

**Título del Proyecto  
de Investigación a que corresponde el Reporte Técnico:**

Identificación de técnicas constructivas de los conjuntos  
habitacionales prehispánicos del Valle de las Cuevas

**Tipo de financiamiento**

Sin financiamiento

Autores del reporte técnico:

Yuko Kita

# Informe Final: Identificación de técnicas constructivas de los conjuntos habitacionales prehispánicos del Valle de las Cuevas

## **Resumen del reporte técnico en español** (máximo 250 palabras):

Este proyecto tiene como el fin identificar técnicas constructivas de los conjuntos habitacionales prehispánicos del Valle de las Cuevas, consistiendo la primera etapa del proyecto a largo plazo para la preservación y conservación de la zona arqueológica. Se aplicarán dos líneas de estudio para lograr el objetivo general: A. Documentación digital tridimensional de las estructuras prehispánicas mediante fotogrametría (SfM); B. Caracterización de los materiales de las construcciones prehispánicas de tierra en los sitios arqueológicos de Paquimé, Arroyo Seco y Cueva de la Olla, mediante granulometría, petrografía de láminas delgadas, difracción de rayos X (DRX), y fluorescencia de rayos X (FRX). Las pruebas del método SfM aplicadas a cinco cuevas con diferentes condiciones han comprobado el beneficio del uso de esta técnica para levantamiento arquitectónico en caverna. Los análisis para caracterizar los materiales apuntan particularidades del suelo utilizado para la construcción de cada sitio arqueológico y por el análisis estadístico se pudo lograr a conocer posible banco de materiales para cada sitio.

## **Resumen del reporte técnico en inglés** (máximo 250 palabras):

The purpose of this project is to identify construction techniques of the pre-Columbian dwelling complexes of *Valle de las Cuevas*, which is the first stage of a long-term project for the preservation and conservation of the archaeological zone. Two study approaches will be applied to achieve the main research purpose: A. Three-dimensional digital documentation of the pre-Columbian structures by photogrammetry (SfM); B. Characterization of the pre-Columbian earthen construction materials in the archaeological sites of *Paquimé*, *Arroyo Seco* and *Cueva de la Olla*, by granulometry, thin-section petrography, X-ray diffraction (XRD), and X-ray fluorescence (XRF). Tests of the SfM method applied to five caves with different conditions have proven the benefit of using this technique for architectural cave surveying. The analyses to characterize the materials pointed out particularities of the soil used for the construction of each archaeological site and the statistical analysis made it possible to know the potential material source for each site.

## **Palabras clave:**

documentación digital, estructuras arqueológicas en cuevas, caracterización de materiales, técnicas constructivas de tierra

## **Usuarios potenciales** (del proyecto de investigación):

Investigadores, profesores y estudiantes, especialmente en el área de estudio de Humanidades y Ciencias de la Conducta, del nivel local, regional, nacional e internacional.

## **Reconocimientos** (agradecimientos a la institución, estudiantes que colaboraron, instituciones que apoyaron a la realización del proyecto, etc.):

Este proyecto se ha ejercido con el permiso del Consejo de Arqueología del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) con el aval, el arqueólogo Eduardo Gamboa Carrera (INAH Chihuahua), bajo custodia del sitio por los señores Ramiro Nevares (INAH Chihuahua) y Ramiro López (INAH Chihuahua).

Las preparaciones de muestras y sus análisis se han realizado en el Laboratorio de Patrimonio Arquitectónico del Instituto de Arquitectura, Diseño y Arte (IADA), así como en el Laboratorio de Materiales y el Laboratorio de Geología del Instituto de Ingeniería y Tecnología (IIT) de la UACJ.

El M. en C. Sergio Alvarado Soto (IIT-UACJ) ha colaborado para el levantamiento arquitectónico en campo con el equipo de Estación Total (IIT-UACJ). El Dr. Miguel Domínguez Acosta (IIT-UACJ) asesoró el análisis granulométrico por el método combinado de tamizado y sedimentación. El Dr. Aldo Izaguirre Pompa realizó y asesoró los análisis mineralógico y micromorfológico. Las Ingenieras Montserrat Hernández y Edna Villalobos, técnicos del Laboratorio de Geología del IIT-UACJ, han apoyado los procesos de análisis para caracterización de materiales. Las alumnas de la Licenciatura en Arquitectura del IADA-UACJ, Angélica Nohemí Chávez Martínez (INDAGAR / Ayudantía) y Suemmi Guzmán Argueta (Servicio Social) han participado en varios aspectos del proyecto: trabajo de campo, procesamiento de datos levantados en campo (fotogrametría), preparación de las muestras, así como análisis granulométrico.

Todos estos apoyos fueron indispensables para ejercer este proyecto y quisiera extender mi agradecimiento a todos los apoyos recibidos.

# 1. INTRODUCCIÓN

Para la elaboración de plan de manejo deben basarse estudios sobre materiales de bienes culturales y naturales, así como análisis del sitio y comunidades. La Carta de Venecia (ICOMOS, 1964, Artículo 9) y la Carta de Cracovia (IIC 2000, Artículo 3 y 10) indican la importancia de estudios preliminares de la conservación de patrimonio construido. Sobre todo, cuando se trata de patrimonios arquitectónicos prehispánicos, los estudios previos a la conservación e intervención (la primera y la segunda etapa) son de gran importancia para poder ejecutar las obras de conservación y restauración, respetando el patrimonio sin falsificar los datos arqueológicos, ya que “El patrimonio arqueológico es una riqueza cultural frágil y no renovable” (ICOMOS 1990, Artículo 2) y hay que realizar “mayor análisis a la relación que la autenticidad podría tener con actividades de estabilización, consolidación, construcción de refugios protectores, etc.” (ICOMOS-US 1996, Artículo 3-3). Dichos estudios proporcionan la información fundamental que no se puede obtener a simple vista. Por otro lado, el Documento de Nara (ICOMOS 1994, Artículo 9) indica que para afirmar la autenticidad del patrimonio cultural es un requisito básico conocer y comprender fuentes de información relacionados con sus características originales y significados. Este criterio enfatiza en las recomendaciones del grupo de sitios arqueológicos de la Declaración de San Antonio (ICOMOS-US 1996, Artículo 3-3), “Que en todo trabajo arqueológico sea un requisito absoluto una documentación descriptiva y precisa. El registro arqueológico debe ser preciso y fiable, en otras palabras, auténtico, objetivo y riguroso”.

En Latinoamérica, las organizaciones internacionales como CRAterre, The Getty Conservation Institute, ICOMOS-UNESCO, World Monuments Fund, y equipos de arqueólogos han tomado iniciativas de la conservación y el mantenimiento de estructuras prehispánicas hechas con tierra, colaborando con las instituciones y los gobiernos locales, como los casos de Paquimé, México (Brown, Sandoval, & Orea Magana, 1990; Gamboa Carrera, 2009), Conjunto Huápoca, México (Orea Magaña, Flores, Figueroa, & Vilar, 2004), Joya de Cerén, El Salvador (Castellanos & Descamps, 2009; Castellanos, Descamps, & Arauz, 2002), Chalchuapa, El Salvador (Ohi & Girón, 2000), Huaca de la Luna, Perú (Chiari, 1975; Morales Gamarra, 2007 & 2011), Túcume, Perú (Narváez Vargas & Delgado Elías, 2008), Pachacamac, Perú (Pozzi-Escot, Chávez, & Rosa Uceda, 2011), entre otros. A través de sus investigaciones y publicaciones comparten diversas experiencias entorno a la conservación y estrategias de gestión de los sitios arqueológicos con arquitectura de tierra. Sin duda, esta información es valiosa y útil, sin embargo, no es posible aplicar directamente las mismas estrategias y/o materiales para intervención de otros sitios con arquitectura de tierra similares, debido a que las propiedades del suelo y ambientes naturales difieren de acuerdo con cada región, por lo tanto, es necesario realizar estudios y pruebas para cada caso. El proceso de estudios y pruebas para la conservación de la zona arqueológica consiste en varias etapas (Figura 1).

El presente proyecto conforma un estudio preliminar (1ª etapa de la figura 1) para la conservación de las estructuras prehispánicas del Valle de las Cuevas, y corresponde a la primera etapa: identificación de las técnicas constructivas de las estructuras originales.

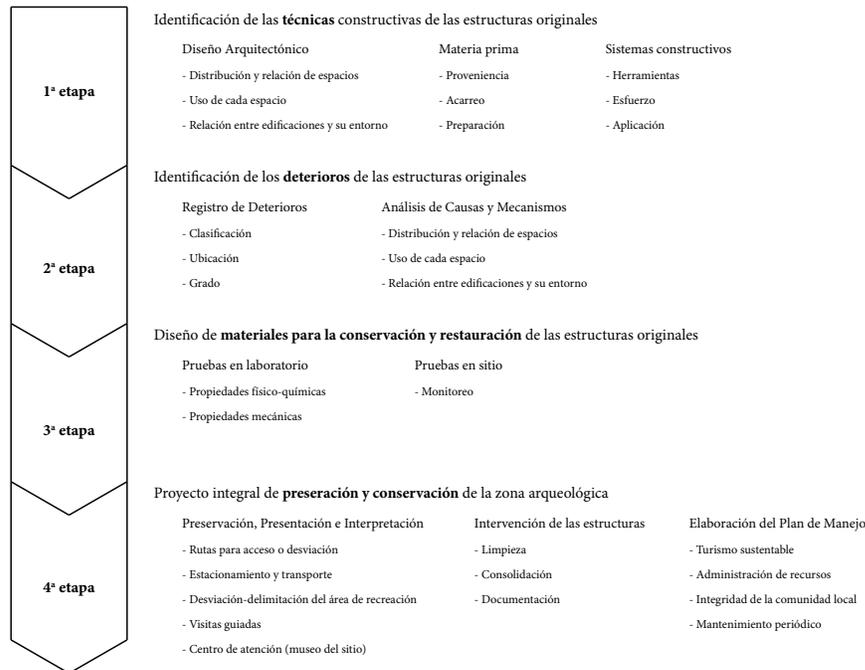


Figura 1. Esquema del desarrollo del proyecto a largo plazo

## 2. PLANTEAMIENTO

### - Antecedentes

Valle de las Cuevas se encuentra a lo largo del Río Piedras Verdes en la parte norte de la Sierra Madre Occidental, en el Municipio de Casas Grandes del Estado de Chihuahua, donde se encuentran alrededor de 30 cuevas con evidencias del uso por la civilización prehispánica (Gamboa Carrera, 1999). Entre ellas, diez cuevas conservan estructuras hechas con tierra. La tipología de los conjuntos habitacionales de Valle de las Cuevas es similar a los de Paquimé y otras construcciones en los acantilados establecidas a lo largo de la Sierra Madre Occidental (Bagwell, 2004). A pesar de la similitud, esta subregión de la parte norte de la Sierra Madre Occidental y la subregión de las tierras bajas del este donde se encuentra Paquimé podrían haber sido distintas tanto culturalmente como geográficamente (Bagwell, 2006, pp. 218-221).

Cueva de la Olla, la cueva con una cantidad mayor de estructuras conservadas en el Valle de las Cuevas, con un granero emblemático, ha sido registrada en el catálogo nacional

por el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) en 1995, delimitando la zona arqueológica que abarca alrededor de 220 hectáreas e incluye casi todas las cuevas del Valle de las Cuevas (Dirección de Registro Público de Monumentos y Zonas Arqueológicas e Históricas, 1995). La zona arqueológica está abierta al público y actualmente cuenta con dos custodios del INAH. Puesto que dos personas apenas pueden cubrir la custodia de la Cueva de la Olla, los muros arqueológicos de otras cuevas se observa vandalismo por los visitantes que desconocen el significado de la zona arqueológica. Por otro lado, en algunas cuevas faltan corrales para evitar que las vacas entren a las cuevas y destruyan los vestigios. Además, se terminó la carretera pavimentada de Nuevo Casas Grandes al pueblo más cercano de la zona arqueológica de Cueva de la Olla en verano de 2018, lo cual está permitiendo introducir los visitantes a la zona. Por lo tanto, es necesario establecer estrategia de protección y plan de manejo de la zona de monumentos arqueológicos del Valle de las Cuevas.

#### - **Marco teórico**

En cuanto a la documentación digital de patrimonio cultural construido, estableció una revista especializada en 2014, "Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage" (<https://www.journals.elsevier.com/digital-applications-in-archaeology-and-cultural-heritage>), que promueve la aplicación de tecnologías tridimensionales a área de arqueología, historia de arte y arquitectura, así como paleoantropología (Baik, 2017; Guidi, Russo, & Angheluddu, 2014; Lai, Sordini, Campana, Usai, & Condò, 2015; Pierdicca, Frontoni, Savina, Colosi, & Orazi, 2016; Rodrigues, Magalhães, Moura, & Chalmers, 2014). A través de análisis de modelos geométricos 3D con nube de puntos denso, revelan las técnicas originales que son difíciles de reconocer a simple vista o en fotografías 2D. Por otro lado, se pueden utilizar los modelos tridimensionales para visitas virtuales.

El levantamiento arquitectónico por escáner láser terrestre (TLS) ha sido común para la documentación digital de los patrimonios culturales, sin embargo, por el costo no siempre es posible emplear este método. Para la generación de modelo geométrico con nube de puntos para la documentación digital de patrimonio cultural, se encuentran casos que aplican Structure from Motion (SfM) (Pierdicca et al., 2016). SfM es una técnica de investigación topográfica que se ha desarrollado en el área de visión artificial y fotogrametría tradicional que produce nubes de puntos tridimensional de una calidad alta y densa, con un costo mínimo (Carrivick, Smith, & Quincey, 2016; Westoby, Brasington, Glasser, Hambrey, & Reynolds, 2012). Cuando se examinan el costo, la velocidad (puntos por hora), la extensión espacial (km<sup>2</sup>), resolución espacial (puntos por m<sup>2</sup>), y exactitud de

punto 3D (m) del método SfM comparando con TLS, el costo es considerablemente accesible, manteniendo mismas cualidades en velocidad, resolución y exactitud, salvo la extensión espacial (Carrivick et al., 2016, p. 25). Sin embargo, en el caso de levantamiento arquitectónico, no siempre es necesario cubrir una extensión amplia como se requiere topografía para geodesia. Cabe mencionar que es un reto realizar el levantamiento arquitectónico de los conjuntos habitacionales en acantilados mediante SfM, ya que son espacios complejos limitados por varios muros y la caverna.

Identificación de técnicas y materia prima, es común aplicar el método arqueométrico que combina petrografía de láminas delgadas, difracción de rayos X, y fluorescencia de rayos X (Cantù et al., 2016; Fantuzzi, Cau Ontiveros, & Aquilué, 2016; Martínez Ferreras et al., 2016; Pales, Killick, Mills, & Ferguson, 2015). La coincidencia de los resultados de cada análisis puedan garantizar certeza de los resultados. Con respecto a la construcción con tierra, también es recomendable saber propiedades físicas como granulometría (Martins Neves et al., 2009).

### **3. METODOLOGÍA**

El presente proyecto tiene como fin identificar técnicas constructivas de los conjuntos habitacionales prehispánicos del Valle de las Cueva, consistiendo la primera etapa del proyecto a largo plazo para la preservación y conservación de la zona arqueológica. Se aplicarán dos líneas de estudio para lograr el objetivo general:

- A. Documentación digital tridimensional de las estructuras prehispánicas mediante fotogrametría (SfM) y
- B. Caracterización de los materiales de las construcciones prehispánicas de tierra y determinación de los posibles bancos que se utilizaron para las construcciones originales, mediante granulometría, petrografía de láminas delgadas, difracción de rayos X, y fluorescencia de rayos X.

#### A. Documentación arquitectónica

##### *Antecedentes del levantamiento arquitectónico en campo*

En cuanto a la documentación arquitectónica (objetivo específico A), se realizó el levantamiento riguroso y sistemático de las estructuras de Cueva de la Olla en diciembre de 2016, siguiendo los métodos utilizados para la documentación de los conjuntos habitacionales en acantilados de Mesa Verde (Nordby, Metzger, Williams, & Mayberry, 2000), Colorado y de Río Taraises, Sonora

(Bagwell, 2006) (Figura 2). Los planos detallados a mano (1:10) se digitalizó por la aplicación de Autodesk® AutoCAD™ durante 2017 (Figura 3). Las líneas de muros y relación de cada cuarto se tomaron por estación total en julio de 2017 para elaborar el plano de la planta (Figura 4).

Con la información obtenida, se realizaron los modelos de información para la construcción (BIM) por Autodesk® Revit™ (Figura 5). No obstante, estas aplicaciones comerciales fueron desarrolladas para la construcción o remodelación, pero no para la documentación del patrimonio arquitectónico, por lo que, presentan delimitaciones con los trazos irregulares y no pudieron representar totalmente el estado actual de las estructuras arqueológicas. El levantamiento manual tiene ventaja de que los dibujantes pueden observar y registrar los detalles con tiempo, por lo que se les facilita el entendimiento del sistema constructivo y el estado de conservación. La desventaja de este método es que se requiere de una cantidad de tiempo considerable y personal profesional para el dibujo, lo que genera un gasto mayor para la estancia en campo: por ejemplo, para el levantamiento de una cueva de dimensión y complejidad de estructuras como Cueva de la Olla, se requiere una estancia de mínimo cuatro personas por un mes.



Figura 2. Levantamiento a mano con cintas (escala 1:10).

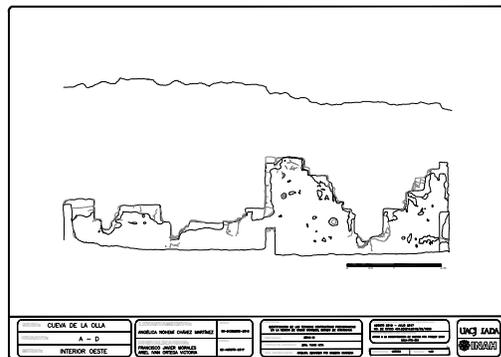


Figura 3. Digitalización de planos levantados a mano.



Figura 4. Topografía para toma de ángulos que se conectan los muros.

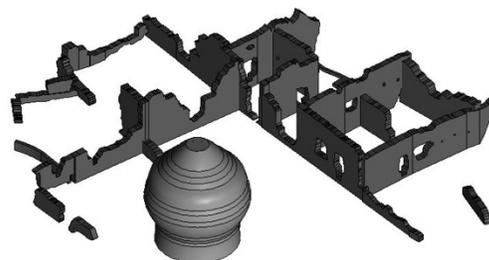


Figura 5. El modelo de información para la construcción (BIM) de Cueva de la Olla.

### *Documentación digital por Structure from Motion (SfM)*

Se supuso que el método de Structure from Motion (SfM) pudiera ofrecer beneficios potenciales a la forma en que se registran las estructuras arqueológicas, incluyendo la producción de modelos digitales tridimensionales precisos que pueden verse desde todos los ángulos. Por otro lado, se pudiera agilizar tiempo de trabajo de campo, y, por lo tanto, reducir el gasto corriente. Así se planteó aplicar el método de SfM para levantamiento arquitectónico. Los principales intereses son la calidad de las imágenes 3D generadas, la accesibilidad de la metodología de registro y la aplicación, y la aplicabilidad de las técnicas para almacenar los registros, análisis de los espacios y detalles, los futuros registros de conservación, la publicación en línea e impresa, la educación, y la difusión.

### *Procesamiento de los datos*

Los datos levantados en campo se procesaron en el Laboratorio de Patrimonio Arquitectónico del Instituto de Arquitectura, Diseño y Arte (Edificio Z, Cubículo 302) de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, empleando aplicaciones comerciales, Autodesk® ReCap™ Photo, ReCap™ Pro con créditos limitados para generar modelos por la licencia de la UACJ. Posterior a la generación de modelos geométricos tridimensionales con nube de puntos denso de cada espacio, se combinarán los modelos de acuerdo con los puntos de control que se tomaron en campo en Revit™.

Se planteó utilizar una aplicación académica, Apero Micmac con el M. en C. Sergio Alvarado Soto y el Dr. Jorge Torres Rodríguez. Sin embargo, por cuestiones técnicas (programación de la aplicación académica y el desconocimiento de su manejo por parte de la titular del proyecto), así como la disponibilidad de tiempo de los colaboradores, lamentablemente no se ha podido utilizarla hasta la fecha. La ventaja de utilizar la aplicación académica es la visualización de procesos de generación de modelos 3D, ya que los procesos por la aplicación comercial (Autodesk® ReCap™ Photo) no son visibles (“caja negra”).

## **B. Caracterización de materiales**

Para reconocer los procesos de construcción, como las proveniencias de materia prima, la distancia entre el banco de materiales y el sitio de construcción, el método de acarreo de materiales, preparación de materiales, la aplicación en el sitio, así como las herramientas necesarias para construcción, se analizarán las muestras de muros arqueológicos comparando con los suelos de posibles bancos. Posibles bancos de material se determinaron previamente por

el análisis de los mapas geológicos y geomorfológicos, los antecedentes arqueológicos, así como la información etnográfica local.

En cuanto a la distribución de granulometría se realizará siguiendo la norma ASTM D422-63 del método combinado de tamizado y sedimentación (hidrómetro) en los Laboratorios de Materiales y de Geociencias del IIT con el Dr. Miguel Domínguez Acosta.

Con respecto a la petrografía de láminas delgadas elaboradas por el Servicio Geológico Mexicano, el análisis micromorfológico y mineralógico se realizará con el microscópico de luz polarizada del Laboratorio de Geociencias del IIT con el Dr. Aldo Izaguirre Pompa.

El análisis de la difracción de rayos X (DRX) realizado por la Quím. Patricia Girón determina las fases mineralógicas y complementa las interpretaciones de la petrografía. Se realizará fluorescencia de rayos X (FRX) para identificar la composición química de las muestras, interpretando los datos obtenidos mediante análisis estadísticos como análisis de componentes principales (PCA) y análisis de cúmulo (CA).

## **4. RESULTADOS**

### **A. Documentación arquitectónica**

#### *Trabajo de campo 2018*

Se realizó el primer trabajo en campo para tomar fotografías en los mediados de julio de 2018 durante seis días por el M. en C. Sergio Alvarado Soto (IIT-UACJ) y la titular del proyecto (Figuras 6-8). El segundo trabajo en campo para tomar puntos de control que no se pudieron obtener en julio se realizó en la primera semana de noviembre de 2018 durante cuatro días por el M. en C. Alvarado Soto, la alumna de la Licenciatura en Arquitectura (IADA-UACJ) Angélica Nohemí Chávez Martínez (programa INDAGAR), y la titular del proyecto (Figuras 9-11).

Se ha puesto en marcha el registro fotográfico de las estructuras arqueológicas de cinco cuevas diversas del Valle de las Cuevas, para producir modelos fotogramétricos de SfM para comprobar si los resultados eran adecuados para estos usos, así como establecer la metodología de levantamiento para aplicarla de manera eficiente al resto de las cuevas.



Figura 6. Toma de fotos para SfM en Cueva de la Olla.



Figura 7. Toma de fotos para SfM en Cueva del Corral.



Figura 8. Toma de fotos para SfM en Cueva de las Ventanas.



Figura 9. Toma de puntos de control en Cueva de la Olla.



Figura 10. Toma de puntos de control en Cueva del Corral.



Figura 11. Toma de puntos de control en Cueva de las Ventanas.

Las cinco cuevas que registraron son:

- Cueva de la Olla: Única cueva que está abierta al público. Cuenta con varias estructuras en buena condición y el piso arqueológico expuesto (limpio, sin escombros). El acceso a la cueva es fácil y está cerca desde el campamento.
- Cueva del Corral: La cueva que cuenta con un espacio grande y complejo. Sus estructuras se encuentran en buena condición y no muchos escombros. El acceso no es difícil y está más o menos cerca desde el campamento.
- Cueva de las Ventanas: La cueva que está al lado de la Cueva del Corral. Solamente tiene una estructura que tapa la entrada de la cueva y dentro de la cueva no se conserva ninguna estructura. El espacio de la cueva es angosto.
- Cueva del Rincón B: La cueva que todavía conservan varias estructuras, sin embargo, la mitad de la cueva está destruida y está llena de escombros. El acceso no está tan difícil, pero se encuentra lejos (cruzando el río) desde el campamento.
- Cueva El Solito: La cueva cuenta con un espacio reducido para una o dos personas. El exterior está tapado con muro de tierra (parecido a la de las Ventanas) y tiene una entrada.

#### *Procesamiento de los datos levantados en campo 2019*

Los datos levantados en campo se encuentran en procesamiento en el Laboratorio de Patrimonio Arquitectónico del IADA-UACJ, empleando aplicaciones comerciales, Autodesk® ReCap™ Photo y ReCap™ Pro, con créditos limitados para generar modelos por la licencia de la UACJ, por las alumnas Angélica Nohemí Chávez Martínez (Ayudantía) y Suemmi Guzmán Argueta (Servicio Social) de la Licenciatura en Arquitectura del IADA-UACJ, así como la titular del proyecto. Los procedimientos del procesamiento que se establecieron con pruebas y errores son los siguientes:

1. Organización de fotografías
  - 1.1. Organizarlas en carpetas por espacio (20-100 fotos)
2. Generación de modelo 3D en ReCap™ Photo (Figuras 12-15)
  - 2.1. Subir las fotos por carpeta a la nube de Autodesk™
  - 2.2. Descargar el modelo (.rcm) de la nube
3. Escala del modelo generado en ReCap™ Photo
  - 3.1. Identificar los puntos de control con el croquis y las fotos
  - 3.2. Realizar el cálculo de la distancia directa entre los puntos de control
  - 3.3. Escalar el modelo con la distancia directa entre dos puntos de control identificados
  - 3.4. Verificar la precisión de las medidas a través de la comparación de medidas entre varios puntos de control y definir la distancia con su valor representativo
4. Convertir los formatos de modelo

- 4.1. Exportar modelo escalado en formato de nube de puntos (.pts)
- 4.2. Crear un proyecto (.rcp) en ReCap™ Pro e importar nube de puntos
- 4.3. Crear un proyecto (.rvt) en Revit® e insertar proyecto de ReCap™ Pro
5. Combinar los modelos en Revit® (Figura 15)
  - 5.1. Insertar puntos de control y/o referencia al proyecto de Revit®
  - 5.2. Orientar los modelos
  - 5.3. Averiguar la congruencia del modelo

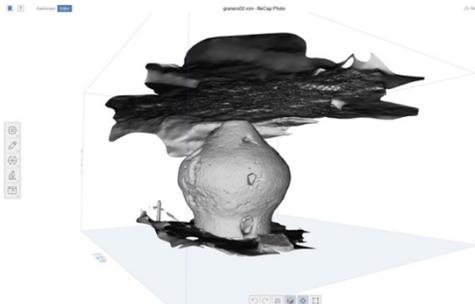


Figura 12. Modelo 3D (sólido) del granero de Cueva de la Olla, obtenido del levantamiento arquitectónico por el método SfM en Autodesk® ReCap™ Photo.

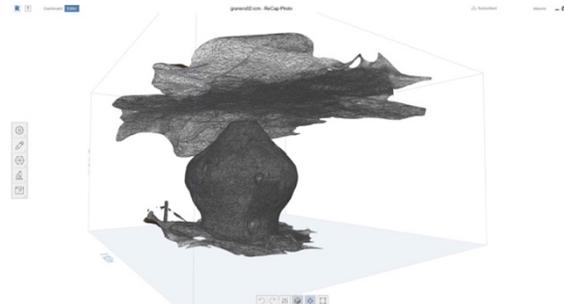


Figura 13. Modelo 3D (malla) del granero de Cueva de la Olla, obtenido del levantamiento arquitectónico por el método SfM en Autodesk® ReCap™ Photo.



Figura 14. Modelo 3D (textura) del granero de Cueva de la Olla, obtenido del levantamiento arquitectónico por el método SfM en Autodesk® ReCap™ Photo.

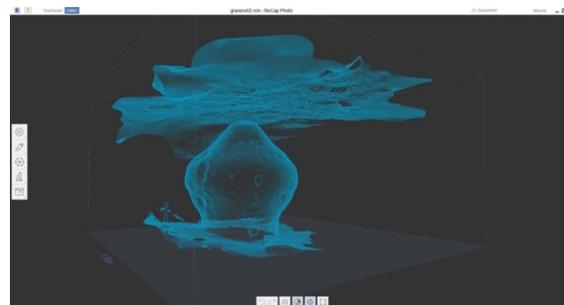


Figura 15. Modelo 3D (rayos X) del granero de Cueva de la Olla, obtenido del levantamiento arquitectónico por el método SfM en Autodesk® ReCap™ Photo.

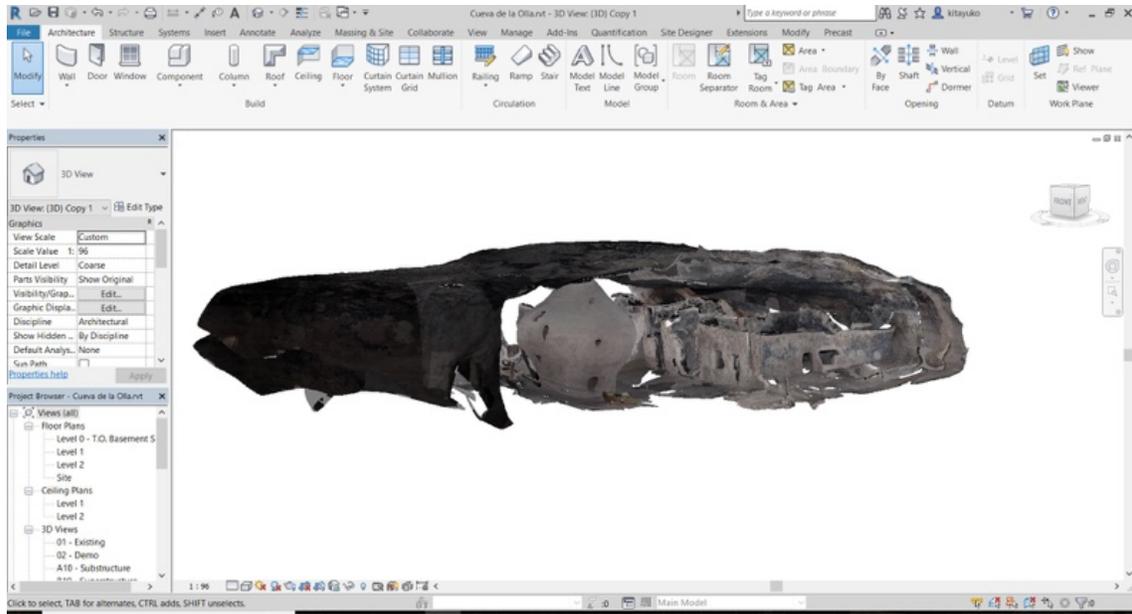


Figura 16. Combinación de modelos de Cueva de la Olla en Autodesk® Revit®.

Los factores que influyen al levantamiento arquitectónico por SfM en las cuevas son:

- Oscuridad / Contraste claro-oscuro (entrada-fondo) de la cueva: las fotografías demasiadas oscuras o con contraste fuerte no son aptos para SfM (generarían errores).
- Accesibilidad corta y fácil hasta la cueva: para evitar el problema de contraste, es necesario llegar a la cueva en la noche con todos los equipos incluyendo luz artificial.
- Dimensión de la cueva: si la dimensión (la distancia entre la cámara y el muro) es demasiado corta, no se puede tomar fotografías ideales para SfM.
- Estado de conservación de las estructuras: si la cueva está llena de escombros (como el caso de la Cueva del Rincón B), genera errores a la hora de generar los modelos.

Debido a estos factores, se observaron diferentes resultados del levantamiento entre las cinco cuevas:

- El levantamiento de la Cueva de la Olla salió exitoso, aunque tiene desventaja de que entra la luz del sol durante el día, por la accesibilidad se pudo realizar el registro fotográfico después de caer el sol (entre 8 pm y 12 am). La dimensión de la cueva es relativamente grande y en general la distancia entre la cámara y el muro era suficiente, además la cueva conserva mejor las estructuras comparando con otras cuevas.
- En el caso de la Cueva del Corral y de las Ventanas, salieron las estructuras, sin embargo, la de Corral tiene un espacio enorme, y las dos tienen espacios complejos.

- El mal estado de conservación y los escombros que cubren el piso fueron los factores negativos para producir modelos 3D coherente de la Cueva del Rincón B.
- El espacio demasiado reducida y contraste de la luz fueron los factores negativos para el levantamiento de la Cueva El Solito.

En esta primera fase de levantamiento por SfM, se observó que la solución de la oscuridad y/o contraste de luz, así como la distancia óptima entre el objeto y la cámara son los factores importantes para obtener los resultados favorables.

#### *Trabajo de campo 2020*

No se ha podido realizar el trabajo de campo durante 2019, sino hasta el febrero de 2020, entre la alumna de la Licenciatura en Arquitectura (IADA-UACJ) Angélica Nohemí Chávez Martínez (programa Ayudantía), y la titular del proyecto (tercera salida), por tres días (Figuras 17 y 18).

A través de la observación de los resultados de la primera fase de levantamiento por SfM, así como la consulta de bibliografías publicadas durante 2019, se experimentó la segunda prueba con la Cueva El Solito con una lente de gran ángulo (objetivo ojo de pez), basándose en, sobre todo, los artículos de Alessandri, Baiocchi, Del Pizzo, Ciaccio, et al. (2019) y Alessandri, Baiocchi, Del Pizzo, Rolfo, et al. (2019).



Figura 17. Cueva El Solito. El muro de tierra que tapa la cueva, donde se encuentra una entrada y una ventana pequeña.



Figura 18. Interior de la Cueva El Solito.

#### *Procesamiento de los datos levantados en campo 2020*

Después de seleccionar las fotografías adecuadas, se repitió el mismo proceso del 2019. Esta vez se tuvo éxito en generar un modelo 3D de la Cueva El Solito y comprobó la eficiencia de la lente de gran ángulo para SfM en espacio reducido y oscuro como esta (Figura 19).

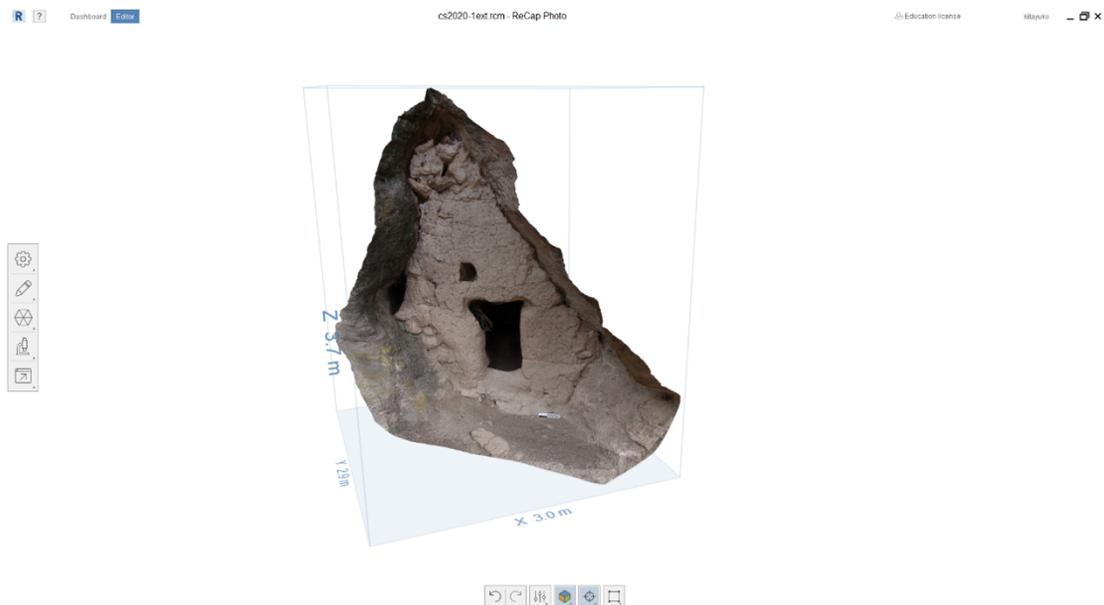


Figura 19. Modelo 3D (textura) del granero de Cueva El Solito, obtenido del levantamiento arquitectónico por el método SfM en Autodesk® ReCap™ Photo.

## B. Caracterización de materiales

### *Análisis granulométrico*

Se realizó la distribución de granulometría por método combinado de tamizado y sedimentación (hidrómetro) por las alumnas Angélica Nohemí Chávez Martínez (INDAGAR) y Suemmi Guzmán Argueta (Servicio Social) de la Licenciatura en Arquitectura del IADA-UACJ, así como la titular del proyecto, en el Laboratorio de Geología (tamizado) (Figura 20), así como en el Laboratorio de Patrimonio Arquitectónico (sedimentación) (Figura 21).

Resultó que las muestras arqueológicas contienen una alta cantidad de arena con limo y arcilla. Las muestras de la Cueva de la Olla contienen un poco más de limo que Paquimé y Arroyo Seco (Figura 22).



Figura 20. Proceso de tamizado de muestras para la distribución granulométrica.



Figura 21. Proceso de sedimentación de muestras para la distribución granulométrica

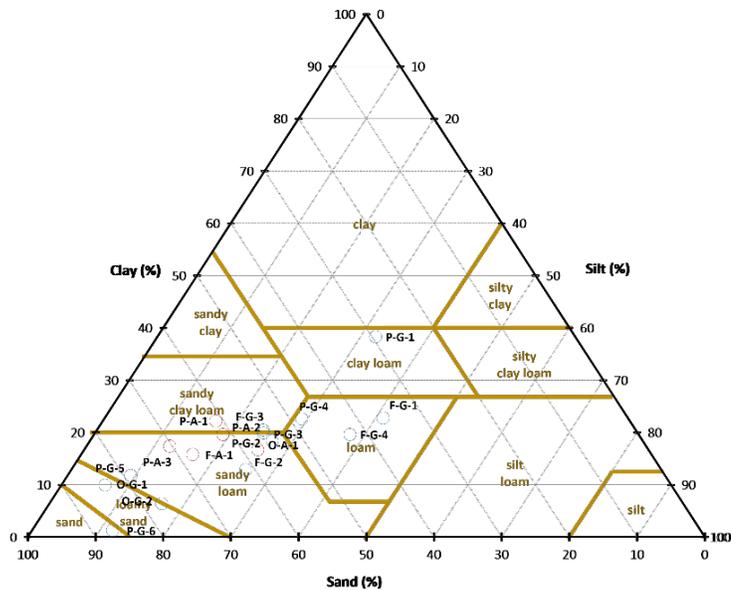


Figura 22. Clasificación del suelo de las muestras según los resultados del análisis granulométrico

*Análisis micromorfológico y mineralógico*

Por otra parte, el análisis micromorfológico y mineralógico por petrografía de láminas delgadas de las muestras de las construcciones prehispánicas se realizó empleando el microscópico de luz polarizada del Laboratorio de Geología (IIT-UACJ) por el Dr. Aldo Izaguirre Pompa y la titular del proyecto (Figuras 23 y 24). Por cuestiones técnicas se ha repetido la preparación de las láminas delgadas de las muestras de posibles bancos de material para el análisis comparativo y todavía sigue en pie (Figura 25).



Figura 23. Análisis petrográfico de las láminas delgadas de muestras de muros prehispánicos.

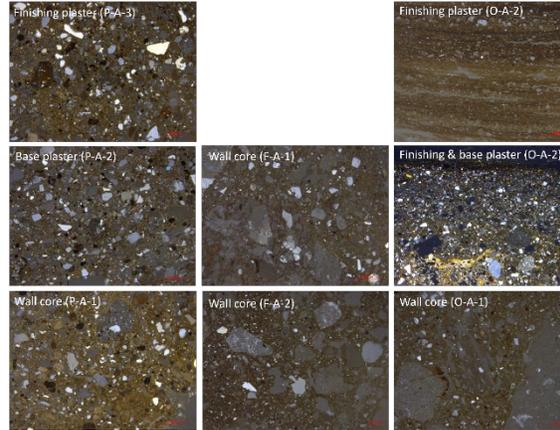


Figura 24. Petrografía de las muestras arqueológicas



Figura 25. Preparación de las láminas de las muestras de posibles bancos de material.

#### *Análisis de los resultados de fluorescencia de rayos X (FRX)*

Para interpretar los resultados de FRX, se realizan los análisis de componentes principales (PCA) y análisis de cúmulo (CA). Según sus componentes químicos, se agruparon en cinco grupos (Figura 26).

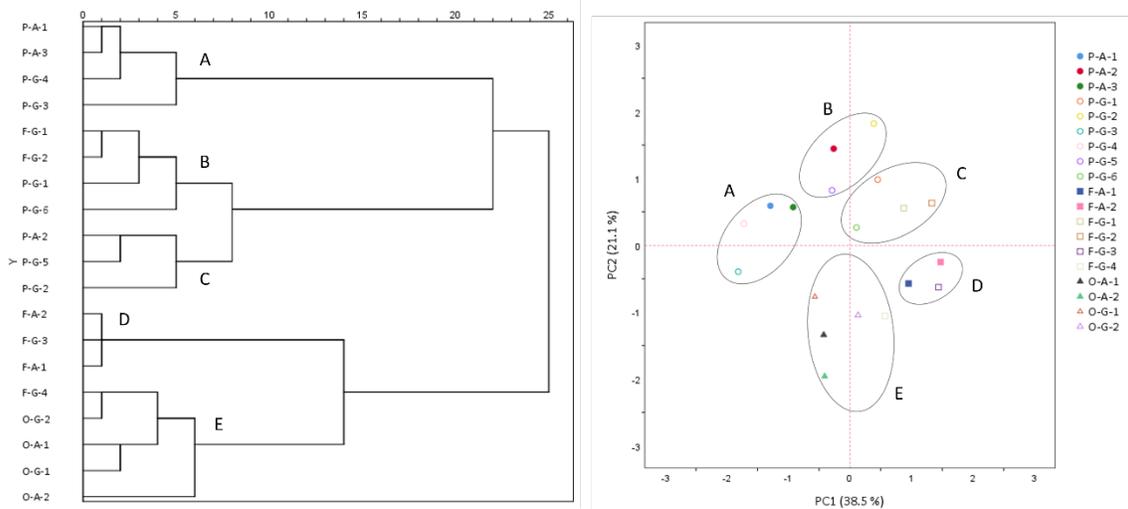


Figura 26. Resultados de los análisis CA (izquierda) y PCA (derecha)

*Cruce de los resultados de análisis para caracterización de materiales*

A través de los resultados interpretados de los análisis granulométrico, mineralógico (composición y clasificación), micromorfología, así como químico (FRX), se pudo caracterizar las muestras estudiadas (Tabla 1):

- Las muestras del núcleo y recubrimiento del muro de Paquimé son parecidas al suelo extraído del posible banco de material indicado por el arqueólogo Charles C. Di Peso y es un conglomerado con caliche (carbonato de calcio).
- Las muestras del núcleo del muro de Arroyo Seco son parecidas al suelo superficial de la terraza de conglomerado (alrededor de la estructura).
- Las muestras del núcleo y recubrimiento del muro de Cueva de la Olla se parecen al suelo molido de la roca exfoliada de la roca madre de la cueva.

Tabla 1. Síntesis de los análisis para caracterización de materiales.

Site	Wall sample	Textural soil classification	Mineralogical composition	Classification of clay mineral	Micromorphology	Chemical composition	Material source
Paquimé	Wall core	Sandy clay loam	Micrite, K-Feldspar, Quartz	Smectite	Well graded, homogeneous	SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CaO, MgO, Sr, Cr	Conglomerate with caliche P-G-4
	Plaster	Sandy loam	K-Feldspar, Ca-Feldspar, Quartz, Micrite, Iron oxides	Smectite	Well graded, homogeneous	SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CaO, MgO, Sr, Cr	
Arroyo Seco B	Wall core	Sandy loam	K-Feldspar, Pumice, Quartz, Micrite, Iron oxides	Smectite	Abundant poorly graded, gravel, heterogeneous	SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Zr, Zn	Surface soil of conglomerate terrace F-G-3
Cueva de la Olla	Wall core	Sandy loam	K-Feldspar, Pumice, Quartz, Iron oxides	Pyrophyllite Smectite?	Poorly graded, heterogeneous	SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO, Sr, Ba, S	Grained soft bedrock O-G-1
	Plaster	Sandy loam	K-Feldspar, Quartz, Ca-Feldspar, Pyroxene, Iron oxides, Calcite	Pyrophyllite	Many layers, poorly graded, heterogeneous, Very little amount of fibers	SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO, Sr, Ba, S	Grinded soft bedrock O-G-1 Retained soil on the slope O-G-2

## 5. CONCLUSIONES

En cuanto a la documentación arquitectónica, se ha comprobado la eficacia del método de fotogrametría (SfM) para el levantamiento de las estructuras arqueológicas. Por otro lado, se identificaron los factores esenciales que se deben tomar en cuenta en el caso de los bienes inmuebles que se encuentran dentro de una cueva. También se encontraron algunas soluciones sobre los problemas particulares de cada cueva. El desafío sería procesar las fotos con una aplicación académica (no comercial) para monitorear los procesos y condiciones para garantizar la precisión de las nubes de puntos.

Los diversos análisis para caracterizar los materiales apuntan particularidades del suelo utilizado para la construcción de cada sitio arqueológico y por el análisis estadístico se pudo lograr a conocer posible banco de materiales para cada edificio (muestra arqueológica). Se nota el uso de carbonato de calcio como estabilizante natural (material de yacimiento) en el caso de Paquimé como indicaban Di Peso et al. (1974).

## REFERENCIAS (bibliografía)

- Alessandri, L., Baiocchi, V., Del Pizzo, S., Ciaccio, F. Di, Onori, M., Rolfo, M. F., & Troisi, S. (2019). Three-dimensional survey of Guattari Cave with traditional and mobile phone cameras. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W11, 37–41. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W11-37-2019>
- Alessandri, L., Baiocchi, V., Del Pizzo, S., Rolfo, M. F., & Troisi, S. (2019). Photogrammetric Survey With Fisheye Lens for the Characterization of the La Sassa Cave. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W9, 25–32. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-25-2019>
- Bagwell, E. A. (2004). Architectural Patterns along the Rio Taraises, Northern Sierra Madre Occidental, Sonora. *Kiva*, 70(1), 7–30. <https://doi.org/10.1179/kiv.2004.70.1.001>
- Bagwell, E. A. (2006). *Domestic architectural production in northwest Mexico*. The University of New Mexico. Recuperado de <https://search.proquest.com/docview/305275922?accountid=151132>
- Baik, A. (2017). From point cloud to Jeddah Heritage BIM Nasif Historical House – case study. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 4(February), 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2017.02.001>
- Brown, R. Ben, Sandoval, B., & Orea Magana, H. (1990). The protection and conservation of the adobe structures at Paquimé, Casas Grandes, Chihuahua, Mexico. En *6th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture: Adobe 90 Preprints. Las Cruces, New Mexico, 14-19 October 1990* (pp. 204–208). Los Angeles: The Getty Conservation Institute.
- Cantù, M., Giacometti, F., Landi, A. G., Riccardi, M. P., Tarantino, S. C., & Grimoldi, A. (2016). Earthen mortars from Cremona (Northern Italy): The evolution throughout centuries of a manufacturing tradition. *Construction and Building Materials*, 125, 520–532. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.139>
- Carrivick, J. L., Smith, M. W., & Quincey, D. J. (2016). *Structure from Motion in the Geosciences* (First Edit). John Wiley and Sons, Inc.
- Castellanos, C., & Descamps, F. (2009). Puesta en marcha de un modelo de planificación para la gestión de sitios patrimoniales: el caso de Joya de Cerén, El Salvador. En C. Castellanos & F. Descamps (Eds.), *XXII Simposio de investigaciones arqueológicas en Guatemala. Sitios arqueológicos en el área Maya: un reto para la conservación* (pp. 69–79). Los Angeles: The Getty Conservation Institute.
- Castellanos, C., Descamps, F., & Arauz, M. I. (2002). *Joya de Cerén El Salvador*. Los Angeles: The Getty Conservation Institute.
- Chiari, G. (1975). *Conservacion de monumentos arqueologicos en adobe. Informe de fin de*

*mision.*

- Di Peso, C. C., Rinaldo, J. B., & Fenner, G. J. (1974). *Casas Grandes: A Fallen Trading Center of the Gran Chichimeca, Vol. 4*. Dragoon, Arizona: The Amerind Foundation.
- Dirección de Registro Público de Monumentos y Zonas Arqueológicas e Históricas. (1995). *Cueva de la Olla*. México, D.F.: INAH.
- Fantuzzi, L., Cau Ontiveros, M. A., & Aquilué, X. (2016). Archaeometric Characterization of Amphorae from the Late Antique City of Emporiae (Catalonia, Spain). *Archaeometry*, 58(April 2014), 1–22. <https://doi.org/10.1111/arcm.12176>
- Gamboa Carrera, E. (1999). *Arqueología de la provincia serrana de Paquimé. Sección Río Piedras Verdes, Chihuahua*. Ciudad de México.
- Gamboa Carrera, E. (2009). Un estudio de caso: La zona arqueológica de Paquimé. En L. Guerrero (Ed.), *Artesanos de arquitectura de tierra en América Latina y el Caribe* (pp. 89–95). Ciudad de México: Oficina de la UNESCO en México.
- Guidi, G., Russo, M., & Angheleddu, D. (2014). 3D survey and virtual reconstruction of archeological sites. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 1(2), 55–69. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2014.01.001>
- ICOMOS-US. (1996). *Declaración de San Antonio sobre Autenticidad en la Conservación y Manejo del Patrimonio Cultural*. San Antonio.
- ICOMOS. (1964). Carta Internacional sobre la Conservación y la Restauración de Monumentos y Sitios (Carta de Venecia 1964). Venecia: ICOMOS. Recuperado de [https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/venice\\_sp.pdf](https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/venice_sp.pdf)
- ICOMOS. (1990). *Carta Internacional para la Gestión del Patrimonio Arqueológico*. Lausana.
- ICOMOS. (1994). *Documento de Nara sobre Autenticidad*. Nara.
- IIC. (2000). *Principios para la Conservación y Restauración del Patrimonio Construido*. Cracovia.
- Lai, L., Sordini, M., Campana, S., Usai, L., & Condò, F. (2015). 4D recording and analysis: The case study of Nuraghe Oes (Giave, Sardinia). *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 2(4), 233–239. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2015.09.001>
- Martínez Ferreras, V., Gurt Esparraguera, J. M., Hein, A., Pidaev, S., Rtveldze, E. V., & Bolelov, S. B. (2016). Tableware in the Hellenistic Tradition from the City of Kampyr Tepe in Ancient Bactria (Uzbekistan). *Archaeometry*, 58(5), 736–764. <https://doi.org/10.1111/arcm.12199>
- Martins Neves, C. M., Borges Faria, O., Rotondaro, R., Cevallos Salas, P., Hoffman, M. V., & Azevedo Salamao, E. M. (Trad. . (2009). *Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra. Prácticas de campo*. Red Iberoamericana PROTERRA. Recuperado de [https://redproterra.org/wp-content/uploads/2020/05/2a\\_PP-Selección-de-suelos\\_2009.pdf](https://redproterra.org/wp-content/uploads/2020/05/2a_PP-Selección-de-suelos_2009.pdf)
- Morales Gamarra, R. (2007). Arquitectura prehispánica de tierra: conservación y uso social en las Huacas. *Apuntes*, 20(2), 256–277.

- Morales Gamarra, R. (2011). Factores meteorológico, geofísicos y químicos que influyen en el proceso de erosión de la arquitectura prehispánica de tierra: caso Huca de la Luna, Trujillo, Perú. *Perspectivas Latinoamericanas*, (8), 51–83.
- Narváez Vargas, A., & Delgado Elías, B. (Eds.). (2008). *Guía Práctica de Conservación de Monumentos en Tierra*. Túcume: Patronato Valle de Las Pirámides de Lambayeque; Museo de Sitio Túcume.
- Nordby, L. V., Metzger, T. R., Williams, C. L., & Mayberry, J. D. (2000). *Mesa Verde National Park Site Conservation Program Guidelines, Volume 1: Standards for Field Data Collection and Documentation*. Mesa Verde National Park, Colorado: Mesa Verde National Park, Research and Resource Management Division.
- Ohi, K., & Girón, I. (2000). Los muros de morteros y los materiales para la restauración de la arquitectura de tierra en la zona Casa Blanca. En K. Ohi (Ed.), *Chalchuapa, Informe de la investigación interdisciplinaria de El Salvador (1995- 2000)* (pp. 262–266). Kyoto: Kyoto University of Foreign Studies.
- Orea Magaña, H., Flores, S. C., Figueroa, G. M., & Vilar, C. N. Informe de los trabajos realizados por el área de restauración en la temporada Septiembre-Noviembre 2004. Proyecto de Conservación del Conjunto Huápoca, Municipio de Madera, Chihuahua. (2004). CDMX: Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural, INAH.
- Pailes, M. C., Killick, D. J., Mills, B. J., & Ferguson, T. J. (2015). Diabase Temper as a Marker for Laguna Ceramics. *Kiva*, 80(3), 281–303. <https://doi.org/10.1080/00231940.2016.1147148>
- Pierdicca, R., Frontoni, E., Savina, E., Colosi, F., & Orazi, R. (2016). Virtual reconstruction of archaeological heritage using a combination of photogrammetric techniques: Huaca Arco Iris, Chan Chan, Peru. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 3(3), 80–90. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2016.06.002>
- Pozzi-Escot, D., Chávez, A., & Rosa Uceda, C. (Eds.). (2011). *Pachacamac: revalorando el patrimonio arqueológico. Conservación e investigación en el santuario*. Lima: Ministerio de Cultura.
- Rodrigues, N., Magalhães, L., Moura, J., & Chalmers, A. (2014). Reconstruction and generation of virtual heritage sites. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 1(3–4), 92–102. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2014.06.003>
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). “Structure-from-Motion” photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300–314. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>

## Productos generados

### A. Documentación arquitectónica

1. Ponencia “Documentación de la arquitectura prehispánica de tierra en los acantilados: caso de estudio en Cueva de la Olla” en el *Taller Internacional sobre Restauración de Arquitectura de Tierra (TICRAT)* (Juárez), septiembre de 2019.
2. Ponencia “Conservación y restauración de la arquitectura en tierra” en el Seminario *Estudios transdisciplinarios en la arquitectura mesoamericana de tierra* (línea UAZ-UNAM), febrero de 2021.
3. Póster “Arquitectura de tierra y paisaje del Valle de las Cuevas, Chihuahua, México” (coautores: Angélica Nohemí Chávez Martínez y Sergio Alvarado Soto) en el *XIII Congreso Mundial sobre Patrimonio Arquitectónico de Tierra: Una mirada al pasado para seguir adelante – Avances en conservación* (Santa Fé, NM), junio 2021 -> junio 2022
4. Estructura de un libro “Documentación de las estructuras arqueológicas en los acantilados”.

### B. Caracterización de materiales

1. Ponencia “Identification of Earthen Construction Techniques in the Casas Grandes region, Chihuahua, Mexico” (coautores: Dr. Miguel Domínguez Acosta, Dr. Aldo Izaguirre Pompa, Quím. Patricia Girón García y Alberto Peña Rodríguez) en the 86th Society of American Archaeology Annual Meeting (Albuquerque, NM), abril de 2019.
2. Borrador del artículo científico sobre caracterización de materiales (coautores: Dr. Miguel Domínguez Acosta, Dr. Aldo Izaguirre Pompa, Quím. Patricia Girón García y Alberto Peña Rodríguez). Se obtuvieron los datos estadísticos del resultado de análisis químico (difracción y fluorescencia de rayos X). Para terminar el artículo, falta graficar los resultados con la aplicación R y complementar con la petrografía de las muestras de bancos de material.

**\*\*Nota: El reporte técnico tendrá una extensión mínima de 5 cuartillas y máxima de 30, a espacio y medio.**

**CONSIDERACIONES:**

- Los reportes deben estar escritos en español o en inglés.
- Se debe entregar en formato Word acorde a este formato.
- El texto debe ser escrito en hoja tamaño carta a espacio y medio, y los márgenes deberán encontrarse al menos a una pulgada (2.54 cm). La totalidad del texto debe escribirse en minúsculas, utilizando las mayúsculas sólo al principio de las oraciones y para los títulos de capítulos.
- Se recomienda usar el tipo de letra Arial tamaño 10, o Times new Roman tamaño 12.
- Todas las páginas deben estar numeradas en secuencia comenzando desde la portada.
- La extensión total del texto es de un mínimo de 5 cuartillas y un máximo de 30 cuartillas, con un interlineado de espacio y medio.
- Archivos de Excel de tablas y gráficas deben ser adjuntados al reporte enviado electrónicamente.
- Las figuras, fotografías y tablas, serán insertadas en el cuerpo del texto y numeradas en forma consecutiva comenzando con 1 y de manera independiente de las tablas. El número y descripción de la figura, tabla, etc., deberá colocarse antes de la misma.
- Se recomienda evitar el uso de sombras y líneas punteadas que no permitan una legibilidad clara de imágenes.
- Las fórmulas y ecuaciones deben hacerse con un editor de ecuaciones como el que viene en Word. Estarán centradas y separadas del texto. La numeración será consecutiva comenzando con 1. El número de la fórmula deberá encerrarse entre paréntesis y colocarse a la derecha de la fórmula lo más cercano posible al margen derecho.
- Las referencias bibliográficas en el texto deben ser en cualquier estilo reconocido como APA, MLA, ISO, etc.
- Los anexos se colocarán al final del documento después de la bibliografía, utilizando caracteres alfabéticos para distinguirlos: Anexo A, Anexo B, etc. La información contenida en los anexos es importante pero no indispensable para la comprensión del trabajo. Se recomienda colocar en los anexos mapas, fotografías, tablas, desarrollos matemáticos, diagramas, etc.