



51.

**MAPEO DE ASENTAMIENTOS
EN ALTA RESOLUCIÓN CON SISTEMAS AÉREOS
NO TRIPULADOS EN ALTAR DE SACRIFICIOS,
GUATEMALA**

Jessica Munson, Andrés Mejía-Rámon y Lorena Paiz Aragón

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:

Munson, Jessica; Andrés Mejía-Rámon y Lorena Paiz Aragón
2019 Mapeo de asentamientos en alta resolución con sistemas aéreos no tripulados en Altar de Sacrificios, Guatemala. En *XXXII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2018* (editado por B. Arroyo, L. Méndez Salinas y G. Ajú Álvarez), pp. 637-648. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala.

MAPEO DE ASENTAMIENTOS EN ALTA RESOLUCIÓN CON SISTEMAS AÉREOS NO TRIPULADOS EN ALTAR DE SACRIFICIOS, GUATEMALA

Jessica Munson
Andrés Mejía-Rámon
Lorena Paiz Aragón

PALABRAS CLAVE

Tierras bajas, Altar de Sacrificios, Mapeo de asentamientos, Preclásico y Clásico.

ABSTRACT

Over the last decade, the use of lidar has dramatically changed our understanding of the size and extent of ancient settlements in the Maya lowlands. This technology, however, has yielded equivocal results in secondary-forest growth and recently deforested environments. In these settings, unmanned aerial vehicle (UAV) surveys facilitate a more effective and efficient methodology for generating high-resolution imagery to identify features of archaeological interest. In this paper, we present the results of a UAV survey conducted in a 20 km² study area surrounding the site of Altar de Sacrificios in southwest Petén, Guatemala. Previous research at this site suggested that Altar was a secondary center with a modest-sized ceremonial core, but limited exploration of the surrounding settlement left questions about its sustaining population. Results from our recent UAV survey and total-station mapping have documented a low-density and dispersed settlement along the Pasión, Salinas, and Usumacinta rivers. Fifty new mounds, ranging in height from less than 1 m to over 10 m, have been identified and documented using ground-truthing methods, while more than ninety additional mounds await confirmation with future surveys. The high-resolution digital elevation model generated from UAV images also captures geomorphological features that help us interpret the relationship between the ancient settlement and relic river courses. This paper addresses the implications of these results and highlights the application of UAV survey methodology in the Maya lowlands.

INTRODUCCIÓN

En la última década, el uso del LiDAR para la prospección y el mapeo de asentamientos se ha desarrollado desde un acercamiento experimental a una metodología establecida. La aplicación del mismo ha visto un crecimiento significativo en Área Maya, en especial en la tupida selva del centro de Petén. Investigaciones recientes han resaltado la efectividad del LiDAR para identificar nuevos sitios y otros rasgos en ambientes boscosos, los cuales son muy difíciles y costosos de recorrer con los métodos tradicionales (Chase *et al.* 2012). Sin embargo, los recorridos hechos con LiDAR en áreas con otro

tipo de vegetación, con milpa por ejemplo, y bosques de crecimiento secundario han producido resultados equívocos (Inomata *et al.* 2017; Prufer *et al.* 2015). Varios sitios arqueológicos situados en terrenos privados usados para sembrar o como potreros, están en peligro debido a la agricultura mecanizada, la ganadería y el saqueo; y reciben poca atención y apoyo insuficiente para adecuadamente documentarlos y estudiarlos. En esta clase de ambiente, el uso de los vehículos aéreos no tripulados puede proveer métodos más efectivos y eficientes para la generación de imágenes en alta resolución para identificar rasgos arqueológicos y ambientales y que al mismo permitan monitorear la destrucción de los sitios.

ANTECEDENTES

Localizado en la confluencia de los ríos La Pasión y Chixoy-Salinas, Altar de Sacrificios se encuentra estratégicamente ubicado en la intersección de tres ríos que conectan las Tierras Altas Mayas, las Tierras Bajas y la región de Costa del Golfo (Fig.1). Reconocido por su importancia potencial como un cruce de caminos prehispánico, Gordon Willey y Ledyard Smith (1969) de la Universidad de Harvard llevaron a cabo investigaciones en el sitio entre 1958-1963, y fue uno de los primeros proyectos de gran escala en la parte sur de Petén. Su investigación estableció una cronología para el sitio basada en un programa de excavación intensiva y un análisis cerámico completo (Adams 1971; Smith 1972). William Bullard hizo un mapa detallado del sitio en las temporadas de 1959 y 1960 (Willey y Smith 1969), siguiendo los bosquejos hechos por Maler (1908) y Shook (publicado por Morley en 1938). Las primeras expediciones al sitio describen la vegetación densa encontrada por estos primeros exploradores y el trabajo intenso que se necesitó para limpiar las áreas necesarias para realizar el mapa de Bullard (Willey y Smith 1969). Mientras que el mapa de Harvard es bastante exacto, las exploraciones limitadas hacia el oeste y sur, más allá de los Grupos A y B, encontraron una pequeña distribución de montículos bajos de barro, lo cual apoyó las primeras interpretaciones sobre el modesto tamaño de Altar de Sacrificios (Willey y Smith 1969). Curiosamente, los numerosos monumentos jeroglíficos, las ofrendas mortuorias, las grandes plataformas y la arquitectura palaciega descubierta por Harvard señalan que Altar de Sacrificios fue un sitio Maya mayor, lo cual nos lleva a preguntarse sobre su población periférica y sus conexiones políticas y socioeconómicas con otras regiones.

En 2016, el proyecto Arqueológico Altar de Sacrificios inició un nuevo programa de investigación enfocado en las unidades domésticas. Con el objetivo principal de comprender la vida diaria de los antiguos habitantes, este proyecto tiene como enfoque examinar la desigualdad a lo largo de varios periodos de tiempo. Para cumplir con los objetivos se está recolectando información sobre el patrón de asentamiento, artefactos domésticos y bienes mortuorios. En las últimas dos temporadas los esfuerzos se han enfocado en identificar y mapear la extensión de Altar de Sacrificios usando técnicas de monitoreo aéreo. A continuación, se presentan los resultados y describen los métodos desarrollados para simultáneamente recolectar, analizar y comprobar estos datos obtenidos.

METODOLOGÍA

Solamente los grupos A, B y C se encuentran dentro de un área protegida bajo la dirección del DEMOPRE; muchos montículos se ubican en propiedad privada y mediante un acuerdo firmado en 2012 entre el Departamento de Monumentos y los dueños de los terrenos se estableció que los montículos se iban a quedar bajo su protección y que debían de permitir el trabajo arqueológico en los mismos y en sus alrededores. Es por esta razón que durante los últimos dos años hemos recibido permiso de cuatro diferentes dueños de los terrenos para llevar a cabo vuelos sobre un área aproximada de 5 km² que rodean en sí al área arqueológica. Estos trabajos iniciaron en 2017, con recorridos realizados en la península formada por la unión de los ríos La Pasión y Salinas (Fig.2).

RECORRIDO DE PATRÓN DE ASENTAMIENTO Y MODELOS TOPOGRÁFICOS

Para el recorrido aéreo se usó un quadricóptero DJI Phantom 3 profesional, que cuenta con una cámara de 12 megapíxeles y un cardán de estabilización. Para determinar a qué elevación había que volar, fue necesario tomar en cuenta factores como el área máxima a recorrer y la resolución de las imágenes, los vuelos a mas altura permiten coberturas amplias, pero a una resolución más baja. En la península de Altar de Sacrificios se voló a una elevación de 85 m con el objetivo de maximizar la resolución y lograr cubrir el área de estudio en dos semanas. En otras áreas se voló a una altura de 150 m para maximizar el área cubierta.

Para maximizar la cantidad de área recorrida por vuelo, primero se colocó el dron en el centro aproximado del área a recorrer y se programó una misión usando la aplicación para iOS Map Pilot de "Maps made Easy". Esta aplicación programa el vehículo no tripulado para volar siguiendo una cuadrícula mientras toma fotografías a un intervalo predeterminado. Cuando ya se tiene definida la misión del vuelo deseado, el vehículo no tripulado vuela por un aproximadamente 18 min antes de que se necesite cambiar la batería. De una vez que el vehículo no tripulado regresa a su punto de inicio se le cambia la batería y retoma el vuelo en el punto donde previamente se quedó y así se sigue el proceso hasta que se agotan todas las baterías. En total, en 2017 se logró recorrer el área que abarca la península de Altar en diez días usando seis baterías con un vuelo por día.

Ya en el campamento, las imágenes obtenidas en

los distintos vuelos fueron procesadas usando Agisoft Photoscan Profesional, un software de fotogrametría de estructura a movimiento que produce modelos en 3D y modelos de elevación digital de las fotografías tomadas. Las imágenes fueron inicialmente procesadas usando una resolución baja para generar de manera rápida el modelo de elevación digital y así poder comprobar los datos obtenidos con un recorrido en campo al siguiente día. A pesar de esto, las reconstrucciones obtenidas lograron tener una resolución de 40 cm/pixel. Usando estas imágenes, se identificaron potenciales rasgos de interés y los mismos fueron comprobados en campo al siguiente día, proveyendo una metodología altamente eficiente y a bajo costo. Ya en trabajos de procesamiento posteriores, las imágenes se procesaron a una resolución más alta y se unió el trabajo de todos los días, generando un modelo con una resolución de 0.15 m.

RESULTADOS

El análisis de las imágenes en alta resolución permitió la identificación de un número de rasgos significantes que de lo contrario no hubiera sido posible. A continuación, se presentan los resultados de estos recorridos y se discuten los cambios de vegetación que han impactado al sitio durante los últimos 50 años.

PAISAJE DE RÍOS

Visto desde arriba, a vista de pájaro, uno de los rasgos más notorios del paisaje es el ambiente fluvial tan dinámico dentro del cual se ubica el sitio (Fig.3). Se pueden identificar claramente, en las imágenes de alta resolución de los modelos de elevación digital, los antiguos cauces del río, áreas de deposición de arena y erosión, arroyos y actuales lagos en herradura. Por el momento es difícil fechar los distintos cambios del curso de los ríos sin un estudio geomorfológico adicional, pero para entender el patrón de asentamiento hay que tomar en cuenta estos rasgos hidrológicos.

Un paleocanal orientado de norte a suroeste corta la península dejando una depresión baja y plana en el terreno. Lo que alguna vez fue el curso del río eventualmente se llenó de depósitos aluviales creando suelos fértiles que en la actualidad se usan para el cultivo de maíz, frijol, calabaza y chile. Informantes locales indicaron que esta área se inunda periódicamente durante la época de lluvia y son terrenos mucho más productivos que aquellos ubicados del otro lado del río La Pasión. Debido a que no hay montículos visibles dentro de este

paleocanal, se supone que rasgo debió de haber existido antes del antiguo asentamiento y seguramente fue una fuente importante para la subsistencia, así como lo es hoy. Modificaciones en la rivera de este antiguo río pudieron haber sido usadas para controlar inundaciones, pero se necesitan hacer excavaciones para poder fechar cualquier rasgo.

Procesos fluviales, que incluyen la deposición aluvial y la erosión, han creado rasgos adicionales visibles en estas imágenes. Por ejemplo, las curvas y espirales observadas en la parte sur de la Fig.3 son remanentes de antiguos meandros del río Salinas. Este río, tan caudaloso, ha erosionado casi 30 m de la orilla en la parte norte en un solo año, esto basado en vuelos con el vehículo no tripulado e imágenes satelitales. Un proceso similar de erosión sobre el flanco sur del río La Pasión cortó al menos la mitad de la estructura A-I en al algún momento antes del redescubrimiento del sitio por Maler en 1895. En el flanco norte del Usumacinta, justo al oeste del moderno caserío de Pipiles, un meandro y un lago en herradura son claramente visibles. Estos se formaron seguramente por procesos de inundación y erosión que cortaron antiguos meandros para crear un canal más directo con el Usumacinta.

Sin una investigación geomorfológica adicional es difícil determinar cuándo se crearon estos rasgos hidrológicos. Sin embargo, con las imágenes satelitales de las últimas cinco décadas se pueden examinar los cambios en la cobertura vegetal y el impacto de la deforestación en el canal del río. Para llevar a cabo esto se necesita analizar imágenes de los satélites Landsat y Corona clasificando la cobertura vegetal en tres clases. Los mapas de la Fig.4 muestran la vegetación de primera orden para la imagen de Landsat donde el color gris claro representa bosque, el gris oscuro área sin vegetación y el negro agua. El gráfico en Fig.5 muestra el cambio en la cobertura vegetal dentro de la península, pero también muestra la tendencia regional. Consistente con nuestros hallazgos, el análisis de las imágenes del Landsat muestran evidencia significativa del movimiento del río durante los últimos 20 años. La curva sur del río Salinas sobre la península se ha movido hacia el oeste por casi 0.5 km. Otras partes del sistema fluvial parecen ser más estables, con el río La Pasión manteniendo un curso estable dentro de una escala de 30-60 m, de lo contrario sería un problema para Altar de Sacrificios. Sin embargo, el alto grado de deforestación a lo largo del río La Pasión y río arriba, puede provocar acumulación de sedimentos y ocasionar erosión. Un monitoreo a largo plazo de esta cobertura vegetal es necesario para enten-

der los procesos fluviales y sus impactos en los antiguos y modernos asentamientos.

PATRÓN DE ASENTAMIENTO REGIONAL

Aunque la forma y curso de estos cuerpos de agua durante la época prehispánica es difícil de determinar, y han sido, fuentes importantes de peces, tortugas, pájaros, almejas y otras especies de agua dulce. Por esta razón no es raro encontrar montículos a lo largo de estos. Uno de los objetivos del recorrido aéreo es la identificación y documentación eficiente de un patrón de asentamiento en los alrededores de Altar. Para ello, al finalizar el trabajo de campo se pidió el permiso de la gente local para realizar vuelos en terrenos ubicados al oeste de Pipiles. Los resultados de estos vuelos revelaron un asentamiento disperso a lo largo de la parte oeste de la península y cercanos a los lagos en herradura antiguos y presentes. En total se identificaron 147 nuevos montículos, los que están ubicados en la península de Altar fueron verificados y mapeados usando una Estación Total (34%, n=50), y se está planificando corroborar el resto de montículos después de obtener los permisos necesarios (Fig.6).

Durante las investigaciones de Harvard, varias visitas informales se hicieron a sitios ubicados a lo largo del río La Pasión y Laguna Petexbatun incluidos La Amelia, El Caribe, Aguas Calientes, Aguateca, Dos Pilas y Tamarindito (Willey y Smith 1969:33-35). Bullard también le dio seguimiento a los informes de montículos ubicados a lo largo de Usumacinta en El Pabellon, donde un montículo de grandes dimensiones y un monumento tallado habían sido localizados por Morley y Spinden en 1914. Bullard también visitó algunas ruinas cercanas a la Laguna Ixcoche, las cuales describió como “de 8 a 12 montículos que forman un pequeño centro ceremonial... substancialmente más grande que El Pabellon” (Willey y Smith 1969:35). Aunque no se hizo un mapa de este grupo, es posible que el grupo de montículos vistos en la Fig.6, y conocidos ahora como Ixcoche, sean efectivamente el grupo de montículos reportado por Bullard. Aunque este grupo no ha sido inspeccionado por los miembros del PAALS, se planea visitar estas locaciones y documentar estos montículos con mayor detalle con permiso de los dueños.

Datos preliminares recolectados de ese reconocimiento regional generan preguntas sobre la esfera de influencia de Altar de Sacrificios durante la época prehispánica. Los hallazgos recientes también generan preguntas metodológicas acerca de cómo los arqueólogos

definen los límites de los sitios y asignan nombres a grupos de montículos. Estos no son problemas nuevos, de hecho, Willey (1956) y Bullard (1960) hicieron importantes contribuciones para el desarrollo de tipologías de asentamientos al tiempo que trabajaban en Altar. En el caso del asentamiento regional de Altar, Morley se inclinaba a considerar El Pabellon como parte de Altar debido a la proximidad y al uso de la arenisca roja para el monumento localizado allí (Morley 1938:310). Por otro lado, Willey y Smith (1969:34) interpretaron estos sitios como parte de un complejo regional más grande representado por una jerarquía de sitios. Aunque no se tiene suficiente información para interpretar la organización social de este asentamiento más amplio, el grado de agrupamiento y un patrón con densidad baja pueden ser característicos de barrios urbanos propuestos para otras ciudades Mayas (Lemonnier 2012; Smith 2011). No obstante que, si Ixcoche y El Pabellón representen distintos sitios o barrios del ambiente de baja densidad de Altar, los hallazgos de los vuelos del vehículo no tripulado han identificado las distintas áreas de sustento. Es claro que la confluencia de los estos ríos proveyó un medioambiente adecuado y acceso a los recursos necesarios para sustentar a un moderado número de habitantes por periodos largos de tiempo.

GRUPO FRONTERA

Este es un grupo ceremonial recién descubierto y mapeado por primera vez por personal del DEMOPRE, quienes nos proveyeron de información importante que sirvió de base para el trabajo hecho por el proyecto. El grupo, llamado Grupo Frontera, consiste en una alineación norte-sur de varios montículos hechos de tierra y barro ubicados en el paleocanal descrito previamente. Un agrupamiento denso de montículos pequeños y medianos rodean al segundo montículo más grande del sitio (Est. 67), localizado en el norte de este grupo (Fig.7). Este montículo mide 10.6 m sobre el terreno, y la Estructura 38, que cierra el complejo en el lado sur, tiene 7 m de altura. La distancia entre ambos es mayor a 1 km (1.09 km) y se alinean 20 grados al este del norte. Desde la cima de ambos montículos uno tiene una panorámica de 360 grados que incluye la confluencia de los ríos. El terreno plano y extenso que se ubica entre ambos montículos puede representar una gran plaza, aunque no hay forma de definir formalmente este espacio desde la superficie actual por el momento. Se puede decir que los silbatos descubiertos en estos montículos, y en forma de pera, sirvieron para señalar y

marcar puntos altos, ya que los mismos emiten un sonido chillante que se dispersa por una gran área, como lo fue demostrado por nuestros trabajadores.

De los montículos que conforman la parte norte del Grupo Frontera, la estructura 50 es una plataforma larga de 117 m y 6.3 m de altura. La distribución y orientación de este montículo en relación con la estructura 49, justo al oeste, da la impresión de que sea una configuración de Grupo E, aunque la confirmación de este depende de investigaciones futuras. Sin embargo, si se toman en cuenta estos rasgos (e.g., alineación norte-sur de grandes montículos de tierra, plaza grande abierta y una plataforma en el noroeste) parecen representar las características mínimas de patrón del Formativo Medio de Chiapas, originalmente definido por Clark y Hansen (2001) y recientemente descubierto en el cercano sitio de Ceibal (Inomata 2017). Inomata y su equipo han fechado la presencia de este arreglo formal espacial en la región de La Pasión al 950 AC. Aunque no se han llevado a cabo excavaciones en el Grupo Frontera, un pozo de sondeo en la estructura 38 hecho por el proyecto de Harvard reveló la concentración más alta de cerámica del Preclásico Medio (San Felix y Xe) encontrada durante sus investigaciones, indicando que al menos uno de estos montículos fue ocupado durante el periodo en cuestión. Evidencia adicional de la ocupación Preclásica en Altar proviene del grupo ceremonial B y de un número limitado de pozos de sondeo en estructuras habitacionales (Smith 1972). Mientras que estos datos revelan una ocupación significativa del Preclásico Medio, se necesitan más excavaciones para determinar el tamaño y extensión de la actividad preclásica en Altar.

ANÁLISIS MULTIESPECTRAL

Mientras que la aplicación del LiDAR en áreas con disturbio ha generado resultados erróneos, un análisis multiespectral puede proveer mecanismos más ciertos para la identificación de rasgos que no dejan huella topográfica. Para comprobar esta idea, se usó un dron Phantom 3 equipado con una cámara multiespectral Parrot Sequoia para investigar las diferencias sutiles entre comunidades vegetales asociadas con el antiguo asentamiento. Las imágenes obtenidas por estos vuelos fueron procesadas a una ortoimagen con una resolución de 15 cm en bandas de color verde, rojo, rojo borde (red-edge) e infrarrojo cercano. Estas imágenes multiespectrales fueron sujeta a una clasificación no supervisada y a un análisis del componente principal de las abundancias de clases espectrales (saPCA) para identi-

ficar áreas de composición similar. Las diferencias y/o similitudes en el color de la imagen son el resultado del tipo de suelo, tipo de vegetación, parte de planta (tallo u hoja), salud de la planta u cualquier otro atributo. En algunas ocasiones es incluso posible determinar a que se deben las diferencias o similitudes usando los resultados de los productos multiespectrales, topográficos y/o RGB como guías.

Para probar la idea principal del proyecto, la metodología funcionó muy bien, aunque la gran diversidad de las distintas etapas de cultivo señala que los usos actuales pueden, de vez en cuando, opacar la identificación de rasgos antiguos. Sin embargo, varios rasgos fueron visibles. Por ejemplo, en las estructuras 42 y 43 se aprecian que tanto en las imágenes multiespectrales como en las saPCA las mismas aparecen como áreas donde la milpa crece deficientemente, debido seguramente a factores hidrológicos y edafológicos que restringen el crecimiento del maíz (Fig.8a). Justo al norte de estos montículos hay un área cuadrada con una anomalía similar donde la milpa crece de manera pobre y esto esta seguramente relacionado al ambiente local. Mientras que se necesitan excavaciones que demuestren que es este rasgo, el mismo puede representar un área de actividad humana antigua que no ha dejado huella visible.

En la parte sur del Grupo Frontera, donde se ubican los montículos más pequeños del sitio, se puede apreciar un rasgo mucho más sutil. El análisis visual de la imagen multiespectral no revela ningún rasgo. La imagen saPCA sin embargo, revela al menos dos lugares con vegetación con propiedades notoriamente diferentes. Sin especular en las causas que llevan a esta diferenciación, es posible que estas representen una plataforma debajo de los montículos 58 y 60 y un patio con una estructura al norte del montículo 56 (Fig.8b). El análisis visual de las imágenes multiespectrales muestra la causa aproximada de las diferentes propiedades se debe a las diferencias sutiles del vigor de los cultivos.

Finalmente, se pueden apreciar que las diferencias en comunidades espectrales también pueden ser causadas por rasgos no antropogénicos del ambiente. Por ejemplo, el antiguo curso del río que corrió entre el grupo Frontera se puede fácilmente apreciar, con una correlación alta entre la topografía y los cambios en la estructura de la comunidad espectral, y probablemente vegetal.

MIDIENDO LA EROSIÓN DE LOS MONTÍCULOS

Los resultados de los vuelos permiten detectar rasgos arqueológicos y geomorfológicos presentes. Sin embargo, es importante recordar que estos no son paisajes estáticos. El patrón de asentamiento observado hoy en día es el resultado de un medio ambiente fluvial muy cambiante durante los últimos 3000 años. Es imposible saber mediante estas imágenes si episodios de erosión y deposición de materiales destruyeron montículos que alguna vez estuvieron ubicados en la parte sur de la península. También es difícil estimar el tamaño y forma de los antiguos cursos de los ríos donde algunos montículos fueron construidos. Lo que estas imágenes a alta resolución y multi-temporales pueden indicar, sin embargo, es que tan rápido se erosionan los montículos en la actualidad.

Entre los últimos 30 y 40 años, la explotación petrolera, agricultura moderna y la ganadería han contribuido a la deforestación de la región. Hoy en día, la pequeña porción de tierra donde se ubica Altar está sujeta a trabajos agrícolas, una característica que hasta cierto punto facilitó el trabajo de reconocimiento. De acuerdo con informantes locales, algunos dueños de los terrenos introdujeron maquinaria pesada para arar el terreno, la cual ha tenido impactos negativos desde hace unos 5 años.

La temporada de campo del 2017 coincidió con la preparación de los terrenos para el cultivo, lo que permitió volar el dron tanto antes como después de cuando el terreno había sido arado. Como se tenían modelos de elevación de los montículos de antes y después del trabajo mecanizado, se pudo calcular la cantidad total de tierra removida, así como cambios en el tamaño y la forma de los montículos mediante simples cálculos. Solamente con una sola pasada de la máquina, entre 0.06 y 0.09 m de tierra fue removida de los montículos más bajos, representando una pérdida del 6% del volumen total de los montículos (Fig.9). Se recalculó la erosión de los suelos después de esta temporada de campo del 2018, estimándose de que entre 30 y 50 cm de tierra se perdió por montículo. Estos resultados con contundentes, estos montículos se encuentran bajo una amenaza latente e incluso pueden llegar a desaparecer en un futuro cercano. Entonces es imperativo la colaboración entre los dueños locales, el DEMOPRE y los arqueólogos para investigarlos antes de que se pierdan para siempre.

CONCLUSIÓN

Ya que el uso de los vehículos no tripulados es más común en la arqueología (Campana 2017; Lonneville *et al.* 2014), este proyecto ha desarrollado metodología única en cuanto al estudiar de patrones de asentamiento, permitiendo una rápida alternativa al mapeo con LiDAR con un costo mucho más bajo. El enfoque combinado de fotografías aéreas y su inmediata corroboración en campo con Estación Total permite que los esfuerzos se enfoquen en examinar solamente los rasgos notorios. Considerando la dificultad del paisaje y el gran tamaño del área, un total de 20 km² pudieron ser recorridos en apenas 17 días, un área que hubiera requerido mucho más tiempo con los métodos tradicionales. Aunque el uso de los vehículos no tripulados fue exitoso en esta área, esta tecnología puede ser inservible en áreas con bosques más densos, pero la rápida deforestación del área, por bien o para mal, ha creado ambientes de agricultura donde esta forma de reconocimiento es ideal.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue generosamente apoyada por el Instituto Arqueológico de América, la Fundación de la Familia Rust, y Lycoming College. Imágenes de satélite cortesía de la Fundación Digital Globe y el Servicio Geológico de los Estados Unidos.

REFERENCIAS

- ADAMS, R. E. W.
1971 *Ceramics of Altar de Sacrificios, Guatemala*. Vol. 63, No. 1. Papers of the Peabody Museum of Archaeology and Ethnology. Harvard University, Cambridge.
- BULLARD, William R., Jr.
1960 Maya Settlement Pattern in Northeastern Petén, Guatemala. *American Antiquity* 25(3):355-372.
- CAMPANA, Stefano
2017 Drones in Archaeology. State-of-the-art and Future Perspectives: Drones in Archaeology. *Archaeological Prospection* 24(4):275-296. DOI:10.1002/arp.1569.
- CHASE, A. F.; D. Z. Chase, C. T. Fisher, S. J. Leisz y J. F. Weishampel
2012 Geospatial revolution and remote sensing Li-

- DAR in Mesoamerican archaeology. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109(32):12916-12921. DOI:10.1073/pnas.1205198109.
- CLARK, John E. y Richard D. Hansen
2001 The Architecture of Early Kingship: Comparative Perspectives on the Origins of the Maya Royal Court. En *Royal Courts of the Ancient Maya* (editado por T. Inomata y S. D. Houston), 2: Data and Case Studies, pp. 1-45. Westview Press, Boulder.
- INOMATA, Takeshi
2017 The Emergence of Standardized Spatial Plans in Southern Mesoamerica: Chronology and Interregional Interactions Viewed from Ceibal, Guatemala. *Ancient Mesoamerica* 28(01):329-355. DOI:10.1017/s0956536117000049.
- INOMATA, Takeshi; Flory Pinzón, José Luis Ranchos, Tsuyoshi Haraguchi, Hiroo Nasu, Juan Carlos Fernandez-Diaz, Kazuo Aoyama y Hitoshi Yonenobu
2017 Archaeological Application of Airborne LiDAR with Object-Based Vegetation Classification and Visualization Techniques at the Lowland Maya Site of Ceibal, Guatemala. *Remote Sensing* 9(6):563. DOI:10.3390/rs9060563.
- LEMONNIER, Éva
2012 Neighborhoods in Classic Lowland Maya Societies: Identification and Definition from the La Joyanca Case Study (Northwestern Petén, Guatemala). En *The Neighborhood as a Social and Spatial Unit in Mesoamerican Cities* (editado por M. Charlotte Arnold, Linda R. Manzanilla, and Michael E. Smith) pp. 181-201. University of Arizona Press, Tucson.
- LONNEVILLE, Britt; Berdien De Roo, Cornelis Stal, Bart De Wit, Alain De Wulf y Philippe De Maeyer
2014 Accurate and Cost-Efficient 3D Modelling Using Motorized Hexacopter, Helium Balloons and Photo Modelling: A Case Study. En *Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection*, pp. 410-417. Lecture Notes in Computer Science. Springer, Cham, November 3.
- MALER, Teobert
1908 *Explorations of the Upper Usumatsintla and Adjacent Regions: Altar de Sacrificios; Seibal, Itsimté-Sácluk; Cankuen*. Memoirs 4(1), Peabody Museum of American Archaeology and Ethnology, Harvard University, Harvard University, Cambridge.
- MORLEY, Sylvanus G.
1938 *The Inscriptions of Petén*. Carnegie Institution Publication No. 437. Carnegie Institution of Washington, Washington, DC.
- PRUFER, Keith M.; Amy E. Thompson y Douglas J. Kennett
2015 Evaluating airborne LiDAR for detecting settlements and modified landscapes in disturbed tropical environments at Uxbenká, Belize. *Journal of Archaeological Science* 57:1-13. DOI:10.1016/j.jas.2015.02.013.
- SMITH, A. Ledyard
1972 *Excavations at Altar de Sacrificios: Architecture, Settlement, Burials, and Caches*. Vol. 62, No. 2. Papers of the Peabody Museum of Archaeology and Ethnology. Harvard University, Cambridge.
- SMITH, Michael E.
2011 Classic Maya settlement clusters as urban neighborhoods: A comparative perspective on low-density urbanism. *Journal de la Société des Américanistes* 97(1):51-73.
- WILLEY, Gordon R.
1956 Problems concerning prehistoric settlement patterns in the Maya lowlands. En *Prehistoric settlement patterns in the New World*, 23. pp. 107-114. Wenner-Gren Foundation for Anthropological Research, coll. Viking Fund Publications in Anthropology, New York.
- WILLEY, Gordon R. y A. Ledyard Smith
1969 *The Ruins of Altar de Sacrificios, Department of Petén, Guatemala: An Introduction*. Vol. 62, No. 1. Papers of the Peabody Museum of Archaeology and Ethnology. Harvard University, Cambridge.

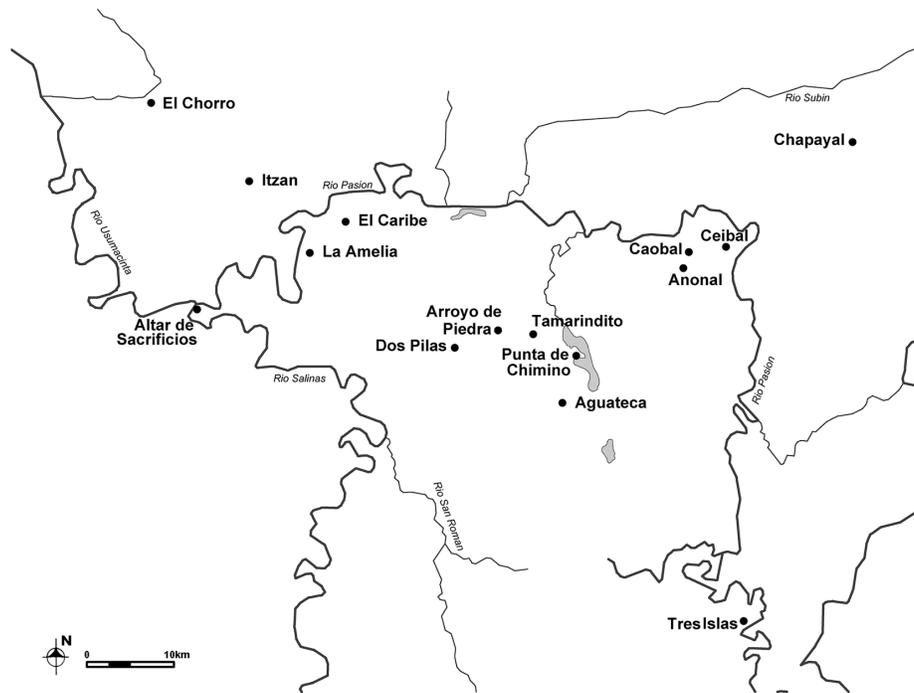


Fig.1. Mapa de ubicación del Altar de Sacrificios y otros sitios en la región Pasión.

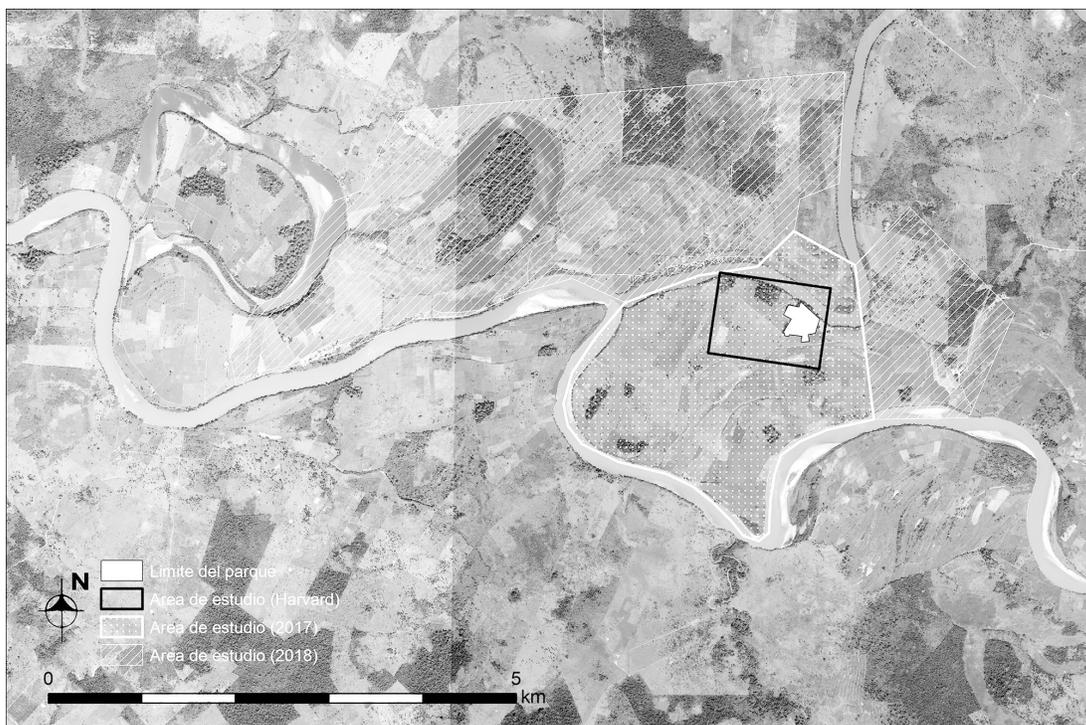


Fig.2. Mapa de las áreas de estudio de Harvard y el Proyecto Arqueológico Altar de Sacrificios (PAALS).

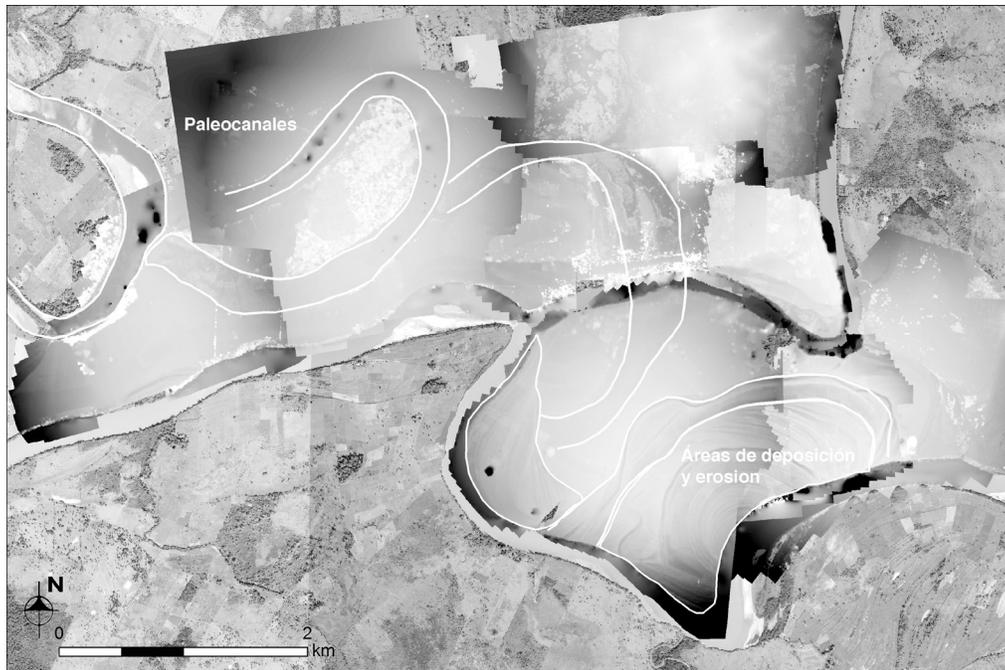


Fig.3. Mapa topográfico de alta resolución producido con sistemas aéreos no tripulados (SANT) durante las temporadas de 2017 y 2018. La ubicación de los paleocanales, los lagos en herradura, las áreas de deposición y la erosión se muestran en blanco. Imágenes satelitales cortesía de DigitalGlobe Foundation.

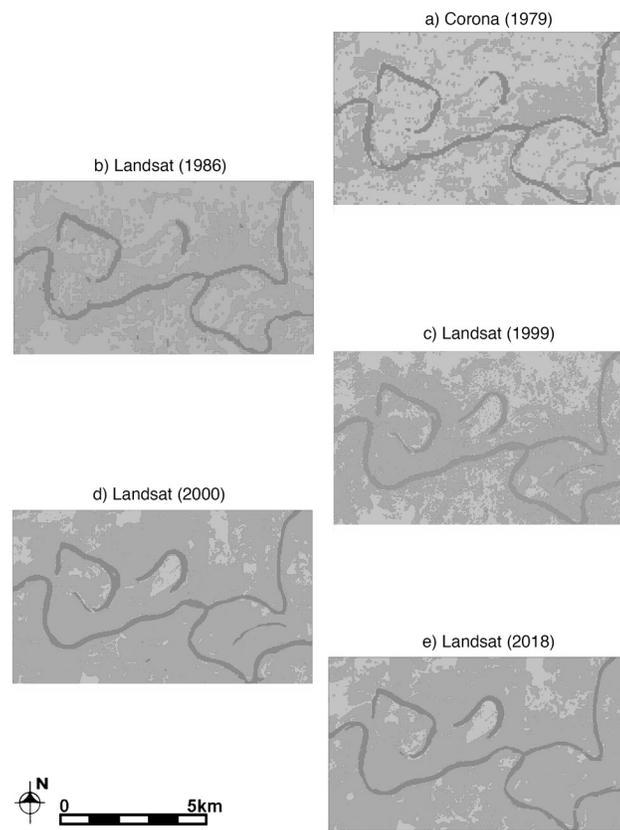


Fig.4. Imágenes satelitales multitemporales que muestran los cambios en el bosque durante las últimas cinco décadas. Gris claro representa el bosque. Gris oscuro son áreas sin vegetación y negro indica agua.



Fig.5. Gráfica que muestra el cambio en la vegetación en las últimas cinco décadas en la península de Altar de Sacrificios. Imágenes satelitales cortesía del United States Geological Survey.

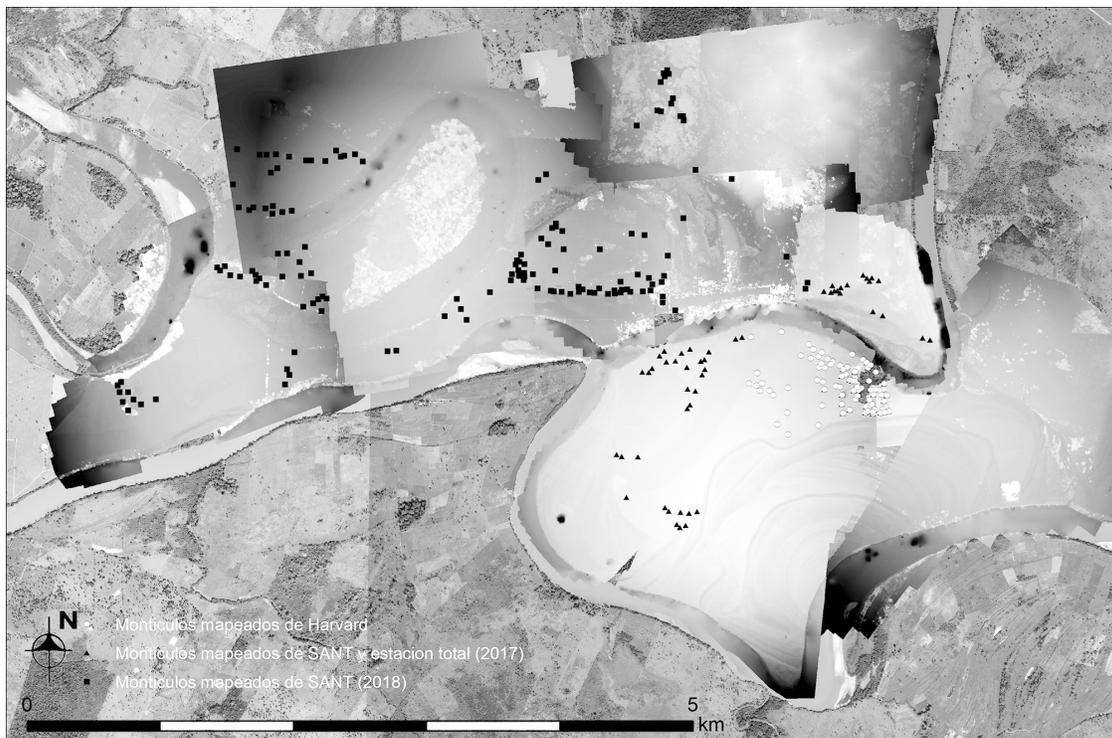


Fig.6. Patrón de asentamiento regional que muestra la ubicación de los montículos mapeados en las temporadas de 2017 y 2018. Imágenes satelites cortesía de DigitalGlobe Foundation.

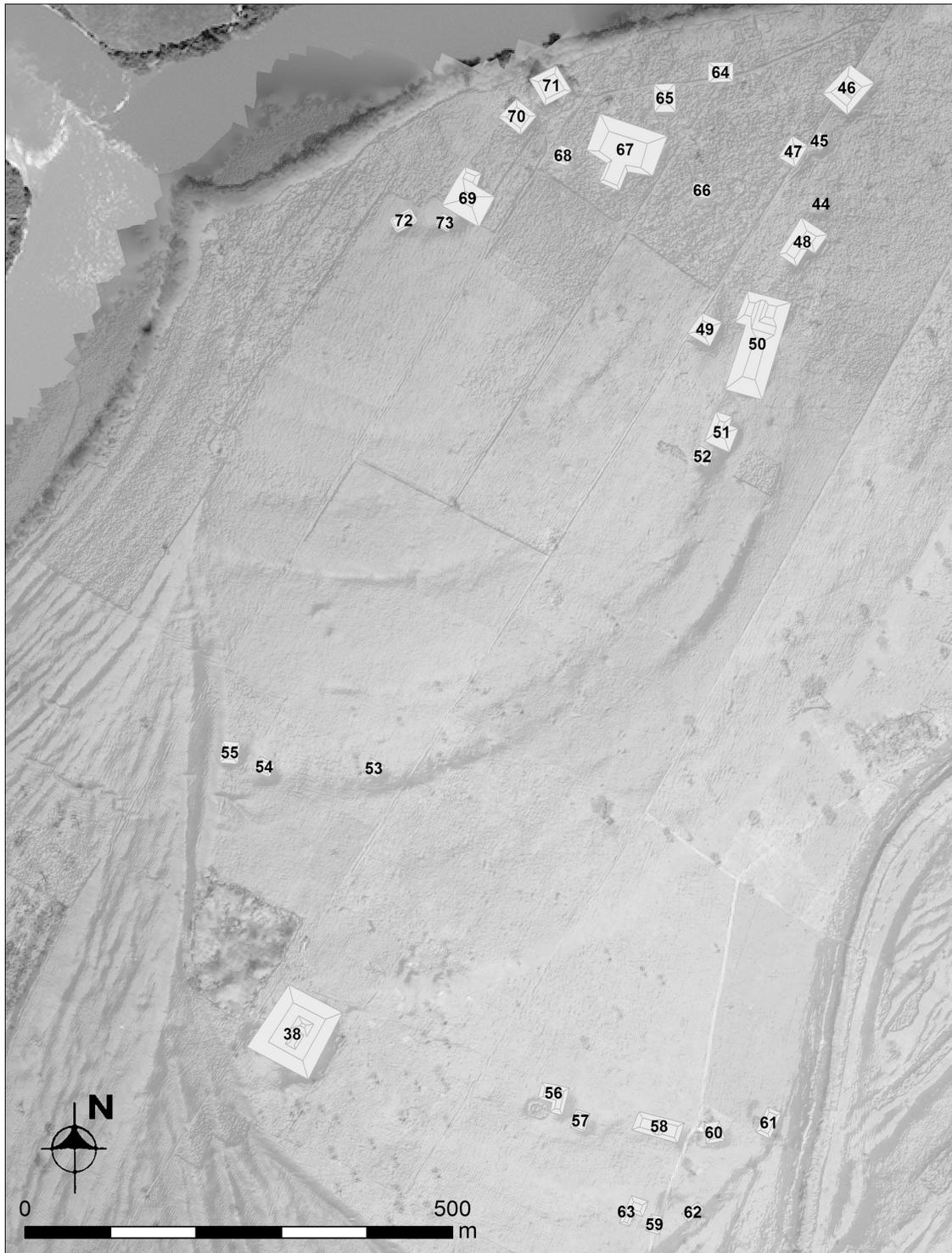


Fig.7. Mapa de la estación total del Grupo Frontera en la parte occidental de la península.

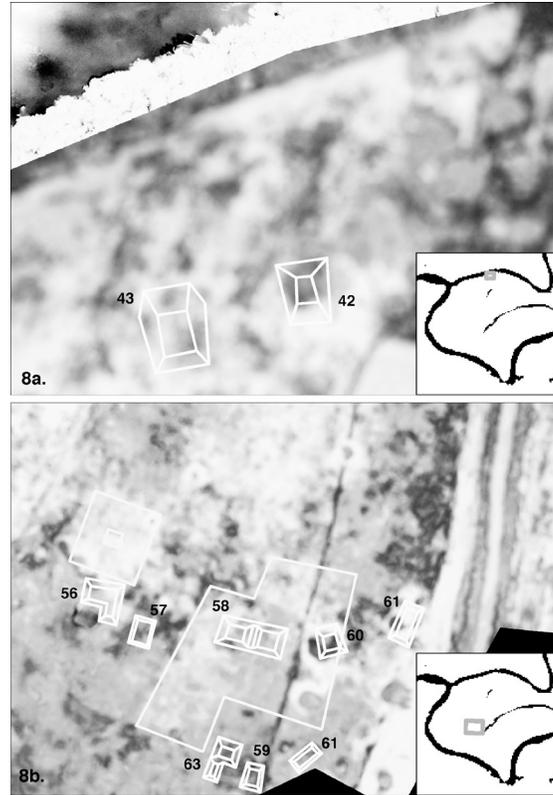


Fig.8. Las imágenes de los análisis de componente principal de abundancia espectral (saPCA) en las partes norte (8a) y sur (8b) del Grupo Frontera.

Mound ID	Cambio en altura promedio (cm)	Cambio en volumen (m ³)	Cambio porcentual en el volumen (%)	Año
2	-10.4	-170.586	-9.40	2017
9	-12.1	-167.474	-7.23	2017
16	-6.8	-144.113	-0.82	2017
18	-8.9	-119.616	-10.71	2017
28	-8.5	-52.459	-3.58	2017
56	-20.4	-154.397	-14.60	2017-18
57	-10.3	-26.431	-12.70	2017-18
58	-23.4	-295.884	-25.60	2017-18
59	-14.3	-466.476	-24.60	2017-18
63	-14.3	-466.476	-24.60	2017-18

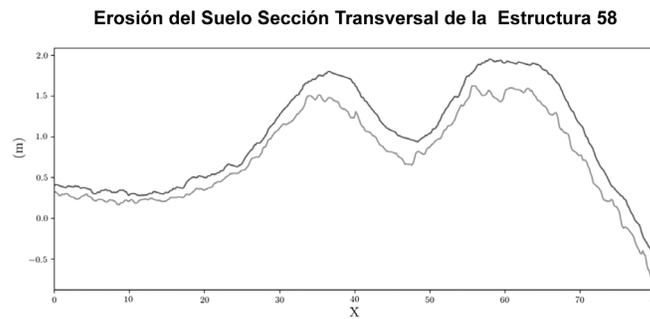


Fig.9. Tabla que muestra los montículos afectados por la agricultura mecanizada y la erosión del suelo resultante entre 2017 y 2018 y después de un evento de arado en 2017 (montículos 2, 9, 16, 18, y 28). La sección transversal que muestra el erosión de la estructura 58.