

IDENTIFICACIÓN DE LAS TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS PREHISPÁNICAS
EN LA REGIÓN DE CASAS GRANDES, ESTADO DE CHIHUAHUA

TEMPORADA III

Documentación en el Valle de las Cuevas

Informe Parcial Técnico 2022-24

(junio de 2022 – junio de 2024)

Yuko Kita¹, Sergio Alvarado Soto², Eduardo Pío Gamboa Carrera³

Ciudad Juárez, Chihuahua, a 22 de julio de 2024

¹ Titular del proyecto, Instituto de Arquitectura, Diseño y Arte (IADA), Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ)

² Colaborador del proyecto, Instituto de Ingeniería y Tecnología (IIT), UACJ

³ Aval arqueológico del proyecto, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Centro INAH Chihuahua



CULTURA
SECRETARÍA DE CULTURA



Consejo de Arqueología

Ciudad de México a 3 de marzo de 2022
No. de Oficio 401.IS.3-2022/338

Dra. Yuko Kita
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Con el aval institucional del Dr. Eduardo Pío Gamboa Carrera
Centro INAH Chihuahua.
Presente

Por este medio les comunico que, durante la Segunda Reunión Ordinaria, el Consejo de Arqueología revisó el **Informe parcial técnico 2018-20 del Proyecto Identificación de las técnicas constructivas prehispánicas en la región de Casas Grandes, Estado de Chihuahua**, dictaminando que ha sido aprobado.

Sin demérito de lo anterior, a la brevedad deberán entregar una copia de todos los modelos producidos.

Sin otro particular.

Dra. Laura Ledesma Gallegos
Presidente

C.c.p. Diego Prieto Hernández. – Director General del INAH.
Aída Castilleja González. – Secretaria Técnica del INAH.
Coordinación Nacional de Arqueología.
Colette Almanza Caudillo. – Directora de Planeación, Evaluación y Coordinación de Proyectos-CNA.
Archivo.

LLG/cbr.

CONTENIDO

RESUMEN	4
I. CONTEXTO	5
II. ANTECEDENTES	7
Documentación convencional de Cueva de la Olla (2016-18).....	8
Documentación digital de Cueva de la Olla y cuatro cuevas (2018-20).....	9
III. METODOLOGÍA	11
IV. RESULTADOS	12
Recolección de datos en campo 2022.....	12
Procesamiento de los datos levantados en campo 2022	15
Recolección de datos en campo 2023.....	17
Procesamiento de los datos levantados en campo 2023	19
V. OBSERVACIONES.....	22
VI. PRODUCTOS	23
BIBLIOGRAFÍA.....	23
ANEXOS.....	24

RESUMEN

El presente documento es el informe de la tercera temporada del proyecto “Identificación de las técnicas constructivas prehispánicas en la región de Casas Grandes, Estado de Chihuahua” realizado entre junio de 2022 y junio de 2024.

Este proyecto corresponde a la etapa inicial del proyecto para conservación de las zonas arqueológicas de la región noroeste del Estado de Chihuahua, enfocado específicamente al Valle de las Cuevas donde se encuentra la Zona de Monumentos Arqueológicos (ZMA) de Cueva de la Olla. El objetivo de la tercera temporada es la **documentación del paisaje cultural del Valle de las Cuevas**. Esta documentación será un paso para la comprensión de las funciones de cada cueva y relaciones entre ellas y otros sitios. Por otro lado, servirá como un material fundamental para la planeación de preservación y conservación de las estructuras arqueológicas en el Valle de las Cuevas.

La Cueva de la Olla, la cueva principal del Valle de las Cuevas y abierta al público, cuenta con una documentación del estado actual mediante levantamiento convencional extensa y detallada a una escala de 1:10 para reconocer el sistema constructivo y el estado de conservación, así como fotogrametría de objeto cercano (CPR) para la producción de modelos digitales tridimensionales precisos, realizada entre 2016 y 2019.

Se aplicó el método de CPR para levantamiento de otras cuevas en el Valle de las Cuevas entre 2018 y 2020. Se obtuvieron resultados parciales, logrando generar los modelos tridimensionales de alta resolución, de Cueva del Corral, Cueva de las Ventanas, Cueva del Solito y Cueva del Rincón B. Sin embargo, la última no se obtuvo resultado óptimo, debido a los escombros acumulados y la condición de la luz. A través de levantamiento de estas cuevas, 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 del empleo del método de CPR.

Mientras se espera que los equipos y herramientas para abordar los desafíos de la documentación de estructuras dentro de cueva, se planteó la documentación de los elementos culturales y naturales en el polígono de la ZMA de Cueva de la Olla, ya que la zona solo cuenta con un plano general con unas curvas de nivel dispersas con información de coordenadas geográficas de cuatro mojoneras, además imágenes satelitales disponibles no tienen una resolución suficiente para reconocer los elementos.

I. CONTEXTO

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) (Figura 1, Tabla 1). 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).

Figura 1

Sitios en la Zona de Monumentos Arqueológicos de Cueva de la Olla.

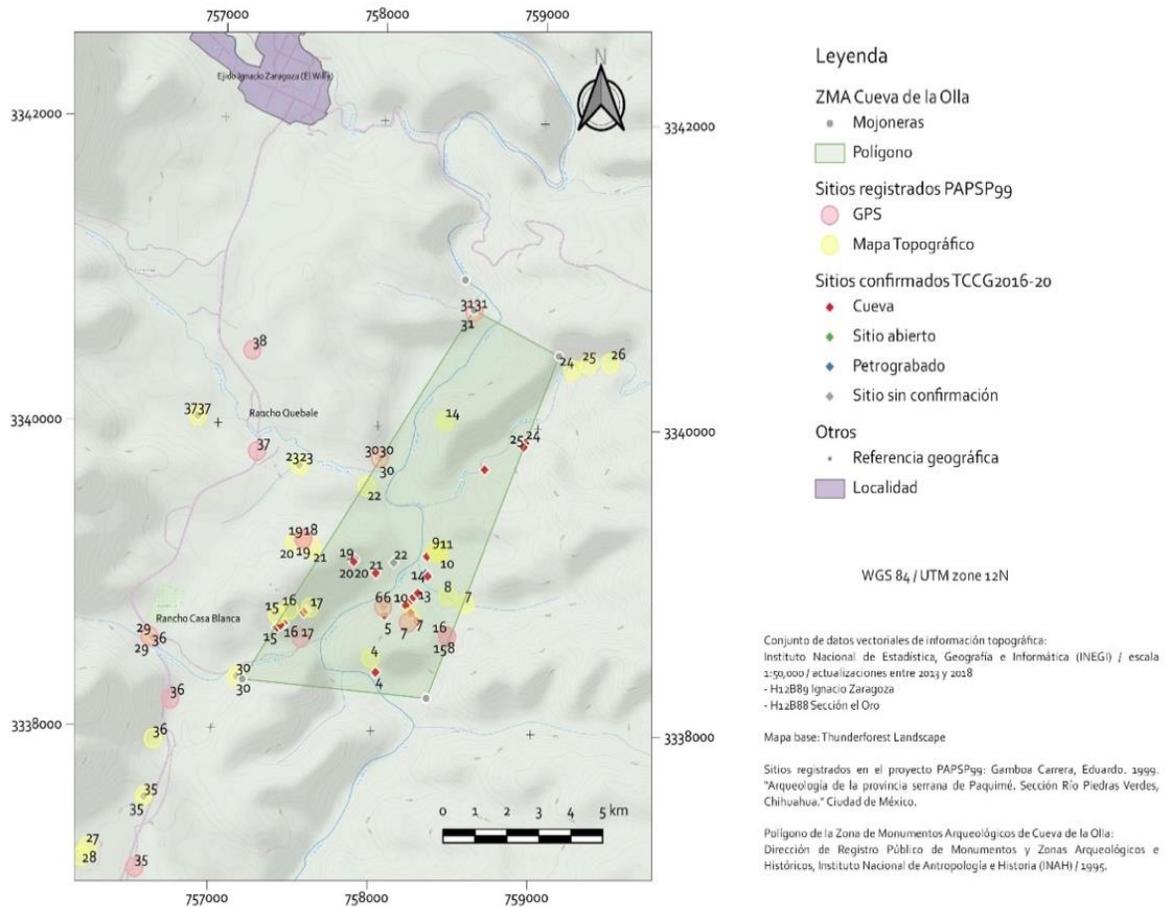


Tabla 1

Sitios registrados en el Proyecto Arqueología de la Provincia Serrana de Paquimé (PAPSP) dentro del polígono de la ZMA de Cueva de la Olla (Gamboa Carrera, 1999).

CLAVE	NOMBRE DE SITIO	NOMBRE DE SITIO REGISTRADO POR (LISTER ET AL., 1958)	TIPO DE SITIO
4	Cueva del Tarín	NULL	Cueva habitacional
5	Cueva de los Murciélagos	NULL	Habitación
6	Montezuma del Murciélago	NULL	Sitio abierto habitacional terrazas
7	Cueva del Rincón A	Rincon Cave	Cueva habitación
8	Cueva del Rincón B	NULL	Cueva habitacional
9	PAPSP 9/99	NO NAME	Pintura
10	Cueva de la Golondrina	Swallow Cave	Pintura
11	Cueva Tau	Tau Cave	Cueva
12	Cueva de las Lajas	Slab Cave	Cueva habitación
13	El Pajarito	NO NAME	Pintura
14	El Abrigo	NULL	Grabado (tallado)
15	Cueva de la Piedra Volada	NO NAME	Cueva Habitación
16	Cueva del Solito	NO NAME	Cueva Acantilado
17	Cueva de la Olla (quebale)	Olla Cave	C A
18	Cueva de las Ventanas	Window Cave	AC/SE
19	Cueva del Corral / Cueva del Zorrillo	Corral Cave	Cueva Habitacional
20	Cueva del Capulín	NO NAME	Cueva Habitación
21	Cueva del Mirador	NULL	Cueva Habitación
22	Montezuma de la Labor	NULL	Montezuma
23	Montezuma del Rey	NULL	Montezuma
24	Cueva de las Escaleras	NULL	Cueva Habitación
25	Cueva Abierta	NULL	Cueva Habitación

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.

II. ANTECEDENTES

En la primera etapa del presente proyecto, se empezó la documentación de Cueva de la Olla que contaba solamente con croquis sin medidas mediante el método convencional. Con el objetivo de lograr eficiencia y productividad del trabajo de campo con bajo costo, se optó el método de fotogrametría de objeto cercano (CPR) para levantamiento de Cueva de la Olla y otras cuevas en el Valle de las Cuevas (Tabla 2).

Tabla 2

Método de documentación, y resultados y alcances por etapa.

ETAPA	AÑO	MES	OBJETO	MÉTODO	PRODUCTO
1ª ETAPA	2016	diciembre	Cueva de la Olla	Levantamiento a mano	Alzados detallados (1:10) con registro de deterioros
	2017	julio	Cueva de la Olla	Estación total	Plano de planta con medidas
	2017-2018		Cueva de la Olla	(AutoCAD)	- Digitalización de alzados - Esquema tridimensional del granero
2ª ETAPA	2018	julio	Cueva de la Olla	Fotogrametría de Objeto Cercana (Terrestre)	Modelo tridimensional
	2018	noviembre	- Cueva del Corral - Cueva de las Ventanas - Cueva del Solito - Cueva del Rincón B	Fotogrametría de Objeto Cercana (Terrestre)	Modelo tridimensional
	2019		- Cueva de la Olla - Cueva del Corral y Cueva de las Ventanas	(ReCap Photo, ReCap, Revit)	Combinación de modelos tridimensionales
	2020	febrero	Cueva del Solito	Fotogrametría de Objeto Cercana (Terrestre)	Modelo tridimensional
3ª ETAPA	2022		Valle de las Cuevas (66%)	Fotogrametría de Objeto Cercana (Aéreo)	- Nube de puntos - Ortofoto georreferenciado - Curvas de nivel
	2023		Valle de las Cuevas (100%)	Fotogrametría de Objeto Cercana (Aéreo)	- Nube de puntos - Ortofoto georreferenciado - Curvas de nivel

Documentación convencional de Cueva de la Olla (2016-18)

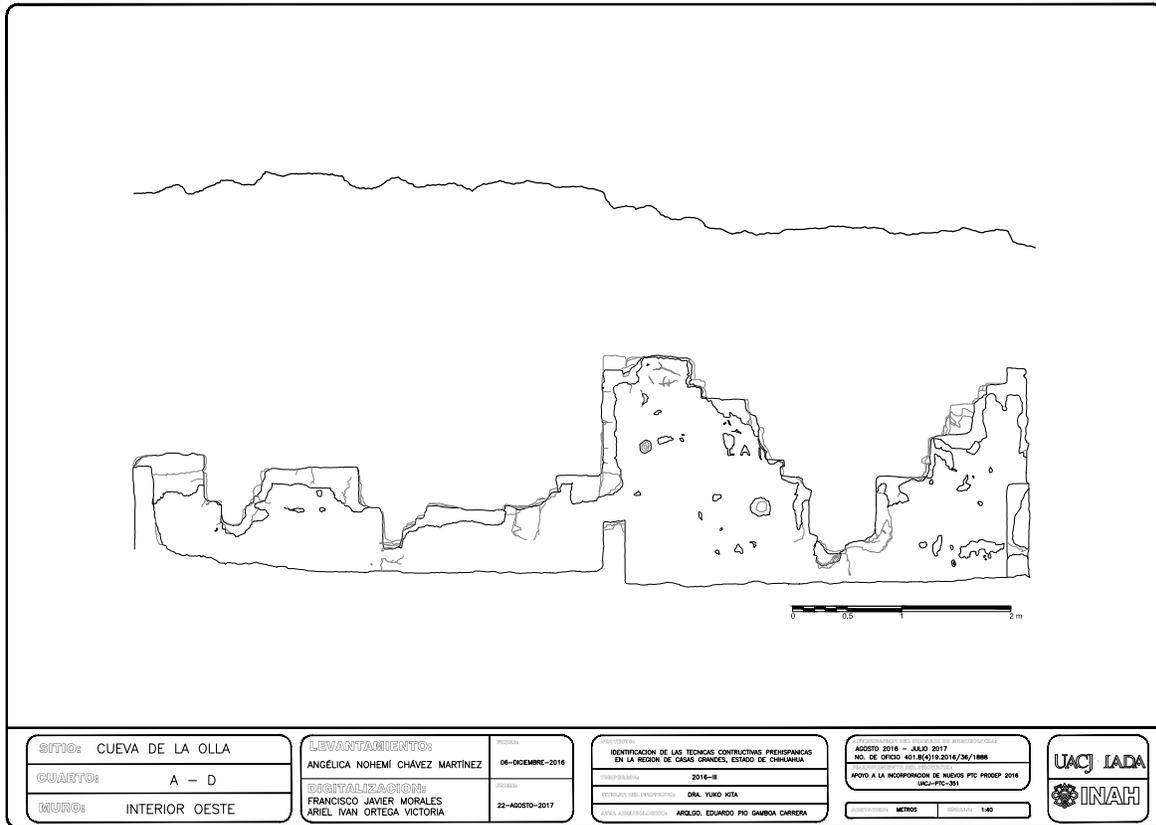
Se realizó el levantamiento riguroso y sistemático de las estructuras de Cueva de la Olla. Siguiendo los métodos utilizados para la documentación de los conjuntos habitacionales en acantilados de Mesa Verde (Nordby et al., 2000), Colorado y de Río Taraises, Sonora (Bagwell, 2006), se levantaron a mano los alzados y la planta a una escala de 1:10 (bidimensional, X y Z) en diciembre de 2016 por tres semanas con tres estudiantes de la Licenciatura en Arquitectura del Departamento de Arquitectura del Instituto de Arquitectura, Diseño y Arte (IADA) de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ) y la titular del proyecto. Posteriormente en julio de 2017, se realizó triangulación para vincular los planos levantados a mano, así como levantamiento del esquema de granero (tridimensional, X, Y y Z) durante tres días con el apoyo del Ing. Eduardo Carlos Recio González del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental del Instituto de Ingeniería y Tecnología (IIT) de la UACJ. No es posible levantar estas estructuras completamente por topografía (estación total), debido a que los espacios de varios cuartos son demasiado pequeños y no hay suficiente distancia entre el aparato y el muro. Por otro lado, para disminuir el deterioro del piso original, es conveniente que utilizar el menor número posible de puntos de observación al emplear la estación total. Esto es la razón de elaborar los planos a través del levantamiento a mano y después vincularlos con el apoyo de estación total.

Durante la segunda mitad del año 2017 y el año 2018, se digitalizaron los planos bidimensionales levantados a mano (alzados y planta) mediante la aplicación de Autodesk™ AutoCAD® (Figura 2). Posteriormente se realizaron los modelos de información para la construcción (BIM) por Autodesk™ Revit®. Participaron ocho estudiantes de la Licenciatura en Arquitectura del IADA-UACJ.

La ventaja de este método es poder obtener los planos detallado e interpretado del estado actual de los bienes inmuebles. La desventaja es que se requieren de una cantidad de tiempo considerable y dibujantes que tienen habilidad de dibujo arquitectónico a mano para el levantamiento a mano detallado, 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 requirió una estancia de tres dibujantes por tres semanas. Además, la digitalización de los planos manuales cotejando con los datos tridimensionales de triangulación demanda bastante tiempo y dibujantes que tienen habilidad de CAD y BIM (nivel intermedio-avanzado de Licenciatura en Arquitectura). En cuanto a la digitalización y creación de BIM de la Cueva de la Olla, han participado ocho estudiantes en un año y medio (hay variedad de tiempo de dedicación de cada estudiante).

Figura 2

Plano de alzado digitalizado del muro interior oeste de los cuartos A y D.



Documentación digital de Cueva de la Olla y cuatro cuevas (2018-20)

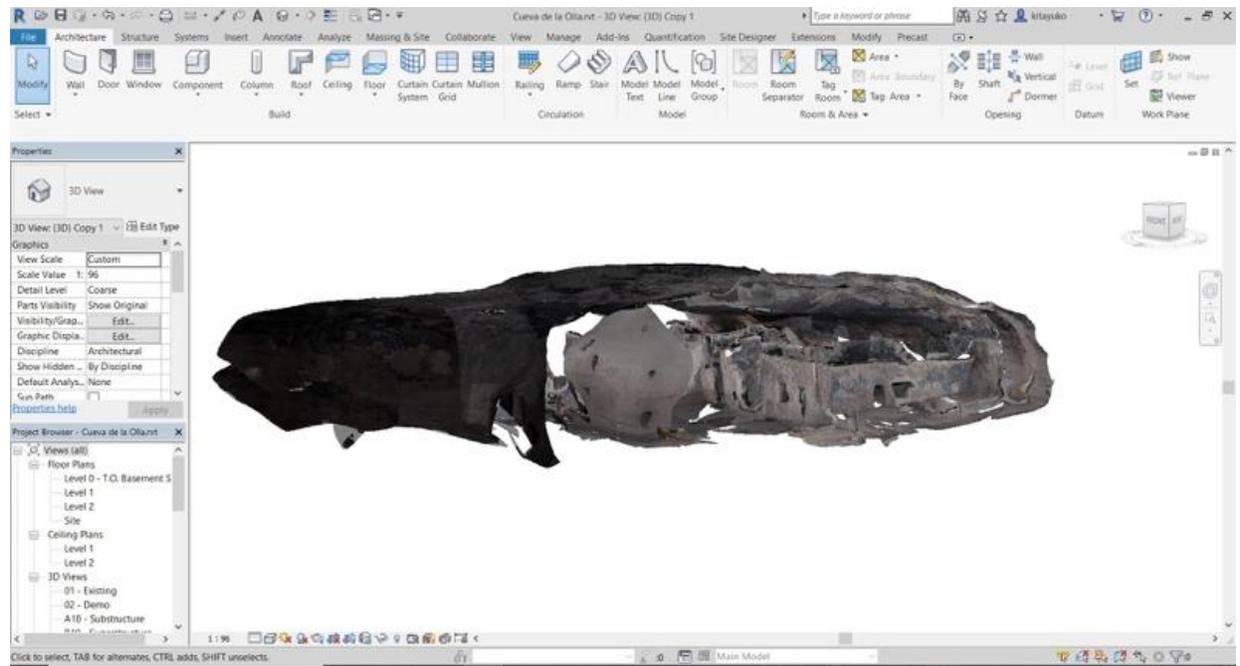
En la segunda temporada del proyecto se realizó el levantamiento mediante Fotogrametría de Objeto Cercano (CRP, Close-Range Photogrammetry), aprovechando la técnica de Structure from Motion (SfM), una técnica de investigación topográfica que se ha desarrollado en el área de visión artificial y fotogrametría tradicional que produce nubes de puntos tridimensional de una calidad alta y densa, con un costo mínimo (Carrivick et al., 2016; Westoby et al., 2012). Si se toman fotografías con cámara sin señal de GPS dentro de una caverna, las fotografías no tienen información geográfica. No se puede generar un solo modelo tridimensional a través de todas las fotografías sin información geográfica, por lo que, es necesario vincular los modelos tridimensionales generados de cada espacio con información adicional sobre la relación entre cada modelo. Por lo que, la medición con estación total es indispensable para triangulación y significa más que toma de puntos de control. Además, hubo limitación de la aplicación académica para generación de modelos tridimensionales: solamente se pueden utilizar hasta 100 fotos por cada procesamiento. En julio de 2018 se realizó el trabajo de campo para toma de fotografías de Cueva de la Olla

con el apoyo del M. en C. Sergio Alvarado Soto del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental del IIT-UACJ y la titular del proyecto. En noviembre de 2018 se realizó toma de fotografías de Cueva del Solito, Cueva del Corral, Cueva de las Ventanas y Cueva del Rincón B, también con el apoyo del M. en C. Alvarado Soto, Angélica Nohemí Chávez Martínez, estudiante de Licenciatura en Arquitectura del IADA-UACJ y la titular del proyecto. Por otro lado, incluyendo Cueva de la Olla, se realizó la triangulación con estación total en las cuevas.

Posteriormente, durante el año 2019, se realizó el procesamiento de los datos levantados en campo, empleando Autodesk™ ReCap® Photo, ReCap® Pro y Revit®. Las fotografías se separaron en carpeta por espacio (más de 20 fotos y menos de 100 fotos) para generar modelo tridimensional a través de la aplicación ReCap® Photo. Posteriormente cada modelo tridimensional generado (.rcm) se escala con los puntos de control medidos con estación total, se depura los datos y se exporta en un archivo de nube de puntos (.pts). Para combinar los modelos en Revit®, se creó un proyecto de ReCap® Pro (.rcp) e importó el archivo de nube de puntos (.pts). Al proyecto de Revit® (.rvt) se insertó nube de puntos en el formato rcp. Se combinaron los modelos de acuerdo con los puntos de control que se tomaron en campo. Se insertó también el archivo de la planta (.dwg) para orientar cada modelo de Cueva de la Olla (Figura 3). Participó Angélica Nohemí Chávez Martínez, estudiante de Licenciatura en Arquitectura del IADA-UACJ.

Figura 3

Combinación de modelos de Cueva de la Olla en Autodesk™ Revit®.



Se comprobó la eficiencia del método CPR para documentación de los bienes inmuebles dentro de cavernas: disminución del tiempo de trabajo en campo y en gabinete, comparando con el levantamiento convencional; así como obtención del modelo tridimensional de los bienes inmuebles con información de su textura. No obstante, no se puede generar modelo tridimensional cuando hay fallas en toma de fotografías por oscuridad, contraluz, sombras y otros factores similares. Por ejemplo, en el caso de Cueva de la Olla, fue necesario tomar fotografías después de atardecer, cuando ya no hay luz natural en la cueva, utilizando el flash fotográfico. En el caso de Cueva del Solito, una cueva pequeña que apenas cabe una o dos personas adentro, la distancia entre la superficie del muro y la cámara fue problema. Por lo que, se consiguió un lente de gran angular para toma de fotografías, siguiendo el método propuesto por del equipo de Alessandri (2019). Se obtuvo un mejor resultado del Cueva del Solito con las fotografías tomadas en febrero de 2020.

Para mejorar el método CPR para la documentación de los bienes inmuebles dentro de cavernas, en los mediados de 2018 se solicitó la adquisición de herramienta, accesorio y aplicación por medio del “Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica: CONACYT–Gobierno del Estado de Chihuahua”. Aprobaron el fondo en los mediados de 2020 (CHIH-2018-02-01-19207) y llegaron la herramienta, el accesorio y la aplicación en mayo de 2022.

III. METODOLOGÍA

Mientras se estaba en espera de recibir la herramienta, el accesorio y la aplicación para realizar la documentación de los bienes inmuebles dentro de caverna, se planteó el mapeo de la zona de monumentos arqueológicos (ZMA) de Cueva de la Olla (220.7 hectáreas) como inicio de la documentación de paisaje cultural de Valle de las Cuevas. La documentación de Valle de las Cuevas ayudará a entender la relación geográfica de las cuevas y otros elementos culturales y naturales.

Para realizar el mapeo general del polígono de la ZMA de Cueva de la Olla, se utilizó también el método de CPR aérea. En 2022, se utilizó un eBee Ag, dron de ala delta y asequible desarrollado para realizar cartografía precisa de un modo rápido y sencillo. Debido a que el modelo del dron eBee Ag ya no se fabrica, el soporte por parte de empresa y proveedor ha sido pobre, en consecuencia, no se ha podido resolver el problema que tiene el dron para poder terminar el vuelo programado. Por lo que, en 2023, se utilizó un Phantom 4 RTK, dron

multirrotor para realizar fotogrametría aérea. Los datos levantados en campo se procesaron en el Laboratorio de Topografía del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental del IIT-UACJ, empleando aplicación PIX4Dmapper.

IV. RESULTADOS

Recolección de datos en campo 2022

Se realizó el primer trabajo de campo entre el lunes 13 y el viernes 17 de junio de 2022. Participaron el M. en C. Sergio Alvarado Soto del IIT-UACJ, los estudiantes de la Licenciatura en Ingeniería Civil: Ángel Alejandro Bolívar Nájera y Heriberto Torres García, así como la titular del proyecto.

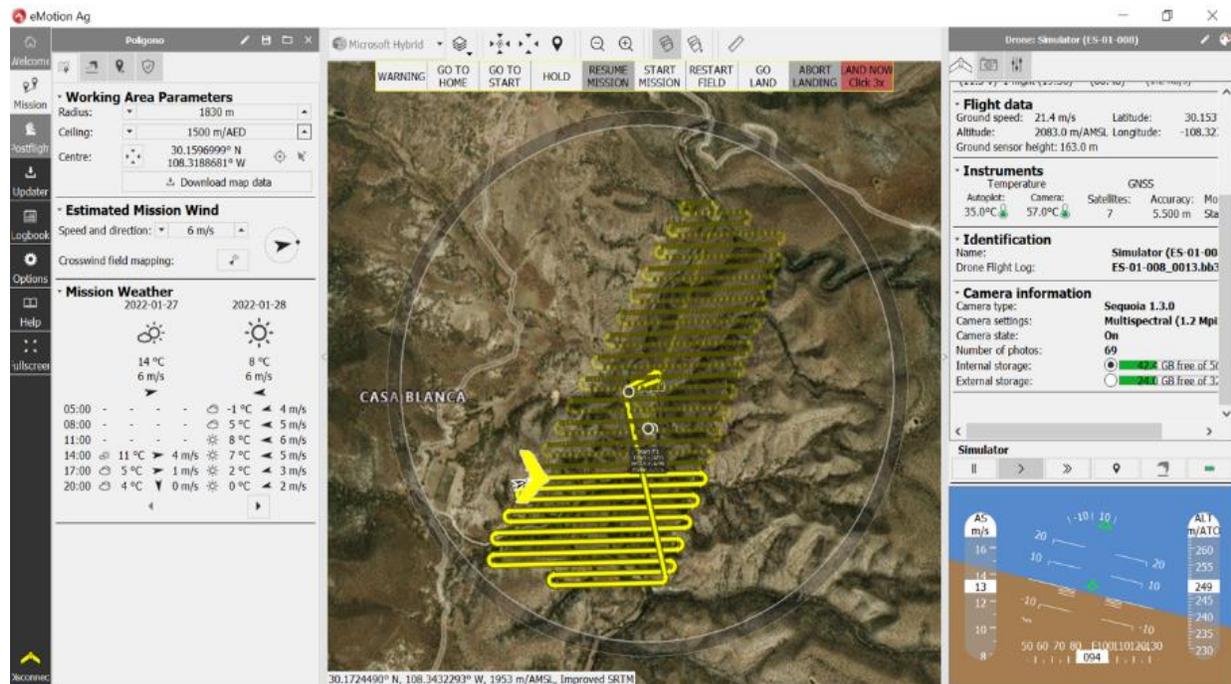
El trabajo de campo consistió en el reconocimiento de la Zona de Monumentos Arqueológicos (ZMA) de Cueva de la Olla (220 ha), la toma de fotografías de la zona por vehículo aéreo no tripulado (UAV) de ala fija, así como las lecturas de GPS de los puntos de control de tierra por los alumnos. Por otro lado, de manera experimental, se realizó la toma de fotografías de alzados de algunas partes del acantilado por UAV multirrotor por la titular del proyecto. En el campamento de base, se realizaron los procesamientos para generación de modelos 3D y modelos digitales de elevación (georreferenciados).

Después de realizar el reconocimiento de campo el primer día, el segundo día de campo se empezó a tomar fotografías por el UAV de ala fija. Cuando se realizó una simulación del vuelo en el polígono de la ZMA con la aplicación eMotion⁴, el tiempo de vuelo estimado salió como una hora (Figura 4). Sin embargo, el dron regresaba en el medio del vuelo con el mensaje de alerta “Picture Time-out”. En el segundo vuelo, perdió su potencia y estrelló a un árbol cerca del punto de despegue. Se despegó una parte de ala que ya había caído anteriormente y se volvió a reparar con pegamento. El tercer día, se repitió el vuelo. El dron no siguió el vuelo programado desde donde regresó, y empezó el vuelo desde el principio. Ese día también el dron repitió el mismo error “Picture Time-out” en la mitad del vuelo. La

⁴ Se le asignó un radio de aproximadamente 1,800 m y se establecieron las líneas de vuelo distribuidas en 36 líneas con una orientación de oeste a este, siguiendo las dirección y velocidad de los vientos en la zona para el 28 de enero de 2022. La altura y desarrollo del vuelo se basa en obtener productos con una resolución de 15 cm por píxel (alta resolución), esto deriva en iniciar con una altura ortométrica de 120 m sobre el valle. Cabe mencionar que la diferencia de la altura más baja del valle y la altura más alta en el radio programado es menos de 120 m. Las fotografías cubrirán el área, almacenando y capturando 1300 fotografías aproximadamente. El tiempo de vuelo estimado será de unos 65 minutos para este primer vuelo y o simulación. Se considera un tiempo de vuelo de 45 a 50 minutos para los vuelos siguientes.

parte del ala reparada se veía frágil y podría despegarse en el segundo vuelo. Para no perder las partes del UAV en lugar donde va a ser difícil encontrarlas, se decidió concluir el vuelo por el UAV de ala fija en este trabajo de campo. Por lo que, la toma de fotografías abarcó dos tercios de la zona de monumentos arqueológicos.

Figura 4
Simulación del vuelo en el Valle de las Cuevas.



Falta una parte de la zona de levantamiento, repitiendo dos veces la toma de fotografía de la misma área. Sin embargo, se tomaron fotos desde las diferentes líneas (ángulos) de vuelo, en consecuencia, el traslape de las fotos obtenidos ha sido alto. En la zona que abarcó el vuelo, se encuentran los elementos culturales de manera más densa.

El objetivo del vuelo experimental del UAV multirrotor comercial tomando fotografías de los alzados de acantilado es evaluar la viabilidad de localización de las cuevas a través del modelo generado por la fotogrametría; por otro lado, en el caso de que es viable, calcular el tiempo de trabajo y ver la logística del trabajo. Se realizó tomas de fotografías en las siguientes cuevas:

- Vuelo 1
 - Cueva de la Olla (Tabla 1, Clave 17)
- Vuelo 2
 - Cueva del Solito (Tabla 1, Clave 16)

- Vuelo 3
 - Cueva de la Piedra Volada (Tabla 1, Clave15)
- Vuelo 4
 - Cueva de las Ventanas (Tabla 1, Clave 18)
 - Cueva del Corral (Tabla 1, Clave 19)
- Vuelo 5
 - PAPSP 9/99 (Cueva con pinturas rupestres) (Tabla 1, Clave 9)
 - Cueva de la Golondrina (Tabla 1, Clave 10)
 - Cueva Tau (Tabla 1, Clave 11)
 - Cueva de las Lajas (Tabla 1, Clave 12)
 - Cueva El Pajarito (Tabla 1, Clave 13)

Los primeros tres vuelos se realizaron cerca del alzado de cada cueva, por cuestión de vegetación que cubre el alzado o por condición topográfica del área. En el vuelo 4 también se tomaron fotografías relativamente cerca del alzado de las cuevas que se encuentran juntas en el fondo de una cañada. En cuanto al vuelo 5, se realizó el vuelo con una distancia mayor por la planicie ancha del río y se pudo abarcar el alzado completo del cerro con cinco cuevas.

Los procesamientos provisionales (densificación / generación de nube de puntos tridimensional) se realizaron en el campamento de base por la noche. En cuanto a la zona general capturada por el UAV de ala fija, se obtuvieron un resultado satisfactorio, sobre todo después de dos vuelos repetidos con diferentes ángulos (por mayor traslape). En cuanto a los alzados, los cuatro vuelos que se realizaron cerca del alzado tuvieron errores, sin embargo, el procesamiento del vuelo 5 emitió un resultado bastante satisfactorio, a pesar de que los datos fueron capturados por un dron comercial pequeño.

Por otra parte, el trabajo de campo en general ha sido una buena capacitación de los alumnos sobre el uso de los equipos y la logística del trabajo en campo.

Falta realizar la parte de la zona de los monumentos arqueológicos que no abarcaron los vuelos del UAV de ala fija (eBee), debido a que la empresa ya no fabrica este modelo ni refacciones, tampoco hay seguimiento de soporte. Se solicitó al Departamento de Ingeniería e Civil el uso de un dron de multirrotor del uso profesional que adquirió en el principio de 2023 y el apoyo del uso por el M. en C. Sergio Alvarado Soto. Por lo que, se planea completar la parte que no se pudo cubrir en 2022 en la siguiente salida al trabajo de campo. A parte de cuestión técnica del UAV, por cuestión de salud de la servidora (preparación, realización y recuperación por una cirugía y para la otra más), no se ha podido

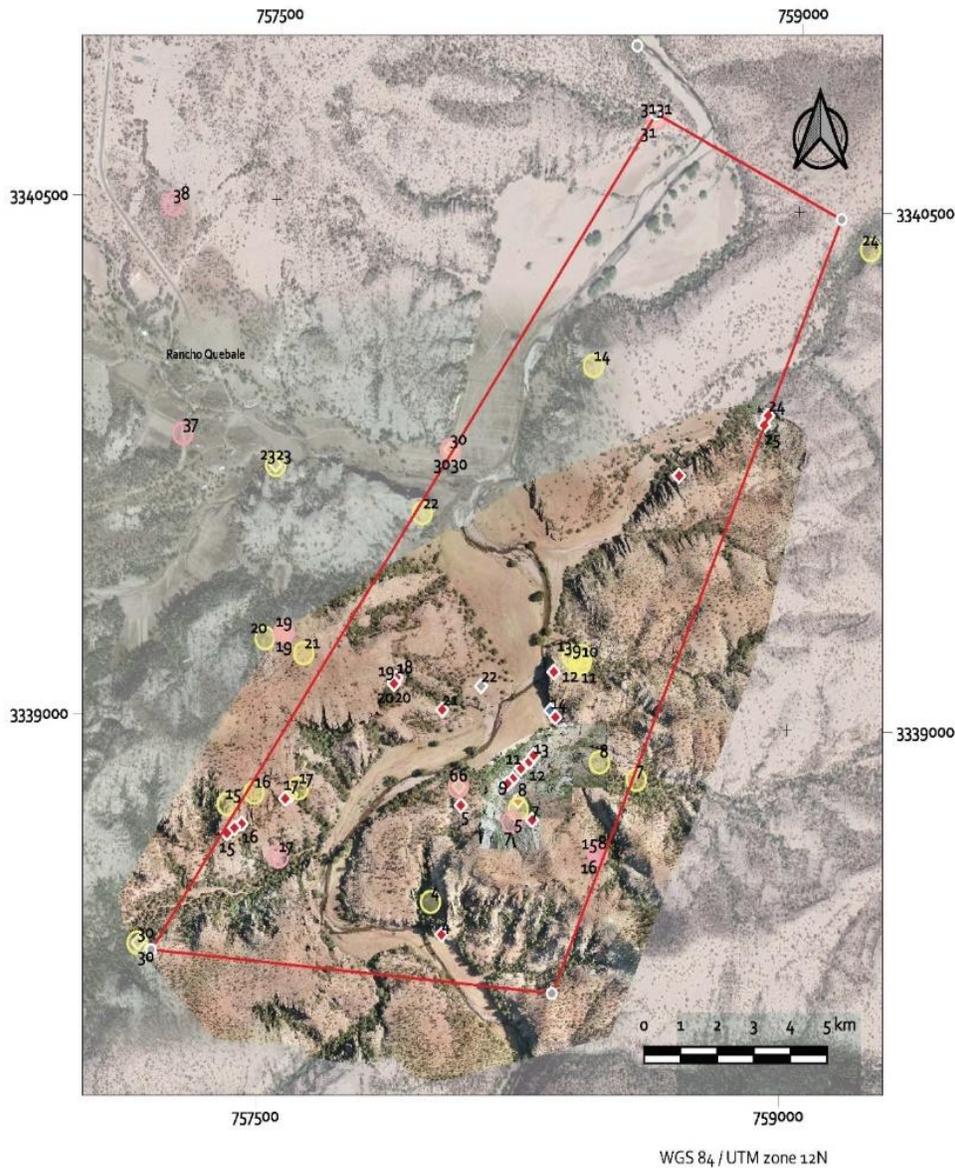
realizar otras salidas al trabajo de campo en la última mitad del 2022 y en la primera mitad del 2023. Se espera realizar el trabajo entre junio y julio de 2023, si las condiciones nos permitan.

Procesamiento de los datos levantados en campo 2022

Con los datos adquiridos del vuelo del UAV de ala fija, el Mtro. Sergio Alvarado Soto y los alumnos de servicio social del Laboratorio de Topografía de Instituto de Ingeniería y Tecnología realizaron los procesamientos para generación de modelos tridimensionales y digitales de elevación georreferenciados, así como ortofotos a través de la aplicación Pix4D mapper. Se arrojó un producto satisfactorio que reconoce los detalles del Valle de las Cuevas con alta precisión de las coordenadas geográficas (Figura 5). En cuanto a los datos obtenidos del vuelo experimental del UAV multirrotor, se realizó también el mismo procesamiento y como reconoció en el campamento de base en el trabajo de campo, se obtuvo un resultado satisfactorio del vuelo 5 (cinco cuevas) (Figura 6).

Figura 5

Ortofoto georreferenciada de la Zona de Monumentos Arqueológicos de Cueva de la Olla levantado en junio de 2022.



Legenda

ZMA Cueva de la Olla

- Mojoneras
- ▭ Polígono

Sitios registrados PAPSPgg

- GPS
- Mapa Topográfico

Sitios confirmados TCCG2016-20

- ◆ Cueva
- ◆ Sitio abierto
- ◆ Petrograbado
- ◆ Sitio sin confirmación

Conjunto de datos vectoriales de información topográfica: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) / escala 1:50,000 / actualizaciones entre 2013 y 2018 / H12B89 (Ignacio Zaragoza) y H12B88 (Sección el Oro)

Ortofoto: Mtro. Sergio Alvarado Soto, Ángel Alejandro Bolívar Najera y Heriberto Torres García, Laboratorio de Topografía del IIT-UACJ

Mapa base: Google Satellite

Sitios registrados en el proyecto PAPSPgg: Gamboa Carrera, Eduardo. 1999. "Arqueología de la provincia serrana de Paquimé. Sección Río Piedras Verdes, Chihuahua." Ciudad de México.

Polígono de la Zona de Monumentos Arqueológicos de Cueva de la Olla: Dirección de Registro Público de Monumentos y Zonas Arqueológicas e Históricas, Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) / 1995.

Figura 6

Una vista de la nube de puntos del alzado de un cerro donde se encuentran 5 cuevas en la ZMA de Cueva de la Olla levantado en junio de 2022.



Recolección de datos en campo 2023

Como había mencionado, debido a la discontinuación del soporte del UAV eBee Ag, los productos no han cubierto la totalidad de la zona protegida. En 2023, el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental del IIT-UACJ adquirió un UAV multirrotor (Phantom 4 RTK) y estación móvil D-RTK 2 (antena GNSS) y se solicitó su uso para realizar fotogrametría aérea.

Se realizó el trabajo de campo entre el martes 27 y el viernes 30 de junio de 2023. Participaron el M. en C. Sergio Alvarado Soto del IIT-UACJ, la estudiante de la Licenciatura en Arquitectura del IADA-UACJ, Adriana Edith Suárez García, así como la titular del proyecto.

El trabajo de campo consistió en la toma de fotografías de la Zona de Monumentos Arqueológicos de Cueva de la Olla. También, se realizó la toma de videos y fotografías de alzados de algunas partes del acantilado por el mismo UAV de manera experimental.

Se realizaron 4 vuelos para adquirir fotografías verticales cubriendo toda la zona arqueológica (220 ha). Cada vuelo (una batería) duraba más o menos 20 minutos, tomando alrededor de 190 fotografías y abarcando unas 60 hectáreas.

Realizamos de nuevo el vuelo experimental del UAV multirrotor profesional tomando videos de los alzados de acantilado para comparar con los resultados con el UAV multirrotor recreativo del 2022, así como, calcular el tiempo de trabajo y ver la logística del trabajo en futuro. Se realizó tomas de videos en los siguientes conjuntos:

- Conjunto 1
 - Cueva de la Olla (Tabla 1, Clave 17)
 - Cueva del Solito (Tabla 1, Clave 16)
 - Cueva de la Piedra Volada (Tabla 1, Clave15)
- Conjunto 2
 - PAPSP 9/99 (Cueva con pinturas rupestres) (Tabla 1, Clave 9)
 - Cueva de la Golondrina (Tabla 1, Clave 10)
 - Cueva Tau (Tabla 1, Clave 11)
 - Cueva de las Lajas (Tabla 1, Clave 12)
 - Cueva El Pajarito (Tabla 1, Clave 13)

En el conjunto 1, el vuelo se realizó con una distancia entre aproximadamente 130 m y 330 m desde el alzado del acantilado, tomando en cuenta de la estrategia establecida en 2022. Para el conjunto 2, el UAV mantuvo una distancia entre 200 m y 600 m aproximadamente con el alzado de las cuevas. Cada vuelo duró entre 15 y 20 minutos, adquiriendo 3 videos (cada video dura unos 5 minutos) (Figura 7).

Figura 7

Toma de fotos para fotogrametría aérea en la ZMA de Cueva de la Olla levantado en junio de 2023.



Procesamiento de los datos levantados en campo 2023

Los datos levantados en campo se procesaron en el Laboratorio de Topografía del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental del IIT-UACJ y el Laboratorio de Patrimonio Urbano y Arquitectónico del IADA-UACJ. A partir de las fotografías verticales, se obtuvieron productos satisfactorios de 1) nube de puntos [.las]; 2) malla tridimensional [.fbx, .obj, .rcm]; 3) modelo digital de superficie [.tif]; así como 4) ortomosaico [.tif], empleando las aplicaciones PIX4Dmapper y ReCap Photo, con los que reconoce los detalles del Valle de las Cuevas con una alta precisión (Figuras 8, 9 y 10).

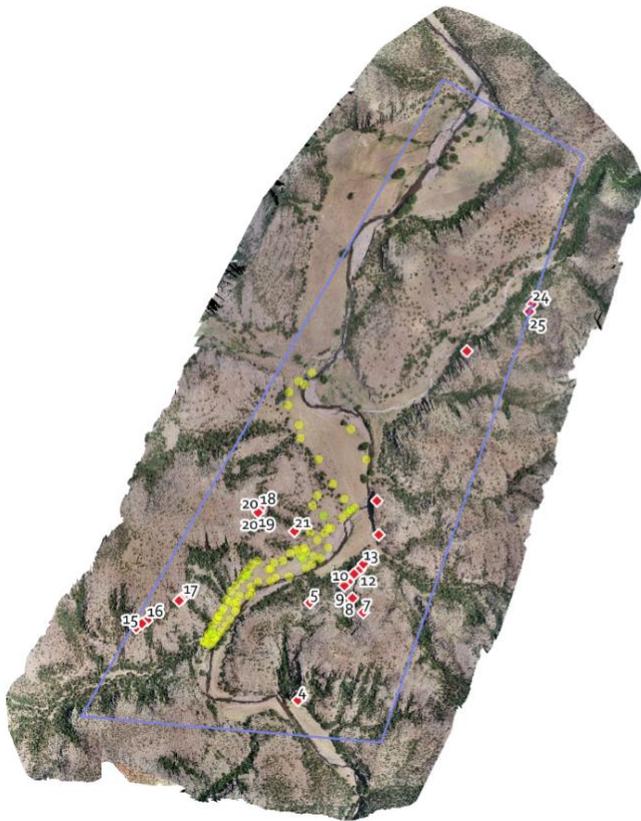
Figura 8

Malla tridimensional textualizada de la zona protegida, generado por Pix4Dmapper.



Figura 9

Ortofoto generada por Pix4Dmapper y georreferenciada por GQIS.



Leyenda

Zona de Monumentos Arqueológicos

Polígono Cueva de la Olla

Paisaje Cultural

Cueva

Sitio abierto

Petrograbado

Puntos de control

GPS_202206-2

GPS_202206-1

Mapa base: Google Satellite

Polígono de la Zona de Monumentos Arqueológicos de Cueva de la Olla: Dirección de Registro Público de Monumentos y Zonas Arqueológicas e Históricas, Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) / 1995.

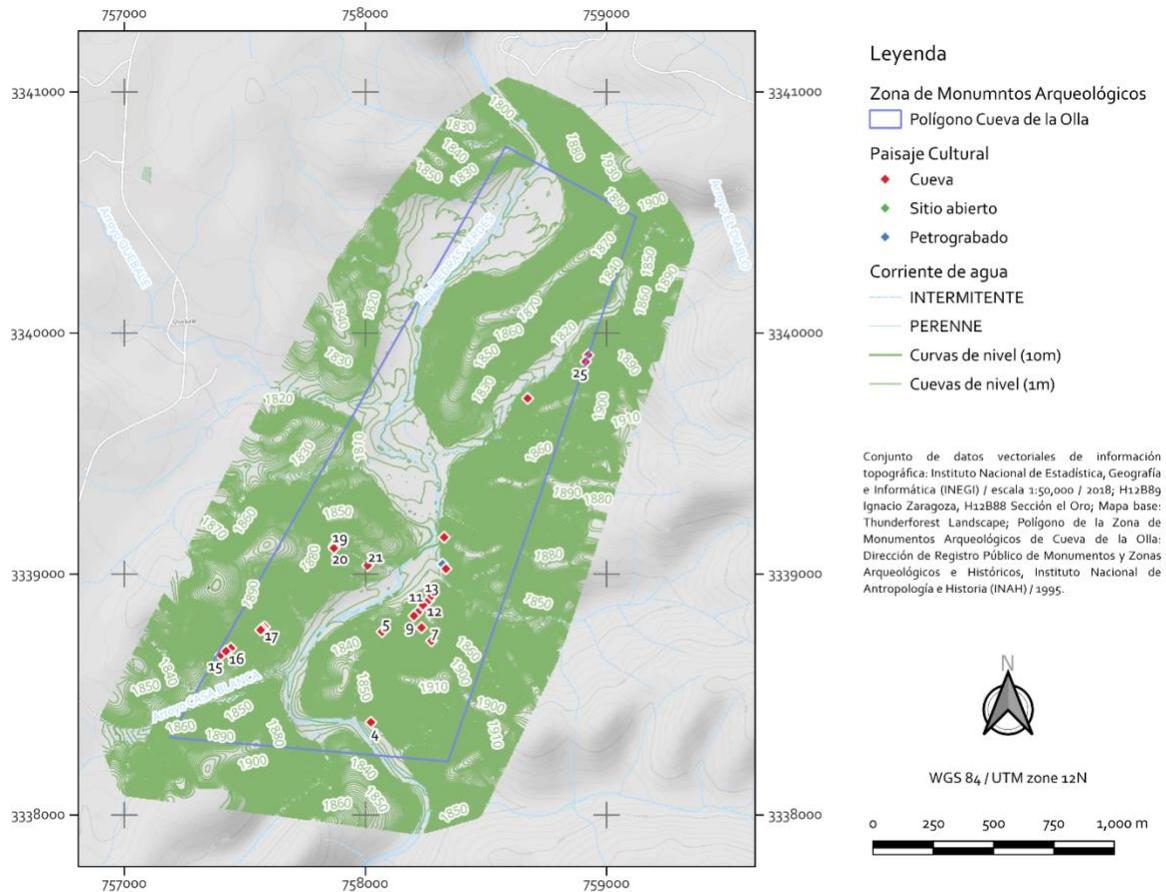
WGS 84 / UTM zone 12N



0 250 500 750 1,000 m



Figura 10
Curvas de nivel generado por QGIS.



Con los datos obtenidos de los vuelos oblicuos del UAV multirrotor, se generaron los productos de 1) nube de puntos [.las], así como 2) malla tridimensional [.fbx, .obj, .rcm]. La nube de puntos y la malla tridimensional textualizada de la sección de “Conjunto 1” (Figura 11), así como la nube de puntos de la sección de “Conjunto 2” salieron con éxito, mientras la malla tridimensional textualizada de la sección de “Conjunto 2” salió oscuro por la sombra por cuestión de la luz del sol (horario).

Figura 11
Malla tridimensional textualizada del acantilado del cerro donde se encuentra la Cueva de la Olla, generada por Pix4Dmapper.



V. OBSERVACIONES

Cabe mencionar que la fotogrametría del objeto cercano es un método útil para documentar un área extenso con sus detalles en corto tiempo. En el caso de la zona de monumentos arqueológico de Cueva de la Olla, se encuentran varios elementos culturales combinados con los elementos naturales, es indispensable contar con otrofoto georreferenciada y mallas tridimensionales textualizadas para ubicar cada elemento y analizar las relaciones entre ellos.

Desde el 2016 se han aplicado diversos métodos de documentación en la zona de monumentos arqueológicos de Cueva de la Olla, según los recursos y tiempos disponibles.

La documentación detallada arquitectónica es importante, ya que todos los aspectos están relacionados directamente con la tecnología de construcción, incluyendo la información sobre las adecuaciones de la superficie de la cueva. Los productos describen por sí mismo el estado de conservación del vestigio. El método de levantamiento a mano alzado 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. Por otro lado, el método de fotogrametría terrestre nos posibilita percibir los detalles que no se puede observar a ojo, cambiando la textura de malla tridimensional. En cuanto a la escala de la zona, la documentación de la zona de los monumentos arqueológicos completa es importante para analizar los espacios y entender el paisaje cultural. El método de fotogrametría aérea permite documentar un área extenso de manera detallada.

Así se logrará la documentación integral de la zona de monumentos arqueológicos de Cueva de la Olla, completando con la documentación detallada de los vestigios en varias cuevas a través del método convencional y digital, así como la documentación del paisaje vertical de la zona (alzados de los acantilados). Esta documentación integral serviría como información básica para empezar los proyectos de conservación y gestión del sitio, así como para los estudios científicos del sitio arqueológico.

VI. PRODUCTOS

1. Nube de puntos de la Zona de Monumentos Arqueológicos de Cueva de la Olla
2. Mallas tridimensionales textualizadas de la Zona de Monumentos Arqueológicos de Cueva de la Olla
3. Ortofoto de la Zona de Monumentos Arqueológicos de Cueva de la Olla
4. Curvas de nivel de la Zona de Monumentos Arqueológicos de Cueva de la Olla [SHP]
5. Ponencia “Documentation for the Preservation of Cultural Landscape of Cave Valley, Casas Grandes, Chihuahua” en la *23rd Biennial Jornada Mogollon Conference at El Paso Museum of Archaeology*, 20-22 de octubre de 2023.
6. Ponencia “Documentación en proceso de Cueva de la Olla” en la sesión temática de Arqueometría en la *Primera Mesa Redonda Paquimé*, 26-28 de octubre de 2023. (Capítulo de libro “Los métodos y procesos de documentación en la Zona de Monumentos Arqueológicos de Cueva de la Olla” entregado para dictamen)

BIBLIOGRAFÍA

- 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* [Doctoral Thesis, The University of New Mexico]. <https://search.proquest.com/docview/305275922?accountid=151132>
- Carrivick, J. L., Smith, M. W., & Quincey, D. J. (2016). *Structure from Motion in the Geosciences* (First Edit). John Wiley and Sons, Inc.
- Dirección de Registro Público de Monumentos y Zonas Arqueológicas e Históricas. (1995). *Cueva de la Olla*. INAH.

- Gamboa Carrera, E. (1999). *Arqueología de la provincia serrana de Paquimé. Sección Río Piedras Verdes, Chihuahua.*
- Lister, R. H., Mangelsdorf, P. C., & Peck Kent, K. (1958). *Archaeological Excavations in the Northern Sierra Madre Occidental, Chihuahua and Sonora, Mexico* (K. K. Hulley, Ed.). University of Colorado.
- 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, Research and Resource Management Division.
- 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>

ANEXOS

- I. Mallas tridimensionales textualizadas de la Zona de Monumentos Arqueológicos de Cueva de la Olla
 - Valle de las cuevas_simplified_3d_mesh.obj
 - Valle de las cuevas_simplified_3d_mesh.rcm
- II. Mallas tridimensionales textualizadas de los alzados Conjunto 1 y Conjunto 2 (pruebas)
 - Conjunto1_simplified_3d_mesh.obj
 - Conjunto1_simplified_3d_mesh.rcm
 - Conjunto2_simplified_3d_mesh.obj
 - Conjunto2_simplified_3d_mesh.rcm
- III. Ortofoto de la Zona de Monumentos Arqueológicos de Cueva de la Olla
 - Valle de las cuevas_transparent_mosaic_group1.tif
- IV. Curvas de nivel de la Zona de Monumentos Arqueológicos de Cueva de la Olla [SHP]
 - ZMA_curvas_de_nivel_0.1m.zip
 - ZMA_curvas_de_nivel_1m.zip
 - ZMA_curvas_de_nivel_10m.zip