

Garrison, Thomas G., James Doyle y Stephen D. Houston

2010 La aplicación de las tecnologías nuevas en la teledetección de las Tierras Bajas Mayas. *En XXIII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2009* (editado por B. Arroyo, A. Linares y L. Paiz), pp.224-231. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala (versión digital).

18

LA APLICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS NUEVAS EN LA TELEDETECCIÓN DE LAS TIERRAS BAJAS MAYAS

*Thomas G. Garrison
James A. Doyle
Stephen D. Houston*
Universidad de Brown

PALABRAS CLAVE

Arqueología Maya, Petén, radar, fotografía aérea, teledetección

ABSTRACT

THE APPLICATION OF NEW REMOTE SENSING TECHNOLOGIES IN THE MAYA LOWLANDS

This talk focuses on the use of new remote sensing technologies in the investigation of the ancient Maya landscape. Included in this discussion is the use of AIRSAR elevation data and GeoEye-1 satellite imagery. The authors use a combination of digital image processing methods to improve the detection of archaeological sites and other cultural features. Examples include the use of various techniques to sharpen spatial resolution, the use of filters to detect linear features, and vegetation classification algorithms, with the objective of designing future field projects.

Este año, el Proyecto Arqueológico El Zotz (PAEZ) tuvo la oportunidad de probar dos tecnologías nuevas de teledetección como parte de las investigaciones regionales en las Tierras Bajas. Primero, con fondos del *Waitt Institute for Discovery*, el proyecto adquirió 200 km² de imágenes satelitales del *GeoEye-1*, cubriendo una amplia porción del Biotopo San Miguel la Palotada. La segunda fuente de datos provino de la misión *AIRSAR* en el 2004 que produjo una cantidad de datos de elevación que fueron re-calibrados por Bruce Chapman del *Jet Propulsion Lab* de la *NASA*. Ambas tecnologías contribuyen grandemente al desarrollo de investigaciones regionales a través de las cuales se aumenta el conocimiento del patrón de asentamiento y el medio ambiente.

GEOEYE-1

El satélite *GeoEye-1* fue lanzado el 6 de septiembre del 2008 y la venta de imágenes se inició en febrero del año 2009. El satélite adquiere los datos en cinco bandas. Cuatro de éstas son multi-espectrales y cubren las longitudes de onda de azul, verde, rojo y casi-infrarrojo. Estas bandas multi-espectrales tienen una resolución espacial de 1.65 m. La quinta banda es pancromática de alta resolución. Estos datos están adquiridos con una resolución espacial de 41 cm, pero normalmente se venden a 50 cm debido a las leyes de espionaje de los Estados Unidos (*GeoEye 2009*). Se puede revisar esta banda independiente o se la puede usar para mejorar la resolución de los datos multi-espectrales.

PAEZ usó una imagen que fue tomada el 6 de abril, la cual cubre el Valle Buenavista entre el pueblo del Cruce Dos Aguadas y la frontera poniente del Parque Nacional de Tikal, además de una porción de los cerros cársticos ubicados al norte del valle (Figura 1). La primera meta con la imagen de *GeoEye* fue la identificación directa de sitios arqueológicos como se ha hecho con las imágenes de *IKONOS* y *QuickBird* en la región de San Bartolo (Garrison *et al.* 2004; Saturno *et al.* 2006, 2007).

Previamente se había percibido una débil señal de asentamiento en una imagen de *IKONOS* tomada en el 2006, por lo que esta temporada se esperaba superar la calidad de los datos (Garrison *et al.* 2008).

Los autores de esta ponencia mejoraron la resolución de las bandas multi-espectrales usando una transformación de piezas principales y probaron el despliegue de varios histogramas. No obstante, no se obtuvo de esta manera ninguna señal clara en donde ya hay sitios conocidos. Esto sugiere que Saturno y sus colegas (comunicación personal 2009) tienen razón al indicar que el momento de la adquisición de la imagen en relación al inicio de la temporada de lluvias, podría ser un factor trascendente en el uso de imágenes satelitales de alta resolución para el descubrimiento directo de los sitios arqueológicos.

Como una segunda técnica del proceso analítico de las imágenes, los autores aplicaron filtros laplacianos y direccionales para acentuar cualquier rasgo lineal que pudiera estar en la zona, como calzadas o restos de campos agrícolas (Sever e Irwin 2003). No se descubrieron tales tipos de rasgos en la imagen durante esta temporada de campo. Sin embargo, se hizo aparente que sí existieron modificaciones de terreno asociadas a los sistemas de drenaje en el bajo Tintal, ubicado entre El Palmar y Tikal, los cuales se espera poder investigar en los años siguientes.

La aplicación más exitosa de las imágenes *GeoEye* se relacionó con el estudio del medio ambiente, tanto el moderno como el antiguo. Usando varias combinaciones de las bandas multi-espectrales (especialmente infrarrojo, rojo e infrarrojo), los autores lograron destacar las diferencias en la vegetación del valle bajo lo que se define como la zona intersitio entre El Zotz y El Palmar. En esa imagen, las áreas verdes representan las áreas de bajos, mientras que las áreas moradas representan varias clases de vegetación de los terrenos más altos.

Desgraciadamente, aún utilizando otras imágenes satelitales de alta resolución (Garrison 2009) todavía es difícil distinguir entre la vegetación de bajos de palmas y montaña. Sin embargo, había una diversidad de vegetación suficientemente diferenciada en la imagen *GeoEye* para diseñar un programa de reconocimiento en bloques estratificados aleatorios de lo que el proyecto cumplió una tercera parte en esta temporada. También los autores usaron los datos *GeoEye* para identificar algunas aguadas y otras fuentes de agua que fueron exploradas mediante los estudios del paleo-medio ambiente y la hidrología regional llevados a cabo por Dr. Tim Beach y la Dra. Sheryl Luzzadder-Beach. El uso de datos de teledetección ayudó a mejorar la eficiencia de las investigaciones medio ambientales.

Finalmente, la imagen de *GeoEye* permitió preparar mejor el reconocimiento según la evidencia mostrada de perturbaciones modernas en el biotopo. En la zona del sitio Bejucal miembros del proyecto observaron un anillo que representaba la recuperación de la selva después de un incendio. Se detectó además, el lugar en donde se ubicaban los invasores adentro del biotopo, lo que evitó un choque accidental con ellos. Además, dicha información se compartió con un representante de CECON para ayudar a la dirección del biotopo.

RADAR AEROTRANSPORTADO DE ABERTURA SINTÉTICA (*AIRSAR*)

Además de las imágenes *GeoEye*, el proyecto usó datos de la misión *AIRSAR* que voló sobre las Tierras Bajas Mayas en el 2004. *AIRSAR*, que quiere decir Radar Aerotransportado de Abertura Sintética, fue diseñado originalmente por el *Jet Propulsion Laboratory* de la *NASA* para coleccionar datos para la *Earth Science Enterprise*. Los sensores de *AIRSAR* usan ondas de radar de tres longitudes de ondas largas que pueden penetrar las nubes y la frondosidad de la selva.

De estos tres, el proyecto usó los datos de la banda C, que es la banda que recolecta datos de elevación. La misión del 2004 utilizó un avión modificado del tipo DC-8 que voló a una velocidad de 215 metros por segundo y a una altitud de 8 km sobre la altura promedio del terreno. El sensor del *AIRSAR* transmite y recibe ondas de radar horizontalmente y verticalmente lo que produce datos que se pueden convertir en un modelo de elevación digital.

En marzo del 2004, la misión de *AIRSAR* recolectó datos de elevación en Centroamérica incluyendo partes de Petén. Había ciertos problemas con la calibración inicial de estos datos porque no estaban disponibles hasta este año. Los datos recalibrados de la banda C produjeron un modelo de elevación digital con una resolución horizontal de 5 metros y una resolución vertical de aproximadamente 2 metros (Chapman *et al.* 2008), incluyendo la área de investigación del Proyecto Arqueológico El Zotz (Figura 2). El modelo proveyó datos exactos de elevación que permitieron ubicar los sitios de El Zotz y El Palmar precisamente en el terreno. Sin embargo, la meta era representar los mapas de los sitios fielmente en el paisaje, usando la herramienta de geo-referencia con el programa *ArcGIS*.

Los autores abrieron el modelo de elevación en *ArcGIS* y manipularon los colores usando la rampa de color Elevación #1 de *ESRI* y colocaron los colores sobre los datos mínimos y máximos de elevación. Esta combinación de simbología hizo que las estructuras más altas de El Zotz y El Palmar aparecieran en un tono amarillo brillante. Tal información permitió corregir los datos del mapeo de las temporadas previas, girando los datos desde el norte magnético al norte verdadero y estableciendo elevaciones exactas para anclar todos los datos del reconocimiento de los sitios en el futuro.

Los datos de *AIRSAR* también fueron responsables directos en el descubrimiento de dos sitios nuevos en la región y del asentamiento residencial adicional en El Zotz. Durante el procesamiento de los datos, miembros del proyecto vieron algunos rasgos lineares en los datos de elevación que no parecían naturales. Algunos de estos fueron caminos modernos o líneas en donde se interceptaron imágenes tomadas en diferentes momentos. Sin embargo, se observaron algunas áreas en donde parecía probable observar estructuras o plataformas Mayas. La primera de estas áreas está ubicada 2 km al oeste de El Palmar y la zona intersitio entre éste y El Zotz. Al explorarse dicho punto, el proyecto encontró algunas plataformas dispersas y un grupo tríadico. Excavaciones de sondeo y estudios de saqueos ilegales indican una ocupación fechada predominantemente para el Preclásico Tardío, aunque también hay evidencia de ocupaciones más tardías. Este sitio se denomina La Avispa y para la próxima temporada el proyecto, enfocará las investigaciones en torno a su función dentro del patrón de asentamiento regional.

La segunda área que investigó el proyecto está ubicada al suroeste de El Zotz, en donde aparecía un cerro con la cumbre nivelada, localizado afuera de la escarpa principal que define la orilla norte del valle. Se localizó únicamente una estructura en dicha cima, sin embargo, el equipo encontró abundantes fragmentos cerámicos en superficie, especialmente en la tierra removida por la caída de árboles. La estructura tiene aproximadamente 7 m de altura. En su interior se ubica una tumba abovedada y estucada que fue alcanzada por un túnel de saqueo que mide 2.20 m por 1 m, contando con una banqueta en el lado norte. También se encontraron algunos periódicos fechados para el año 2007 cerca de las trincheras de saqueo. La cerámica recolectada sugiere una temporalidad comprendida entre el Preclásico Tardío y Clásico Temprano. Este sitio aún no ha sido nombrado y su definición funcional aún requiere mayores investigaciones.

En una tercera prueba de los datos de *AIRSAR* los autores examinaron el terreno alrededor de El Zotz para identificar áreas para continuar con el mapa del sitio en los años siguientes. Asentamientos residenciales que son de élite han sido alusivos en El Zotz hasta el momento, por lo que se esperaba que los datos de *AIRSAR* pudieran ayudar a la identificación de zonas de habitación de la gente común del sitio. Los datos indicaron un patrón linear al este del grupo sur de El Zotz que tenía la misma orientación que otros rasgos arquitectónicos conocidos en el sitio. Un reconocimiento breve en esta área durante el fin de la temporada de campo llevó al descubrimiento de una plataforma baja que sirve como base para algunos montículos residenciales pequeños. Esta zona será una prioridad para el equipo del mapeo en el próximo año.

Hay un factor común en los tres descubrimientos de asentamientos usando los datos de *AIRSAR*. Más que todo, lo que se ve en los datos son plataformas grandes. En los casos de La Avispa y el sitio del cerro se ve la modificación del paisaje natural por los Mayas. No es cierto que el equipo pudiera identificar el asentamiento adicional de El Zotz si no hubiera hecho el levantamiento de la arquitectura principal del sitio y visto las orientaciones similares. La modificación del paisaje natural a las plataformas basales es una característica del Preclásico Tardío y la transición entre el Preclásico Tardío

y el Clásico Temprano (Hansen 1998). Mientras que es preciso llevar a cabo mayores investigaciones y reconocimientos más extensos para confirmar los datos, parece que los datos de *AIRSAR* tienen un gran potencial para la identificación de sitios tempranos, tal vez desproporcionadamente en comparación a sitios de otros periodos.

Una aplicación final para los datos de *AIRSAR* ha sido la creación de líneas divisorias de vista para El Zotz. La alta resolución y por eso también el gran tamaño de los archivos de datos, requiere un procesador de computadora altamente eficiente que pueda realizar los cálculos para generar los derivados de *rasters* como líneas divisorias de vista y sombras de cerros. Los autores eligieron el grupo El Diablo de El Zotz para una prueba de *AIRSAR* y crear líneas divisorias de vistas precisas. El Diablo es el punto más alto conocido en la zona de estudio que tiene arquitectura y el proyecto conoce de observaciones personales, que se puede ver al este a través del valle hasta Tikal.

Dos cosas se destacan del análisis de líneas divisorias de vista de El Diablo. Primero, todos los sitios conocidos en la zona de investigación son visibles desde el grupo El Diablo, incluyendo Bejucal. Ciertamente tal situación no es solamente casual, pero todavía no hay el control necesario sobre la cronología regional para determinar si El Diablo fue construido para ver todos esos otros sitios o si algunos de los sitios fueron construidos para ver El Diablo. Definitivamente hay un espacio vacío en la vista en las Tierras Bajas alrededor de El Palmar y más adelante en dirección a Tikal. Otra vez, limitaciones de cronología podrían estar provocando que el área se vea menos relevante.

La segunda observación importante del análisis es que es obvio que el promontorio donde el grupo está ubicado tenía una vista de casi todo el valle que se extiende hacia el sur. El estuco modelado pintado encontrado en las excavaciones de El Diablo sugiere que era relevante que el grupo fuera visible, tanto para la gente que se encontrara abajo como para la gente de arriba, la que podía observar el tráfico en el valle. Es claro que para la corte real de El Zotz debió ser importante observar las idas y venidas de gente a través del valle que forma parte de una conexión crítica que unía el noreste y noroeste de Petén.

CONCLUSIONES E INVESTIGACIONES FUTURAS

En general, el uso de los datos de teledetección en la región de El Zotz fue exitoso este año pues fue posible encontrar aplicaciones para ambas imágenes satelitales y datos de radar de alta resolución. Ambas tecnologías tienen limitaciones, además de que se requiere de una estrategia de reconocimiento regional bien diseñada para obtener una representación confiable de todos los niveles de la jerarquía del asentamiento. Las imágenes de *GeoEye* son útiles tanto para el diseño de reconocimiento e investigaciones medio ambientales como para problemáticas modernas tales como invasiones e incendios.

Los datos de *AIRSAR* tienen potencial para aplicaciones variadas usando programas de sistemas de información geográficas. Los análisis de costo-superficie que dan peso a factores diferentes podrían ayudar a entender si había condiciones dominantes que influyeron sobre las redes de transportación de los Mayas. Los análisis de cuencas hidrológicas y líneas divisorias de aguas podrían ayudar a determinar cómo y por qué los sitios Mayas de periodos diferentes aprovechaban el desagüe natural del terreno.

Finalmente, mientras más asentamientos son descubiertos usando los datos de radar, sería a la vez importante identificar si existe un prejuicio por sitios tempranos con modificación monumental del paisaje. El futuro de la tecnología de teledetección de alta resolución en la Arqueología de las Tierras Bajas Mayas, tiene mucho potencial que debe continuarse desarrollando y perfeccionando para la realización de aplicaciones y para que estos datos ayuden a entender mejor a la civilización Maya.

AGRADECIMIENTOS

El Instituto de Antropología e Historia de Guatemala amablemente otorgó permiso para formar el Proyecto Arqueológico El Zotz (PAEZ). Al Vice-Ministro de Deportes Dr. Héctor Escobedo, Maestro Erick Ponciano, Licda. Mónica Urquizú y al Lic. Juan Carlos Pérez quienes fueron siempre atentos, profesionales y colaboradores. El Dr. Inf. Ernesto Arredondo Leiva llevó la co-dirección del proyecto en 2008, lo cual agilizó una temporada exitosa en 2009 gracias al co-director Lic. Edwin Román. Al Biotopo San Miguel la Palotada y al Centro de Estudios Conservacionistas (CECON) de la Universidad de San Carlos de Guatemala se le agradece por su ayuda logística y todo su apoyo en las investigaciones dentro del parque. Los trabajadores de Cruce Dos Aguadas, Dolores y Uaxactun merecen todo el respeto del proyecto por hacer con profesionalismo sus labores en el campo. Los fondos del proyecto vinieron del Sr. Kenneth Woolley de la Fundación Nacional de las Humanidades, EE.UU., la Fundación Nacional de las Ciencias, EE. UU., la NASA de los EE.UU. y a su científico Bruce Chapman en particular, de la cátedra Familia Dupee en Ciencias Sociales de la cual está a cargo Stephen Houston, la Fundación Waitt, canalizada por la Sociedad Nacional de Geografía, EE. UU., y el apoyo de la familia Doyle y varios fondos de la Universidad de Brown, otorgados a los estudiantes de nivel de postgrado. Y finalmente a La Casa Herrera de la Universidad de Texas que otorgó apoyo práctico.

REFERENCIAS

- Chapman, Bruce, Ronald Blom, Charles Golden y Sassan Saatchi
2008 *The Application of Airborne Synthetic Aperture Radar Imagery for Studying the Archaeology of the Mayan Biosphere*. Presentado en Otoño 2008.
- Garrison, Thomas G.
2009 Remote sensing ancient Maya rural populations using QuickBird satellite imagery. En *International Journal of Remote Sensing*.
- Garrison, Thomas G., William A. Saturno, Thomas L. Sever, y Daniel E. Irwin
2004 Hacia la formación del nuevo mapa de la Cuenca Ixcán. En *XVII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2003* (editado por J. P. Laporte, B. Arroyo, H. Escobedo y H. E. Mejía), pp. 85-92. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala.
- Garrison, Thomas G., Stephen D. Houston, Charles Golden, Takeshi Inomata, Zachary Nelson y Jessica Munson
2008 Evaluating the use of IKONOS Satellite Imagery in Lowland Maya Settlement Archaeology. *Journal of Archaeological Science* 35:2770-2777.
- GeoEye
2009 GeoEye-1 Fact Sheet. Documento electrónico.
http://launch.geoeye.com/LaunchSite/about/fact_sheet.aspx.
- Hansen, Richard
1998 Continuity and disjunction: the pre-Classic antecedents of Classic Maya architecture, En *Function and Meaning in Classic Maya Architecture* (editado por S. D. Houston), pp. 49-122, Dumbarton Oaks, Washington DC.
- Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology
2009 *Airborne Synthetic Aperture Radar. Documento Electrónico*.
http://airsar.jpl.nasa.gov/index_detail.html.

Saturno, William A., Thomas L. Sever, Daniel E. Irwin, y Burgess F. Howell.

2006 Regional-scale landscape archaeology: 21st century remote sensing technology and the ancient Maya. En *Remote Sensing of Human Settlements: Manual of Remote Sensing, third edition Vol. 5* (editado por M. K. Ridd y J.D. Hipple), pp. 489–502. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, Maryland.

Saturno, William, Thomas L. Sever, Daniel E. Irwin, Burgess F. Howell y Thomas G. Garrison

2007 Putting us on the Map: Remote Sensing Investigation of the Ancient Maya Landscape. En *Remote Sensing in Archaeology* (editado por J. Wiseman y F. El-Baz), pp. 137-160. Springer.

Sever, Thomas L. y Daniel E. Irwin

2003 Landscape Archaeology: Remote-sensing investigation of the ancient Maya in the Petén rainforest of northern Guatemala. *Ancient Mesoamerica*. (14):113-122.

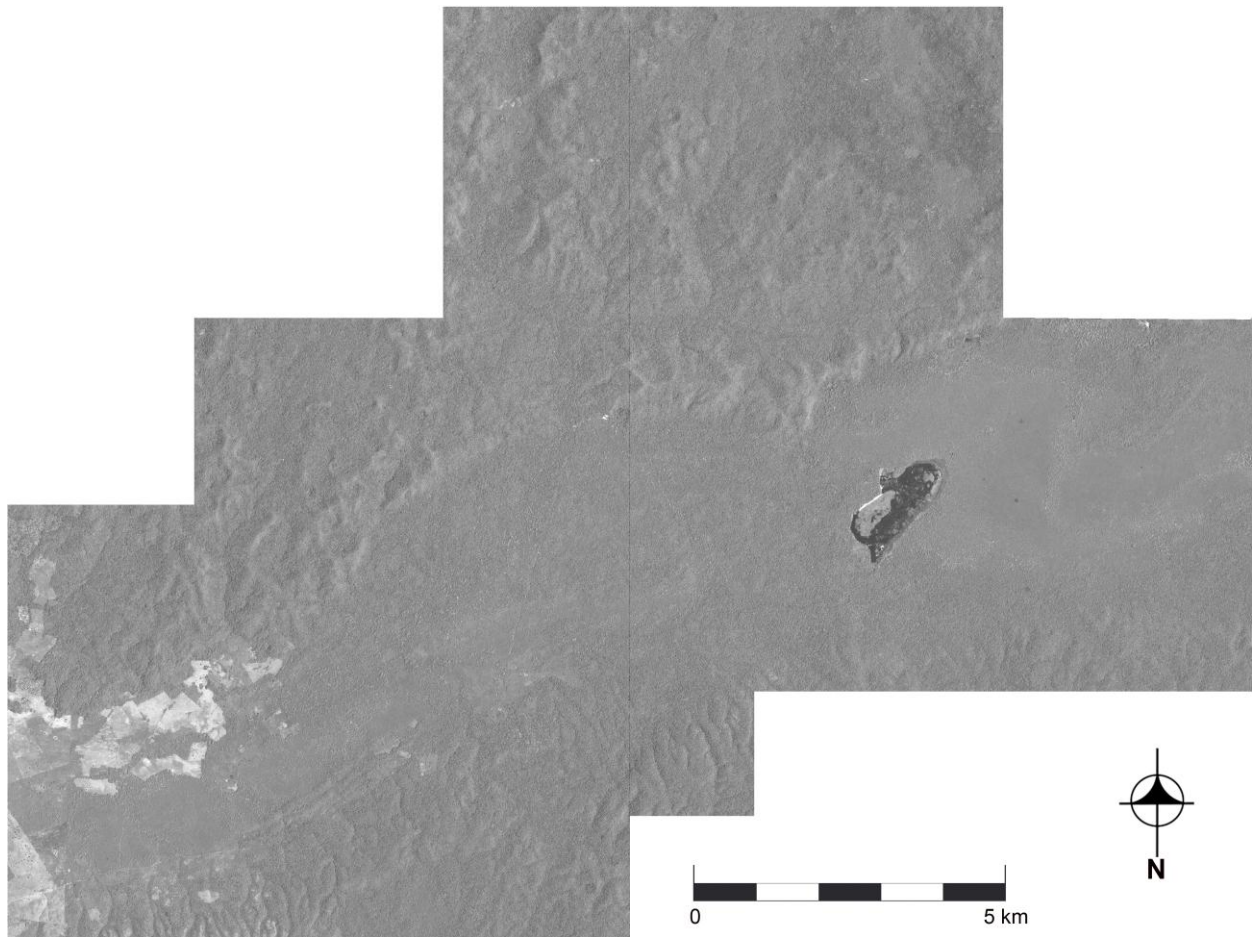


Figura 1 Proyecto Arqueológico El Zotz. Escena de GeoEye-1 tomada el 6 de abril, 2009.

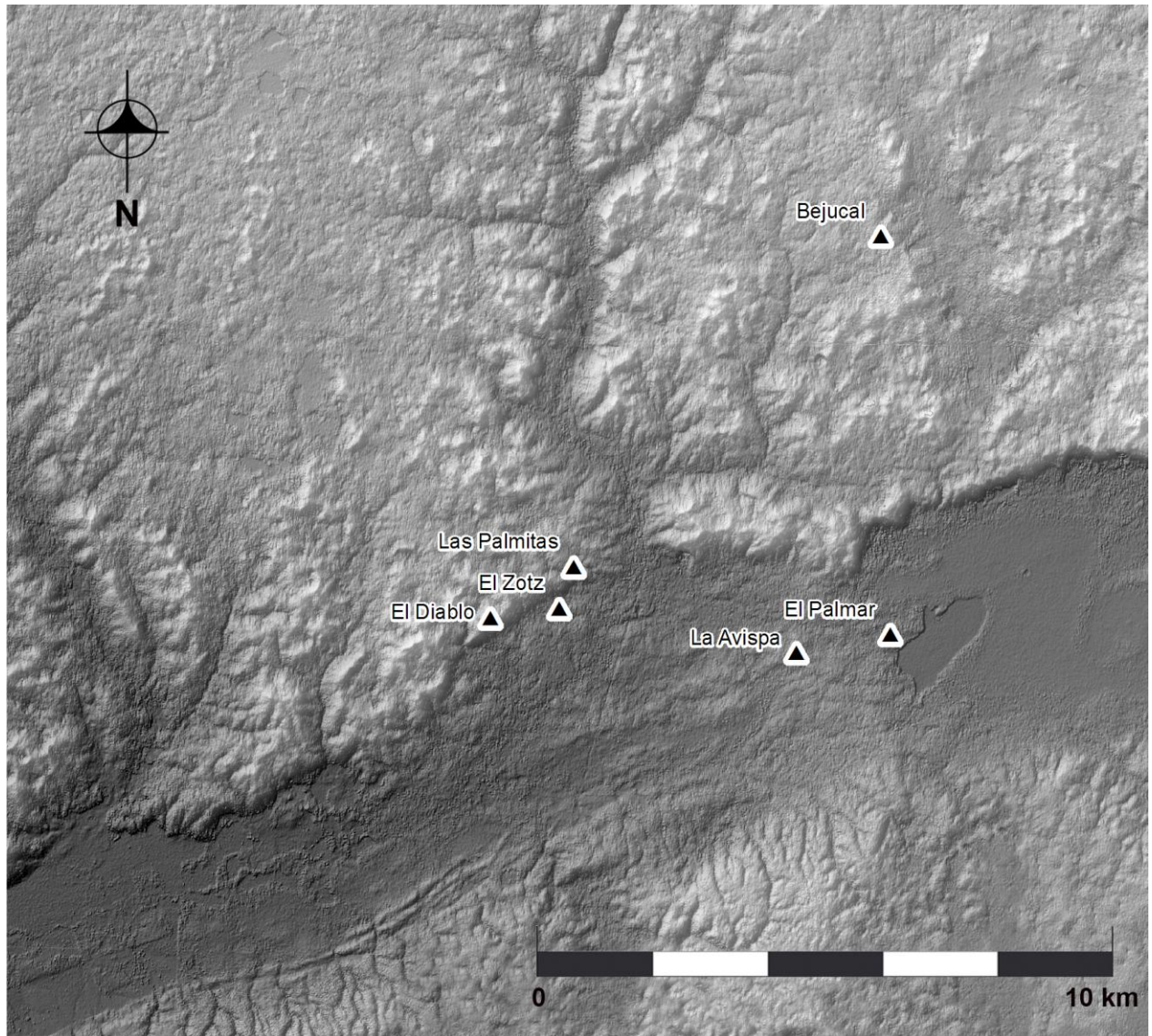


Figura 2 Proyecto Arqueológico El Zotz. Modelo de elevación digital de AIRSAR.