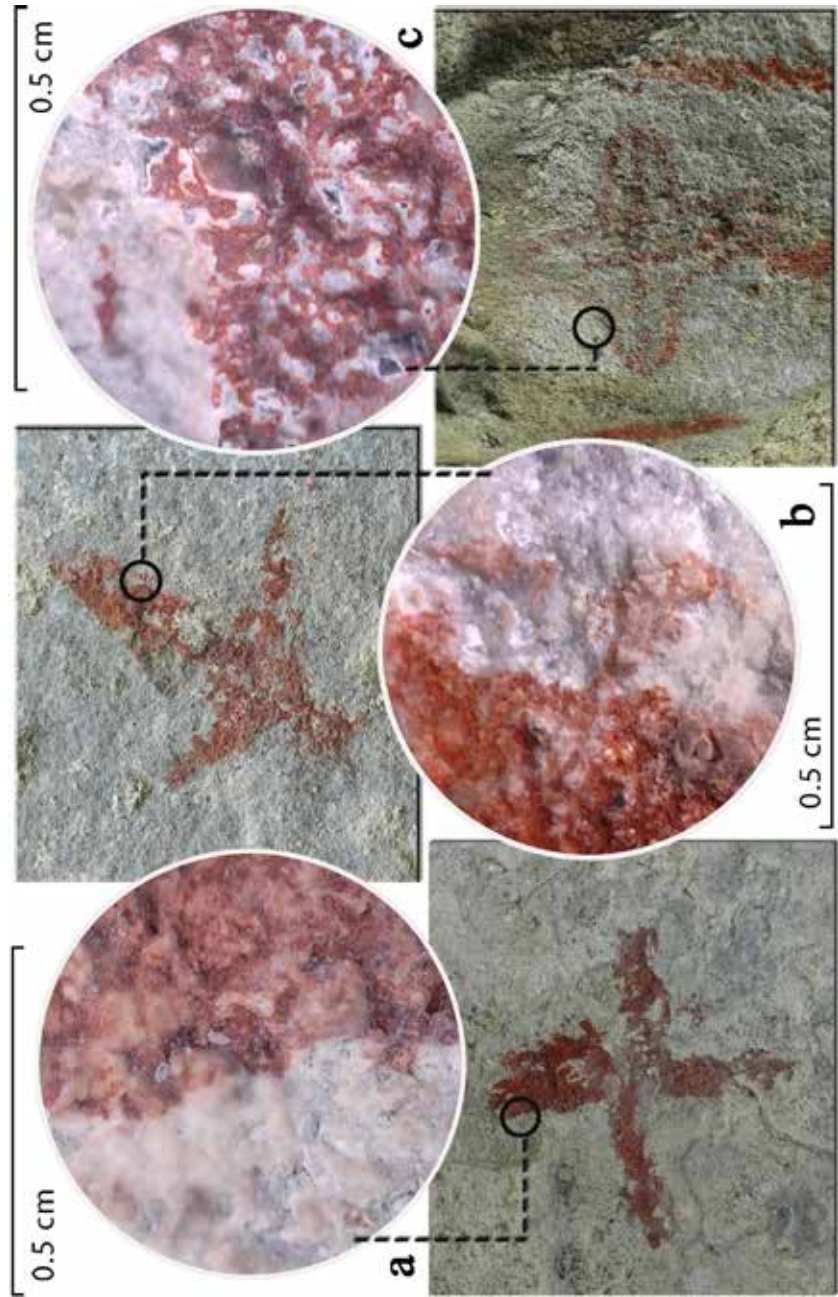
Para las cruces de contorno externo se emplearon pinceles delgados que dejaron una línea de 0.8 a 1 cm de grosor, con secciones ligeramente más gruesas, derivadas de las cargas de pintura. Para estas cruces se utilizaron tintas de tonalidades más oscuras en comparación con las anteriores. La diferencia en iconografía, técnica y tonalidad sugiere al menos dos eventos pictóricos distintos (figura 6).

En las representaciones humanas y zoomorfas también se observan diferencias significativas. Los elementos de este tipo fueron delineados con pinceles finos con bordes definidos de 0.5 cm. Se aprecian salpicaduras provocadas por la longitud de las cerdas, así como secciones más gruesas que corresponden a las cargas de pintura. Las tintas también parecen mostrar cierta coherencia, dado que los elementos de tonalidad más oscura son homogéneos en técnica, grosor e incluso destreza, mientras que los motivos con trazos gruesos y descuidados tienden a presentar un tono más claro. En este caso proponemos un tercer evento asociado a la elaboración de los motivos más oscuros.

Dentro de las representaciones zoomorfas destacan por su singularidad la “catarina” y dos venados, mismos que presentan diferencias notables en su elaboración. La “catarina” fue plasmada sobre una superficie rugosa, empleando una herramienta gruesa que dejó trazos de 1 cm. El cuerpo y la cabeza parecen haber sido pintados a la tinta plana de manera descuidada. Las garras y algunos detalles de la cabeza fueron elaborados a partir de la impresión del pincel, dejando un patrón de puntos que posteriormente fueron unidos (figura 7).

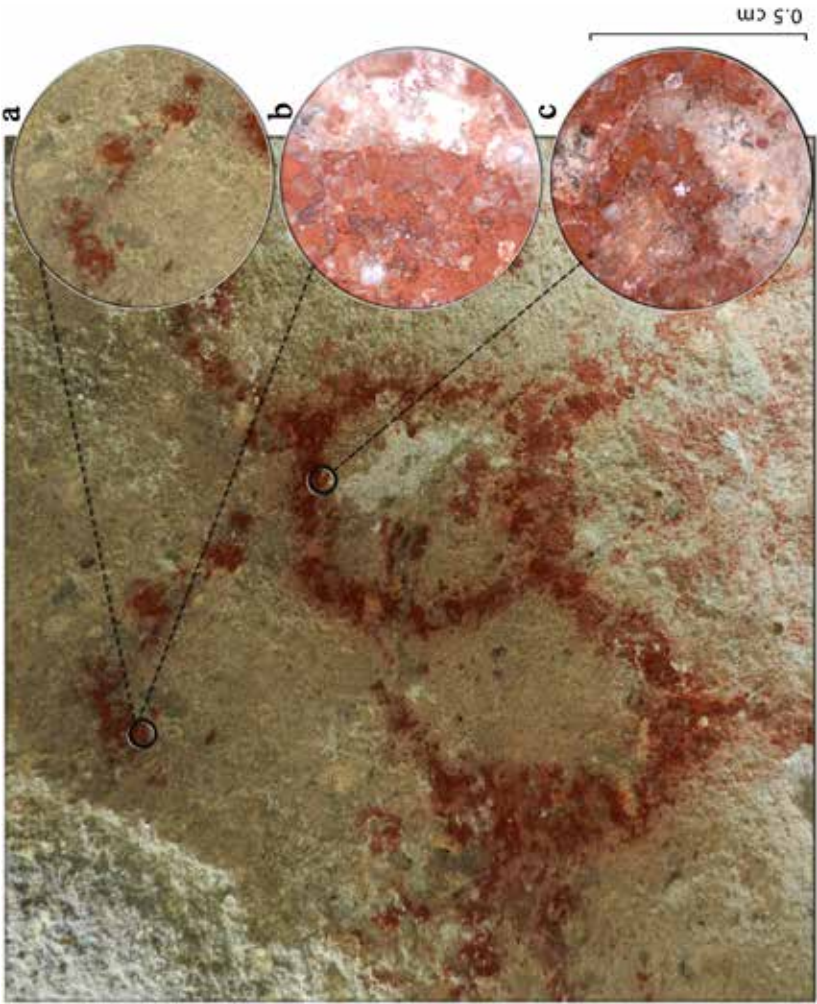
Los venados, por su parte, aunque muestran un estilo más realista, también fueron elaborados mediante un delineado fino. Se comenzó bocetando la cabeza, las patas, el lomo y la cola con un pincel de 0.5 cm de grosor en promedio; posteriormente, se rellenó el interior utilizando la misma herramienta, como se puede inferir por el patrón de líneas superpuestas observado en el cuerpo (figura 8). Con relación a las tintas, aunque aparentan una tonalidad similar de rojo, su deterioro es más avanzado, lo que sugiere que este par de motivos correspondan a un evento pictórico más antiguo.

Figura 6. Detalle de delineado en motivos cruciformes simples (a y b) y de contorno externo (c)



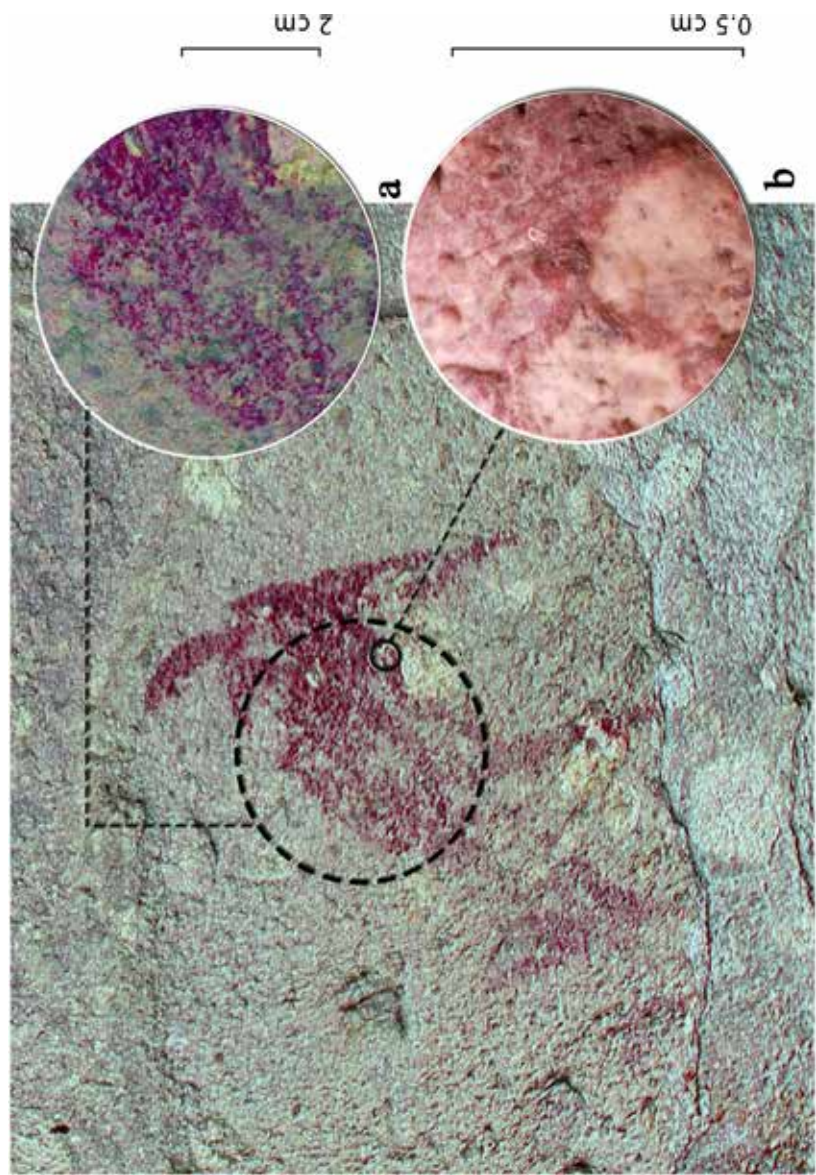
Fuente: elaboración de Claudia Jiménez Mu.

Figura 7. Detalle de la “catarina”. a) Patrón de puntos; b y c) trazo a la tinta plana



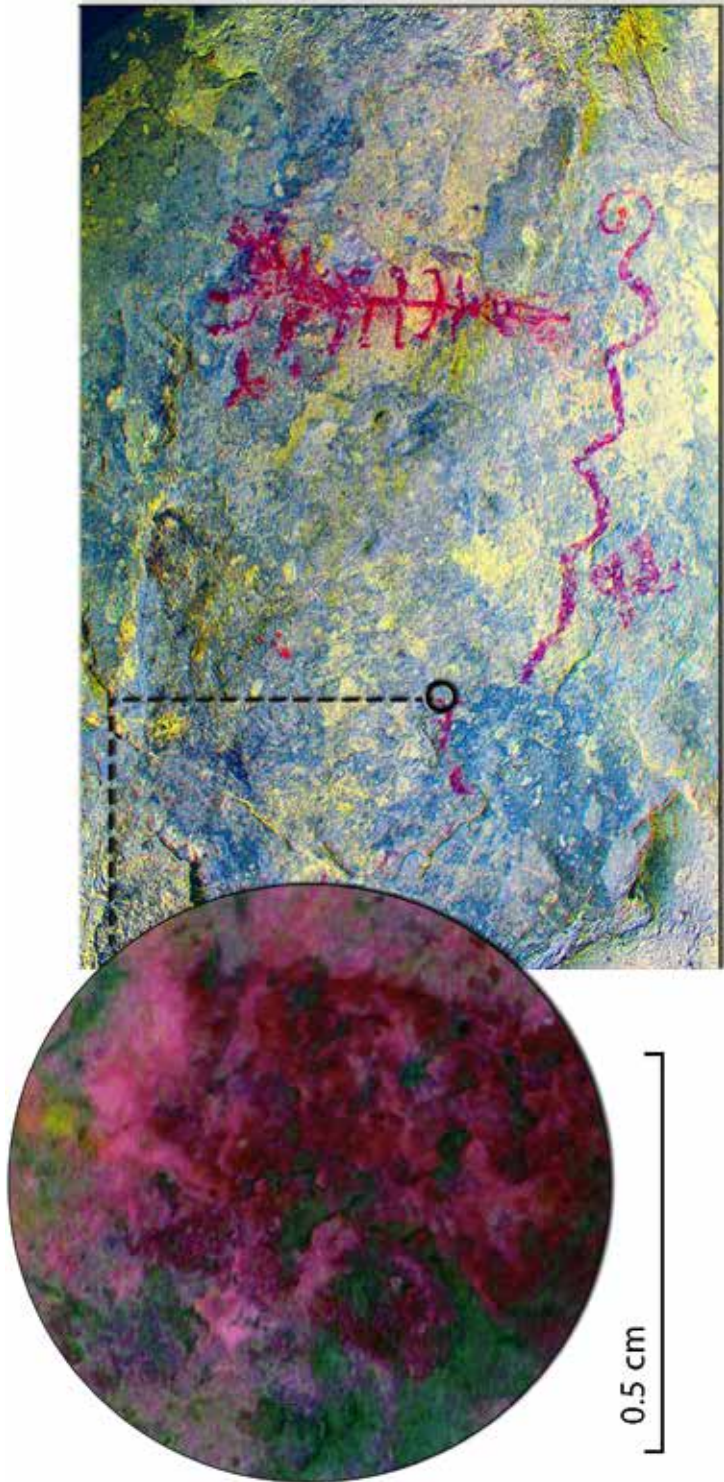
Fuente: elaboración de Claudia Jiménez Mu.

Figura 8. Detalle de venado



a) Delineado interior; b) delineado de contorno. Fuente: elaboración de Claudia Jiménez Mu.

Figura 9. Detalle de posible planta de maíz y serpiente



Fuente: elaboración de Claudia Jiménez Mu.

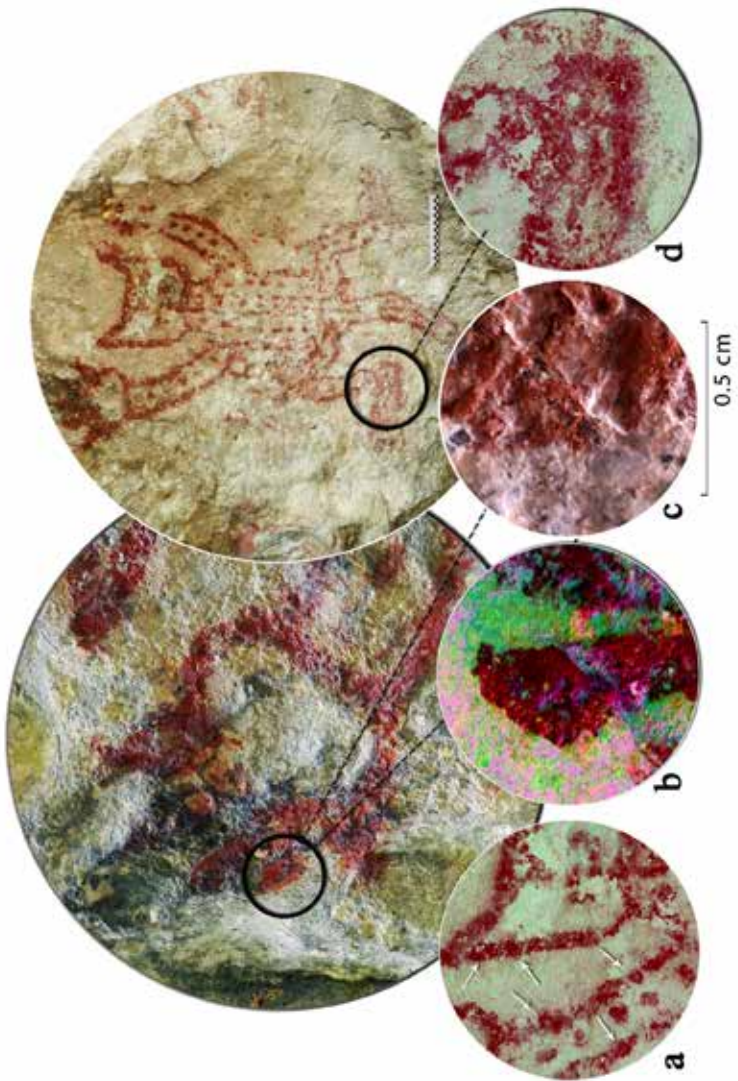
La “planta de maíz y la serpiente” exhiben cierta homogeneidad técnica, ya que están compuestas por líneas de 0.7 cm con bordes definidos, apenas interrumpidos por la textura irregular del soporte y algunas secciones ligeramente más gruesas por las cargas de pintura. Las tintas muestran una ligera diferencia, dejando un tono rojizo brillante para el motivo fitomorfo y uno más oscuro para la serpiente. Este último es similar al de los zoomorfos descritos previamente, aunque en la serpiente hay una mayor destreza en su elaboración, con un trazo ligeramente más grueso, destinado a lograr una mayor definición de los bordes (figura 9). Por tanto, podrían tratarse de dos eventos gráficos distintos.

Por último, la composición que incluye el felino, el atado y la impronta de mano, fue elaborada con herramientas, técnicas y tintas distintas. El felino fue bocetado inicialmente mediante puntos que luego fueron unidos a partir de un delineado grueso, que a su vez sirvió para definir el contorno de la figura. Las marcas identificadas en las extremidades superiores muestran este patrón y se diferencian de las zonas con cargas de pintura o trazos superpuestos en función de la intensidad de la tinta y su distribución en el contorno. La herramienta empleada probablemente consistió en un pincel grueso de 1.5 cm, con cerdas suaves y largas que permitieron lograr bordes relativamente definidos.

La irregularidad y las salpicaduras en algunas secciones (como las extremidades inferiores) se deben posiblemente al hecho de girar el pincel sin separarlo de la superficie y a la propia longitud de las cerdas. Las garras, aunque parecen elaboradas con la misma herramienta, no requirieron un delineado previo, ya que se realizaron mediante la impresión del cuerpo del pincel y su posterior deslizamiento, combinando presión y trazo a la tinta plana, resultando en bordes redondeados y líneas definidas. La decoración en forma de puntos al interior del cuerpo del felino también fue elaborada a partir de la presión del pincel. Los trazos del contorno, los detalles internos, las garras, e incluso las líneas de los costados, son homogéneos en grosor. Estas últimas podrían tratarse de pruebas o correcciones asociadas a la elaboración de la figura (figura 10).

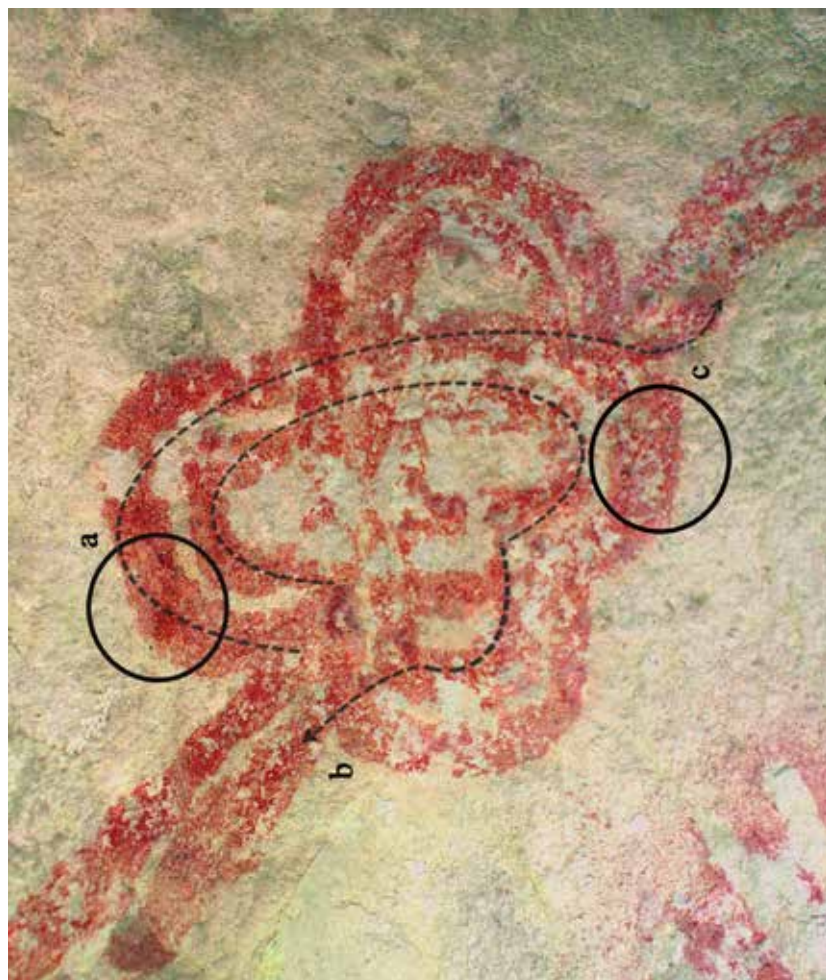
El atado fue realizado mediante la superposición de líneas que varían entre 2.4 y 1.4 cm. Las diferencias en el grosor derivan de esta superposición y de la manera en que se sujetó el pincel y su trayectoria. Al respecto, consideramos que la herramienta utilizada debió ser plana y de hebras finas, mientras que la secuencia de trazos sugiere que este diseño se elaboró desde el centro hacia los extremos. Los contornos de la forma interna parecen seguir una secuencia parcialmente trilobular, que se prolonga hasta formar una de las líneas de la sección superior. El contorno externo fue plasmado en dos acciones: en principio se hicieron los trazos laterales e inferior; en una segunda se dibujó la saliente superior, que se extiende hasta formar una de las líneas de la sección inferior. Posteriormente, se pintaron las líneas contiguas de las secciones superior e inferior, junto con sus respectivos detalles; un último trazo en el interior define el lóbulo izquierdo, que se sobrepone en el contorno externo, aumentando el volumen de la línea (figura 11).

Figura 10. Detalle de la producción pictórica del felino



a) Patrón de puntos; b) y c) detalle de garra superior; d) salpicaduras en extremidad inferior. Fuente: elaboración de Claudia Jiménez Mu.

Figura 11. Detalle de elaboración del “atado”



a) Recarga de pigmento; b) superposición de trazos; c) ejemplo de secuencia de trazado. Fuente: elaboración de Claudia Jiménez Mu.

Finalmente, la mano en negativo muestra un proceso de elaboración compuesto que implicó correcciones, al menos dos acciones y posiblemente un delineado. En el primer caso, es notorio que los dedos centrales (índice, medio y anular) se desplazaron hacia abajo, como deja ver a la incongruencia anatómica, ya que el tercer dedo (“medio”) es más corto que el segundo (“anular”), cuando debería ser lo contrario; además, el espacio formado en la cuarta posición parece ser el resultado de la unión del índice y medio.

En el segundo caso, el patrón de salpicaduras corrobora que se utilizó la técnica de estarcido. Sin embargo, considerando las correcciones percibidas, es posible que se haya realizado en dos momentos: en una primera aplicación se tiñeron las superficies externas del meñique, una parte del anular y el pulgar; en la segunda, donde ocurrió el desplazamiento de los dedos, se plasmaron los contornos restantes. Además, en los bordes del dedo meñique y en algunas secciones de las impresiones del segundo y tercer dedo, se aprecia un contorno homogéneo de 0.3 cm de grosor, lo que sugiere que, después del estarcido, la forma fue delineada para lograr un mejor detalle (figura 12).

En cuanto a las tintas empleadas, la gama de rojos sugiere diversas preparaciones y grados de alteración. Al respecto hay ciertas similitudes en el estilo y la dimensión de los trazos que permiten proponer una posible contemporaneidad entre las cruces de delineado fino, la impronta de mano y el atado. Asociados a un quinto evento pictórico se encuentran el felino y la catarina. No obstante, es difícil profundizar en la secuencia de los eventos debido a la ausencia de superposiciones. A pesar de esto, la alteración de las tintas y los motivos nos permiten formular estas hipótesis.

Por otro lado, consideramos que para lograr trazos definidos como los observados en los motivos del sitio, no sólo se requirió una vasta gama de pinceles, sino que la preparación de las tintas influyó en su elaboración. Proponemos que para obtener estos resultados se necesitaron tintas espesas y aglutinantes que dieran cuerpo a las mezclas, asegurando su durabilidad. En primera instancia sugerimos la incorporación de aceites vegetales. Análisis paleoetnobotánicos en la Cueva de la Paloma (Viramontes, Jiménez y Medina 2023) y Guilá Naquitz (Smith 2009) muestran la presencia de plantas de las familias *Euphorbiaceae* y *Moraceae*, que se caracterizan como proveedoras de grasas, ceras y resinas. Estos pudieron utilizarse como aglutinantes, aportando consistencia y durabilidad a los pigmentos, los cuales, al degradarse, formaron oxalatos de calcio, correspondientes a los valores reportados en las pruebas de caracterización que se presentan más adelante.

Con el fin de analizar los distintos procesos de elaboración del arte rupestre, además de las diferencias iconográficas y la identificación macroscópica de los rasgos de producción, es importante la caracterización arqueométrica de los pigmentos a partir de dos técnicas complementarias: espectrometría de FRX y microespectroscopia Raman.

Figura 12. Detalle de producción de mano.



a) Detalle de delineado; b) desplazamiento de dedos y unión de dedo medio e índice; c) detalle de delineado y estarcido; en el círculo punteado: unión de dedo medio e índice. Fuente: elaboración de Claudia Jiménez Mu.

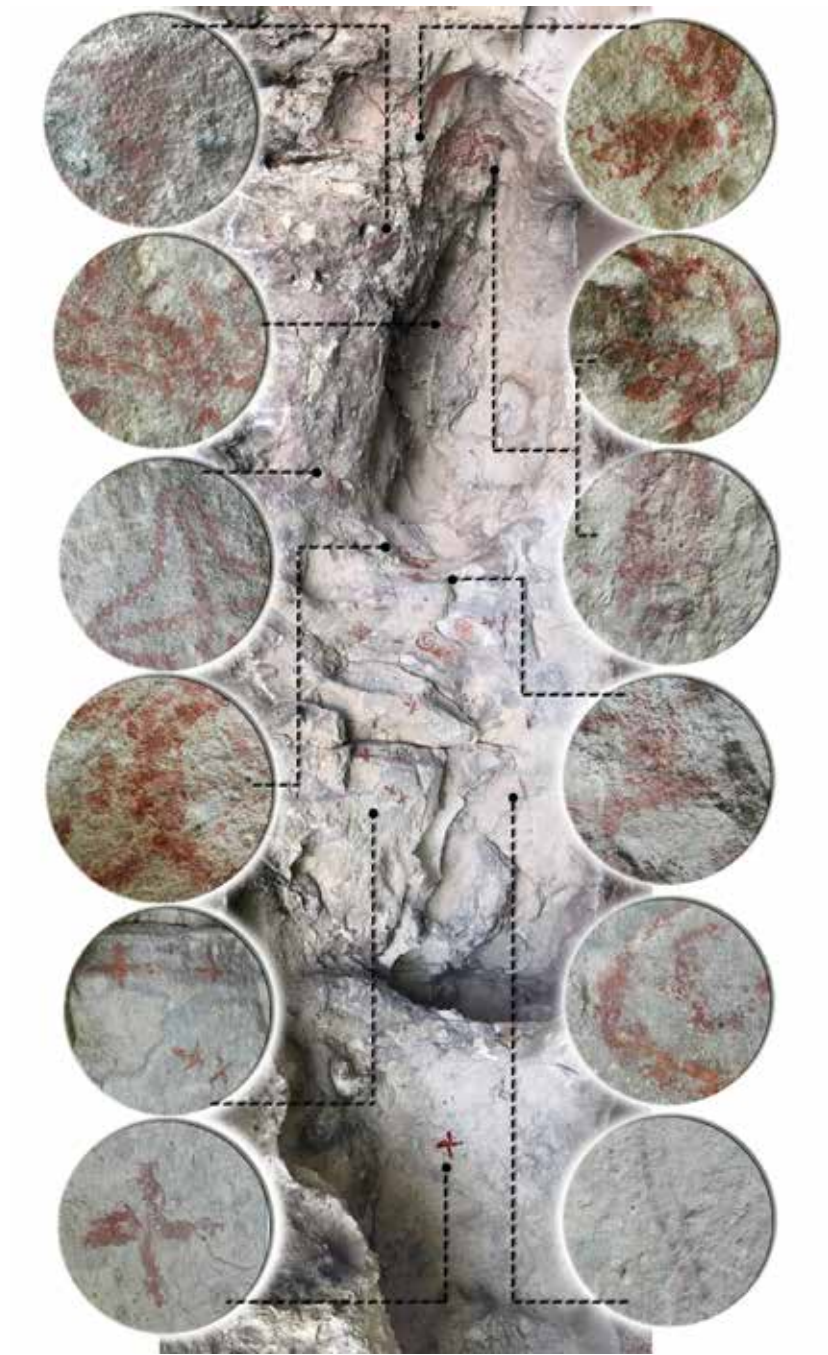
CARACTERIZACIÓN POR XRF

La espectrometría de fluorescencia de rayos X por energía dispersiva (EDXRF), es una técnica ampliamente utilizada para el estudio de materiales arqueológicos debido a su naturaleza no destructiva (Potts y West 2008; Shugar y Mass 2012; Juárez *et al.* 2018; López, Argote y Fačevićová 2018; Argote *et al.* 2020) y a la facilidad de realizar mediciones *in situ* sin previa preparación de las muestras. La aplicación de la técnica tuvo como objetivo identificar elementos químicos mayores y traza de interés con energía en los orbitales K y L, usando un instrumento portátil (pXRF) (Shackley 2010; Hunt y Speakman 2015; Scharlotta y Quach 2015). Esta técnica resulta particularmente útil para examinar componentes metálicos como el hierro (Fe) (Ferguson, Van Keuren y Bender 2015). Aunque no permite discriminar entre distintos estados de oxidación, como los que presentan diversos óxidos de hierro, sí identifica los elementos (con $Z > 11$) presentes en pigmentos y en otros compuestos. Los espectros originales, obtenidos mediante el instrumento pXRF en pinturas rupestres, ofrecen información combinada tanto de los pigmentos en la superficie como del soporte rocoso, debido a la profundidad de penetración de los rayos X (Tykot 2016). Por ello, medir el sustrato es esencial para diferenciar entre los elementos procedentes de la roca y los pigmentos aplicados intencionalmente (Donais y George 2012; Rifkin *et al.* 2016; Argote *et al.* 2020).

Para este estudio se utilizó un analizador portátil TRACER III-SD, fabricado por Bruker Corporation y suministrado por RAISA (Radiación Aplicada a la Industria, S.A. de C.V.). El equipo cuenta con un ánodo de rodio (RH) orientado en un ángulo de 52° , un detector de deriva de silicio (*silicon drift*) y una ventana de berilio (Be) de $7.5 \mu\text{m}$ en el detector. Una de las ventajas de este equipo es su capacidad para ajustar parámetros como voltaje, corriente, filtros y tiempo de medición. Para obtener resultados comparables en todas las mediciones de campo, el equipo se configuró con parámetros uniformes (Kaiser y Shugar 2012): voltaje de 40 kV, corriente de $11 \mu\text{A}$, filtro 300 mm de aluminio (Al) y 25 mm de titanio (Ti), y un tiempo de medición de 120 segundos. Estos parámetros son óptimos para analizar pigmentos de origen inorgánico. La profundidad de penetración de los rayos X, tomando en cuenta el soporte de roca silicatada con altos contenidos de carbonatos de calcio y óxidos de hierro (matriz con una densidad promedio de 2.6 g/cm^3), sobre cual se aplicó una energía de entrada inicial de 40 kV, es de entre 33 y 40 mm.

En laboratorio, los espectros fueron normalizados con respecto al pico de paladio para posteriormente aplicar la operación de sustracción. Utilizando el software Artax v. 7.4 (1991-2009 © Bruker Nano GmbH), fue posible realizar una operación matemática entre espectros para restar el efecto del soporte y obtener únicamente el espectro correspondiente al pigmento. La técnica pXRF, junto con el procesamiento de los espectros, permitió analizar las pinturas rupestres y obtener resultados significativos.

Figura 13. Ubicación de elementos analizados por XRF



Fuente: elaboración de Claudia Jiménez Mu.

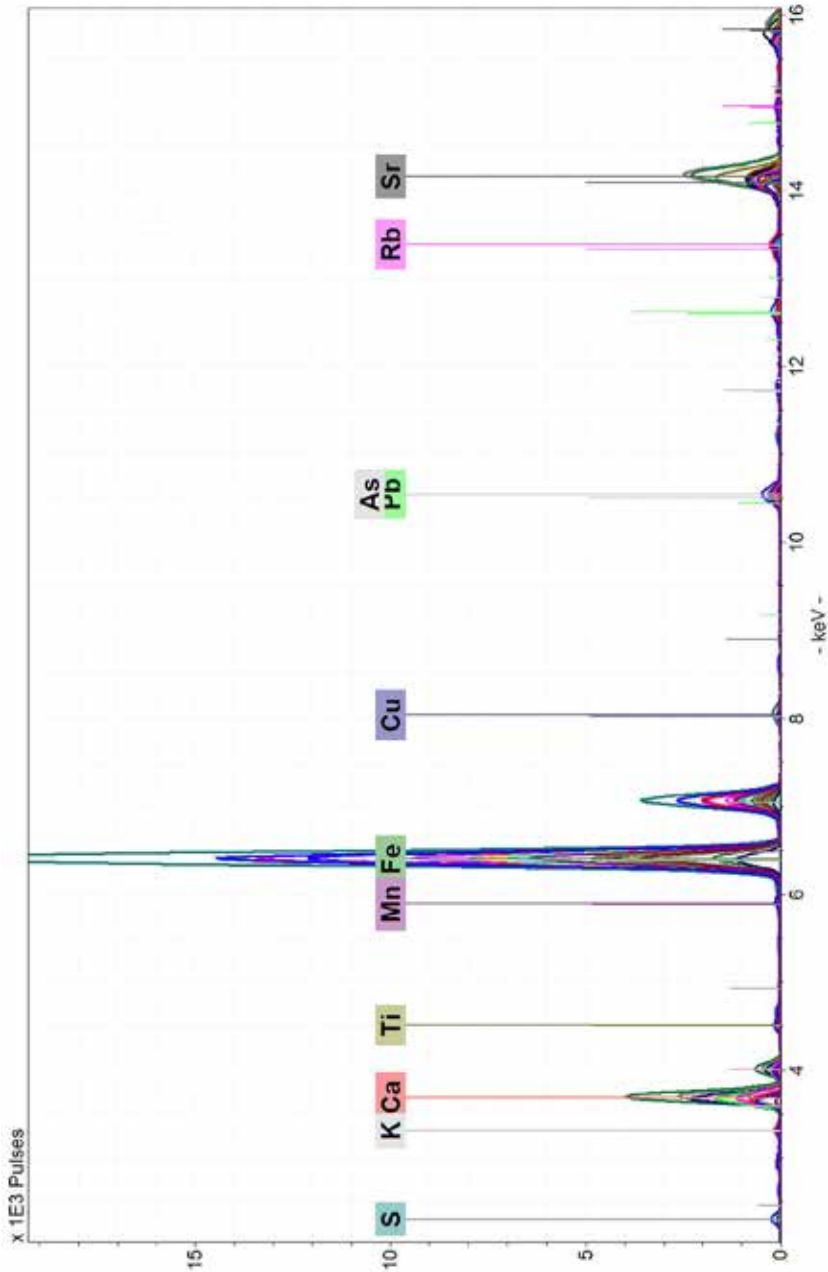
Se realizaron 23 mediciones en puntos específicos de diversos motivos pictóricos, con el propósito de cubrir distintas tonalidades de rojo y analizar eventos pictóricos variados que pudieran evidenciar superposiciones o diferencias crono-culturales. En función de la localización de los motivos pictóricos en el abrigo, se tomaron lecturas en seis de los siete grupos que conforman el conjunto pictórico (figura 13). Dado que la preservación de los pigmentos no era uniforme y su distribución no era regular en todos los elementos, se seleccionaron áreas con las concentraciones más significativas de materia prima y mejor conservación. También se tomaron mediciones en cinco puntos de la pared rocosa, asegurándose de que las áreas estuvieran libres de pigmento. Lo anterior con el fin de obtener datos representativos que permitieran distinguir entre la composición de la roca y la de los pigmentos.

En los espectros obtenidos (figura 14) se pudo observar que todos los motivos fueron pintados con óxidos de hierro y cantidades variables de calcio. Las trazas (dadas en una concentración menor al 0.1 %) de titanio y manganeso, asociadas con el hierro, podrían indicar la presencia de ilmenita o de limonita con mayor contenido de hematita. Estos hallazgos son coherentes con estudios previos en diversas regiones (Vázquez de Ágredos 2007; Koenig *et al.* 2014; Brook *et al.* 2018; Huntley *et al.* 2021; Sepúlveda 2021), que documentan el uso de minerales con óxidos/hidróxidos de hierro para elaborar pigmentos inorgánicos rojos desde tiempos prehistóricos, incluyendo la hematita, goethita, ferrihidrita [$5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$], ilmenita, lepidocrocita [$\gamma\text{-Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$] y limonita.

La hematita [$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$], un cristal del sistema hexagonal es un mineral muy común en materiales con hierro intemperizados (Anthony *et al.* 2001). Se compone en un 98 % de Fe_2O_3 y puede contener trazas de manganeso (Mn), titanio (Ti), aluminio (Al) y agua (H_2O). Sus colores varían desde rojo a café o púrpura oscuro (Koenig *et al.* 2014). Este mineral es altamente abundante y se encuentra en múltiples entornos geológicos: a) como mineral accesorio en rocas ígneas; b) sublimado en fases tardías de rocas volcánicas; c) en venas hidrotermales de alta temperatura; d) como producto del metamorfismo de contacto y en formaciones de hierro con bandas metamorfoseadas; e) como cementante común en rocas sedimentarias; f) un componente importante en formaciones de hierro oolítico; y g) en minerales erosionados con contenido de hierro (Anthony *et al.* 2001).

La limonita [$\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$] es un mineraloide compuesto principalmente de óxidos de hierro hidratados, asociados con la goetita, la ferrihidrita, la hematita y sulfuros de hierro, como la pirita. El color de la limonita depende del óxido de hierro predominante (presente en un contenido de 2 % o más de la roca): una mayor concentración de hematita aporta un tono rojizo, la ferrihidrita da lugar al color amarillo y la goetita al marrón. Además, la limonita contiene minerales arcillosos en un 30 %, como cuarzo [SiO_2], feldespatos potásicos y plagioclasas, todos ellos cementados por calcita. Estos minerales, adicionales, enriquecen la composición de la limonita con elementos como calcio, azufre, potasio, magnesio, titanio, aluminio, sodio, sílice y hierro en abundancia.

Figura 14. Espectros de XRF medidos sobre los elementos pictóricos de la Cueva de los Machines



Fuente: elaboración de Denisse Argote Espino.

Por su parte, la ilmenita [$\text{Fe}_2\text{+TiO}_3$] es un mineral opaco accesorio común diseminado en rocas ígneas y metamórficas de alto grado, encontrándose varias fuentes en los valles centrales de Oaxaca (Pires y Evans 1978). De color gris oscuro (casi negro) al café rojizo, este mineral está compuesto en ~52 % de TiO_2 y ~42 % de FeO , por lo que comúnmente se encuentra asociada con anatasa [TiO_2], mismo que se detectó con la espectroscopia Raman. La anatasa también está asociada con la hematita.

Otros elementos visibles en los espectros, como azufre, potasio, cobre, rubidio, arsénico y plomo (S, K, Cu, Rb, As y Pb), provienen de la roca local o de contaminación por exposición al ambiente. Según Garduño *et al.* (2020), la geología local presenta una sucesión estratigráfica de rocas basales e ignimbritas riolíticas. En la parte superior de esta secuencia se encuentran depósitos fluvio-lacustres fracturados, que incluyen capas de conglomerados, areniscas y arcillas, tal como se observa en los espectros (Ferrusquia *et al.* 1974). Estas unidades estratigráficas contienen cuarzo, plagioclasas y fenocristales de mica en una matriz vítrea. La formación de yeso (CaSO_4) en la superficie rocosa podría darse por efecto del intemperismo, lo que también explicaría la presencia de azufre.

Por su naturaleza, estos componentes minerales presentan altos contenidos de sílice (Si), sodio (Na), aluminio (Al), calcio (Ca) y hierro (Fe). La amplia distribución del estroncio se debe a la similitud de su radio iónico con el del calcio, lo que permite que el primero sustituya al segundo en los minerales. Aunque el silicio es un elemento mayor en este tipo de roca, su fluorescencia fue bloqueada por el filtro físico utilizado en el equipo, precisamente para evitar que su peso dominante distorsionara los espectros.

CARACTERIZACIÓN POR MICROESPECTROSCOPÍA RAMAN

Como se mencionó, aunque la técnica de XRF permite identificar los elementos presentes en las muestras, y a partir de ellos inferir el tipo de mineral, para discernir con precisión los minerales empleados como materia prima de los pigmentos es necesario aplicar técnicas analíticas complementarias, como la espectrometría Raman, la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) o la difracción de rayos X (DRX).

Se utilizó la microespectroscopía Raman para caracterizar dos pequeñas muestras de pigmento rojo de aproximadamente 2 mm^2 que estaban desprendiéndose del soporte rocoso (M3 perteneciente a la cruz del grupo 1; y M4 correspondiente al venado del grupo 4). Los pigmentos presentes en pinturas rupestres suelen estar compuestos por minerales cristalinos que se identifican con precisión mediante esta técnica. Esta espectroscopía permite la detección de las vibraciones de los enlaces moleculares presentes en el material y que son características de sus compuestos químicos. Como las bandas Raman son angostas, es posible distinguir la presencia de diversos minerales en una misma observación bajo un microscopio acoplado a un espectrómetro Raman.

El espectrómetro Raman empleado para analizar las muestras M3 y M4 fue un modelo Senterra de Bruker, equipado con un microscopio acoplado Olympus. La excitación se realizó con un láser de 785 nm, utilizando una potencia de 1 mW y un tiempo de integración de un segundo, con quince y treinta repeticiones por espectro, junto con un objetivo de 50X. El intervalo espectral analizado fue de 70 a 2600 cm^{-1} , con una resolución espectral de 3 cm^{-1} y una resolución espacial de 2 μm . Las mediciones, a través del microscopio, facilitan que la cantidad de material para hacer el análisis sea muy pequeña, del orden de algunos milímetros cuadrados, requiriendo poca o ninguna preparación, por lo que se considera una técnica no destructiva. Estas características hacen que la espectroscopia Raman resulte idónea para estudiar en general materiales recuperados de contextos arqueológicos y en particular para minerales, como los empleados en la elaboración de pinturas rupestres, que deben analizarse en cantidades mínimas, evitando su destrucción (Gomes *et al.* 2013; Mondragón *et al.* 2019).

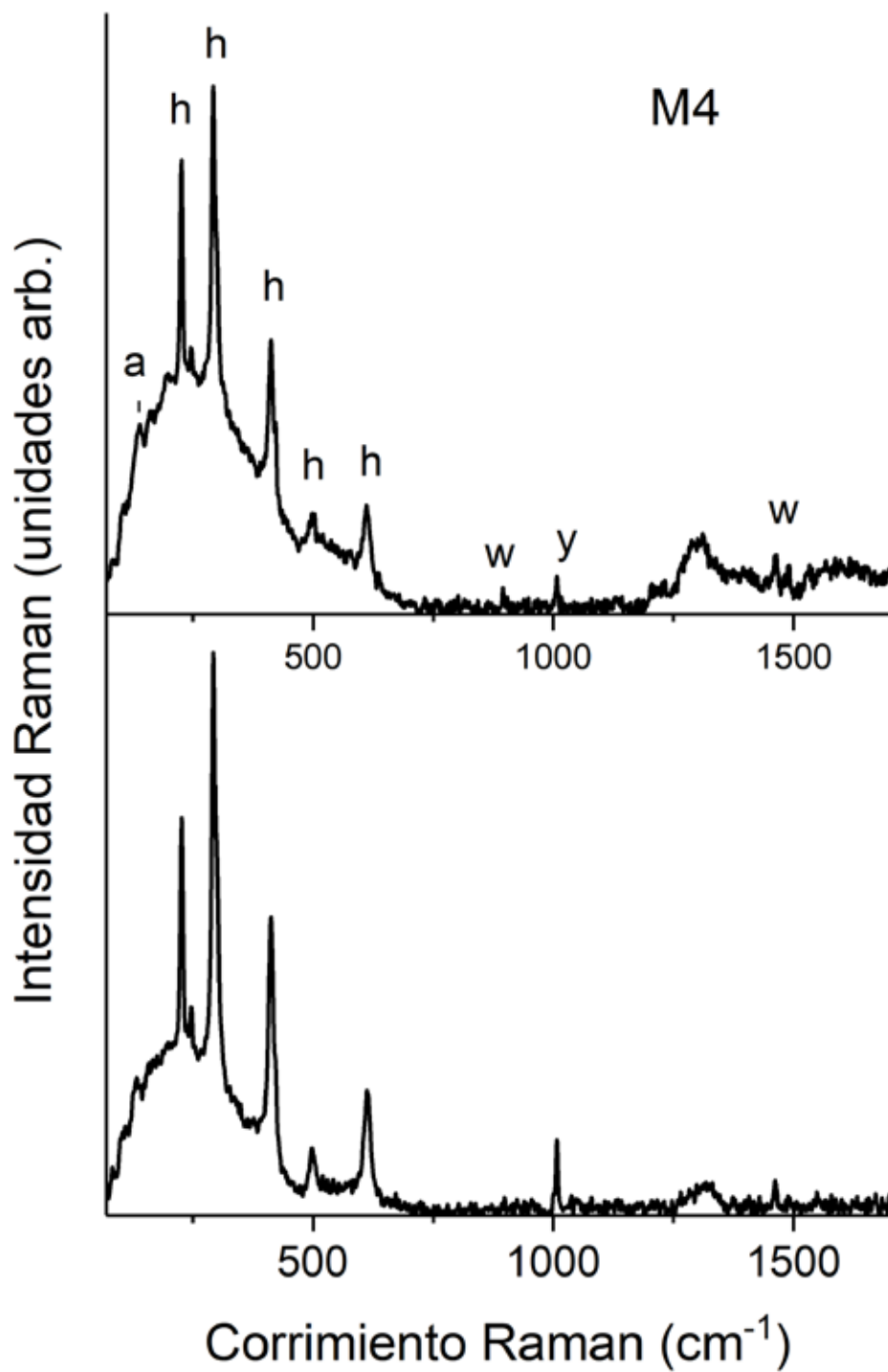
Dado que los pigmentos analizados presentaban una coloración roja, el microscopio se enfocó en áreas con partículas rojas para obtener sus espectros Raman. Se usó una baja potencia del láser para evitar la alteración de los óxidos de Fe, que pueden ser sensibles a potencias altas. Los espectros obtenidos indican claramente la presencia de hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), mineral responsable de la coloración roja en las muestras, a través de las bandas en 226, 246, 294, 407, 494 y 611 cm^{-1} (De Faria, Venancio y Tavares 1997; De Faria y Lopes 2007). El mineral anatasa (TiO_2) se identifica principalmente por su banda característica en 144 cm^{-1} , ya que sus otras bandas de menor intensidad no son perceptibles (Bersani y Lottici 2016); la anatasa es un mineral detrítico común que usualmente se encuentra en asociación con otros minerales como la ilmenita, la hematita, la magnetita y el cuarzo (Anthony *et al.* 2001). El yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) se identificó por su banda de mayor intensidad en 1008 cm^{-1} y otra en 1136 cm^{-1} (Tournie *et al.* 2011), estando presente como producto de la intemperización debido a la filtración de agua a través de las rocas (figura 15).

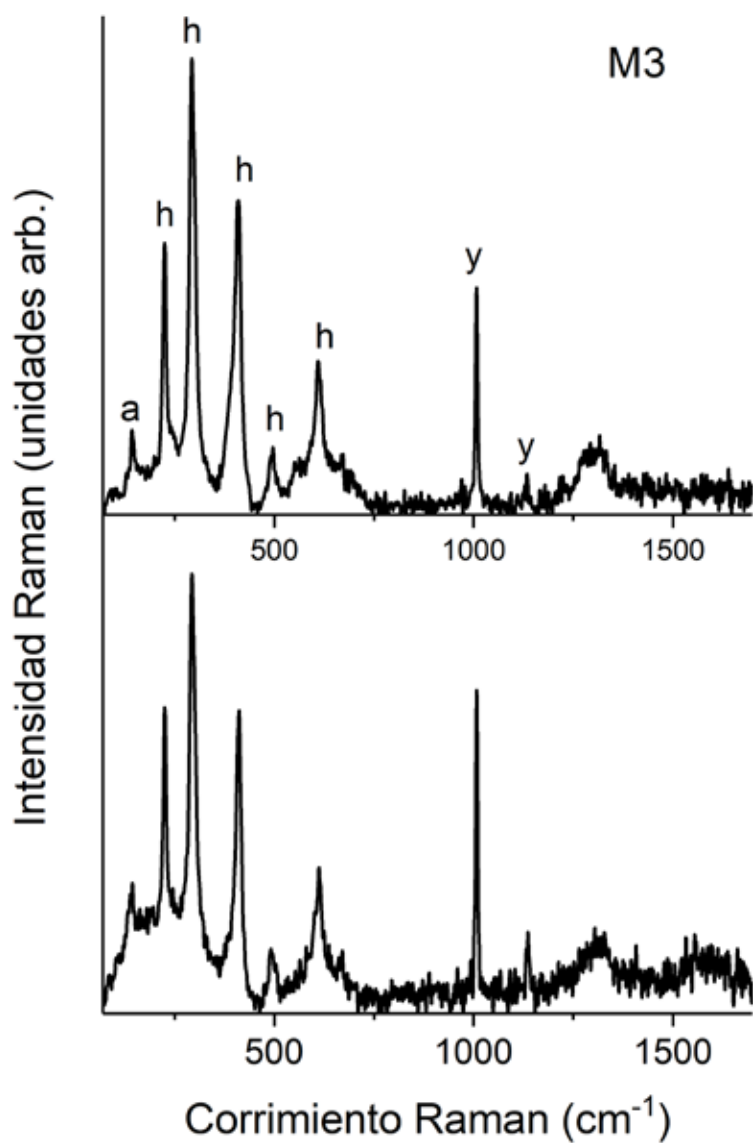
Finalmente, en la muestra M4 también se identificó oxalato de calcio monohidratado (whewellitita), con un doblete característico en 1463 y 1490 cm^{-1} , además de una banda en 895 cm^{-1} (Kontoyannis, Bouropoulos y Koutsoukos 1997) (figura 16). El oxalato de calcio puede tener un origen biológico o químico. Si es de origen biológico, podría estar asociado con el ácido láctico secretado por microorganismos como hongos, líquenes o bacterias al colonizar sustratos ricos en calcio. Si el origen es químico, podría provenir de la degradación de sustancias orgánicas utilizadas como aglutinantes para la adhesión de los pigmentos minerales a la roca.

CONCLUSIONES

El estudio del arte rupestre se ha beneficiado por el uso de nuevas tecnologías, donde no sólo la documentación ha mejorado a través de la incorporación de técnicas

Figuras 15 y 16. Espectros Raman de los pigmentos de Cueva de los Machines





M3 corresponde a la cruz del Grupo 1 (véase figura 6a) y M4 del venado del grupo 4 (véase figura 8). Fuente: elaboración de Antonieta Mondragón Sosa.

y formas de visualización, sino que la arqueometría nos permite realizar otro tipo de preguntas encaminadas a la comprensión de las sociedades del pasado desde diversos enfoques.

El análisis de la producción de los motivos permitió identificar cinco constantes tecnológicas interpretadas como posibles eventos pictóricos, aunque la ausencia de superposiciones nos limita a hacer inferencias sobre secuencias temporales. A pesar de lo anterior, es relevante mencionar aspectos como la simultaneidad del grupo de cruces, el atado y la mano al negativo; o la variabilidad de la gama cromática como un posible rasgo intencional para distinguir los discursos dentro de un mismo espacio o como resultado de la heterogeneidad de fuentes de captación. En cualquier caso, se advierte la elección de ciertos recursos minerales y orgánicos en la preparación de los pigmentos.

Los análisis por XRF y Raman confirman que la mayoría de los motivos pictóricos en tonos rojos son consistentes con el uso de pigmentos a base de óxidos de hierro, destacando la presencia de hematita [α -Fe₂O₃] y posiblemente el uso de ilmenita [Fe₂+TiO₃] —a juzgar por la presencia de anatasa— y limonita [FeO(OH)·nH₂O] en sus variedades rojizas. Estos minerales se encuentran disponibles en los valles centrales, aunque suelen ocurrir con mayor frecuencia en las zonas norte (Etna) y sur (Ocotlán) en asociación a unidades de gneis. Para el valle de Tlacolula hay dos zonas potenciales en las cercanías de Magdalena Teitipac (Pires 1975) que de acuerdo con la carta geológico-minera (Zaachila E14-12) están cercanas a un basamento metamórfico, además de existir múltiples zonas de mineralización de origen hidrotermal donde podrían ocurrir tanto hematitas como limonitas en posiciones más cercanas a la Cueva de los Machines.

Con relación a las concentraciones de calcio, aunque éstas pueden corresponder a la degradación de compuestos orgánicos, probablemente incorporados en las tintas como aglutinantes (es decir, oxalatos de calcio) o bien, a depósitos ocasionados por intemperismo de la roca (es decir, yeso), también es posible que se agregara exprofeso para modificar la tonalidad del pigmento rojo.

La identificación de variaciones en los componentes dentro de los mismos grupos pictóricos, e incluso en los mismos elementos, sugiere que los productores del arte rupestre de la Cueva de los Machines no usaban un solo tipo de mineral (como hematita o ilmenita), sino que pudieron mezclar otras materias primas para crear tonalidades distintas.

En estos momentos no formularemos interpretaciones relacionadas con el significado o la intención de la gráfica representada en la Cueva de los Machines. Para tal fin es fundamental analizar los sitios de arte rupestre del valle en su conjunto, con el objetivo de identificar constantes, categorizar estilos, cuantificar los motivos y correlacionar los datos con su propio contexto histórico cultural, que es un trabajo actualmente en proceso.

Sin embargo, quisiéramos concluir con el planteamiento de algunas hipótesis en torno a la posible temporalidad y filiación cultural del arte rupestre de los

valles centrales. El Posclásico es uno de los periodos más complejos en el valle de Oaxaca, evidenciados por diferentes acontecimientos inferidos a partir del dato arqueológico, los códices y las fuentes etnohistóricas. Durante las fases Lyobaa (850-1200 d. C.) y Chila (1200-1521 d. C.) la región alcanzó su mayor crecimiento demográfico con una población estimada en 170 000 habitantes, distribuidos en cerca de 2 500 sitios. El estudio de patrón de asentamiento (Kowalewski *et al.* 1989) demuestra que el valle estaba dividido políticamente en diferentes territorios conformados por un centro urbano y una serie de comunidades que dependían de dicha ciudad (*queche*). En el brazo de Tlacolula se han registrado cerca de 900 sitios, entre los que destacan Macuilxóchitl, Yagul y Mitla.

Mitla era el centro político, económico y religioso para una comunidad de casi diez mil habitantes en un territorio de 20 km²; mientras que Yagul pudo estar habitado por más de seis mil personas y su influencia debió extenderse sobre un radio de 5 km (Flannery 2003b; Flannery y Marcus 2003). Dado que la mayoría de los sitios con pintura y petrograbado se encuentran entre ambos asentamientos, planteamos que el arte rupestre fue un fenómeno asociado principalmente al Posclásico (Robles 2016) y que constituye un rasgo cultural de la sociedad zapoteca del valle de Tlacolula. Por tanto, la gráfica plasmada en la Cueva de los Machines probablemente corresponde a múltiples eventos asociados a este periodo, aunque no descartamos que haya pintura vinculada a fases más antiguas.

Si bien hasta el momento no hemos podido recuperar muestras de pigmento orgánico factibles de datar por método cronométricos, en diferentes sitios con arte rupestre del valle de Tlacolula (por ejemplo, Cerro Danush, Caballito Blanco, Cueva de la Calavera) se han registrado glifos calendáricos nominativos, acompañados de numerales, en los que se utiliza el sistema de barras y puntos. No obstante, también hay algunos casos en los que se emplea únicamente el sistema de puntos, característico del Posclásico.

Es importante mencionar el posible vínculo entre el arte rupestre del valle de Tlacolula con el del Istmo de Tehuantepec. Con la migración de grupos zapotecos, desde los valles centrales en el Posclásico tardío, se configuró un nuevo paisaje cultural en el sur del Istmo. Estas poblaciones zapotecas resignificaron el territorio a través de diferentes expresiones culturales, entre las cuales se incluye la producción de arte rupestre (Berrojalbiz 2025), que en ciertos casos guarda algunos paralelismos con la pintura y el petrograbado del valle de Oaxaca.

En el futuro continuaremos trabajando con la información obtenida por el PAROCPVO, buscando comprender el arte rupestre en términos económicos, funcionales y simbólicos en el paisaje cultural del valle de Tlacolula durante la época prehispánica. Actualmente nos encontramos trabajando con la información obtenida hasta el momento en el marco del PAROCPVO, buscando comprender el arte rupestre en términos económicos, funcionales y simbólicos en el paisaje cultural del valle de Tlacolula durante la época prehispánica.

REFERENCIAS

- ANTHONY, John W., Richard A. Bideux, Kenneth W. Bladh y Monte C. Nichols. 2001. *Handbook of Mineralogy*. Chantilly: Mineral Data Publishing.
- ARGOTE ESPINO, Denisse L., Gloria Torres, Genoveva Hernández-Padrón, Verónica Ortega, Pedro A. López-García y Víctor M. Castaño. 2020. "Cinnabar, Hematite and Gypsum Presence in Mural Paintings in Teotihuacan, Mexico". *Journal of Archaeological Sciences: Reports*, 32: 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102375>.
- BERNAL, Ignacio y Lorenzo Gamio. 1974. *Yagul. El palacio de los seis patios*. México: UNAM.
- BERROJALBIZ, Fernando. 2025. "El paisaje zapoteco del Istmo de Tehuantepec a través del arte rupestre". *Arqueología Mexicana* XXX (191): 56-63.
- BERSANI, Danilo y Pier Paolo Lottici. 2016. "Raman Spectroscopy of Minerals and Mineral Pigments in Archaeometry". *Journal of Raman Spectroscopy* 47 (5): 499-530. <https://doi.org/10.1002/jrs.4914>.
- BLANTON, Richard E., Stephen A. Kowalewski, Gary M. Feinman y Jill Appel. 1982. *Monte Alban's Hinterland, Part I: The Prehispanic Settlement Patterns of the Central and Southern Parts of the Valley of Oaxaca, Mexico*. Ann Arbor: University of Michigan Press.
- BROOK, George K., Nora V. Franco, Alexander Cherkinsky, Agustín Acevedo, Dánae Fiore, Timothy R. Pope, Richard D. Weimar III, Gregory Neher, Hayden A. Evans y Tina T. Salguero. 2018. "Pigments, Binders, and Ages of Rock Art at Viuda Quenzana, Santa Cruz, Patagonia (Argentina)". *Journal of Archaeological Science: Reports*, 21: 47-63. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.01.004>.
- CASO, Alfonso, Ignacio Bernal y Jorge Acosta. 1967. *La cerámica de Monte Albán*. México: INAH.
- DE FARIA, Dalva L.A., Sérgio Venancio da Silva y Marcelo Tavares de Oliveira. 1997. "Raman microspectroscopy of some iron oxides and oxyhydroxides". *Journal of Raman Spectroscopy* 28 (11): 873-878. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4555\(199711\)28:11<873:AID-JRS177>3.0.CO;2-B](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4555(199711)28:11<873:AID-JRS177>3.0.CO;2-B).
- DE FARIA, Dalva L.A. y Francisco N. Lopes. 2007. "Heated Goethite and Natural Hematite: Can Raman Spectroscopy Be Used to Differentiate Them?" *Vibrational Spectroscopy* 45 (2): 117-121. <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2007.07.003>.
- DONAIS, Mary K. y David B. George. 2012. "Using Handheld XRF to Aid in Phasing, Locus Comparisons, and Material Homogeneity Assessment at an Archaeological Excavation". En *Studies in Archaeological Sciences: Handheld XRF for Art and Archaeology*, edición de Aaron N. Shugar y Jennifer L. Mass, 349-378. Lovaina: Leuven University Press.

- ERICKSON, David L., Bruce D. Smith, Andrew C. Clarke, Daniel H. Sandweiss y Noreen Tuross. 2005. "An Asian Origin for a 10,000-year-old Domesticated Plant in the Americas". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 102 (51): 18315-18320. Consultado el 2 de diciembre de 2025. <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.0509279102>.
- FERGUSON, Jeffrey R., Scott van Keuren y Shilo Bender. 2015. "Rapid Qualitative Compositional Analysis of Ceramic Paints". *Journal of Archaeological Science: Reports*, 3: 321-327. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2015.06.027>.
- FERRUSQUIA-VILAFRANCA, Ismael, John A. Wilson, Roger E. Denison, Fred McDowell y José Solorio-Munguía. 1974. "Tres edades radiométricas oligocénicas y miocénicas de rocas volcánicas de las regiones de la Mixteca Alta y Valle de Oaxaca, Estado de Oaxaca". *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 26: 249-262.
- FINSTEN, Laura, Kent V. Flannery y Barbara Macnider. 1989. "Preceramic and Cave Occupations". En *Monte Albán's Hinterland, Part II: Prehispanic Settlement Patterns in Tlacolula, Etla, and Ocotlan, The Valley of Oaxaca*, Stephen A. Kowalewski, Gary M. Feinman, Laura Finsten, Richard E. Blanton y Linda M. Nicholas, 39-53. Ann Arbor: University of Michigan Press.
- FLANNERY, Kent V. 2003a. "Tentative Chronological Phases for the Oaxaca Preceramic". En *The Cloud People. Divergent Evolution of the Zapotec and Mixtec Civilizations*, edición de Kent V. Flannery y Joyce Marcus, 18-20. Nueva York: Percheron Press.
- FLANNERY, Kent V. 2003b. "Major Monte Albán V Sites: Zaachila, Xoxocotlán, Cuilapan, Yagul and Abasolo". En *The Cloud People. Divergent Evolution of the Zapotec and Mixtec Civilizations*, edición de Kent V. Flannery y Joyce Marcus, 290-295. Nueva York: Percheron Press.
- FLANNERY, Kent V. 2009a. *Guilá Naquitz. Archaic Foraging and Early Agriculture in Oaxaca, Mexico*. Edición actualizada. Walnut Creek: Left Coast Press.
- FLANNERY, Kent V. 2009b. "Foreword to the Updated Edition". En *Guilá Naquitz. Archaic Foraging and Early Agriculture in Oaxaca, Mexico*, edición de Kent V. Flannery, xix-xxii. Edición actualizada. Walnut Creek: Left Coast Press.
- FLANNERY, Kent V. 2019a. "The Discovery of Cueva Blanca". En *Cueva Blanca: Social Change in the Archaic of the Valley of Oaxaca*, Kent V. Flannery y Frank Hole, 14-25. Ann Arbor: University of Michigan Press.
- FLANNERY, Kent V. 2019b. "The Radiocarbon Dates from Cueva Blanca". En *Cueva Blanca: Social Change in the Archaic of the Valley of Oaxaca*, edición de Kent V. Flannery y Frank Hole, 52-55. Ann Arbor: University of Michigan Press.
- FLANNERY, Kent V. y Frank Hole. 2019a. *Cueva Blanca: Social Change in the Archaic of the Valley of Oaxaca*. Ann Arbor: University of Michigan Press.
- FLANNERY, Kent V. y Frank Hole. 2019b. "The Place of Cueva Blanca in Oaxaca's Archaic Sequence". En *Cueva Blanca: Social Change in the Archaic of the Valley of Oaxaca*, Kent V. Flannery y Frank Hole, 197-201. Ann Arbor: University of Michigan Press.

- FLANNERY, Kent V. y Joyce Marcus. 2003. "Urban Mitla and Its Rural Hinterland". En *The Cloud People. Divergent Evolution of the Zapotec and Mixtec Civilizations*, edición de Kent V. Flannery y Joyce Marcus, 295-300. Nueva York: Percheron Press.
- GARDUÑO-MONROY, Víctor H., José Luis Macías, Stefano Morelli, Ángel Figueroa-Soto, Alejandro Ruiz-Figueroa, Jasinto Robles-Camacho y Verónica Pazzi. 2020. "Landslide Impact on the Archaeological Site of Mitla, Oaxaca". *Geoarchaeology* 35 (5): 644-658. <https://doi.org/10.1002/gea.21790>.
- GOMES, Hugo, Pierluigi Rosina, Parviz Holakoei, Tadele Solomon y Carmela Vaccaro. 2013. "Identification of Pigments Used in Rock Art Paintings in Gode Roriso-Ethiopia Using Micro-Raman Spectroscopy". *Journal of Archaeological Sciences* 40 (11): 4073-4082. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.04.017>.
- GRADIN, Carlos J. 1988. "Caracterización de las tendencias estilísticas del arte rupestre de la Patagonia (provincias de Río Negro, Chubut y Santa Cruz, República de Argentina)". En *Contribuciones al estudio del arte rupestre sudamericano*, 54-67. La Paz: Sociedad de Investigación de Arte Rupestre en Bolivia.
- HERMANN LEJARAZU, Manuel. 2009. "La serpiente de fuego o *yahui* en la Mixteca prehispánica: iconografía y significado". *Anales del Museo de América* XVII: 64-77. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3659823>.
- HOLE, Frank y Kent V. Flannery. 2024. *Gheo-Shih: An Archaic Macroband Camp in the Valley of Oaxaca*. Ann Arbor: University of Michigan Press.
- HUNT, Alice M. W. y Robert J. Speakman. 2015. "Portable XRF Analysis of Archaeological Sediments and Ceramics". *Journal of Archaeological Science*, 53: 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.11.031>.
- HUNTLEY, Jillian, Lynley A. Wallis, Birgitta Stephenson, Karlka Nyiyaparli Aboriginal Corporation y Annabelle Davis. 2021. "A Multi-Technique Approach to Contextualizing Painted Rock Art in the Central Pilbara of Western Australia: Integrating In-Field and Laboratory Methods". *Quaternary International*, 572: 52-73. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.05.032>.
- JUÁREZ-RODRÍGUEZ, Octavio, Denisse Argote-Espino, Marco Santos-Ramírez y Pedro López-García. 2018. "Portable XRF Analysis for the Identification of Raw Materials of the Red Jaguar Sculpture in Chichén Itzá, Mexico". *Quaternary International*, 483: 148-159. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.09.012>.
- KAISER, Bruce y Aaron N. Shugar. 2012. "Glass Analysis Utilizing Handheld X-ray Fluorescence". En *Studies in Archaeological Sciences: Handheld XRF for Art and Archaeology*, edición de Aaron N. Shugar y Jennifer L. Mass, 449-470. Lovaina: Leuven University Press.
- KOENIG, Charles W., Amanda M. Castañeda, Carolyn E. Boyd, Marvin W. Rowe y Karen L. Steelman. 2014. "Portable X-Ray Fluorescence Spectroscopy of Pictographs: A Case Study from the Lower Pecos Canyonlands, Texas". *Archaeometry*, 56: 168-186. <https://doi.org/10.1111/arcm.12060>.

- KONTOYANNIS, Christos G., Nikolaos C. Bouropoulos y Petros G. Koutsoukos. 1997. "Raman Spectroscopy: A Tool for the Quantitative Analysis of Mineral Components of Solid Mixtures. The Case of Calcium Oxalate Monohydrate and Hydroxyapatite". *Vibrational Spectroscopy* 15 (1): 53-60. [https://doi.org/10.1016/S0924-2031\(97\)00025-8](https://doi.org/10.1016/S0924-2031(97)00025-8).
- KOWALEWSKI, Stephen A., Gary M. Feinman, Laura Finsten, Richard E. Blanton y Linda M. Nicholas. 1989. *Monte Albán's Hinterland, Part II: The Prehispanic Settlement Patterns in Tlacolula, Etla, and Ocotlan, the Valley of Oaxaca, Mexico*. Ann Arbor: University of Michigan Press.
- LÓPEZ GARCÍA, Pedro, Denisse Argote Espino y Kamila Fačevićová. 2018. "Statistical Processing of Compositional Data. The Case of Ceramic Samples from the Archaeological Site of Xalasco, Tlaxcala, Mexico". *Journal of Archaeological Sciences: Reports*, 19: 100-114. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.02.023>.
- MARCUS, J. y Flannery, K. V. 2007. "El fechamiento por radiocarbono de edificios públicos y de rasgos rituales en el antiguo Valle de Oaxaca". Informe presentado a la Foundation for the Advancement of Mesoamerican Studies.
- MARTÍNEZ-SERRANO, Raymundo G., Gabriela Solís-Pichardo, Leticia Flores-Márquez, Consuelo Macías-Romo y Jaime Delgado-Durán, J. 2008. "Geochemical and Sr-Nd Isotopic Characterization of the Miocene Volcanic Events in the Sierra Madre del Sur, Central and Southeastern Oaxaca, Mexico". *Revista mexicana de ciencias geológicas* 25 (1): 1-20.
- MARTÍNEZ TUÑÓN, Antonio. 2012. "Del paisaje al territorio. La construcción social de un espacio de Patrimonio Mundial en el valle de Tlacolula, Oaxaca". Tesis de maestría en Geografía Humana. COLMICH. <https://colmich.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1016/516>.
- MONDRAGÓN, María Antonieta, Genoveva Hernández-Padrón, Corina Solís Rosales, Alicia del Real López, Regina Trespalacios-Quijano, Claudia Jiménez-Mu y Carlos Viramontes Anzures. 2019. "Multianalytical Characterization of Pigments from Rock Paintings in Guanajuato, Central México". *Journal of Archaeological Science: Reports*, 26, 101912. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2019.101912>.
- PADDOCK, John. 1955. "The First Three Seasons at Yagul". *Mesoamerican Notes*, 4: 25-47.
- PACHECO ARIAS, Leobardo. 2017. "Las vasijas efígie zapotecas de Atzompa, Oaxaca: manufactura e imagería del periodo Clásico tardío". Tesis de licenciatura en Arqueología. UDLAP.
- PIPERNO, Dolores y Kent V. Flannery. 2001. "The Earliest Archaeological Maize (*Zea Mays* L.) from the Highland Mexico: New Accelerator Mass Spectrometry Dates and their Implications". *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, 98 (4): 2101-2103. <https://doi.org/10.1073/pnas.98.4.2101>.

- PIPERNO, DOLORES, ANTHONY J. RANERE, IRENE HOLST, JOSÉ IRIARTE, Y RUTH DICKAU. 2009. "Starch Grain and Phytolith Evidence for Early Ninth Millennium B.P. Maize from the Central Balsas River Valley, Mexico". *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, 106 (13): 5019-5024. <https://doi.org/10.1073/pnas.0812525106>.
- PIRES-FERREIRA, Jane W. 1975. *Formative Mesoamerican Exchange Networks with Special Reference to the Valley of Oaxaca*. Ann Arbor: University of Michigan Press.
- PIRES-FERREIRA, Jane W. y Billie Joe Evans. 1978. "Mössbauer Spectral Analysis of Olmec Iron Ore Mirrors: New Evidence of Formative Period Exchange Networks in Mesoamerica". En *Cultural Continuity in Mesoamerica*, edición de David L. Browman, 101-154. Cambridge: Mouton Publishers.
- POTTS, Philip J. y Margaret West. 2008. *Portable X-ray Fluorescence Spectrometry: Capabilities for In Situ Analysis*. Cambridge: Royal Society in Chemistry Publishing.
- RIFKIN, Riaan F, Linda C. Prinsloo, Laure Dayet, Magnus M. Haaland, Christopher S. Henshilwood, Enrique Lozano Diz, Stanley Moyo, Ralf Vogeslang y Fousy Kambombo. 2016. "Characterising Pigments on 30 000-year-old Portable Art from Apollo 11 Cave, Karas Region, Southern Namibia". *Journal of Archaeological Science: Reports*, 5: 336-347. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2015.11.028>.
- RÍOS ALLIER, J. 2021. "Cuevas prehistóricas de Yagul y Mitla, un acercamiento a su arte rupestre". En *Retos y perspectivas del arte rupestre en México*, coordinación de María del Pilar Casado López, M. y Lorena Mirambell Silva, 525-548. México: INAH.
- ROBLES GARCÍA, Nelly M. 2016. *Mitla: su desarrollo cultural e importancia regional*. México: FCE-COLMEX.
- ROBLES GARCÍA, Nelly M. y Antonio Martínez Tuñón. 2011. "Paisajes prehistóricos en Oaxaca. Avances en la investigación de las Cuevas Prehistóricas de Yagul y Mitla". En *Monte Albán en la encrucijada regional y disciplinaria. Memoria de la Quinta Mesa Redonda de Monte Albán*, edición de Nelly M. Robles García e Iván A. Rivera Guzmán, 93-117. México: INAH.
- SCHARLOTTA, Ian y Tony T. Quach. 2015. "Provenance Analysis of Porphyritic Volcanic Materials in San Diego Using Portable X-Ray Fluorescence". *Journal of Archaeological Science: Reports*, 3: 285-294. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2015.06.024>.
- SCHÁVELZON, Daniel. 2009. "Caballito Blanco Mound O, Oaxaca, Mexico: A New Plan". *Archaeoastronomy*, XXII: 131-138.
- SEPÚLVEDA, Marcela. 2021. "Making Visible the Invisible. A Microarchaeology Approach and an Archaeology of Color Perspective for Rock Art Paintings from the Southern Cone of South America". *Quaternary International*, 572: 5-23. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.05.031>.

- SHACKLEY, Michael S. 2010. "Is There Reliability and Validity in Portable X-Ray Fluorescence Spectrometry (PXRF)?" *The SAA Archaeological Record* 10 (5): 17-20.
- SHUGAR, Aaron N. y Jennifer L. Mass. 2012. *Studies in Archaeological Sciences. Handheld XRF for Art and Archaeology*. Lovaina: Leuven University Press.
- SMITH, Bruce D. 1997. "The Initial Domestication of *Cucurbita pepo* in the Americas 10,000 Years Ago". *Science*, 276 (5314): 932-934. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.276.5314.932>.
- SMITH, C. Earle. 2009. "Preceramic Plant Remains from Guilá Naquitz". En *Guilá Naquitz. Archaic Foraging and Early Agriculture in Oaxaca, Mexico*, edición de Kent V. Flannery, 265-274. Edición actualizada. Walnut Creek: Left Coast Press.
- TOURNIÉ, Aurelié, Linda C. Prinsloo, Céline Paris, Philippe Colomban y Benjamin Smith. 2011. "The First *In Situ* Raman Spectroscopic Study of San Rock Art in South Africa: Procedures and Preliminary Results". *Journal of Raman Spectroscopy* 42 (3): 399-406. <https://doi.org/10.1002/jrs.2682>.
- TYKOT, Robert H. 2016. "Using Nondestructive Portable X-ray Fluorescence Spectrometers on Stone, Ceramics, Metals, and Other Materials in Museums: advantages and Limitations". *Applied Spectroscopy* 70 (1): 42-56. <https://doi.org/10.1177/0003702815616745>.
- VÁZQUEZ DE ÁGREDOS PASCUAL, María Luisa. 2007. "Los colores y las técnicas de la pintura mural maya". *Anales del Museo de América*, 15: 55-66. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2570736>.
- VIRAMONTES ANZURES, Carlos y María M. García Espino. 2020. "Propuesta para el registro y documentación del arte rupestre en el centro norte de México". En *Patrimonio, registro y documentación en los estudios arqueológicos de Mesoamérica*, coordinación de Chloé Pomedio, 157-180. Guadalajara: UDG.
- VIRAMONTES ANZURES, Carlos, Claudia Jiménez Mu y Jesús E. Medina Villalobos. 2022. "Proyecto arqueológico Paisaje, arte rupestre y ocupación de las cuevas prehistóricas del valle de Oaxaca, informe técnico, etapa 1". Archivo técnico de la Coordinación Nacional de Arqueología. México: INAH-CONACYT.
- VIRAMONTES ANZURES, Carlos, Claudia Jiménez Mu y Jesús E. Medina Villalobos. 2023. "Proyecto arqueológico Paisaje, arte rupestre y ocupación de las cuevas prehistóricas del valle de Oaxaca, informe técnico, etapa 2". Archivo técnico de la Coordinación Nacional de Arqueología. México: INAH-CONACYT.
- VIRAMONTES ANZURES, Carlos, Alma Vega Barbosa, Claudia Jiménez Mu y Jesús E. Medina Villalobos. 2024. "Proyecto arqueológico Paisaje, arte rupestre y ocupación de las cuevas prehistóricas del valle de Oaxaca, informe técnico, temporada 2023". Archivo técnico de la Coordinación Nacional de Arqueología. México: INAH-CONACYT.

- WINTER, Marcus. 2014. "La prehistoria en Oaxaca. Avances recientes". En *Perspectivas de los estudios de prehistoria en México: un homenaje a la trayectoria del ingeniero Joaquín García-Bárcena*, coordinación de Eduardo Corona Martínez y Joaquín Arroyo Cabrales, 123-141. México: INAH.
- WINTER, Marcus y Teresa Alarcón. 2021. "The Preceramic in Oaxaca". En *Preceramic Mesoamerica*, edición de Jon C. Lohse, Aleksander Borejsza y Arthur A. Joyce, 304-327. Nueva York: Routledge.