



---

50.

**EL USO DE DRONES Y LiDAR TERRESTRE  
PARA SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA  
(SIG) EN LA REGIÓN NUEVE CERROS**

---

*Alexander Rivas, Brent K.S. Woodfill, Adam P. Spring, Megan E. Leight y Marc Wolf*

XXXII SIMPOSIO DE INVESTIGACIONES  
ARQUEOLÓGICAS EN GUATEMALA

MUSEO NACIONAL DE ARQUEOLOGÍA Y ETNOLOGÍA  
23 AL 27 DE JULIO DE 2018

EDITORES

BÁRBARA ARROYO  
LUIS MÉNDEZ SALINAS  
GLORIA AJÚ ÁLVAREZ

---

REFERENCIA:

Rivas, Alexander; Brent K.S. Woodfill, Adam P. Spring, Megan E. Leight y Marc Wolf  
2019 El uso de drones y LiDAR terrestre para Sistema de Información Geográfica (SIG) en la región Nueve Cerros. En *XXXII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2018* (editado por B. Arroyo, L. Méndez Salinas y G. Ajú Álvarez), pp. 627-635. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala.

# EL USO DE DRONES Y LiDAR TERRESTRE PARA SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) EN LA REGIÓN NUEVE CERROS

Alexander Rivas  
Brent K.S. Woodfill  
Adam P. Spring  
Megan E. Leight  
Marc Wolf

## PALABRAS CLAVE

Salinas de los Nueve Cerros, Fotogrametría, LiDAR, dron.

## ABSTRACT

*In this paper, the authors describe the results of UAV drone photogrammetry and terrestrial LiDAR in the Nueve Cerros region of the transversal. The drone survey has allowed for large-scale, high resolution imagery at the site, which was not possible before. The authors explain methodologically how drone survey was conducted, as well as the benefits/drawbacks from aerial photography. Spatially interpretations on the site are also discussed, specifically the hydrology of the site, the port entrance, and the spatial layout of the epicenter.*

## INTRODUCCIÓN

Las investigaciones recientes sobre análisis espaciales en las Tierras Bajas han llevado a una comprensión más profunda de los patrones de asentamiento entre los antiguos Mayas. El más notable ha sido LiDAR, que ha revolucionado la forma en que entendemos el pasado antiguo (Chase *et al.* 2011, Hutson 2015, Prufer 2015). Sin embargo, el alto costo de LiDAR ha impedido que muchos proyectos obtengan esta imagen de área de alta resolución. Una alternativa viable, específicamente en grandes áreas no forestales, es la fotogrametría de drones. En este documento, los autores discuten la encuesta de fotogrametría de drones que se realizó en el sitio durante la temporada de campo 2018. También se presenta como uso alternativo para LiDAR que fue probado en la región de Nueve Cerros.

## LiDAR TERRESTRE

Durante la temporada de campo de 2016, Adam Spring llegó a Guatemala para hacer un estudio maestro para

ver la factibilidad de utilizar el LiDAR terrestre dentro de cuevas en Guatemala. Se realizó un escaneo dentro de dos cuevas ubicadas en el norte de Alta Verapaz—Hun Nal Ye (Woodfill *et al.* 2006) en el municipio de Carcha y la Cueva San Juan (Schwab *et al.* 2012) ubicada en las orillas de Salinas de los Nueve Cerros.

El escáner escogido para hacer el trabajo fue el 5010 C de Zoller y Froehlich en base a la calidad de información que podía recolectar. Utilizó un sistema de láser basado en modulación de fase que funciona a un millón de puntos por segundo, tirando 360° horizontal y 320° vertical para capturar detalles de la superficie. Después de hacer el escaneo, activó la cámara, que tiene con un rango dinámico alto, recolectó información que se definió con colores vivos, y para trabajar en condiciones de luz baja dentro de las cuevas se colocó un flash.

Para procesar los datos, Spring usó el programa Laser Control (también de Zoller y Froehlich), uniendo los escaneos de las diferentes estaciones en una sola nube de puntos. También se acomodaron las imágenes de fotografías encima de la nube para hacer una versión

digital de la cueva, como que estuviera vista en condiciones óptimas de luz.

De las dos, la Cueva San Juan fue un éxito total. Se documentó la cueva entera y se construyó la nube de puntos con menos que treinta posiciones del escáner (Figs. 1 y 2). Hun Nal Ye, en contraste, fue más difícil de escanear debido a la complejidad de su interior (Fig. 3). Aparte de tener varias ramas y cámaras, tiene espacios muy restringidos en múltiples partes, por lo cual fue necesario hacer muchas más estaciones. Dentro de las áreas oscuras, el uso del flash gastó mucha batería—muchas veces solo se logró hacer dos escaneos por carga. También, la variabilidad del techo y la inestabilidad del piso en varias partes hizo complicado el uso del trípode. Básicamente, se tienen que tomar en cuenta los límites del lugar y buscar soluciones adecuadas. Para casos parecidos a este, se piensa hacer un trípode mucho más pequeño para poder entrar a los rincones pequeños además de tener más baterías. También, es aconsejable llevar una planta para dejar fuera de la cueva para recargar las baterías, como se hizo en 2005 con la visita de fotógrafo Horacio Martínez.

### FOTOGRAMETRÍA AÉREA

Para la temporada de campo de 2018, el Proyecto compró un dron DJI Inspire 2 con cámara Zenmuse X5S por consejo de Adam Spring. Woodfill y Rivas tomaron un curso de dos días de manejo de dron proporcionado por Rodrigo Pinto de Aero Panorámicas (Cobán), y en base a este curso hicieron los trabajos en el dron con dos programas principales. DJI Go 4, que es el programa oficial, convierte un celular o tableta en herramienta para tomar fotos y videos, mientras que Drone Pilot de Maps Made Easy se usa para la fotogrametría aérea. El primero es gratis mientras que el otro sí tuvo un costo y solamente está hecho para iPhone e iPad. En base a Google Earth, se pueden hacer polígonos en las áreas que se pretenden trabajar, se hace el plan de vuelo según la altura sobre el *home* y traslape entre fotos que *—pone*. Para trabajar las fotos se utilizó Agisoft Photoscan Professional, que las convierte en una nube densa de puntos, modelo de elevación digital (DEM) y ortofoto.

El uso de dron tiene varias limitaciones que hay que tomar en cuenta. Toma fotos de luz visual, por lo cual solo ayuda a los arqueólogos en áreas sin bosque y residencias contemporáneas. La velocidad del dron depende de la fuerza del sol—Woodfill se dio cuenta que volar sobre la misma área podía tomar hasta dos veces

más de tiempo en la mañana y tarde que alrededor de medio día cuando había más luz. La batería dura para un vuelo de alrededor de 25 minutos. Para prolongar la vida de las baterías, es recomendable esperar hasta que se enfríen para cargarlas y otra vez antes de recolocarlas, por lo cual efectivamente se puede usar solamente una vez al día.

También hubo varias ventajas. La primera es el tiempo ahorrado—Woodfill lograba abarcar más que 140 hectáreas al día en condiciones ideales, y fue posible trabajar las imágenes para tener al menos una vista preliminar en el mismo día. También se podía capturar partes de los sitios sin caminar, por lo cual evitaba la necesidad de conseguir permiso en cada parcela, terreno o finca. Esto es muy importante en Nueve Cerros, mientras que hay cientos de propietarios, algunos de los cuales no habían permitido la entrada a pie de Rivas, Wolf, Woodfill y otros miembros del proyecto. Además, aunque hay que gastar en el alquiler o compra de un aparato y la capacitación para poderlo usar, es de un precio mucho más cómodo que el uso de LiDAR y tiene la facilidad de poderlo revolar periódicamente según las necesidades científicas.

### ¿CÓMO TRABAJA LA FOTOGRAMETRÍA?

Después de volar el dron, se organizan todas las fotografías de alta resolución. Cuando las fotos se alinean en Photoscan, ya están en la ubicación exacta de donde fueron tomadas (Fig. 4). Esto se puede hacer con cualquier dron que tenga la capacidad para fotografía aérea. Pero la ventaja del dron Inspire 2, es que tiene un GPS de alta precisión, y las fotos ya están georreferenciadas para uso de GIS/SIG. Después, con las fotos se puede crear una nube densa de puntos topográficos. Photoscan puede calcular información de profundidad con la posición de la cámara en cada foto, y con esta información se puede crear la nube. Esta nube es muy similar a la nube de puntos que se puede hacer con LiDAR. Pero, dependiendo del sol, paisaje y cantidad de fotos, esta nube puede ser más densa que las nubes de LiDAR. Con la nube se pueden añadir los puntos, borrándolos si son errores y no representan la topografía. Con esta nube, se puede construir el DEM (modelo de elevación digital), lo cual es la imagen más popular para los arqueólogos. Este DEM de alta resolución es suficiente para hacer análisis espacial de SIG, incluyendo análisis de “Viewshed”, del manejo de agua y estadísticas. Con la nube de puntos, también se puede exportar para otros programas, incluyendo ArcGIS,

Photoshop, QGIS, y GRASS. La ventaja de exportar la nube es que se pueden hacer análisis con la nube que no se puede hacer en Photoscan. La imagen ortomosaico es el último proceso en Photoscan, que simplemente es una foto completa en tres dimensiones.

El DEM de Nueve Cerros es de muy alta resolución y en las áreas sin selva o vegetación, se pueden ver claramente los rasgos arqueológicos. Estas imágenes están a una resolución de 26 cm por pixel. En la Fig.5, se pueden ver los montículos y plataformas del centro ceremonial y del puerto de Nueve Cerros. En esta imagen se puede ver el Grupo E, el reservorio al norte y el patio para juego de pelota. Al norte, está el puerto de Nueve Cerros. También se pueden observar los saqueos de los montículos, indicando que los drones pueden ayudar a los guardianes de parques arqueológicos y otros sitios.

Los datos de Tierra Blanca y el área de producción de sal dentro de la finca municipal de Cobán cuadran bien con el mapa realizado por Wolf y Velásquez entre 2010 y 2013. La ventaja del “dronaje” es que se pudo captar un área más grande que lo posible a pie. Debido a la falta de permiso de varios parcelarios y el concejo municipalidad anterior de Cobán, solo se logró mapear una porción pequeña del área. Aunque se cuenta con el apoyo de la municipalidad actual, la finca fue invadida durante los últimos meses de la alcaldía de Leonel Chacón en febrero, 2015 y los invasores no han dejado que entren a trabajar a esta zona desde su llegada. Desafortunadamente, los invasores botaron todo el bosque alrededor de las salinas, aunque por la misma falta de cobertura arbórea fue posible tomar toda la zona en un solo vuelo. Sin embargo, aunque el proyecto contó con el permiso verbal de la municipalidad actual de volar el dron sobre su finca, los invasores negaron la entrada al terreno, por lo cual se voló desde afuera.

Aún con estas limitaciones, se logró captar una gran trama de esta zona (Fig.6) en un día de vuelo. Se puede ver todo el sistema hidrológico, que incluye agua dulce y salada. Se revelaron 15 estructuras en la zona de fábrica de sal y 23 en Pie de Cerro que no se incluyeron en el mapa original por falta de permiso y se puede ver parte de la extensión de la zona de producción de sal al norte del arroyo; lo demás quedó fuera de la zona captada por precaución—Woodfill no quería acercarse más para evitar un choque, mientras que se ponía muy empinado el domo. Por la misma razón, el acceso limitado a satélites en el cielo hasta el oriente resultó en el movimiento de varios rasgos unos metros. Oxib’ Kok, fue mapeado con estación total amarrado a un punto

tomado por GPS en 2010, fue el único que fue movido exageradamente—se encuentra en actualidad a más que 20 metros de donde fue puesto en el mapa original. Al mismo tiempo, el dron no logra captar todo. Aparte de varias plataformas que no aparecen en el DEM, no se ve la parte norte del patio para juego de pelota, que solo fue elevada entre 0.05 y 0.15 m sobre el suelo. También se perdieron algunos detalles por árboles caídos, selva y la presencia de áreas muy empinadas.

#### FOTOGRAMETRÍA DE MONUMENTOS, OBJETOS Y EXCAVACIONES

Además de los trabajos explícitamente relacionados con SIG, esta tecnología ha servido para ayudar a la documentación de monumentos y textos jeroglíficos. Como se menciona en la ponencia de Woodfill *et al.* de este mismo simposio, Woodfill hizo un reconocimiento en la selva lacandona de Chiapas, y resultó documentando seis monumentos nuevos, de los cuales cuatro, además de cuatro escalones, son al menos parcialmente legibles.

Los reconocimientos fueron de corto tiempo—toda la temporada de campo duró menos de una semana. Entonces Woodfill tomó entre 10 y 40 fotos de cada monumento de diferentes ángulos y los unió en Agisoft Photoscan. Además, reconoció el sitio Cerro de la Tortuga, un centro ceremonial del Clásico Tardío arriba de las salinas de Ixtapa, Chiapas, y quería registrar varios monumentos vistos allí (Fig.7). Aunque ninguna foto fue tomada en condiciones ideales, es posible hacer modelos de 3D con suficiente detalle para verificar glifos e iconografía. De manera parecida, se hicieron ortomosaicos con perfiles de cortes y pozos después de tomar fotos a 2 m de distancia, y de plantas volando el dron a una altitud constante, mientras que se tomó hasta 24 fotos de diferentes ángulos.

#### INTERPRETACIONES

El primer vuelo de dron para fotogrametría ocurrió en Cobán, en mayo, sobre el campo de motocross. Rivas y Woodfill pasaron los mismos datos en AgiSoft y se notó la diferencia entre la capacidad de los tres computadores. Todos de buena calidad—Asus UX501V (Alex) y un Lenovo Ideapad Y700 (Woodfill). Sin embargo, la de Woodfill tardó el doble de lo que tardaron los otros dos, y en siguientes trabajos no se podían abrir correctamente los ortomosaicos ni DEMs grandes dentro del programa.

Las nuevas imágenes de la fotogrametría son efectivas para interpretaciones del paisaje. Estudios del paisaje antiguo necesitan imágenes y datos a gran escala, que son posibles ahora para el sitio de Nueve Cerros. Se pueden entender mejor las áreas de inundación del río Chixoy y los arroyos que rodean el sitio, el patrón de asentamiento de Tierra Blanca y la escala de construcción del epicentro.

El posible puerto en el área de Tierra Blanca se ve claramente en el nuevo DEM. El puerto se ve peninsular y posiblemente modificado con muelles. Geográfica y topográficamente, el puerto de Nueve Cerros se ve muy similar a la península del sitio de Cancuen (Demarest *et al.* 2014). Los dos puertos más probables funcionaron muy diferentes, en Cancuen siendo un puerto real y centro de muchas vías de intercambio, y el puerto de Nueve Cerros más asociado con la exportación de sal. Esta área de Nueve Cerros también es el área más fácil para el uso de canoas, con mucha de la orilla de inundación con grandes escarpadas. Excavaciones del puerto por Megan Leight ha proporcionado evidencia de ocupación desde el Preclásico Medio, con mucha construcción durante el Preclásico Tardío. Este puerto, que también está cerca al centro ceremonial con el Grupo E y patio para juego de pelota fueron una de las primeras construcciones del sitio de Nueve Cerros.

Al suroeste del puerto, hay unos grupos arquitectónicos recién descubiertos, en 2017. También hay diez, posiblemente 15, reservorios o aguadas en el grupo, con un tanque de agua y un estanque, dos probables bajos con por lo menos 21 montículos (Fig.8). Los grupos están rodeando a dos arroyos, con una llanura de inundación de buen tamaño. Esta área funciona como un centro de manejo de agua, con reservorio para diferentes propósitos. La ubicación de reservorios cerca de los arroyos también sugiere que los arroyos no eran potables y como en muchos sitios de las Tierras Bajas, el agua potable era colectada en los reservorios. Pero, durante la temporada de lluvia, los arroyos son suficientemente grandes para viajar en canoa y para pescar. La producción de sal claramente era un aspecto importante para la economía de Nueve Cerros y el pescado salado probablemente era muy importante para los habitantes del sitio, no solo por el río Chixoy sino por la cantidad de arroyos también. Estas imágenes de dron ayudan a entender la escala de recursos acuáticos disponibles para el sitio entero.

En el área de Tierra Blanca Chixoy, al noroeste del puerto, no hay mucha evidencia de modificaciones al paisaje a gran escala. Por lo menos en la imagen de

dron solo se observaron pocos montículos y estructuras, pero las excavaciones de Judith Valle, Carlos Efraín Tox, y Katerin Molina han mostrado que hay grandes e importantes hallazgos.

## CONCLUSIONES

Las nuevas imágenes de Salinas de los Nueve Cerros mejorarán la comprensión del paisaje antiguo del sitio. El sistema hidrológico, escala de construcción, patrón de asentamiento, rasgos naturales y la variedad de rasgos arqueológicos son mejor entendidos con las imágenes del sitio completo. Para trabajos futuros, una de las cosas más importantes es completar el mapa de Nueve Cerros. Esto incluye el área norte del río Chixoy, hasta Laguna Camela. Empezar el análisis espacial de SIG de alta resolución ahora es posible, como el análisis de cuenca, acumulación de flujo, análisis de cuenca visual, estadística espacial y rutas de menor costo.

El papel económico de Salinas de los Nueve Cerros claramente está basado en la producción de sal. La economía del sitio posiblemente dio paso a un epicentro, centro ceremonial, puerto, todo rodeado con montículos, estructuras y rasgos de hogares. Con estos nuevos datos de dron, se va a poder interpretar espacialmente la relación de producción de sal con el epicentro, el puerto y el resto del sitio.

Con respecto al dron y cámara, se tiene que invertir en tres cosas de igual importancia: 1) el aparato indicado con suficiente precisión para recuperar buenos datos, 2) una computadora con poder suficiente para trabajar los datos y 3) muchas baterías. Se tiene que trabajar con un especialista en tecnología para escoger el sistema adecuado para cumplir con las metas de la investigación y las características del contexto.

## REFERENCIAS

- CHASE, Arlen F.; Diane Z. Chase, John F. Weishampel, Jason B. Drake, Ramesh L. Shrestha, K. Clint Slatton y William E. Carter  
2011 Airborne LiDAR, archaeology, and the ancient Maya landscape at Caracol, Belize. *Journal of Archaeological Science* 38(2):387-398.
- DEMAREST, Arthur A.; Chloé Andrieu, Paola Torres, Melanie Forné, Tomás Barrientos y Marc Wolf  
2014 Economy, exchange, and power: new evidence from the late classic Maya port city of Cancuen. *An-*

*cient Mesoamerica* 25(1):187-219.

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* 4:252-63.

PRUFER, Keith M.; Amy E. Thompson y Douglas J. Kennet

2015 Evaluating airborne LiDAR for detecting settlements and modified landscapes in disturbed tropical environments at Uxbenká, Belize. *Journal of Archaeological Science* 57:1-13.

SCHWAB, Gregory; Mark Lentz, Seleste Sanchez, Brent Woodfill, Mirza Monterroso y Judith Valle

2012 Espeleoarqueología, etnohistoria y etnografía en la región Nueve Cerros. En *XXV Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2011* (editado por B. Arroyo, L. Paiz y H. Mejía), pp.581-90. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala.

WOODFILL, Brent K.S.; Federico Fahsen y Mirza Monterroso

2006 Nuevas evidencias de intercambio de larga distancia en Alta Verapaz, Guatemala. En *XIX Simposio de Investigaciones Arqueológicas de Guatemala, 2005* (editado por J.P. Laporte, B. Arroyo y H. Mejía), pp.1044-57. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala.

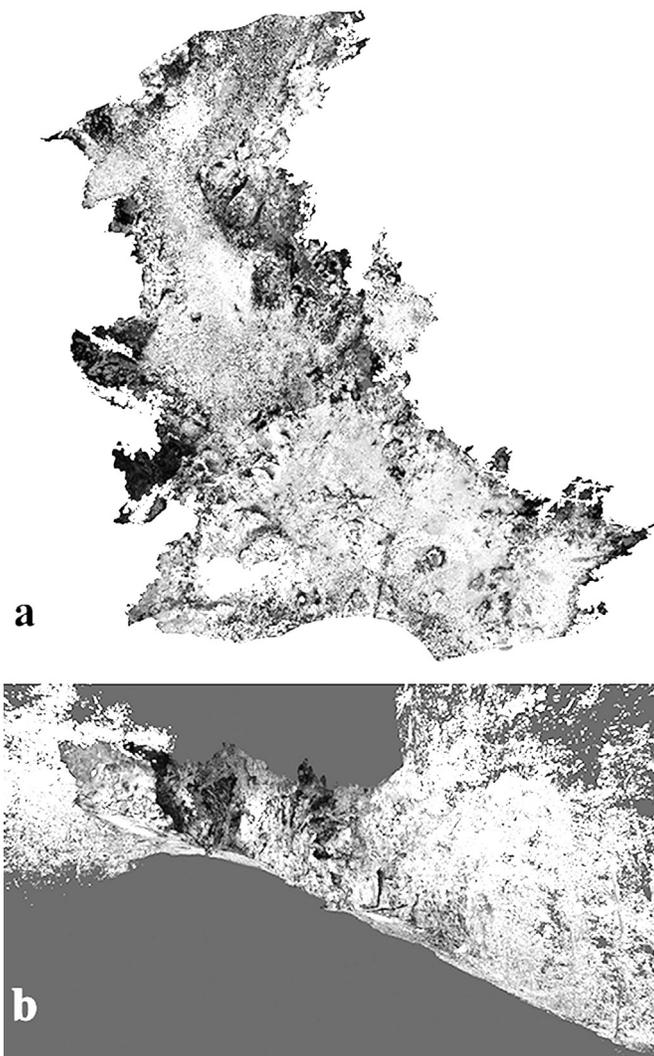


Fig.1. Planta (a) y perfil (b) de la Cueva San Juan tomados por LiDAR terrestre. Imágenes hechas por A. Spring.

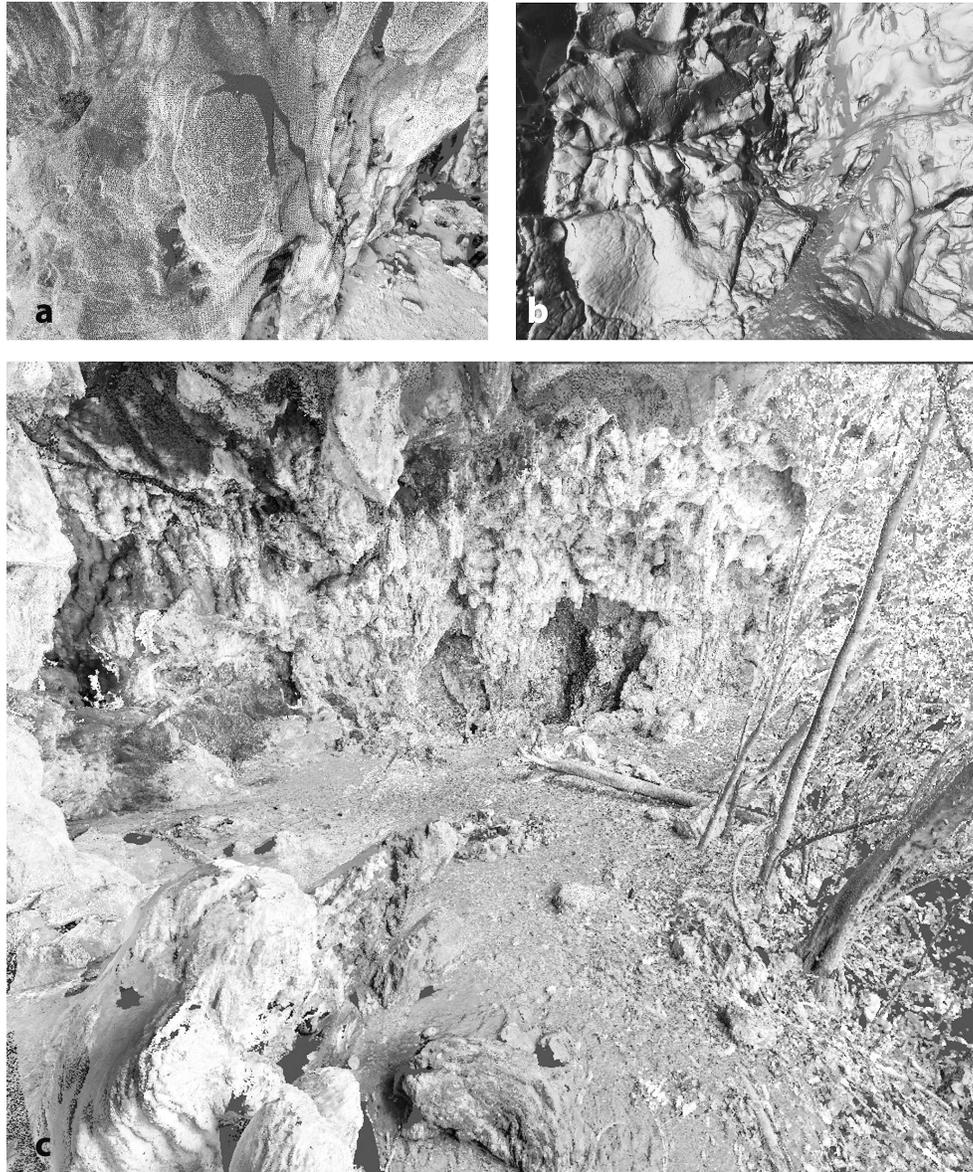


Fig.2. Imágenes de la Cueva San Juan tomados con LiDAR terrestre. A) nube de puntos mostrando una cara grabada. B) una imagen en tres dimensiones de la roca madre de la cueva. C) La entrada sur de la Cueva San Juan. Imágenes hechas por A. Spring.

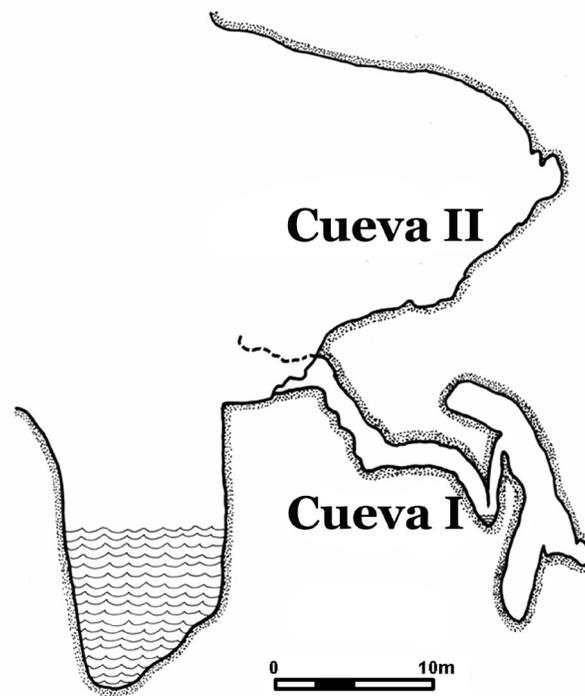


Fig.3. Perfil norte de la Cueva de Hun Nal Ye. Dibujo hecho por C. Tox Tiul.

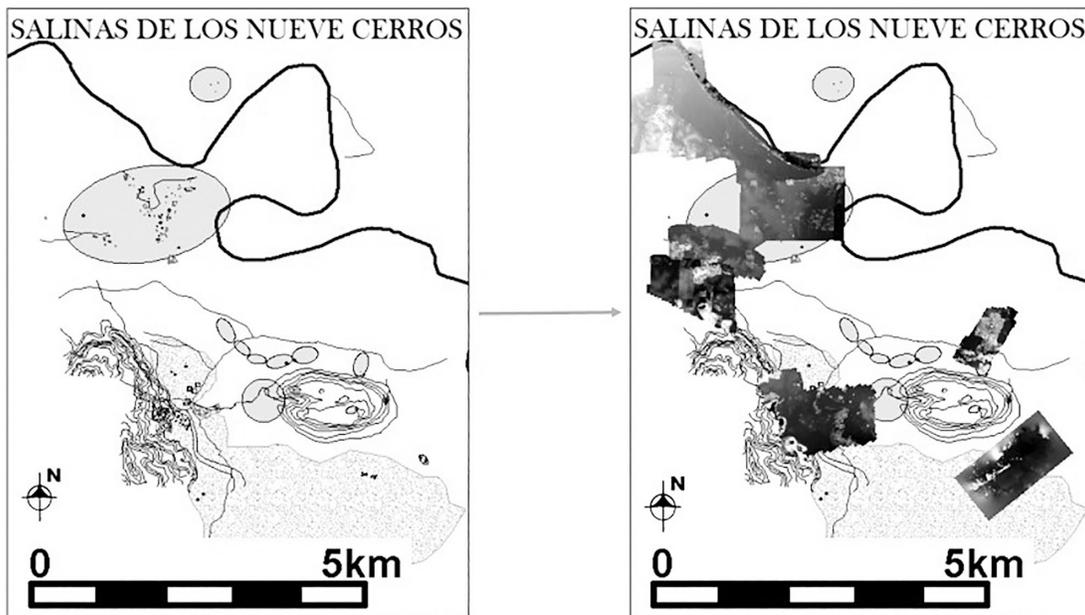


Fig.4. El parte central de Salinas de los Nueve Cerros. A lado izquierdo se ve las áreas mapeadas tradicionalmente y al lado derecho se ve las áreas captadas por dron. Mapa hecho de M. Wolf y A. Velásquez modificado por A. Rivas.

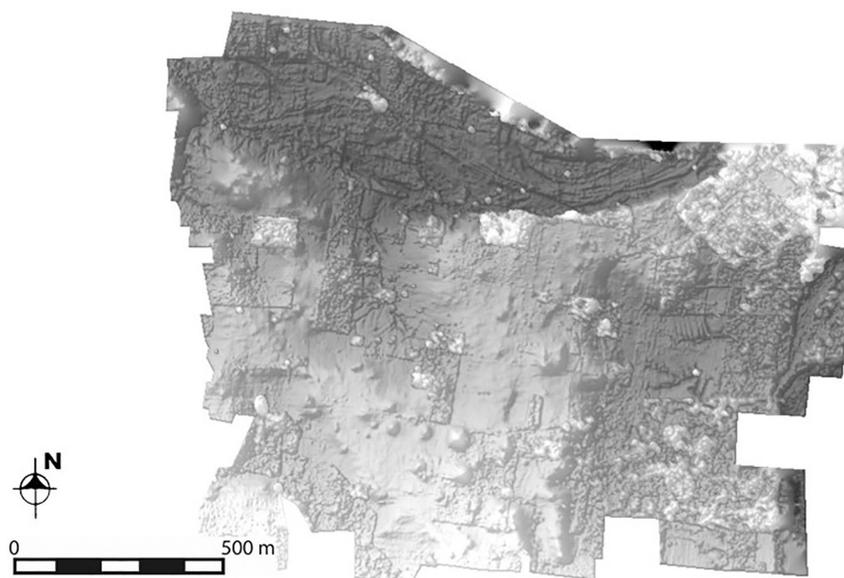


Fig.5. Los montículos de Tierra Blanca Sebol. DEM hecha por A. Rivas.

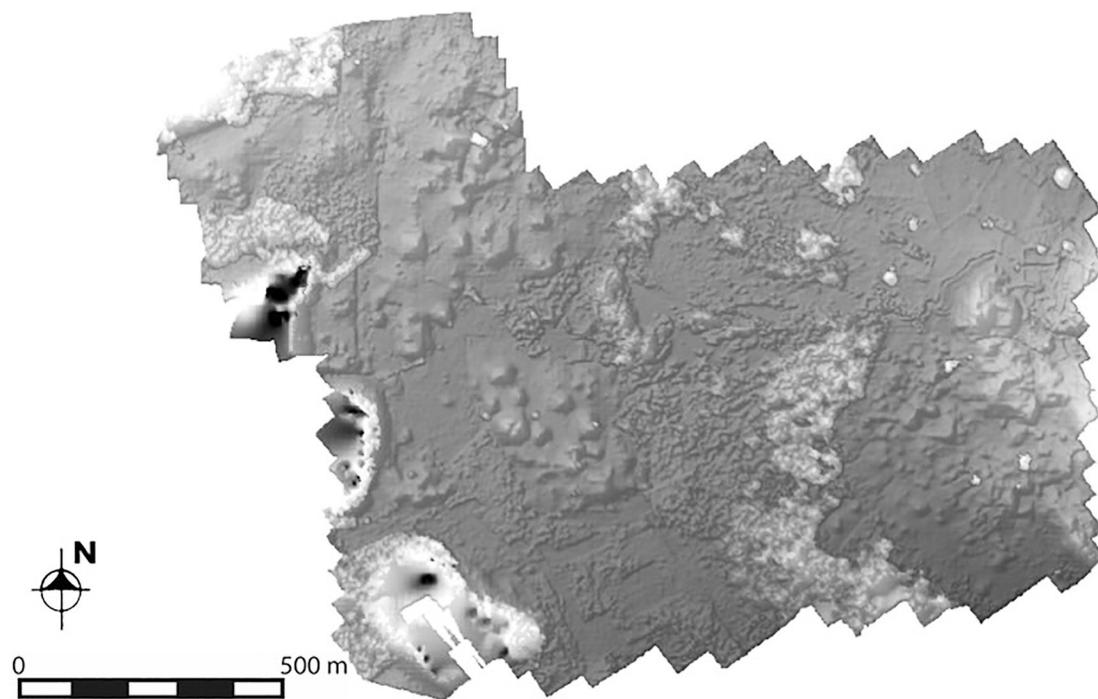


Fig.6. Los montículos del Epicentro y la zona de producción de sal. DEM hecha por A. Rivas.

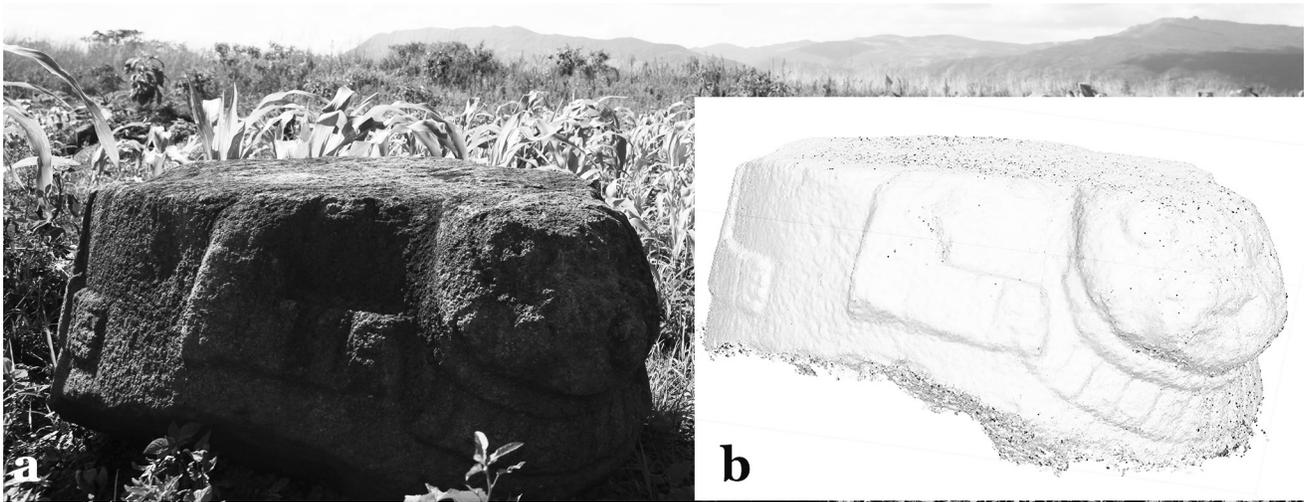


Fig.7. Escultura de una tortuga en el sitio Cerro de la Tortuga, Chiapas. A) Vista mal alumbrada por la luz de la tarde. B) un modelo 3D de la tortuga hecha por fotogrametría.

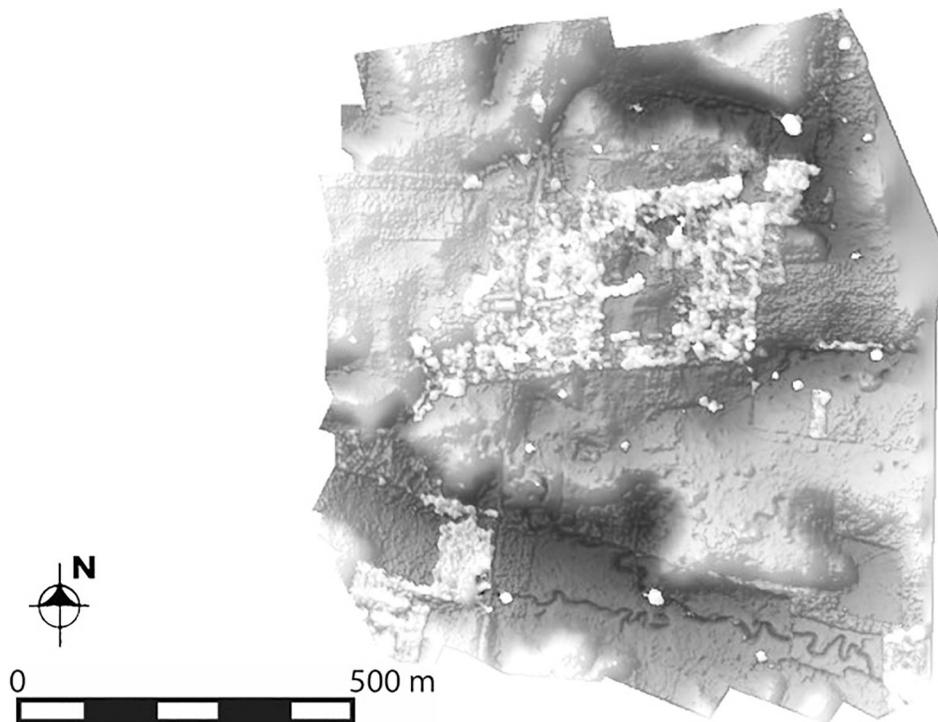


Fig.8. Aguadas, arroyos y montículos de la aldea Tierra Blanca Salinas. DEM hecha por A. Rivas.