



87.

ENCIMA Y DEBAJO DEL DOSEL:
EL USO DE MÚLTIPLES SISTEMAS
DE TELEDETECCIÓN EN LA DOCUMENTACIÓN
DEL MUNDO ANTIGUO

Omar Alcover Firpi, Timothy Murtha, Charles Golden, Andrew Scherer y Eben Broadbent

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:

Alcover Firpi, Omar *et al.*

2020 Encima y debajo del Dosel: El uso de múltiples sistemas de teledetección en la documentación del Mundo Antiguo. En *XXXIII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2019* (editado por B. Arroyo, L. Méndez Salinas y G. Ajú Álvarez), pp. 1063-1067. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala.

ENCIMA Y DEBAJO DEL DOSEL: EL USO DE MÚLTIPLES SISTEMAS DE TELEDETECCIÓN EN LA DOCUMENTACIÓN DEL MUNDO ANTIGUO

Omar Alcover Firpi
Timothy Murtha
Charles Golden
Andrew Scherer
Eben Broadbent

PALABRAS CLAVE

Valle del Río Usumacinta, Fotogrametría, Lidar, dron, Sistemas de Información Geográfica.

ABSTRACT

The incorporation of technologies such as Lidar and photogrammetry, alongside Geographic Information Systems (GIS), has allowed archaeologists to document sites at scales that surpass previous methods. These technologies have the capacity to record a variety of data from archaeological contexts, including texture, color, dimensions, and precise location of features and artifacts in physical space. By implementing diverse 3D documentation techniques, small projects can acquire the quality and quantity of data that was once only available to larger projects with extensive funding. Here, I draw on research from the Usumacinta River Valley to present a methodology for integrating analog archaeological data with photogrammetric modeling, Lidar, and GIS at varying scales to both document and investigate archaeological sites in tropical environments. Alongside the incorporation of these technologies, I argue for the need to develop an open access digital repository for 3D data for both research and teaching purposes. By integrating these digital methods into the archaeological toolset, researchers are better situated to document complex archaeological contexts, and reach the public in compelling ways.

INTRODUCCIÓN

Los límites del reconocimiento peatonal y distinciones académicas hechas entre lo que consiste entre un sitio arqueológico, rasgos regionales o un paisaje arqueológico, han guiado a los investigadores en las Tierras Bajas Mayas, a entender las dinámicas sociopolíticas de la región. Históricamente, los arqueólogos se han enfatizado una visión sincrónica de los sitios culturales en las Tierras Bajas. Dentro de estos estudios, muchas veces los límites de lo que consiste un sitio arqueológico han sido determinados por restricciones tecnológicas, financieras, o simplemente por los límites físicos de

los investigadores, llevando a cabo reconocimiento peatonal. Muchas veces estos límites no permiten estudiar en su totalidad cómo las comunidades antiguas usaban y entendían sus paisajes. Sin embargo, el desarrollo y adopción de tecnologías avanzadas de teledetección, como el Lidar y la fotogrametría, han permitido a investigadores identificar y documentar modificaciones antropogénicas sobre áreas más amplias, inclusive haciendo posible la meta de cobertura total del paisaje (Kowalewski 1990; Feinman 2004).

Con eso en mente, en esta ponencia se presentan tres enfoques y uso distintos de dichas tecnologías de teledetección en la documentación de paisajes arqueológicos.

lógicos. Primero, se discute el uso de la fotogrametría a base de drones y cámaras DSLR en la documentación de artefactos y contextos arqueológicos. Luego, se procederá a discutir el uso de Lidar a base de drones y la documentación de sitios arqueológicos con poca vegetación mediante la fotogrametría. Finalmente, se concluirá con una discusión acerca del uso de sensores Lidar tradicionales, tal como aquellos montados en aviones que cubren kilómetros del paisaje arqueológico. Aquí, se argumenta que al integrar la data de estos sensores en un ambiente de GIS se puede comenzar a contestar preguntas específicas acerca de las comunidades antiguas en la región, al mismo tiempo que se puede ser más detallado en la documentación de sitios arqueológicos.

En las Tierras Bajas Mayas, la fotogrametría y el reconocimiento a base de Lidar han tenido mucho éxito, expandiendo los límites de sitios conocidos, al igual que identificando sitios totalmente nuevos para investigadores. Mientras más áreas sean sujetas a reconocimiento a base de Lidar y la información se abra al público, se tendrá una oportunidad excelente de investigar y comparar el asentamiento en diferentes regiones del mundo Maya (ver Hutson 2015; Hutson *et al.* 2016; Ebert, Hoggarth y Awe 2016). Además, a un nivel teórico, la información recuperada a base de estos sensores obliga a reevaluar distinciones bien arraigadas de lo que constituye un sitio y sus periferias en las Tierras Bajas Mayas, especialmente en regiones donde el asentamiento es casi continuo.

LA CUENCA DEL RÍO USUMACINTA

En las Tierras Bajas Mayas occidentales de Guatemala y México, el equipo del Proyecto ha investigado el asentamiento regional a través de la cuenca del río Usumacinta, comenzando con el periodo Preclásico hasta el periodo Clásico Tardío, enfocándose en los reinos de Yaxchilan y Piedras Negras. Las investigaciones aquí se han enfocado en evaluar el papel que tuvo la violencia y la guerra en la vida social, económica y política de las comunidades Mayas en esta región. Partiendo de la premisa que los reinos Mayas antiguos se extendían por grandes distancias en el paisaje, los miembros del proyecto han llevado a cabo reconocimiento peatonal en la cuenca del Río Usumacinta tanto en Guatemala como en México, para localizar y documentar muchos de los centros secundarios que formaban estos reinos. En estas investigaciones regionales se han documentado múltiples sitios arqueológicos, al igual que rasgos aislados,

como terrazas, represas pequeñas, y murallas regadas por todo el paisaje. En los últimos años, estos hallazgos se han duplicado con la data recuperada de sensores Lidar y la fotogrametría.

DEBAJO DEL DOSEL: DOCUMENTACIÓN DE CONTEXTOS ARQUEOLÓGICOS CON LA FOTOGAMETRÍA

En los últimos años, la fotogrametría ha sido adoptada como una herramienta esencial de muchos proyectos arqueológicos. Dicha tecnología nos permite crear modelos en tres dimensiones de cualquier contexto o artefacto, al igual que diversos productos como fotografías georreferenciadas, modelos de elevación, y ortofotos de alta resolución a cualquier escala.

En el sitio de Macabillero se ha implementado la fotogrametría como herramienta esencial en la documentación de materiales, arquitectura y contextos arqueológicos. En base a investigaciones de Alcover, se sabe que Macabillero funcionaba como un refugio defensivo, ocupado principalmente durante el Preclásico Tardío y Clásico Temprano. El sitio está localizado en la cima de un cerro rodeado por cenotes y el Río Usumacinta. Además, el sitio se distingue por un grupo de estructuras monumentales con plazas públicas rodeadas por murallas y terrazas defensivas. En Macabillero se han trabajado tres temporadas con un equipo pequeño, compuesto por tres arqueólogos, llevando a cabo todos los elementos de la investigación como excavaciones, mapeo, dibujos, reconocimiento, etc., un área extensa. Es por esto por lo que se acudió a la fotogrametría para documentar excavaciones y poder llevar a cabo la mayor cantidad de trabajo con un presupuesto y personal limitado.

La meta desde el comienzo era integrar los productos de la fotogrametría con la base de datos de GIS. Para crear los modelos se usó una cámara DSLR Canon i7 con un lente de 50mm y otro lente *wideangle* de 10 a 18mm. Para contextos más grandes también, un dron DJI Mavic, cuyo pequeño tamaño permitía volar ágilmente por la selva. Para poder georreferenciar los modelos con la base de datos de GIS, se colocaron puntos de referencias laminados alrededor de las excavaciones. Las coordenadas de estos puntos fueron documentadas partiendo del mismo datum con que se mapeó el sitio y así fueron integrados al mapa maestro del sitio usando una estación total. Usando esta metodología, todos los lotes de las excavaciones fueron documentados con modelos fotogramétricos. Ya con los modelos georrefe-

renciados, se crearon visualizaciones en 3D tanto de las estructuras como fueron mapeadas con estación total, como en las fases enterradas dentro de la misma.

Usando ArcScene se integraron diferentes fases constructivas para así visualizar el desarrollo rápido del sitio entre el Preclásico Tardío y Clásico Temprano. Esta visualización permite tener un perfil optimizado del sitio, donde se puede observar con mayor detalle las diferentes fases constructivas y cómo éstas se conectan alrededor del sitio.

En Macabillero también se usó la fotogrametría a base de dron para documentar una de las terrazas defensivas más grandes del sitio. Este modelo se complementó en dos horas de trabajo de campo y un día procesando la información en el laboratorio. Al tener el modelo georeferenciado, en futuras temporadas se crearán modelos de la terraza para monitorear su deterioro.

A base de modelos fotogramétricos se pueden generar varias ortofotos de contextos complicados y los artefactos recuperados de dichos contextos. Las ortofotos producidas de modelos fotogramétricos tienen una resolución de medio centímetro, y provee una imagen sumamente detallada, donde se puede apreciar el relleno con sus colores y texturas, un complemento importante a los dibujos de campo.

La creación de ortofotos también ha sido sumamente útil en la documentación de entierros. En el sitio de Macabillero, se documentaron tres entierros identificados en el 2018 usando esta metodología. A base de un modelo fotogramétrico se documentaron detalladamente todos los restos del individuo, incluyendo detalles pequeños como falanges y dientes. Además, es posible visualizar estos entierros en su contexto mayor y relacionarlos con la arquitectura que se ha expuesto en el proceso de excavación. A largo plazo, la meta es poder combinar la nube densa de modelos fotogramétricos con data recuperada de Lidar para poder crear visualización en 3D de sitios enteros.

LIDAR A BASE DE DRONES

A una escala mayor, uno de los beneficios del Lidar es que puede identificar sitios y rasgos debajo de selva densa, la limitación más obvia de la fotogrametría. Pero, como bien se sabe, el precio de los vuelos de Lidar restringe el área en que se llevan a cabo los reconocimientos. Es por esto que se ha comenzado a incorporar Lidar en drones para documentar áreas específicas del paisaje y complementar la documentación que estamos llevando a cabo con fotogrametría y Lidar aéreo.

Específicamente, Timothy Murtha, Eben Broadbent y su equipo 'GatorEye' implementaron tres sensores de Lidar desarrollados por Phoenix Lidar. Estos son más pequeños que los sensores tradicionales y se pueden colocar en un dron DJI Matrice 600 Pro "Hexacopter."

Para probar si este sistema funcionaría en las selvas del Usumacinta, en el verano del 2017, Sam Gerardi e Ira Munkvold de Phoenix Lidar Systems, hicieron una captura de Lidar sobre la acrópolis y las áreas circundantes del sitio de Piedras Negras, Guatemala. El propósito de este vuelo era probar este equipo en campo y desarrollar un punto de partida para recolectar data. Además, se quería probar la viabilidad de la tecnología y rápidamente comparar los resultados del reconocimiento de Lidar a base de dron con el mapa existente de Piedras Negras. El área reconocida incluye una concentración densa de pirámides y estructuras de palacio en diferentes estados de conservación, construido en los cerros y valles adyacentes al río Usumacinta.

En el verano de 2018, partiendo de la experiencia en Piedras Negras, se comenzó a mapear de manera sistemática dos sitios conocidos, Budsilha y El Infiernito, usando un sistema especializado conocido como GatorEye de la Universidad de la Florida. El sitio de Budsilha consiste en un palacio rural con estructuras aledañas, cuyos ocupantes probablemente eran súbditos de la realeza de Piedras Negras entre el Siglo 7 y 9 DC. El sitio está concentrado alrededor de una estructura monumental abovedada en la cima de un cerro, rodeado por pantanos. El Infiernito, representa los restos de un sitio regional con ocupación comenzando en el Preclásico Tardío con su apogeo en el Clásico Tardío, localizado en la cima de un cerro empinado, modificado con terrazas y murallas.

Los dos vuelos completados en el verano de 2018 se planificaron con anticipación y el enfoque fue la adquisición sistemática de datos para desarrollar la metodología ideal para procesar y filtrar las nubes de puntos producida con los sensores Phoenix. Es importante notar que muchos de los sitios arqueológicos en Chiapas están cubiertos por bosques densos, pero las áreas adyacentes muchas veces se encuentran despejadas, lo cual permitían un nivel de flexibilidad en el despegue y aterrizaje del dron, algo que simplemente no era posible en Piedras Negras. Los transectos de los vuelos se colocaron a 25 metros de distancia, para poder cuantificar como el sistema responde a transectos limitados en vegetación variable.

Para las misiones en Budsilha y El Infiernito, se capturaron alrededor 370 millones y 340 millones de pun-

tos, respectivamente. Para comparar, en Piedras Negras sólo se adquirieron 55 millones de puntos. En total, la cantidad de data recuperada dan por exitosas estas tres misiones, ilustrando que la topografía de la superficie se puede documentar con precisión usando estos sensores a base de drones. Tomando en cuenta los resultados de estos reconocimientos, es posible confirmar que a diario el sistema de GatorEye puede documentar entre 1 y 4 km² de áreas cubiertas por selva con una resolución horizontal entre 10 y 15 cm. La precisión de esta metodología es incomparable en términos de su capacidad de adaptarse a las condiciones locales, al igual que en su eficiencia, precisión en la documentación de superficies debajo del dosel. Además, la habilidad única de delimitar los parámetros de cada misión nos permitirá enfocarnos en diferentes preguntas de interés arqueológico.

Hace pocos días se completó el trabajo de campo para siete misiones separadas en la región con un sensor Lidar nuevo. Se tomaron muestras de siete sitios y se recolectaron más de 14 km² de reconocimiento. El nuevo sensor permite que las misiones se realicen en elevaciones más altas y con mayor espacio de transectos, al mismo tiempo que se mejora el número de puntos por metro. El propósito del muestreo fue investigar una amplia escala de características arqueológicas en toda la región y proporcionar una base de datos para comparar estos datos del G-LiHT y los datos recién adquiridos de NCALM. Simplemente, las muestras seleccionadas se superponen con los datos de G-LiHT y NCALM.

Se concluye entonces, que los aviones no tripulados basados en Lidar no reemplazan las capacidades de prospección de las aeronaves basadas en Lidar, sino que son una herramienta de mapeo de precisión emergente para la arqueología. Estos datos se pueden adaptar fácilmente a las condiciones ambientales de la región. La altura sobre el bosque, la distancia entre los transectos y la velocidad del dron se pueden alterar para aumentar o reducir los espacios entre los puntos para tratar de penetrar en los espacios entre la vegetación. Los datos se han postprocesado para una de las ubicaciones de muestra y los resultados son muy positivos. Se recolectaron 360 millones de puntos de datos en Benemérito, con excelente penetración de bosques. Se ven pequeños montículos que no miden más de 5 metros, con detalles de arquitectura como escaleras. Desde la perspectiva de la preservación del sitio, la evidencia de saqueos es claramente visible. Quizás más importante, al usar estos datos se cuantifica de manera rápida, eficiente y precisa, las características grandes y pequeñas, extensas e intensivas.

RECONOCIMIENTO GLIHT EN CHIAPAS

A pesar de que el Lidar a base de drones es una herramienta útil, el estado actual de esta tecnología, tiene particularmente límites en la carga de las baterías del dron, no sustituye la escala de sistemas de Lidar colocados en avionetas. Para investigar el asentamiento de áreas más amplias en el sur de Chiapas, se ha colaborado con una base de datos de Lidar capturada por investigadores ambientales usando el sistema GLIHT del Goddard Space Flight Center de Nasa. Esta base de datos consiste en transectos extensos pero estrechos, que corren por la mayoría del estado de Chiapas, cruzando Campeche y concluyendo en la península del Yucatán. Aunque esta información no es una muestra estadísticamente aleatoria, si ofrece categóricamente un diferente tipo de data en términos de su escala y región, áreas normalmente ignoradas por arqueólogos.

Esta data es una muestra al azar que refleja mejor la distribución de rasgos culturales en áreas lejanas a sitios arqueológicos conocidos. Para cada uno de estos vuelos, se derivaron modelos de elevación de la superficie (DEM) con una resolución menor a un metro. Para procesar las 610 cuadrículas, Murtha creó un algoritmo *batch-processing* usando Lidar Analyst. Esta metodología ayudó a automatizar el procesamiento de las cuadrículas y procuró que los modelos de elevación fueran producidos con las mismas variables y resolución. En Chiapas, 17 de las muestras se encontraban al oeste y sur del río Usumacinta, cerca de la Biosfera Montes Azules. Esta data abarca algunos sitios arqueológicos previamente documentados, incluyendo el sitio de El Kinel en Guatemala, al igual que Nuevo Jalisco, Benemérito de las Américas, y El Palma en Chiapas.

Estos vuelos de Lidar descubrieron un asentamiento casi continuo a través de diferentes ecosistemas, con estructuras localizadas en terreno elevado, tanto en la cima como en las bases de los cerros de la región. A pesar de que 16 de los 17 bloques tenían evidencia de rasgos arqueológicos, la mayoría de la arquitectura monumental, incluyendo pirámides y plazas, estaban restringidas a los centros conocidos, tal como Benemérito de las Américas y El Palma. Una observación importante de la data de Chiapas es la cantidad de terrazas que se documentaron, tanto en la proximidad de centros grandes como en áreas remotas. Modificaciones rectilíneas acompañan asentamientos densos en la región, incluyendo abundante reservorios y áreas de almacenamiento de agua en la base de cerros modificados. En el sitio de El Palma, unos de estos reservorios identifica-

dos captura agua de un arroyo local, con una muralla que impide que el agua se escape del área. Para El Palma, estas modificaciones son interesantes considerando la cercanía del sitio a pantanos y el río Lacantún a unos cuantos metros del centro.

Como parte de la verificación de la información derivada del sensor GLIHT, se visitó el sitio del El Palma, donde se realizó mapeo con dron para comparar resultados de la fotogrametría y el Lidar GLIHT en la documentación del sitio. Trabajando en conjunto con los miembros de la comunidad y los propietarios de las tierras, se obtuvieron permisos para documentar y mapear partes del sitio. Aunque estos esfuerzos confirmaron características identificadas por el Lidar, también se produjeron modelos de elevación digital de mayor resolución basado en las fotos de dron usando Agisoft Metashape. La combinación del conjunto de datos Lidar y el modelado fotogramétrico de drones permitió una rápida documentación de asentamiento alrededor de El Palma, trabajo que de otro modo habría tomado varios días con el mapeo total tradicional de la estación.

CONCLUSIÓN

En conclusión, la incorporación de diversas tecnologías como el Lidar y la fotogrametría, en conjunto con Sistemas de Información Geográfica (SIG), han permitido a los arqueólogos documentar sitios y paisajes a escalas que sobrepasan métodos anteriores. Estas tecnologías tienen la capacidad de documentar una variedad de información de valor arqueológico, incluyendo la textura, color, dimensiones y localización precisas de sitios y artefactos en un espacio físico. Al implementar diversas metodologías y técnicas de documentación en 3D, proyectos pequeños pueden adquirir una cantidad y calidad, de información que antes estaba relegada a proyectos grandes con amplia financiación. Con el uso de estas tecnologías, se argumenta que debe crearse una base de datos abierta a investigadores donde se almacenen modelos en 3D tanto para investigación como para uso pedagógico. Además, es importante reevaluar

cómo se cree que son los límites de un sitio arqueológico ahora que se tiene una mejor idea de todo el asentamiento que existe en el paisaje. Y como punto final, al integrar estas metodologías digitales, no solo se puede estar mejor situados para documentar contextos arqueológicos complejos, sino también, compartir esta información con el público de formas convincentes.

REFERENCIAS

- EBERT, Claire E.; Julie A. Hoggarth y Jaime J. Awe
2016 Integrating Quantitative Lidar Analysis and Settlement Survey in the Belize River Valley. *Advances in Archaeological Practice* 4(3):284-300.
- FEINMAN, Gary M.
2004 *Hilltop Terrace Sites of Oaxaca, Mexico: Intensive Surface Survey at Cuirun, El Palmillo and the Mitla Fortress. Latin American Antiquity*. Field Museum of Natural History.
- KOWALEWSKI, Stephen A.
1990 Merits of Full-Coverage Survey: Examples from the Valley of Oaxaca, Mexico BT - The Archaeology of Regions: A Case for Full-Coverage Survey. En *The Archaeology of Regions: A Case for Full-Coverage Survey*, pp.277.
- HUTSON, Scott R.
2015 Adapting LiDAR data for regional variation in the tropics: A case study from the Northern Maya Lowlands. *Journal of Archaeological Science: Reports* 4:252-263.
- HUTSON, Scott R.; Barry Kidder, Céline Lamb, Daniel Vallejo-Cáliz y Jacob Welch
2016 Small Budgets and Small Budgets: Making Lidar Work in Northern Yucatan, Mexico. *Advances in Archaeological Practice* 4(3):268-283.