



90.

USO DE DRON PARA EL REGISTRO,
ANÁLISIS Y LEVANTAMIENTO DEL ESTADO
DE CONSERVACIÓN DE LA ARQUITECTURA
PREHISPÁNICA MEDIANTE CAPTURA
DE IMÁGENES. SITIO ARQUEOLÓGICO
EL MIRADOR, PETÉN, GUATEMALA

Josué Leonardo Guzmán, Jorge Marín Roma y Tarsicio Pastrana

XXXIII SIMPOSIO DE INVESTIGACIONES
ARQUEOLÓGICAS EN GUATEMALA

MUSEO NACIONAL DE ARQUEOLOGÍA Y ETNOLOGÍA
15 AL 19 DE JULIO DE 2019

EDITORES

BÁRBARA ARROYO
LUIS MÉNDEZ SALINAS
GLORIA AJÚ ÁLVAREZ

REFERENCIA:

Guzmán, Josué Leonardo; Jorge Marín Roma y Tarsicio Pastrana
2020 Uso de dron para el registro, análisis y levantamiento del estado de conservación de la arquitectura prehispánica mediante captura de imágenes. Sitio arqueológico El Mirador, Petén, Guatemala. En *XXXIII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2019* (editado por B. Arroyo, L. Méndez Salinas y G. Ajú Álvarez), pp. 1083-1092. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala.

USO DE DRON PARA EL REGISTRO, ANÁLISIS Y LEVANTAMIENTO DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA ARQUITECTURA PREHISPÁNICA MEDIANTE CAPTURA DE IMÁGENES. SITIO ARQUEOLÓGICO EL MIRADOR, PETÉN, GUATEMALA

Josué Leonardo Guzmán

Jorge Marín Roma

Tarsicio Pastrana

PALABRAS CLAVE

El Mirador, Fotogrametría, tecnología, conservación, dron.

ABSTRACT

This article deals with the benefits of using images generated by Drone for the detailed recording of the state of conservation and intervention of heritage buildings in the process of archaeological research. It is emphasized the importance of photogrammetry generated by means of traditional photography of two cases of study in monumental architecture of the Late Preclassic Period (350 BC to 150 AD) and the Middle Preclassic (1000 BC - 350 BC): The El Tigre 4D3-1 building, from the Architectural Complex El Tigre and Building 200, of the Cascabel Group. There are described other uses and applications in terms of documentation through photographic and audiovisual image, and their capacity to contribute to other interrelated disciplines, on which depends the sustainable management, development, conservation and future projection of the area and its overall context. The objective, therefore, is to highlight the advantages of the use of drone as a complementary tool in archeology and conservation in general, and in particular for historical heritage buildings through the use of photogrammetry and the elaboration of orthogonal projections.

INTRODUCCIÓN

El motivo inicial del presente artículo nace luego de haber recibido una cátedra sobre: uso de tecnología dron para el registro del estado de conservación de edificios monumentales, llevada a cabo en la Facultad de Arquitectura de la Universidad de San Carlos de Guatemala. En dicha cátedra se conoció sobre la formulación de una metodología de intervención en los edificios monumentales, a través de la cual se organiza, sintetiza y registra la documentación escrita, gráfica y

todos los datos referentes a un proyecto de restauración. La metodología permite registrar las causas y efectos del deterioro, facilitando el establecimiento del diagnóstico y las alternativas de solución para fundamentar el dictamen a partir de un modelo tridimensional exacto, las aplicaciones derivadas son varias: desde cartografías precisas, la creación de ortofotos de alta resolución e inclusión de modelos 3D en espacios virtuales (para divulgación e investigación).

En el caso específico de las ortofotografías, estas se pueden realizar con cámara fotográfica convencional

como se verá. Pero es importante mencionar los beneficios del uso de tecnología como la de los drones. Su uso ha sido variado y su popularidad ha crecido principalmente en los ámbitos de la cartografía, la agricultura, la fotografía y toma de video imágenes, pero inicialmente estuvo fuertemente vinculado con asuntos militares (Fernández 2017:28).

En el caso de la arqueología y los trabajos de conservación y restauración del patrimonio cultural edificado de Guatemala, su utilización rompe con los inconvenientes que el trabajo de campo requiere de lograr fotografías de planta y/o aéreas, donde muchas veces el ingenio juega un papel fundamental. De esta cuenta los árboles, el uso de lazos, escaleras o la necesidad de construir andamios han sido las soluciones muchas veces. Esa experiencia hace comprender su potencial para facilitar ciertas tareas durante la investigación científica y los levantamientos en los sitios arqueológicos o monumentos históricos patrimoniales.

La primera gran impresión que causan las imágenes generadas por medio de dron, es poder avizorar otro panorama que se desconocía de los edificios investigados y su contexto circundante, ampliando la comprensión sobre ellos, además el poder capturar dichas vistas fotográficamente a la altura, ángulos y luz del día deseadas o con video imágenes, cambian o fortalecen la perspectiva a nivel general del sitio arqueológico o edificio histórico, que anteriormente solo se podían lograr a esa escala desde vuelos tripulados, los cuales no son accesibles la mayoría de veces por sus elevados costos y requieren en la mayoría de los casos integrar un momento justo de la toma, con una gran experiencia y una cámara de alta calidad para lograrlo.

Los drones permiten gran versatilidad, pero genera opiniones encontradas entre los arqueólogos, arquitectos y restauradores de patrimonio inmueble, algunos de ellos consideran que su uso debe ser visto como herramienta complementaria a muchos de los levantamientos tradicionales, donde detalles de gran importancia que son procesados por el investigador, jamás podrán ser registrados por equipos de esta naturaleza. Otros opinan que los métodos tradicionales son tardados y costosos y que su utilización es una opción imprescindible, ya que *“los tiempos de ejecución de los trabajos con RPAS (Remotely Piloted Aircraft System), son menores que los realizados con otros sistemas, lo que repercute así en la disminución de los costos”*.

En este sentido es importante lo siguiente. Antonio Almagro en su libro *“Levantamiento Arquitectónico”* indica varios aspectos que vale la pena mencionar. Uno

es que hay que tomar en cuenta y distinguir entre la precisión absoluta y la relativa, siendo la primera de ellas la que dará el error máximo con que representa un punto respecto a su posición real en el espacio; la precisión relativa en cambio definirá el error con que ese punto se ha dibujado en relación a otros próximos de su entorno. Lo anterior está vinculado justamente a los métodos de medición, en donde realizar levantamientos con cinta métrica y con flexómetro puede proporcionar precisiones relativas muy grandes pues en una observación cercana se llega a apreciar incluso milímetros, pero es un método que propicia la acumulación de errores que según expresa el autor, conduce normalmente a errores absolutos mucho mayores.

La fotogrametría puede conducir a errores relativos más altos, ya que la resolución de la fotografía puede no permitir apreciar los detalles pequeños. Sin embargo, la precisión absoluta de este sistema es siempre mucho mayor ya que se realiza un control general de los errores y con ello se logran además precisiones mucho más homogéneas. La combinación de distintos sistemas puede ayudar a conseguir una mayor homogeneidad en las precisiones, aunque como norma general, debe primarse la precisión absoluta sobre la relativa, pues la primera es la que controla los errores más representativos (Almagro 2004).

Lo anterior sugiere reflexionar que, en algunos casos, la combinación de la tecnología y los métodos tradicionales son importantes soluciones en donde la documentación será más completa. En este sentido la ortofotografía juega un papel importante y está directamente vinculado con la posibilidad de emplear cámaras convencionales, el uso de dron para lograr mayores y mejores ángulos de fotografía o la combinación de ambas.

A continuación, se presentan los casos de estudio de dos monumentos arquitectónicos y su levantamiento que generó ortofotografía con cámaras convencionales, pero se resalta la importancia de implementar el uso de dron derivado de las características monumentales de la Zona Cultural y Natural Mirador.

DOS EJEMPLOS DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN E INTERVENCIÓN DEL EDIFICIO EL TIGRE 4D3-1 Y EL EDIFICIO 200. ORTOFOTOS GENERADAS A TRAVÉS DE FOTOGRAFÍA TRADICIONAL. LA IMPORTANCIA COMPLEMENTARIA DEL DRON

La zona geográfica conocida actualmente como Sistema Cultural y Natural Mirador-Calakmul, también

llamada Cuenca Mirador, está ubicado en el norte del Departamento de Petén en una región boscosa subtropical (Figura 1), la cual custodia a más de 50 sitios arqueológicos que han sido identificados, considerándose el legado de una de las civilizaciones más grandes e importantes no solo de Guatemala sino del mundo. Dos edificios de características únicas en Mesoamérica ubicados en el sitio arqueológico El Mirador lo constituyen: el edificio El Tigre 4D3-1 construido para el Preclásico Tardío, siendo la segunda edificación de mayor tamaño luego del Gran Complejo Arquitectónico La Danta; y el edificio 200, construido en el Preclásico Medio convirtiendo al Grupo Cascabel en uno de los conjuntos arquitectónicos más antiguos del sitio arqueológico El Mirador.

El Complejo El Tigre está compuesto principalmente por una enorme pirámide y rodeado por 13 edificios formando tres plazas (oeste, sur y este) (Figura 2), investigado y excavado por Hansen la primera vez en 1982 (Hansen 1984, 1990). No se había investigado de nuevo el edificio sino hasta 25 años después en el año 2007 y 2009 hasta la fecha.

La Pirámide El Tigre consiste de una plataforma de 150 m de largo (este-oeste) por 145 m de ancho (norte-sur), y 30 m de altura. Sobre dicha plataforma se eleva un Complejo Triádico que está conformado por los edificios 4D3-1, 4D3-2, 4D3-3 y 4D3-4 (Figuras 3 y 4).

Por su parte el Grupo Cascabel está ubicado al norte del Grupo León y conforma la frontera norte de la Gran Plaza de El Mirador (Figuras 2 y 5). Este conjunto de edificios monumentales, que varían entre 20 a 30 m de altura está dispuesto en una fila al borde de la plataforma, que es de hasta 6 m de altura, con vistas a la Gran Plaza. El borde de la plataforma constituye el flanco oriental de la gran calzada la cual continúa hacia el Grupo Sacalero (Hansen, Suyuc-Ley, y Mauricio 2016:84-85).

La documentación a detalle se hace imprescindible al momento de querer conocer todas las características arquitectónicas de un edificio y más aún, su estado de conservación para preservar sus características únicas y excepcionales en riesgo. La fotogrametría en sitios con configuraciones constructivas colosales se vuelve vital, porque resuelve los inconvenientes derivados del registro fotográfico tradicional en las secciones elevadas con edificios con cierta complejidad y a veces poco accesibles a zonas de este, protegiendo la integridad del recurso humano como prioridad principal. Para algunos autores, estos métodos de documentación son importantes combinarlos con los sistemas tradicionales para

zonas de fácil acceso y no excesiva complejidad (Almagro, 2004), principalmente en el levantamiento de las plantas. Este nivel de documentación será una de las claves para la realización de proyectos de intervención.

“Si además la documentación planimétrica ha de servir para realizar análisis estructurales, de deformaciones o de lesiones y patologías, habrá que adecuar las escalas y las precisiones a las necesidades de los diagnósticos y a las características propias del edificio” (Almagro 2004).

En los años 2017 y 2018 se realizó por medio de fotografía convencional, registros sistemáticos del estado de conservación de ambos edificios. Para ello fue necesaria la planificación de la trayectoria de los puntos en que se fotografiaron los elementos arquitectónicos, con la ayuda de andamios, escaleras y desde varios puntos arriba de los árboles ubicados frente a ambos monumentos, se logró documentar así los niveles más elevados.

Actualmente el edificio El Tigre 4D3-1, construcción principal del Grupo Arquitectónico con el mismo nombre, ha sido investigado recientemente en su primer y segundo cuerpo (Figura 4), por lo que en 2017 se generó una ortofotografía de su estado de conservación actual (Figuras 6 y 7). Un año después en 2018, se documentó por medio de esta misma técnica el estado de intervención del edificio 200 del Grupo Cascabel (Figuras 8 y 9).

Ambas ortofotografías generadas han sido vitales para la Unidad de Conservación y Restauración del Proyecto Cuenca Mirador. En el caso del edificio 4D3-1 ha permitido conocer los daños y patologías que actualmente presenta el edificio, ha permitido comprender de mejor manera la arquitectura y límites de la escalinata de acceso, los cuerpos o basamentos piramidales, así como los restos de lo que fueron sus mascarones (Figuras 6 y 7) y la posibilidad de realizar un inventario de piedras de mampostería y poder calcular su metraje cuadrado y cúbico.

Como es usual en otros sitios arqueológicos, en el Mirador se han detectado actividades relacionadas con el desmantelamiento o mutilación de ambos edificios, posiblemente como parte de las actividades de finalización para el final del periodo Preclásico Tardío, pero además tal como sucedió en el basamento del edificio 2A8-2, edificio principal de La Gran Danta, para el periodo Clásico Tardío, es evidente el reciclaje de los grandes bloques de mampostería para ser empleados en la construcción de cuartos al pie de los templos, sumado a ello Hansen indica de la posibilidad de una batalla en la plataforma superior frente al edificio El Ti-

gre 4D3-1, que pudo dañar aún más el edificio (Argyle y Hansen 2016:80).

Las ortofotos posibilitan observar rasgos muchas veces imperceptibles en algunos de sus cambios arquitectónicos, facilitando la comprensión de *ciertos* atributos luego de las actividades antrópicas mencionadas. En el caso específico del Edificio 200 del Grupo Cascabel, su ortofoto ha sido fundamental para tener un registro de los trabajos de restauración que se llevaron a cabo (Figura 8). Es básicamente como tener el edificio mismo en el laboratorio, con todas sus dimensiones totalmente ortogonales y con todos los detalles de la intervención realizada en una sola imagen, facilitando la resolución de dudas y un control minucioso y justificación de los bloques que, derivado de la inestabilidad estructural, tuvieron que ser restituidos en su fachada principal (Figura 9).

Esta técnica ha sido de gran aporte al permitir realizar los cálculos exactos de metros cúbicos intervenidos, o para conocer los metros cuadrados pendientes de ser intervenidos. Se ha aplicado esto a otros elementos de gran valor patrimonial en el sitio El Mirador.

CONCLUSIONES

Tal como se ha descrito, la metodología de levantamiento para generar las ortofotografías de ambos edificios monumentales fue empleando las técnicas tradicionales de captura por medio de fotografía convencional. Derivado de las características y volumetría de ambos edificios colosales, las secciones pendientes de levantamiento será importante completarlas mediante la ayuda de tecnología aérea.

El uso de dron es sin duda una herramienta que permite muchos beneficios, principalmente por su versatilidad, por la facilidad y rapidez en que se logran tomas de diferentes ángulos y alturas de un inmueble, reduciendo susceptiblemente el tiempo y los costos en relación con otros levantamientos tradicionales. La ventaja de su empleo para la realización de ortofotos y levantamientos 3D, está vinculado a que mejora además la precisión de las medidas de los elementos arquitectónicos y se convierte en un material digno de ser consultado para revisar y evaluar daños y deterioros, facilitando conocer sus diagnósticos y la toma de decisiones para realizar dictámenes; además de grandes cualidades didácticas para presentaciones o la búsqueda de fondos para las investigaciones y la conservación.

Se puede concluir que la combinación de distintos sistemas de levantamientos puede ayudar a conseguir

una mayor homogeneidad en las precisiones, aunque como norma general, debe prevalecer la precisión absoluta del área investigada sobre la relativa, pues como se ha descrito antes, la primera es la que controla los errores más grandes.

La realización de croquis o dibujos previos y las anotaciones de cotas u otras referencias es de suma importancia, por lo que se debe tener especial cuidado de no caer en la tendencia de usar solo tecnología, ya que hacerlo así, incurre en trabajos de gabinete que dejaron por un lado estos acercamientos con los monumentos patrimoniales y con detalles y observaciones que no pueden quedar eliminados:

“...Las técnicas de fotogrametría... pueden parecer las ideales en todos los casos, pero nunca debemos menospreciar y menos olvidar, todos los otros procedimientos, porque a pesar de que pueda pensarse que esa técnica es la cura de todas las enfermedades para este tipo de trabajos, no resulta así para todos los casos, y los sistemas tradicionales siguen siendo apropiados y necesarios” (Almagro 2004).

Lo anterior ayuda a comprender que para realizar un adecuado registro, análisis y levantamiento del estado de conservación o de intervención de un monumento patrimonial, se requiere de un método que combine de manera inteligente, no sólo las distintas técnicas en los aspectos para los que son más adecuadas, sino que sea capaz de adaptarse a las que estén disponibles, ya que hay que considerar que derivado de los bajos o pocos presupuestos y demás limitantes a los que se enfrentan año con año todos los proyectos arqueológicos de nuestro país, no siempre se puede contar con la instrumentación más adecuada a cada caso, o derivado de no considerar imprevistos no se documente de forma correcta.

Es vital que, a nivel institucional de parte del Ministerio de Cultura y Deportes e Instituto de Antropología e Historia, se tenga el carácter y fuerza representativa de defender que su uso responsable, es justo para facilitar el cuidado y protección del patrimonio cultural del país, así también del natural con el que conviven muchos de los monumentos prehispánicos y coloniales. Definitivamente dicha responsabilidad como proyectos arqueológicos, debe ir en la línea de respetar las normas de uso y de seguridad de estos equipos, respetando también la legislación aérea de las entidades a cargo, a través de los permisos pertinentes, evitando así incidentes o accidentes de cualquier tipo.

Se puede concluir, que la complejidad de la arquitectura en Cuenca Mirador, condiciona la importancia

del uso de dron, derivado de la volumetría y alturas de muchos de sus edificios, con accesos limitados, peligrosos o imposibles en sus secciones más altas, en donde existe una gran dificultad de acceder por medio de las técnicas tradicionales, por lo que la fotogrametría, se convierte en la técnica más conveniente, pero una de sus mayores justificaciones es que a través del uso de tecnología, se permitirá representarlas de forma mucho más fiable con las ortofotos, donde debe prevalecer la veracidad y mayor exactitud de la realidad geométrica y del estado de condiciones del edificio, sumado a ello, permite costos mucho más razonables. Las áreas más sencillas y de factible accesibilidad serán más fáciles de medir y levantar con métodos tradicionales.

El uso de tecnología aérea, por tanto, permitirá obtener un buen conocimiento de la arquitectura levantada y facilitar la comprensión de su complejidad implícita desde su construcción y su vinculación con su sobrevivencia en el tiempo hasta el día de hoy, esto dará el carácter de responsabilidad y respeto que debe prevalecer en cada persona, sobre el patrimonio cultural.

REFERENCIAS

ALMAGRO, A.

2004 Levantamiento arquitectónico. *Monográfica (Universidad de Granada). Biblioteca de arquitectura y restauración*, (8), 300. Recuperado de http://www.laac.es/index.php?option=com_content&task=view&id=49&Itemid=43

ARGYLE, C. y R. Hansen

2016 El Friso Preclásico de la Gran Acrópolis Central en El Mirador: Distribución de recursos y mitos relatados en estuco. En *Mirador, investigación y conservación en el antiguo Reino kaan* (editado por R. Hansen y E. Suyuc), pp. 131-152. Guatemala, Guatemala: Foundation for Anthropological Research and Environmental Studies (FARES) © FARES GUATEMALA.

FERNÁNDEZ, M.

2017 Entre cielo y piedra - Drones aplicados a la arqueología y el patrimonio. *Apuntes de Arqueología*, (November), 28-30.

HANSEN, R.

1984 *Excavations on structure 34 and the Tigre Area, El Mirador, Petén, Guatemala: A new look at the pre-classic lowland maya*. Master's thesis, Brigham Young University, Provo, Utah.

1990 *Excavations in the tigre complex El Mirador, Petén, Guatemala. Papers of the New World Archaeological Foundation*.

HANSEN, R.; E. Suyuc-Ley y D. Mauricio

2016 El Mirador, La gran ciudad Maya Preclásica: Descripción de sus principales grupos arquitectónicos. En *Mirador, investigación y conservación en el antiguo Reino kaan* (editado por R. Hansen & E. Suyuc), pp. 63-96). Guatemala, Guatemala: Foundation for Anthropological Research and Environmental Studies (FARES) © FARES GUATEMALA.

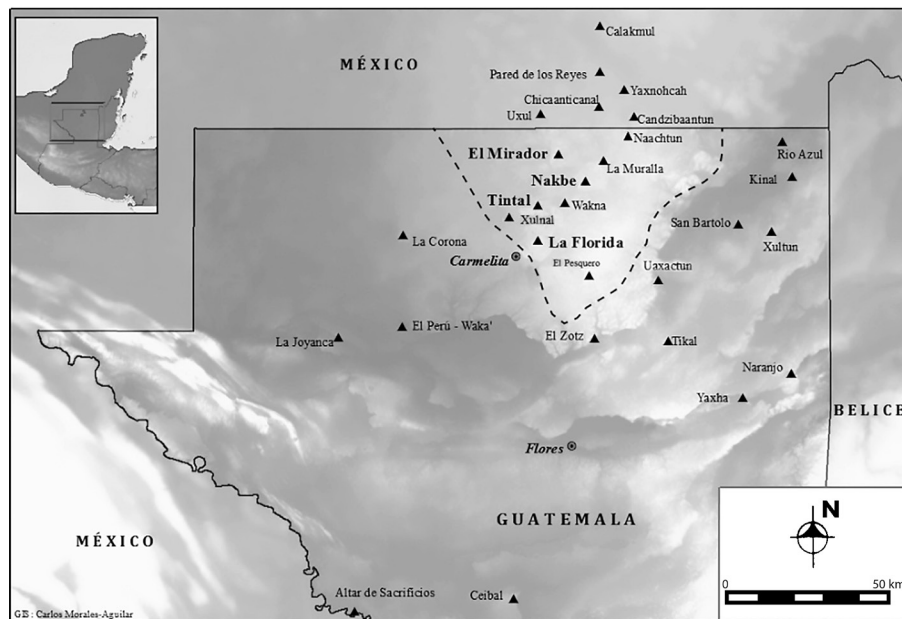


Figura 1. Área geográfica en la que se encuentra el Sistema Cultural y Natural Mirador.
 Mapa: J. García y GIS-C. Morales Aguilar. © FARES.

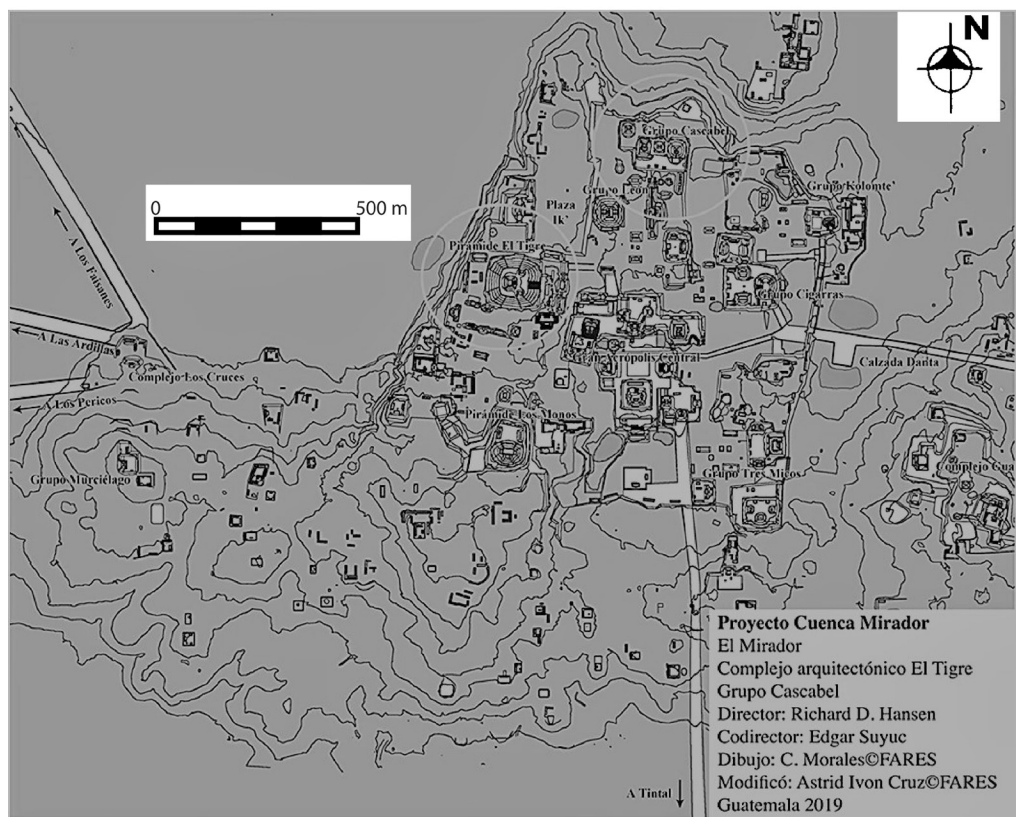


Figura 2. Ubicación del Complejo Arquitectónico El Tigre y el Grupo Arquitectónico Cascabel.
 Mapa: C. Morales Aguilar, Modificó: A. Cruz. © FARES.

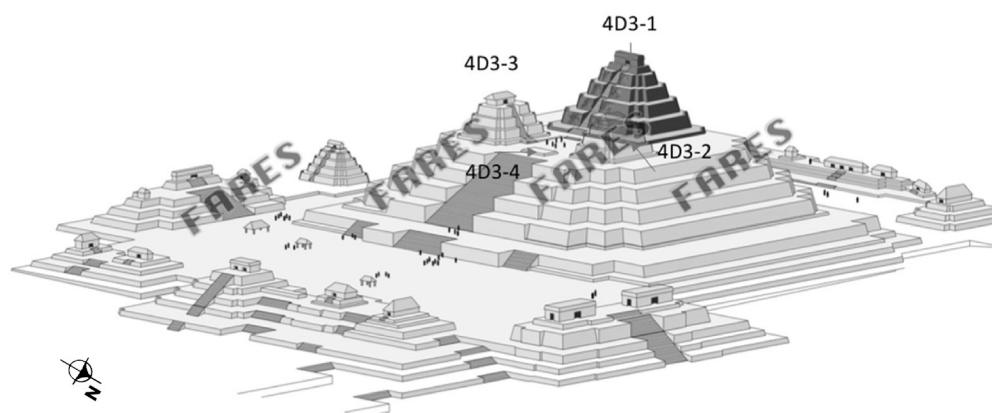


Figura 3. Detalle del Grupo Arquitectónico El Tigre y su basamento piramidal principal conformado por 4 edificaciones. Dibujo, adaptación y digitalización: J. Mejía © FARES.

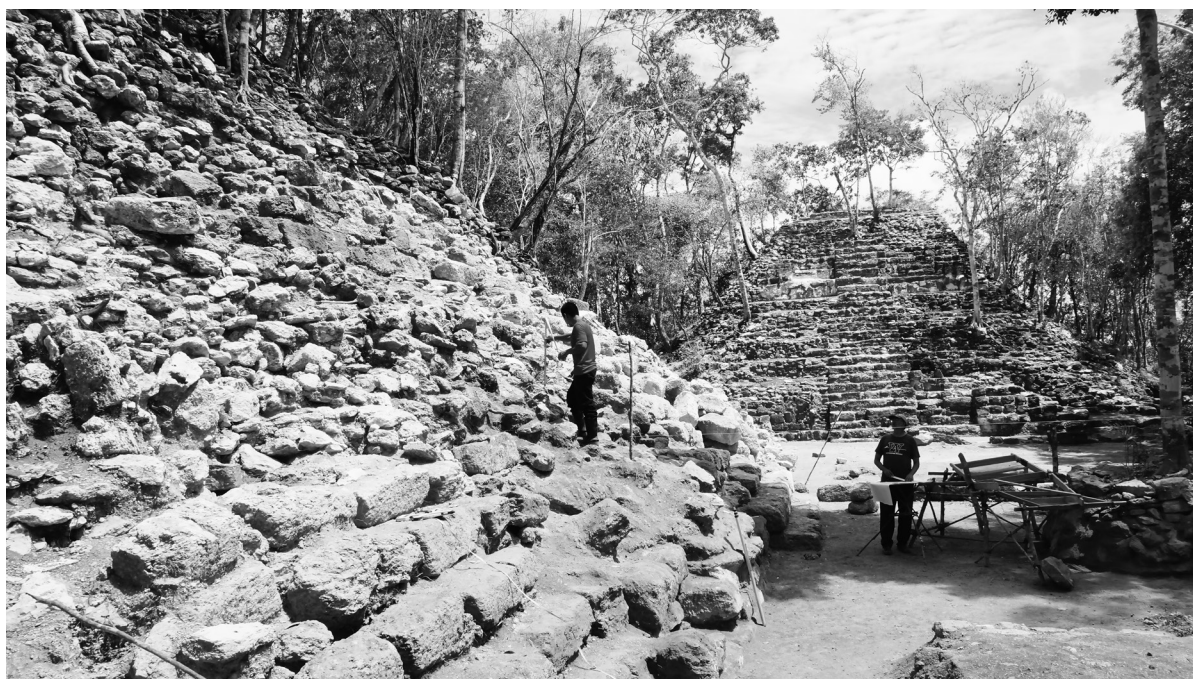


Figura 4. Vista lateral del estado de conservación actual del primer y segundo cuerpo excavado del edificio El Tigre 4D3-1, al fondo el edificio 4D3-2 ya restaurado por la Unidad de Conservación y Restauración del Proyecto Mirador. Foto: © FARES.



Figura 5. Edificio 200 del Grupo Arquitectónico Cascabel. Fotografía aérea tomada desde un helicóptero.
Fotografía: J. Guzmán© FARES.



Figura 6. Ortofoto de elevación frontal y de planta en los que se resaltan detalles arquitectónicos de importancia para las intervenciones de restauración y la comprensión del edificio.
Ortofoto: J. Marín, J. Guzmán© FARES.

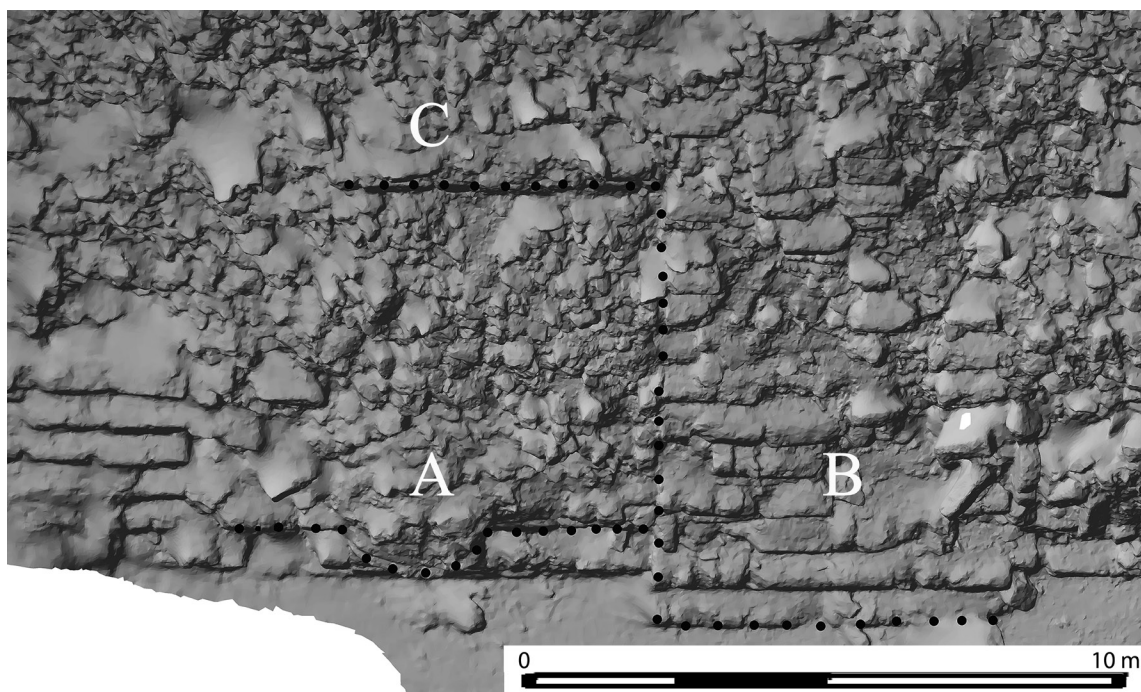


Figura 7. Ortofoto de elevación frontal y de planta en los que se resaltan detalles arquitectónicos de importancia para las intervenciones de restauración y la comprensión del edificio. Ortofoto: J. Marín, J. Guzmán© FARES.

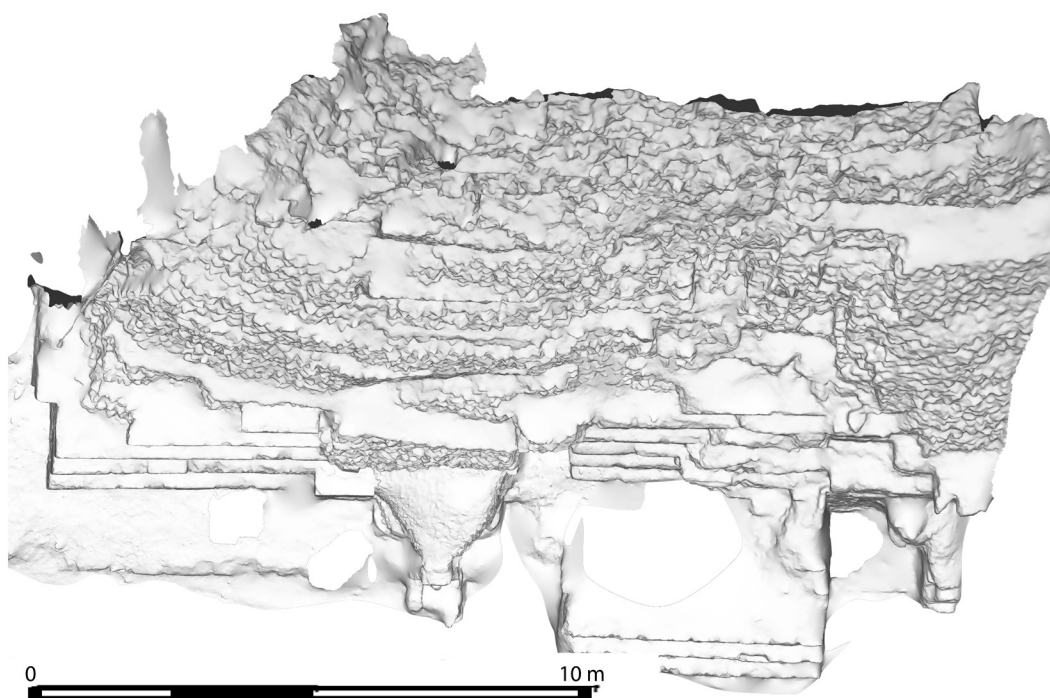


Figura 8. Edificio 200 del Grupo Arquitectónico Cascabel. Ortofotografía de la planta de una sección del monumento en modo "rayos x" del primer y segundo cuerpo de la fachada este, el cual ayudó a definir detalles arquitectónicos poco perceptibles en vista normal. Ortofoto: J. Marín, J. Guzmán© FARES.

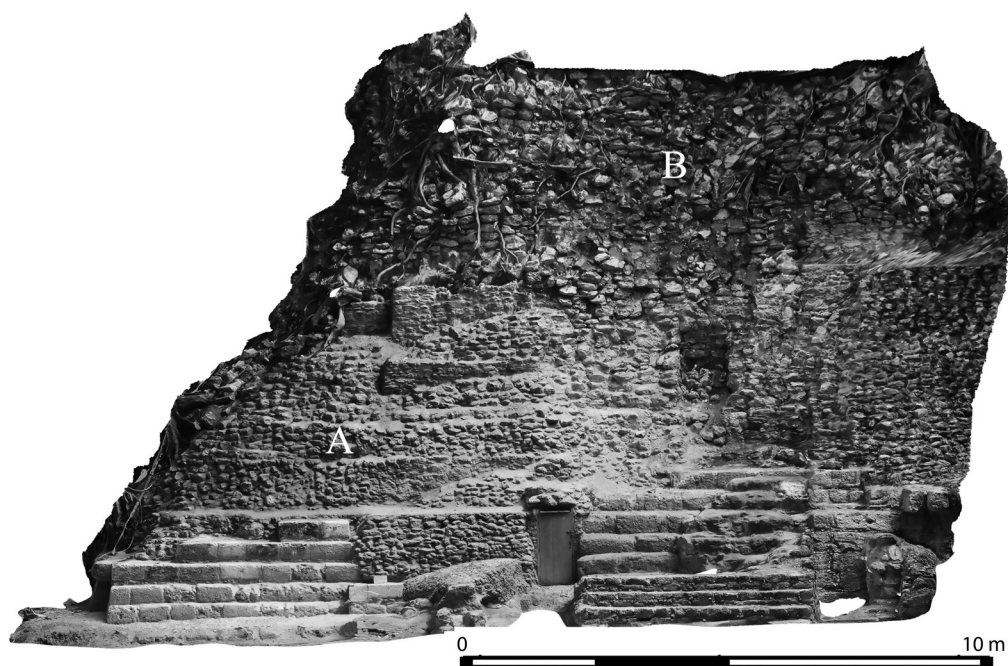


Figura 9. Edificio 200 del Grupo Arquitectónico Cascabel. Ortofotografía de la elevación frontal. (A) Sección intervenida en la temporada de campo 2018 primer y segundo cuerpo. (B) Sección pendiente de restauración. Ortofoto: J. Marín, J. Guzmán© FARES.

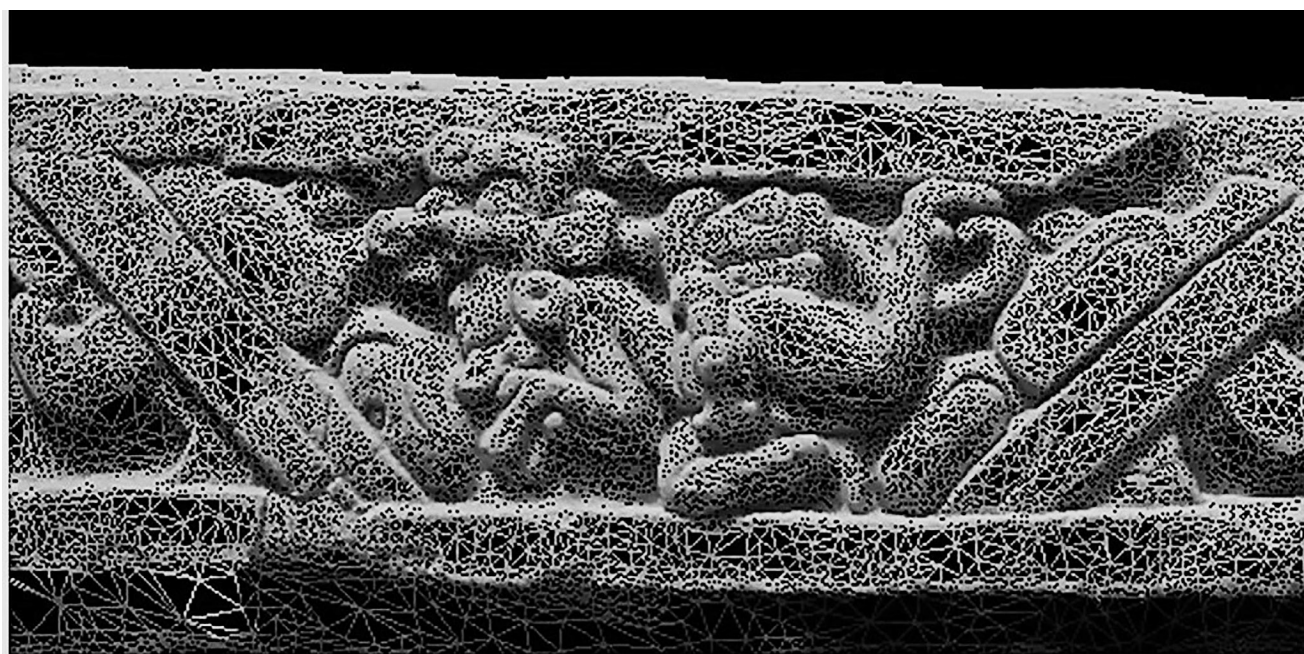


Figura 10. Otro ejemplo del proceso de levantamiento con fotogrametría de la Operación 610, friso de estuco modelado en el que se observa a uno de los personajes. Ortofoto: J. Marín, J. Guzmán© FARES.