

52

RECONSTRUCCIÓN E INTERPRETACIÓN DE LA ANTIGUA CIUDAD DE OXKINTOK, YUCATÁN, A PARTIR DE LA ARQUEOLOGÍA VIRTUAL

LUIS J. VENEGAS DE LA TORRE, MIGUEL A. SALAZAR GAMBOA
Y LUIS R. PANTOJA DÍAZ

34 SIMPOSIO DE INVESTIGACIONES
ARQUEOLÓGICAS EN GUATEMALA
2021

Museo Nacional de Arqueología y Etnología

26 al 30 de julio de 2021

Editores

Bárbara Arroyo

Luis Méndez Salinas

Gloria Ajú Álvarez

Referencia

Venegas de la Torre, Luis J.; Miguel A. Salazar y Luis R. Pantoja
2022 Reconstrucción e interpretación de la antigua ciudad de Oxkintok,
Yucatán, a partir de la arqueología virtual. En *34 Simposio de Investigaciones
Arqueológicas en Guatemala, 2021* (editado por B. Arroyo, L. Méndez Salinas y
G. Ajú Álvarez), pp. 659-671. Asociación Tikal, Guatemala.



RECONSTRUCCIÓN E INTERPRETACIÓN DE LA ANTIGUA CIUDAD DE OXKINTOK, YUCATÁN, A PARTIR DE LA ARQUEOLOGÍA VIRTUAL

LUIS J. VENEGAS DE LA TORRE
MIGUEL A. SALAZAR GAMBOA
LUIS R. PANTOJA DÍAZ

PALABRAS CLAVE

Yucatán, Oxkintok, Arqueología digital, Análisis de visibilidad.

ABSTRACT

This article presents the results of the application of new digital technologies as part of the registration and research strategies that have recently been employed at the site of Oxkintok, Yucatan. Data originating from high-resolution topographic surveys, photogrammetric scans, aerial photo records, and archaeological excavations have been incorporated and displayed in virtual modelling software to achieve a tridimensional reconstruction of the site core. Our work outlines an array of future research and application potentials that would allow for an improved interpretation of the dynamics surrounding this pre-Columbian city. The latter are exemplified by the first approaches to the study of viewshed between architectural groups.

INTRODUCCIÓN

La incursión de las nuevas tecnologías de la información y los medios digitales en el ámbito arqueológico ha significado una revolución en los métodos y alcances de la arqueología tradicional, poniendo al alcance técnicas o herramientas analíticas para realizar complejos procesos estadísticos o modelos de escenarios que antes eran muy costosas o incluso impensables. Dentro de este escenario la fotografía digital, los vehículos aéreos no tripulados (Drones), la fotogrametría, los escáneres láser, la reconstrucción virtual, la inteligencia artificial y los sistemas de información geográfica han encontrado un campo fértil que evoluciona y se perfecciona constantemente.

El proyecto arqueológico Oxkintok, durante las últimas temporadas de trabajo ha impulsado la aplicación

de estas herramientas digitales para el registro, digitalización y análisis arquitectónico con varios propósitos, por un lado, el poder diseñar estrategias de la conservación adecuadas para preservar el patrimonio edificado puesto al alcance del público general mediante la visita pública del sitio. Por otro lado, estudiar las características arquitectónicas, tanto de las estructuras monumentales como de las estructuras no monumentales asociadas a los conjuntos principales, para comprender la complejidad social de los diferentes grupos sociales que habitaron la antigua ciudad prehispánica.

Este trabajo expone los resultados preliminares de la unión de distintos productos digitales con la información obtenida mediante los trabajos de excavación arqueológica en los principales conjuntos arquitectónicos del sitio. Con ello se ha logrado obtener una reconstrucción tridimensional de los grupos *Ah Canul*,

May y *Dzib* que nos abre la puerta a nuevas posibilidades para analizar e interpretar los procesos evolutivos y constructivos, las relaciones y dinámicas internas de la ciudad y sus pobladores, hipotetizar sobre los formas y modos de vivir en el pasado y, por qué no, brindar nuevas herramientas de divulgación que hagan más inmersiva y significativa la visita pública.

OXKINTOK, YUCATÁN. CASO DE ANÁLISIS

La zona arqueológica de Oxkintok se localiza a 6 km de la población de Maxcanú y a 70 kilómetros al suroeste de la ciudad de Mérida, en el estado mexicano de Yucatán. Los antiguos mayas emplazaron esta ciudad prehispánica en una planicie que corre de forma paralela a la cordillera *Puuc*, que corresponde a una ligera serranía localizada al sur del estado, cuyas elevaciones no superan los 250 msnm. Esta región se caracteriza por la ausencia de cenotes y la presencia de mantos freáticos más profundos, dificultando el acceso al agua a través de ríos subterráneos como en la parte norte de la península, no obstante, se trata de una zona con suelos más propicios para la agricultura de temporada, con importantes yacimientos de arcilla, roca caliza y sílex, así como una gran cantidad de cavernas.

De acuerdo con Alfredo Barrera Vázquez a la ciudad prehispánica también se le conoce como *Maxcan o Tzat Tun Tzat* (Barrera 1980) y se encuentra registrada en el Atlas Arqueológico del Estado de Yucatán (Garza y Kurjack 1980) como un sitio de rango II por su volumen constructivo e influencia que pudo ejercer sobre sitios cercanos de menor rango, pues el área donde se concentran las estructuras monumentales, como basamento piramidales, cuartos abovedados, esculturas y registros epigráficos, se concentran en cuatro grupos arquitectónicos principales, *Ah Canul*, *May*, *Dzib* y *Millet*, que en conjunto ocupan un área de aproximadamente 1.5 km² (Figura 1). Por estas características durante muchos años se le ha considerado como una capital regional que precedió la hegemonía territorial que ejerció la ciudad de Uxmal.

Históricamente el sitio arqueológico ha despertado el interés de viajeros e investigadores, ejemplo de ellos es la visita que realiza John Lloyd Stephens junto con Frederick Catherwood a mediados del Siglo XIX, re-

corriendo parte del sitio y adentrándose a los cuartos de la estructura conocida como el laberinto o *satunsat*, plasmando una descripción detallada de su recorrido y las características de la estructura (Stephens 2003:129-136). Posteriormente, a lo largo del Siglo XX diversos investigadores realizaron exploraciones y descripciones del sitio y la región circundante, sin embargo, el trabajo que más resalta sin duda son las labores de restauración arquitectónica ejecutadas por la Misión Arqueológica de España en México (MAEM) entre 1986 y 1991 cuyo objetivo principal se centró en la reconstrucción de la organización social de los habitantes del lugar y los diversos cambios que experimentó el sitio a lo largo de las distintas etapas o fases de ocupación, centrandose su interés en los grupos arquitectónicos. Aunado a ello, estudiaron el orden político durante la época prehispánica, es decir, los modos de gobierno de la región y el papel que jugó Oxkintok en la historia de los antiguos reinos de Yucatán (Vidal 1994:17).

Después de tantos años de trabajos en el sitio, la MAEM logró intervenir y consolidar diversas estructuras, principalmente de los grupos *Ah Canul* y *May*, cuyos resultados permitieron fechar el inicio del sitio para el periodo Clásico Temprano (250/300-500 DC). Arquitectónicamente se identificaron rasgos y patrones de organización del espacio que parecen corresponden a una tradición cultural procedente de Petén de Guatemala, idea que se ve reafirmada por los tipos cerámicos identificados, los materiales líticos recuperados, las costumbres funerarias observadas en los enterramientos y en la lectura de los textos jeroglíficos que muestran el uso de la cuenta larga (Rivera Dorado 1986, 1987, 1996). Además, su ubicación geográfica permite inferir que debió tratarse de un importante centro estratégico política y económicamente hablando (Vidal 1994:17).

Posterior a los trabajos de la MAEM el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) de México retoma los trabajos en Oxkintok a partir de 1996 y hasta el 2002. Los trabajos estuvieron dirigidos por el Arqlgo. Ricardo Velázquez Valadez y enfocaron sus esfuerzos en continuar con la investigación y restauración de los conjuntos principales, logrando restaurar un mayor número de estructuras hasta las características con las que se puede visitar la zona arqueológica actualmente (Morales 2008: X; Velázquez 2001). A partir del 2002 las investigaciones y temporadas de campo en el sitio se pausa-

ron y se retomaron hasta el año 2015, cuando surge el Proyecto Arqueológico Oxkintok (PICOX), bajo la dirección del Mtro. Luis Raúl Pantoja Díaz (Pantoja 2016).

Este proyecto ha centrado sus esfuerzos principalmente en el diagnóstico y mantenimiento mayor de las estructuras dentro del área abierta al público para garantizar su conservación, en el análisis de la arquitectura y de las edificaciones poco monumentales que se encuentran asociadas a los núcleos arquitectónicos y en el estudio de la complejidad social de la población común que habitó la parte central del sitio y su *hinterland*. Para ello, se ha hecho una apuesta considerable por la aplicación de diversas tecnologías digitales y dispositivos de punta, tales como GPS RTK de alta precisión, vehículos aéreos no tripulados (drones), pruebas geotécnicas para rocas y morteros, escaneos fotogramétricos y reconstrucciones tridimensionales, que permiten optimizar y potencializar los trabajos de exploración, excavación y restauración (Ley *et al.* 2019, Pantoja 2016, Pantoja *et al.* 2018a, Pantoja *et al.* 2018b, Pantoja *et al.* 2019, Salazar y Pantoja 2019, Venegas 2019).

EL REGISTRO FOTOGRAMÉTRICO

La fotogrametría puede ser entendida como una ciencia y tecnología que emplea un conjunto de métodos y procedimientos mediante los cuales podemos conocer la forma y las dimensiones de un objeto a partir de fotografías (Hernández 2006; Santamaría y Sanz 2011). El fundamento metodológico de la técnica se basa en el uso de fotografías, cuyo análisis permite detectar puntos compartidos entre imágenes de diferentes ángulos, haciendo posible la restitución de los haces de proyección para obtener las coordenadas del punto en común a partir de un eje de referencia relativo y con ello poder reconstruir la geometría del elemento fotografiado (Hernández 2006). La correcta aplicación de esta herramienta permite conocer la forma y las dimensiones de un objeto a partir de modelos tridimensionales de alta calidad, resolución y precisión; es por ello, que también se le ha considerado como un método pasivo de escaneo 3D, pues a diferencia de los métodos activos, no irradian una señal, sino que se limitan a captar la luz que emite el elemento.

Su origen se remonta desde finales del Siglo XIX cuando comenzó a aplicarse mayormente dentro del

campo de la cartografía, sin embargo, todo lo que implicaba la adquisición de imágenes y su procesamiento con métodos analógicos, la convertía en una técnica muy costosa y de difícil acceso (Hernández 2006). El surgimiento de la fotografía digital, los vehículos aéreos no tripulados o drones y el avance en los procesos computacionales de las últimas décadas han hecho evolucionar a la antigua fotogrametría hacia el campo digital, facilitando los procesamientos y abaratando costos, poniéndola al alcance de distintas disciplinas, ejemplo de ello es la arqueología, campo donde ha encontrado un terreno fértil de aplicación debido a su gran capacidad y versatilidad.

Dentro del ámbito arqueológico la aplicación de la fotogrametría terrestre (imágenes adquiridas desde tierra) y aérea (imágenes de aeronaves y drones) se ha empleado como herramienta de registro para sitios arqueológicos completos, estructuras con características particulares, contextos arqueológicos, control estratigráfico de unidades de excavación y bienes muebles de diversos tamaños (Moyano 2017; Venegas *et al.* 2018; Venegas 2019).

Para el caso que nos ocupa, el uso de la fotogrametría responde a la necesidad de contar con un registro fotográfico y tridimensional de las construcciones que conforman los núcleos arquitectónicos principales y que ya había sido restauradas en años anteriores, su estado de conservación, las patologías y agentes de deterioro presentes en ellas. Para ello se emplearon imágenes aéreas adquiridas mediante un Vehículo Aéreo No Tripulado (Dron) marca DJI Phantom 3 con cámara integrada de 12 megapíxeles, así como imágenes terrestres obtenidas con una cámara Nikon Coolpix de 14 megapíxeles. Para el correcto levantamiento fotográfico se diseñó una estrategia que incluyó la preparación del área circundante, colocación de puntos de control en los paramentos y pavimentos, toma de fotografías aéreas y terrestres; y el procesamiento fotogramétrico empleando el software Agisoft Photoscan.

Como resultado se obtuvieron 6,421 fotografías, de las cuales 3,391 fueron tomas aéreas con dron y 3,030 imágenes terrestres, con ello se pudieron escanear 15 estructuras de los grupos *May. Ah Canul* y *Dzib*. Las nubes de puntos de cada estructura estuvieron conformadas por 4,938,215 millones de puntos en promedio, los modelos digitales de elevación y los ortomosaicos

tuvieron una resolución de 22 mm/px y 2.6 mm/px respectivamente, así mismo, se generaron modelos tridimensionales texturizados de alta resolución (Figura 2). En un primer momento la suma de estos productos ha sido empleados para el análisis y diagnóstico del estado de conservación de las edificaciones (Pantoja *et al.* 2020).

RECONSTRUCCIÓN VIRTUAL DE LA ANTIGUA CIUDAD

A partir de la unión de la información recuperada por las investigaciones previas del sitio, tanto del INAH como de la MAEM y aquella proporcionada en los últimos años por el proyecto PICOX, se ha generado una importante área de oportunidad para la conservación, investigación, difusión y puesta en valor del sitio arqueológico. Es por ello que se planteó el aprovechamiento de los recursos digitales para la creación de un modelo tridimensional del sitio arqueológico, es decir una reconstrucción virtual, que es definida como el intento de recuperación visual, a partir de un modelo virtual, en un momento determinado de una construcción u objeto fabricado por el ser humano en el pasado, partiendo de las evidencias físicas existentes sobre dicha construcción u objeto, las inferencias comparativas científicamente razonables y en general todos los estudios llevados a cabo por los arqueólogos y demás expertos vinculados con el patrimonio arqueológico y la ciencia histórica (López-Menchero y Alfredo Grande 2011: 72; FIAV 2012).

Las reconstrucciones y dibujos hipotéticos no son tema nuevo en el ámbito arqueológico ya que desde el siglo pasado diversos investigadores, arqueólogos, arquitectos e ilustradores han hipotetizado, por medio de reproducciones artísticas e ilustraciones, las épocas de esplendor pasado de los grandes sitios mesoamericanos, destacando en el área maya las obras de Tatiana Proskouriakoff, entre otros. Estos trabajos se han beneficiado por el continuo avance tecnológico y más aún con la llegada de la era digital, donde el desarrollo de software libres ha permitido la creación y avance constante en las representaciones tridimensionales y a partir del método científico de diversos sitios arqueológicos alrededor del mundo, incluyendo el área mesoamericana, donde destacan sitios como Teotihuacan, Monte

Albán, Chichén Itzá, Uxmal, Tikal, entre otros.

Para el sitio de Oxkintok se cuenta con un primer acercamiento en la aplicación de reconstrucciones por medio de ilustraciones hipotéticas en dos dimensiones que realizaron los integrantes de la MAEM en la década de los noventa, y más recientemente, en el año 2019, se realizaron reconstrucciones virtuales para ilustrar la secuencia constructiva de una sección de la plaza norte del grupo *Ah Canul*, en específico la correspondiente a las estructuras CA-2, CA-2A y CA-3 (Salazar y Pantoja 2019). En el presente trabajo se busca darle continuidad a este planteamiento, aumentando el área de alcance reconstructiva, abarcando los grupos principales que han sido explorados en el sitio y que actualmente se encuentran habilitados para la visita del público general, es decir, los conjuntos *Ah Canul*, *May* y *Dzib*. En la Tabla 1 se desglosa el estado actual de los conjuntos de estructuras que fueron utilizados para crear el modelo tridimensional (Figura 3).

El primer paso en la reconstrucción virtual consistió en la revisión de archivo de las primeras investigaciones en el sitio, compararlas y rectificarlas con la información más reciente generada por el proyecto PICOX a través del uso de nuevas tecnologías y registros de alta precisión, en específico mediante topografía centimétrica, modelos fotogramétricos, nubes de puntos y modelos digitales de elevación. La unión y complementación de los recursos disponibles, por medio del software de libre acceso Blender 2.91, permitieron la correcta ubicación de las estructuras en el plano cartesiano, así como su recuperación volumétrica y de altimétrica. Cada estructura fue recreada en forma individual e integrada a su conjunto arquitectónico, permitiendo la recuperación completa de los grupos principales del sitio. Para los fines del presente trabajo se priorizó la reconstrucción de todas las edificaciones y modificaciones actualmente visibles en el sitio, que corresponden a las etapas finales del sitio.

Posteriormente mediante el mapeado UV de cada edificación se propuso un texturizado y reconstrucción colorimétrica hipotética, que se basa en modelos de otros sitios del área maya, ya que la información precisa sobre los recubrimientos de estuco y su color para todas las estructuras del sitio es escasa, así como de sus detalles decorativos o pictóricos específicos (Figura 4).

El terreno en que se asentaron todas las estructuras

se creó a base de la optimización de malla generada por la nube de puntos del área central, por lo que se contó con un plano topográfico de alta calidad donde se distribuyeron las estructuras, desplantando desde su cota real. El resultado final consiste en un modelo renderizado que reproduce parte de las últimas etapas constructivas del centro del sitio, con su posible interacción entre grupos arquitectónicos a través distintos *sacbeob* (Figuras 5 y 6).

APLICACIONES. LOS ANÁLISIS DE VISIBILIDAD

Las mallas tridimensionales obtenidas mediante la fotogrametría y la reconstrucción virtual se tratan de modelos digitales que reproducen, con mayor o menor precisión, una superficie de terreno, una edificación o incluso una ciudad completa. Estas recreaciones de la realidad son similares a los modelos digitales de elevación o de terreno que se obtienen mediante LiDAR o levantamientos topográficos, por lo que pueden someterse a una serie de análisis espaciales mediante el apoyo de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Los análisis de cuencas visuales o *viewshed*, son un ejemplo de este tipo de análisis y que en el ámbito arqueológico han estado muy ligados a los estudios de la arqueología del paisaje. Consiste en un análisis computacional que permite identificar las áreas que serían visibles desde un determinado punto. Para ello el software realiza un estudio tomando como base las elevaciones del modelo digital y el punto de observación, al cual nosotros podemos designar altura y distancia de alcance visual. Como resultado se obtienen valores positivos (1) o negativos (0), donde el primero indica un área que es visible y el segundo una que permanece oculta o no visible. Posteriormente, la suma de distintas cuencas visuales individuales mediante álgebra de mapas arroja un acumulativo de cuencas visuales o (*cumulative viewshed*), con lo que podemos interpretar aquellas zonas que son más o menos visibles desde distintos puntos (Trujillo 2010:73).

La intención por aplicar este tipo de análisis espaciales a los modelos digitales de Oxkintok, responde a la necesidad por comparar una serie de hipótesis incipientes que surgen de observar que las edificaciones que conforman las estructuras monumentales del si-

tio, inclusive aquellas que se localizan fuera del núcleo principal, aprovechan la topografía del terreno y alcanzan alturas diferenciadas. Lo que nos ha hecho preguntarnos si las alturas de las construcciones superiores fueron resultado de una decisión intencional basada en el control visual de algún área común, como plazas o *sacbe*; áreas de cultivo, canteras o rasgos naturales como cuevas o rejolladas.

Si estas primeras aproximaciones resultan significativas, podríamos emprender análisis más complejos que nos permitan entender si estas relaciones visuales siguen algún patrón relacionado al crecimiento cronológico de la ciudad, y si lo fue así, qué tanto responde a cambios en la concepción del espacio arquitectónico o a factores externos, como el desarrollo y posibles cambios en las dinámicas sociales con ciudades cercanas.

Para este primer ejercicio se compararon los resultados de realizar análisis visuales mediante SIG empleando modelos digitales de elevación fotogramétricos acordes a la realidad actual de las estructuras arqueológicas y, por otro lado, empleando emisiones de luz con base en los modelos tridimensionales reconstruidos hipotéticamente.

La primera propuesta se trabajó en un Sistema de Información Geográfica de libre acceso denominada Qgis y el complemento *Visibility Analysis*, la cual nos permite asignar la ubicación de los puntos de observación (*viewpoints*) que se consideren, especificar el radio de la distancia de visualización, la altura del observador, altura del punto de destino y focalizar la visión a ciertos ángulos y azimuts. Para nuestro caso únicamente hemos asignado cuatro puntos para cada caso y configurado los dos primeros valores en 500 m y 1.6 m respectivamente, al dejar los últimos factores de forma predeterminada, el campo de visión cubre 360° y 90° de elevación y depresión a partir del horizonte visual. De esta manera se colocaron puntos de observación en las cuatro estructuras que conforman la plaza principal del grupo *Ah Canul* (CA-3, CA-4, CA-12 y CA-13) y posteriormente en las estructuras principales de los grupos *May, Canul, Dzib y Millet* (Figura 7).

Los resultados para el primer caso eran de esperarse, las cuencas visuales se concentran en la plaza que delimitan las estructuras, pero resalta que fuera del conjunto los puntos con mayor visibilidad resultan ser la estructura del *Satunsat* visible desde tres puntos, una

porción de la plaza este del grupo *Ah Canul*, así como los conjuntos localizados en la parte norte y noroeste del sitio. Para el segundo caso resalta la concentración visual en la gran plaza donde se localizan los *sacbeob* que interconectan los grupos arquitectónicos, así mismo los grupos al norte vuelven a sobresalir.

La segunda propuesta se trabajó en el software de modelado tridimensional Blender®, donde se cargaron la reconstrucción de los conjuntos arquitectónicos, en los vanos de acceso a las estructuras superiores se colocaron los puntos de observación con una altura de 1.6 m que emitían luz, simulando las cuencas visuales. A cada emisor de luz se les asignó un rango de color para poder identificarlo al momento de analizar el acumulado. Así, se colocaron emisores de luz en el mismo sitio del primer ejercicio anterior y posteriormente se colocaron en las estructuras DZ-1, MA-1, CA-13 y el *Satunsat*.

Para este caso los resultados muestran una visibilidad mucho más concentrada en la plaza del grupo y en mayor grado en la plaza central (Figura 8). Resalta la poca visibilidad hacia las plazas del este y sureste del grupo, a pesar de la cercanía en la que se encuentran. Para el segundo caso la visibilidad dominante se centra en la gran plaza y sus *sacbe*, claramente la estructura principal del grupo *Dzib* centra su atención a la plaza del conjunto y resalta la plaza noreste de este grupo, pues a pesar de tener un arco de acceso y el juego de pelota del sitio, parece tener un carácter más íntimo o privado, pues las construcciones circundantes restringen la visión hacia el interior (Figura 9).

Cabe mencionar que en este segundo ejercicio los conjuntos al norte no se consideraron pues no han sido intervenidos arqueológicamente y se carece de datos suficientes para una reconstrucción virtual considerablemente aceptable. Esperamos que, en los próximos años, podamos contar con más información para incorporarlos al análisis.

Al realizar una comparativa entre los resultados obtenidos mediante el uso de dos herramientas diferentes como Qgis y Blender, es posible notar similitudes entre los campos visuales hacia a las áreas centrales de las plazas de cada conjunto, espacios donde se ubican altares o marcadores centrales, así como la nula visión entre algunos grupos que parecieron tener un carácter más privado o restringido, como por ejemplo la plaza

del diablo, el *chictaj*, la plaza suroeste del grupo *May* y la plaza principal del grupo *Dzib*. Mientras que desde las estructuras MA-1 y CA-13 el campo de visión permite observar plenamente los *sacbe* y el área central entre los grupos nucleares del sitio, confirmando que el MA-1 por su altura posee el campo visual más amplio incluyen el arco de entrada del grupo *Dzib* y los *sacbe* que conectan los conjuntos, permitiendo un dominio visual sobre el resto de las estructuras (Figura 9).

CONCLUSIONES

Si bien a lo largo de este trabajo se han presentado una serie de ideas preliminares en torno a las relaciones visuales entre diversas estructuras del sitio de Oxkintok, una clara diferencia entre el uso de modelos fotogramétricos frente a los modelos reconstruidos radica en la presencia-ausencia de obstáculos visuales que debieron jugar un papel fundamental en el control visual del territorio.

Desde nuestra perspectiva, las reconstrucciones virtuales tienen como ventaja la capacidad de representar barreras visuales que no son posibles de apreciar actualmente, como son los vanos de acceso de las estructuras y templos que componen las plazas, así como los muros y bóvedas de edificios colapsados, además de la posibilidad de eliminar la vegetación y otros obstáculos que limiten los campos visuales entre estructuras. Sin embargo, presentan una serie de problemáticas, relacionadas con la contemporaneidad entre estructuras y subestructuras en los diferentes periodos cronológicos del sitio, así como la ausencia de datos confiables para las construcciones percederas que debieron ubicarse entre los grupos arquitectónicos.

El grado de certeza en las reconstrucciones virtuales se ha convertido en parte fundamental del trabajo, no obstante, de acuerdo con Aparicio (2017:333) las reconstrucciones virtuales son hipótesis gráficas que nos empujan a trazar una posible imagen de nuestra Historia, a asomarnos a los retazos de lo que un día quizás fue, sin tener nunca al cien por cien la seguridad de lo que vemos. En este sentido, las futuras exploraciones en los grupos arquitectónicos de la ciudad y su periferia nos permitirán obtener más información para realizar interpretaciones cada vez más apegadas a la realidad.

REFERENCIAS

Aparicio Resco, Pablo

2017 La torre almenara de San García, Algeciras (s. XVII-XVIII). Recuperación virtual de una estructura militar gracias a la tecnología. *Revista Otarq: Otras arqueologías*. Vol. 1 (2016), pp. 325-334, España.

Barrera Vázquez, Alfredo

1980 *Diccionario Maya Cordemex*. Ediciones Cordemex. Mérida, Yucatán.

FIAB (Forum Internacional de Arqueología Virtual)

2012 *Los principios de Sevilla. Principios Internacionales de la Arqueología Virtual*. <http://smartheritage.com/wp-content/uploads/2016/06/PRINCIPIOS-DE-SEVILLA.pdf>

Garza, Silvia y Edward Kurjack

1980 *Atlas arqueológico del Estado de Yucatán*, 2 tomos. Instituto Nacional de Antropología e Historia, México, D.F.

Hernández, David

2006 *Introducción a la fotogrametría digital*, Universidad de Castilla La Mancha, Ciudad Real, España.

Lacadena Gallo, Alfonso, Ana García Barrios y Raúl Morales

2018 Hallazgo de fragmentos cerámicos de estilo Chocholá con jeroglíficos en Oxkintok, Yucatán. *Estudios de Cultural Maya*, Vol. 52. México, D.F.

Ley Paredes, Víctor José, Luis Raúl Pantoja Díaz y Carlos Vinajera

2019 Estudios de la resistencia mecánica en pétreos arqueológicos en la región de Mérida. En *Actas del III Congreso Internacional Hispanoamericano de Historia de la Construcción*. Pp. 537-543. Instituto Juan de Herrera. México, D.F.

López-Menchero, Victor y Alfredo Grande

2011 Hacia una Carta Internacional de Arqueología Virtual. El Borrador SEAV. *Virtual Archaeology Review*, No. 2, Vol. 4, pp. 71-75.

Morales Raúl

2008 *Excavación y restauración en Oxkintok, Yucatán: Estructuras CA-4, CA-26 y CA-27*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Antropológicas. Universidad Autónoma de Yucatán.

Moyano, Gonzalo

2017 El uso de fotogrametría digital como registro complementario en Arqueología. Alcances de la técnica y casos de aplicación, *Comechingonia* 21(2): 333-351. Argentina.

Pantoja Díaz Luis

2016 *Informe técnico. Diagnóstico de deterioro. Proyecto Oxkintok. Investigación y conservación arquitectónica*. Documento entregado al Consejo de Arqueología del Instituto Nacional de Antropología e Historia. Archivo Técnico, México D.F.

Pantoja Díaz, Luis R., Víctor Ley Paredes y Mario Zimmerman.

2018a Conservación e investigación en el Grupo Ah Canul de Oxkintok. Yucatán. En *Memoria del Cuarto Simposio de Cultura Maya Ichkaantijoo 2017* (editado por Ángel Góngora), pp. 64-78. Maldonado editores. Mérida Yucatán.

Pantoja Díaz, Luis R., Víctor Ley Paredes, Mario Zimmerman, Iliana Ancona y Elia Zaldívar

2018b *Informe Técnico temporada 2017. Proyecto Arqueológico Oxkintok. Investigación y conservación arquitectónica*. Documento entregado al Consejo de Arqueología del Instituto Nacional de Antropología e Historia. Archivo Técnico, México D.F.

Pantoja Díaz, Luis R., Yonny Mex Vázquez y Donato Martín España

2019 La ciudad de Oxkintok, un enfoque sobre sus fronteras. En *XXXII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala 2018* (editado por B. Arroyo, L. Méndez Salinas y G. Ajú Álvarez), pp. 61-72. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala.

Pantoja Díaz, Luis R., Luis Venegas de la Torre y Víctor Ley Paredes

2020 Propuesta metodológica para el estudio, diagnóstico y conservación de la arquitectura prehispánica en

Oxkintok, Yucatán. En *XXXIII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala 2019* (editado por B. Arroyo, L. Méndez Salinas y G. Ajú Álvarez), pp. 757-769. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala.

Rivera Dorado, Miguel

1986 Investigaciones arqueológicas en Oxkintok, Yucatán. *Revista Española de Antropología Americana* 16: 87-107. Universidad Complutense, España

1987 El Proyecto Oxkintok. Introducción. En *Oxkintok 1. Misión Arqueológica de España en México* (editado por Ministerio de la Cultura), pp. 8-17. Madrid, España.

1996 Sobre la cronología de Oxkintok. *Revista Española de Antropología Americana* 26: 57-75. Universidad Complutense de Madrid, España.

Salazar Gamboa, Miguel y Luis Pantoja Díaz

2019 Investigación y recuperación de espacios arquitectónicos en el grupo Ah Canul de Oxkintok. La aplicación de reconstrucciones virtuales como propuesta de interpretación y difusión. Ponencia presentada en el *Sexto Simposio de Cultura Maya Ichkaantijoo 2019*. Mérida, Yucatán. En prensa.

Santamaría Peña, Jacinto y Teófilo Sanz Méndez

2011 *Fundamentos de la fotogrametría*. Universidad de la Rioja, Logroño, España.

Stephens, John L.

2003 *Viaje a Yucatán 1841-1842*. Fondo de Cultura Económica, México, D.F.

Trujillo Herrada, Armando

2010 Entre pixeles y Paisajes: Interacción y Visibilidad en el Núcleo de la Tradición Teuchitlán, Jalisco. En *Ecúmene. Revista de estudios Antropológicos del Occidente de México*, Vol. 1, No. 1, pp. 59-87. México.

Velázquez Valadez, Ricardo

2001 *Informes técnicos sobre las actividades arqueológicas y restauración arquitectónica realizadas en el sitio de Oxkintok, Yucatán*. Mecanoescrito, Archivo del Centro INAH Yucatán.

Venegas de la Torre Luis J.

2019 Diagnóstico Arquitectónico y fotogrametría. En *Informe Técnico temporada 2018. Proyecto Arqueológico Oxkintok. Investigación y conservación arquitectónica* (editado por L. Pantoja *et al.*), pp. 202-230. Documento entregado al Consejo de Arqueología del Instituto Nacional de Antropología e Historia. Archivo Técnico, México D.F.

Venegas de la Torre, Luis J., Sergio Uribe y Luis Pantoja

2018 *Aplicación de la fotogrametría aérea como herramienta de registro dentro de proyectos de salvamento y rescate arqueológico*. Ponencia presentada en el V Simposio de Cultura Maya. Ichkaantijoo. Mérida, Yucatán.

Vidal Lorenzo, María Cristina

1994 *El grupo Ah Canul de la ciudad maya yucateca de Oxkintok*, Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, España.

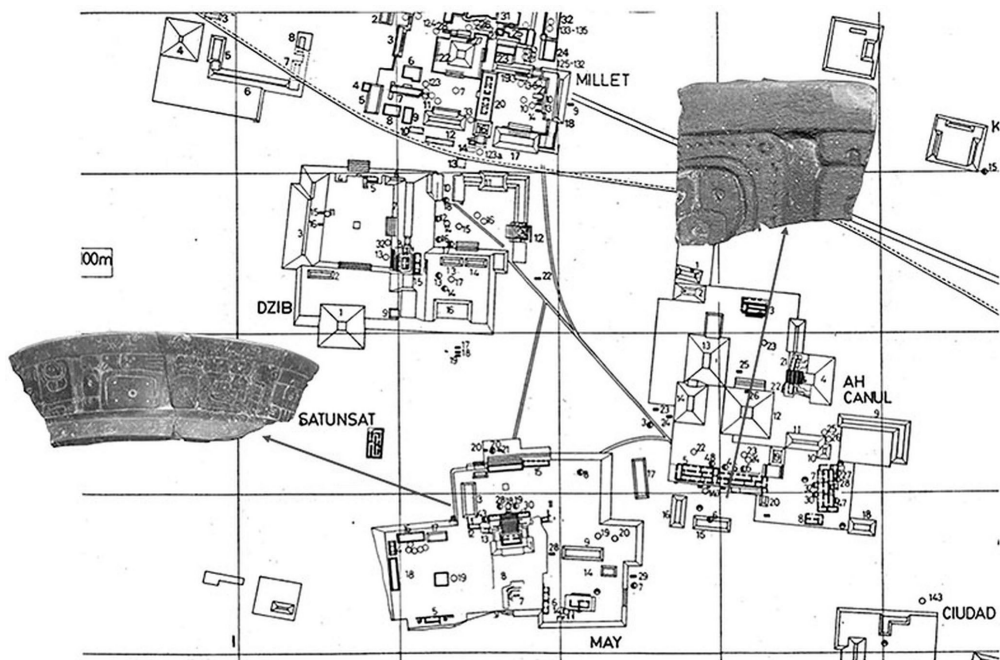


Figura 1. Mapa general del núcleo principal de Oxkintok (Tomado de Lacadena *et al.* 2018)-

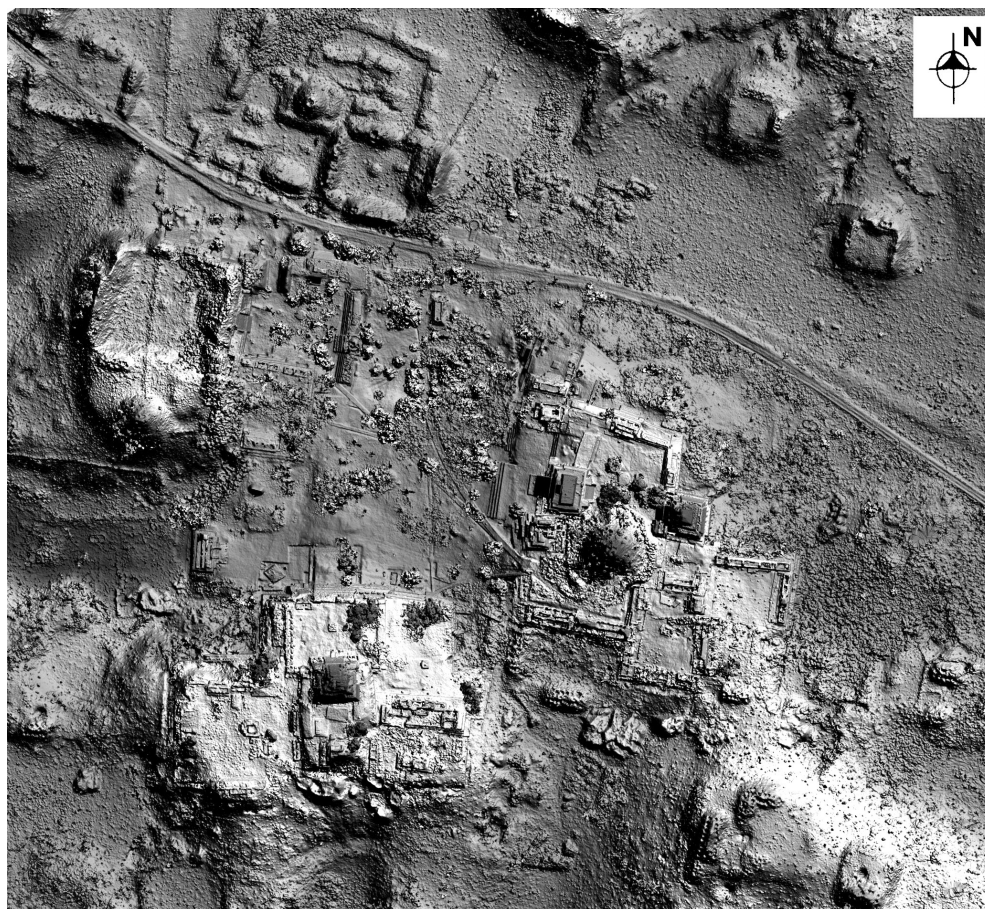


Figura 2. Fragmento del levantamiento fotogramétrico de Oxkintok, Yucatán (Elaborado por Yonny Mex 2020).

Grupo	Estructuras	Intervenidas	No intervenidas	Fotogrametría
Ah Canul	31	27	4	10
May	31	31	0	2
Dzib	26	18	8	2
Satunsat	1	1	0	1
totales	89	77	12	15

Figura 3. Tabla que condensa las estructuras de cada grupo arquitectónico, si han sido restauradas y si cuentan con levantamiento fotogramétrico.

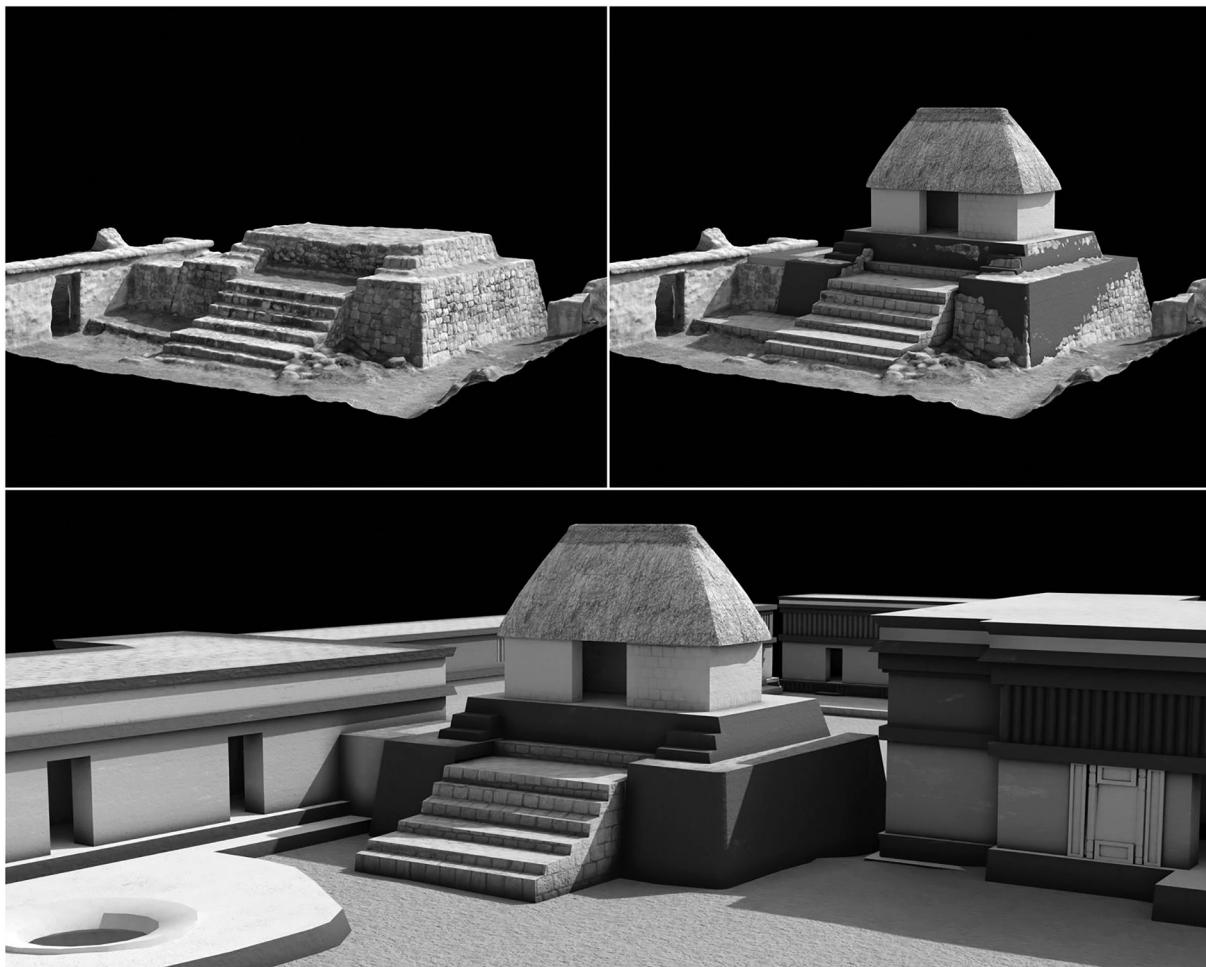


Figura 4. Esquema del proceso de reconstrucción virtual, partiendo del levantamiento fotogramétrico hasta la reconstrucción pictórica y de conjunto.

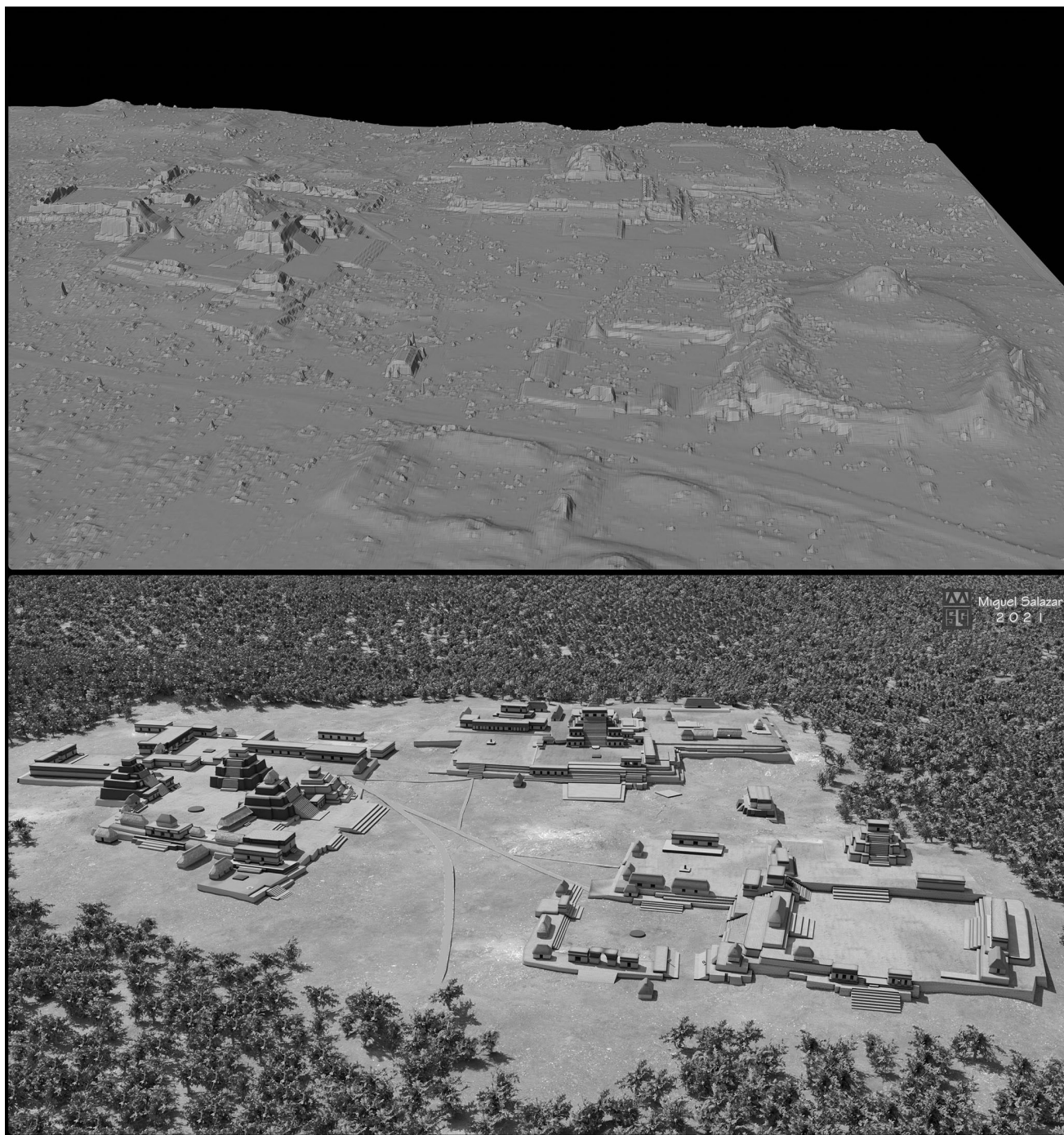


Figura 5. Comparativa entre el modelo fotogramétrico del núcleo del sitio y la reconstrucción virtual.

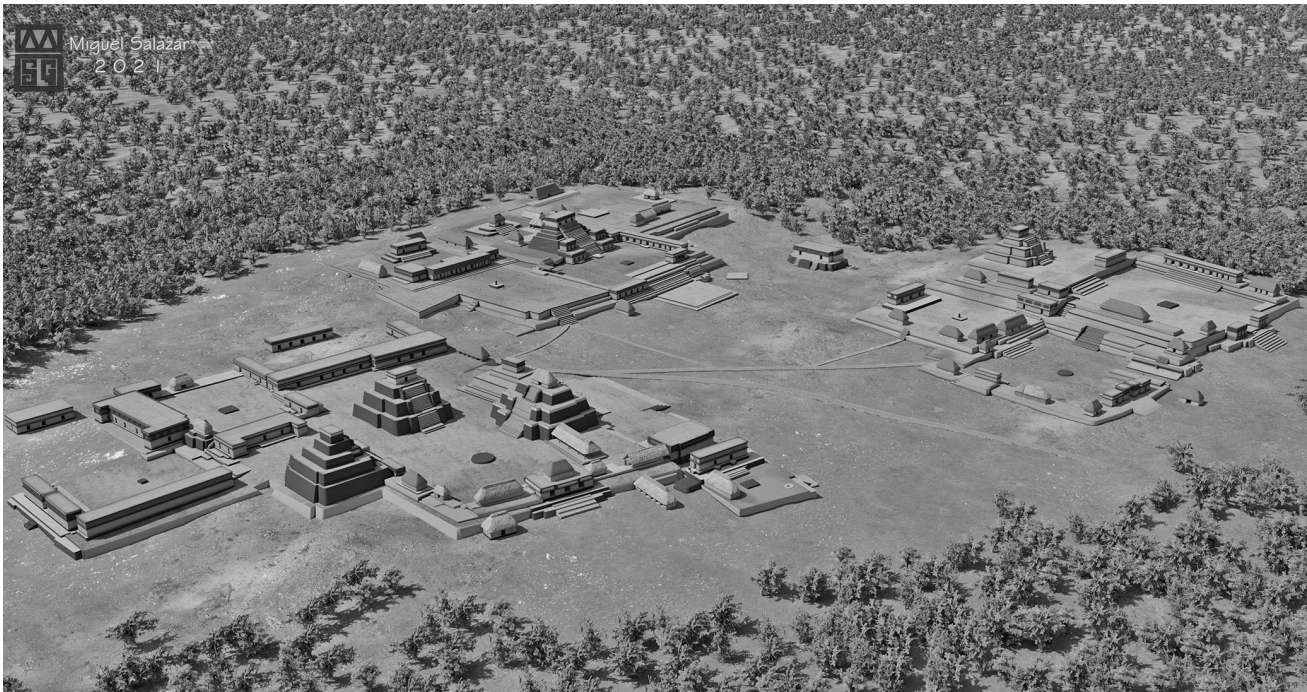


Figura 6. Estado actual de la reconstrucción tridimensional y pictórica de Oxkintok (Miguel A. Salazar 2021).

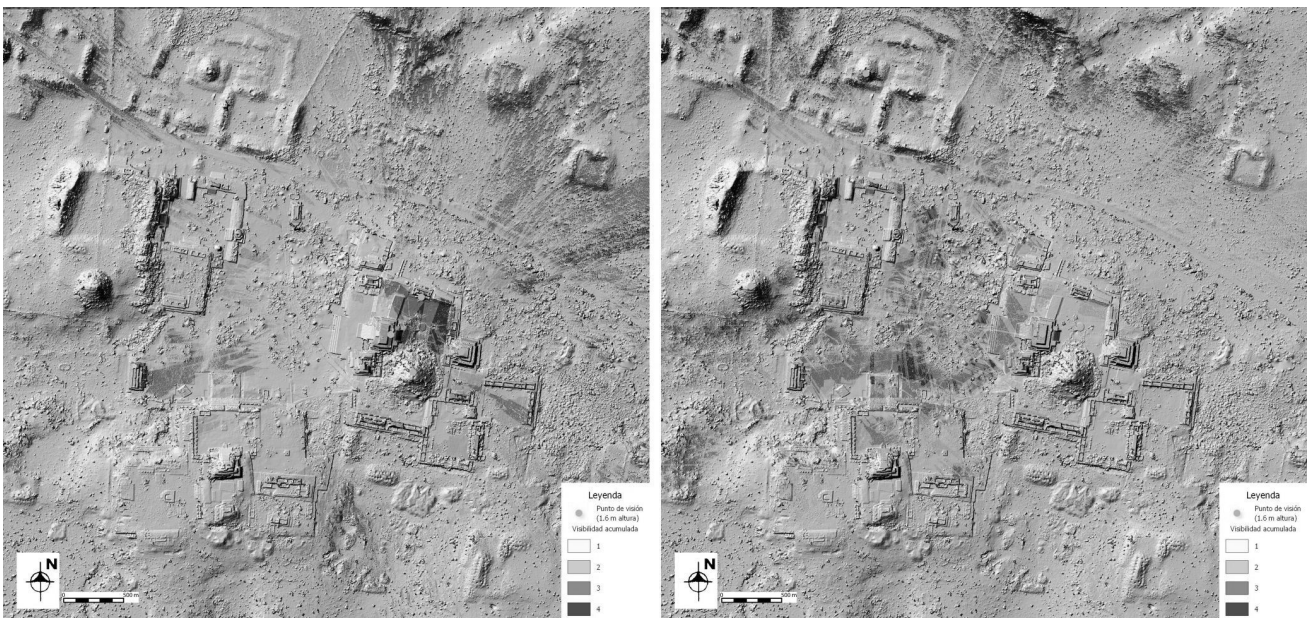


Figura 7. Resultado del análisis acumulativo de cuencas visuales para los dos ejercicios realizados.



Figura 8. Resultado del análisis acumulativo de cuencas visuales para la plaza principal del grupo Ah Canul, empleando el modelo tridimensional.

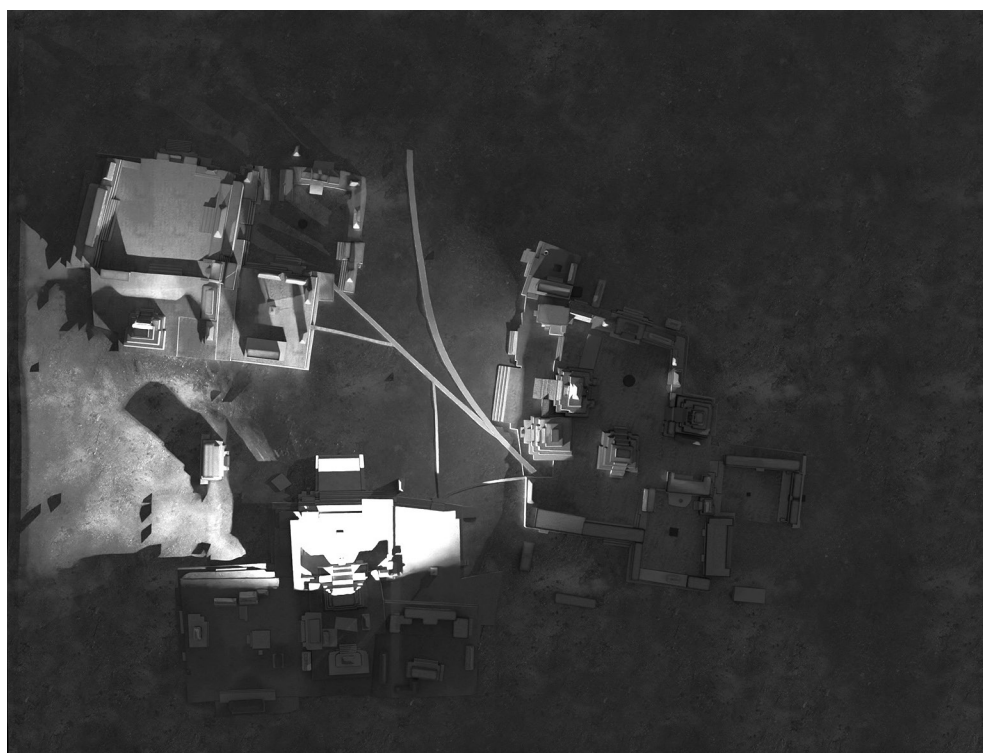


Figura 9. Resultado del análisis acumulativo de cuencas visuales en torno a la plaza principal desde las estructuras DZ-1, MA-1, CA-13 y el Satunsat.