

Prospección con georradar en las calles de la ciudad de Mérida, Yucatán

Georadar prospection across the streets of the city of Mérida, Yucatán

Jorge Blancas^{1,*}, Luis Barba¹, Josep Ligorred², Agustín Ortiz¹, Itzayana Bernal³, Nadia Uriarte⁴

¹ Laboratorio de Prospección Arqueológica, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 04510 Coyoacán, CDMX, México.

² Facultad de Arquitectura, Universidad Autónoma de Yucatán, Exconvento de La Mejorada Calle 50 entre 57 y 59, 9700 Centro de Mérida, Yucatán, México.

³ Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 04510 Coyoacán, CDMX, México.

⁴ Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, 07738 Gustavo A. Madero, CDMX, México.

* Autor para correspondencia: J. Blancas
jorgeblancas@unam.mx

Cómo citar este artículo:

Blancas, J., Barba, L., Ligorred, J., Ortiz, A., Bernal, I., Uriarte, N., 2024, Prospección con georradar en las calles de la ciudad de Mérida, Yucatán: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 76 (2), A211223. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2024v76n2a211223>

Manuscrito recibido: 12 de septiembre de 2023.

Manuscrito corregido: 10 de diciembre de 2023.

Manuscrito aceptado: 20 de diciembre de 2023.

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia CCBY-NC-SA (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)

RESUMEN

El estudio realizado en distintas zonas de la ciudad de Mérida, Yucatán, tiene como objetivos principales el localizar vestigios arqueológicos prehispánicos o coloniales, registrar zonas de nivelación del terreno de época Maya y verificar la existencia de zonas cársticas en el subsuelo, entre otros. Para estos estudios en zona urbana se empleó el georradar, una de las técnicas geofísicas no invasivas. Esta técnica permite detectar restos de estructuras bajo el pavimento de las calles, sin las interferencias propias de zonas urbanas, lo que reduce la necesidad de excavar u otras acciones que puedan modificar el área a estudiar. En esta etapa del proyecto se seleccionaron lugares en donde las líneas exploratorias recorridas en temporadas anteriores sugirieron la posibilidad de identificar restos arqueológicos bajo el pavimento de las calles de la ciudad.

Se escogieron dos zonas en donde la investigación documental ha indicado la presencia de grandes basamentos que formaron parte de la ciudad maya de T'Hó, en otra zona se sospecha de la presencia de un monumento escultórico y también se incluyó el estudio en un parque arqueológico en las afueras de la ciudad. Los resultados confirmaron algunas de las hipótesis planteadas y en los lugares donde pudieron haber estado las plataformas se encontraron extensas reflexiones horizontales que se interpretan como nivelaciones del terreno antes de edificar las estructuras. En la zona de Kambul, entre otras cosas, se encontró una reflexión hiperbólica aislada que se ha interpretado como una gran piedra enterrada por lo que puede tratarse del monumento escultórico buscado. Los resultados en la zona arqueológica de Chen Hó muestran rasgos enterrados principalmente en el interior de los montículos estudiados. Además de los rasgos culturales se han encontrado una gran cantidad de anomalías más profundas que se interpretan como zonas carstificadas. Esto adquiere relevancia puesto que estos procesos geológicos con el tiempo suficiente pueden llegar a afectar la superficie.

Palabras clave: georradar, zonas urbanas, vestigios arqueológicos, zonas cársticas.

ABSTRACT

The study carried out in different areas of the city of Mérida, Yucatán, has the objectives of locating pre-Hispanic or colonial archaeological remains, register leveled areas from the Mayan times and to verify the existence of karstic areas in the subsoil, among others. For these studies in urban areas, we used ground penetrating radar (GPR), one of the non-invasive geophysical techniques. This technique allows to detect remains below the modern street pavement without interference in urban areas, reducing the need of excavation or other actions that may modify the area to be studied. In the present stage of the project, we selected places where the exploratory lines performed in previous seasons suggested the possibility of having archaeological remains below the city streets.

We chose two zones where the bibliographic research indicates the existence of large platforms that were part of the T'Hó Mayan city, in another zone we verify the existence of a sculpture monument, and we also studied an archaeological park in the outskirts of the city. Most results confirmed the hypothesis, so we found extensive horizontal reflections interpreted as ancient leveling in the places where the platforms could be. In the Kambul zone, we found a clear hyperbolic reflection interpreted as a buried, large stone. In Chen Hó archaeological park, we found some cultural features inside the mounds. Besides the cultural features, we found many deep anomalies, interpreted as karstic zones, which are relevant because in the future they might reach the surface.

Keywords: gpr, urban areas, archaeological remains, karstic areas.

1. Introducción

El Centro Histórico de Mérida oculta un patrimonio arqueológico de gran potencial. T'Hó, la Mérida ancestral, fue una ciudad monumental reverenciada desde tiempos muy antiguos, fue eje cultural de lo que a la llegada de los conquistadores era una comarca o provincia llamada Chakán o Ichcaanzihó (Ligorred, 1998). Es posible que bajo el Centro Histórico de Mérida se localicen vestigios del sitio de T'Hó, el principal centro urbano de la región y uno de los cuatro únicos sitios clasificados en el Atlas arqueológico del estado de Yucatán (Garza y Kurjack, 1980), como de primer rango, junto con Chichén Itzá, Uxmal e Izamal.

Fray Diego de Landa en el S. XVI, elaboró un croquis de una de esas notables construcciones Mayas, y en él pueden observarse cuatro edificios que rodean una plaza construida en la parte alta de una plataforma monumental. Durante la conquista los edificios de la ciudad maya de T'Hó fueron destruidos y sirvieron como cantera para la construcción de la ciudad de Mérida. La antigua T'Hó, ciudad maya poco conocida de más de 2000 años de antigüedad fue desapareciendo gradualmente para ceder paso a la Mérida colonial y contemporánea, hasta el punto de que sus últimos basamentos monumentales fueron destruidos en el siglo XX (Ligorred, 1999).

A principios del XX el Centro Histórico de Mérida aún contenía algunos vestigios de dos de los principales basamentos mayas prehispánicos, el del Cerro de San Antón en el barrio de San Cristóbal, que ocupaba el espacio entre las calles 52, 48, 65 y 69, y el del Cerro de "San Benito", sobre el cual se construyó a principios de la Colonia el convento de San Francisco y posteriormente fue la Ciudadela de San Benito, ubicado entre las calles 54, 56, 65 y 69, que se localizaba donde hoy se encuentra el Mercado Grande "Lucas de Gálvez". Estas grandes plataformas mayas, sobre las que debieron levantarse dos de los principales templos y palacios de T'Hó, ocuparon una superficie de más de 20 mil metros cuadrados cada una de ellas, de acuerdo con la documentación histórica y algunos registros fotográficos.

El llamado Cerro de San Antón en la época colonial, y fue conocido posteriormente como el "Imposible" por el esfuerzo que implicaba demolerlo, tenía un largo de 180 m, en dirección este-oeste y un ancho de 120 m.

Si consideramos estos basamentos en términos contemporáneos, entre ellos se formaría un conjunto que posiblemente se trataría de la plaza principal de la ciudad de T'Hó, con un basamento al oriente, el Imposible, dedicado al culto de "Ah Chun Can", y otro cerro o Kú al poniente, el después llamado de San Benito.

La hipótesis de que las anomalías topográficas y geométricas en la traza regular colonial son probables vestigios de avenidas o plazas mayas, es sostenida por investigadores como Leopoldo Tomassi (1951) y Mark Lindsay (2000).

1.1. LA CARTOGRAFÍA DE LA CIUDAD DE MÉRIDA

Estudios preliminares llevados a cabo en 1997 (Ligorred, 1998), basados en el análisis de planos topográficos de la Comisión Nacional del Agua (Carrillo, 1991) y recorridos de superficie, permitieron proponer que T'Hó estuvo situada sobre una amplia elevación natural del terreno –cota arbitraria 4 metros–; sobre ésta, los puntos con cotas más elevadas –cotas arbitrarias 5 y 6 metros–, parecen ser consecuencia de nivelaciones artificiales que acumularon materiales constructivos en el antiguo asentamiento humano y que no obstante haber sido destruidos prevalecen como ligeras elevaciones del terreno¹. A su vez, en los alrededores, por debajo de la cota 4m, se observa una cantidad importante de "depresiones," probablemente asociadas con bancos de extracción de piedra utilizada para la construcción de las estructuras de la antigua ciudad y más tarde las cavidades pudieron haber sido utilizadas para el manejo del agua.

Analizando la topografía y la documentación histórica, se establecieron áreas con alta probabilidad de presentar restos arqueológicos

¹ Las cotas del plano de la CNA de 1991 actualmente están siendo revisadas y rectificadas con los levantamientos que nuevas tecnologías como la fotogrametría aérea y el LIDAR pueden proporcionar.

en el subsuelo, por lo que se justifica la aplicación de tecnologías modernas para prevenir que el desarrollo de obras en el Centro Histórico de Mérida afecte el subsuelo y destruyan restos de la antigua ciudad maya, así como de vestigios de la época colonial. Por lo anterior, se vuelve prioritario verificar la existencia de restos arqueológicos bajo las calles, jardines y plazas públicas antes de que sean afectados por los trabajos de introducción de cableado, tuberías e infraestructura urbana en general.

1.2. ESTUDIOS GEOFÍSICOS PREVIOS

El Laboratorio de Prospección Arqueológica (LPA) del Instituto de Investigaciones Antropológicas de la UNAM, realizó hace 20 años los primeros estudios de prospección geofísica en el terreno del ex-Chetumalito, hoy mercado Lucas de Gálvez, para posteriormente en las áreas exploradas realizar excavaciones sistemáticas y registrar los materiales arqueológicos extraídos durante las intervenciones. En los años posteriores se llevaron a cabo trabajos de prospección geofísica en los terrenos circundantes al Mercado Grande y en el área donde se pretendía construir el edificio de “la Pepita” que permitieron el registro y rescate de materiales arqueológicos.

A su vez, también se estudió el Parque Eulogio Rosado antes de tender el cableado subterráneo. Posteriormente, se realizó un extenso estudio con georradar que recorrió 16.7 km de calles del Centro Histórico, con la finalidad de prevenir posibles afectaciones por las obras de infraestructura presentes y futuras. En las calles de la ciudad de Mérida se adquirieron 127 perfiles continuos de georradar con antenas de 400 y 200 MHz. Con los resultados obtenidos se pudo verificar la información cartográfica y contar con una primera zonificación arqueológica del área urbana, donde probablemente estuvieron situadas las estructuras y plataformas que formaron parte nuclear de la ciudad maya de T'Hó (Barba *et al.*, 2009; Ligorred, 2009).

1.3. TEMPORADA DE PROSPECCIÓN 2022

El estudio contempla la localización con georradar de vestigios arqueológicos enterrados y anomalías naturales en el subsuelo cárstico de la ciudad de Mérida, Yucatán y forma parte del proyecto “El patrimonio cultural-natural en las políticas y gestión del desarrollo urbano-territorial en ciudades mexicanas del siglo XXI”. Proyecto Ciencia de Frontera. CONAHCYT. Los antecedentes mencionados se realizaron en distintas zonas de la ciudad, en calles, plazas públicas, parques y monumentos históricos desde el 2003 a la fecha (Barba *et al.*, 2007; Barba *et al.*, 2009).

Los resultados de los estudios realizados mostraron que el georradar es la técnica geofísica más adecuada para trabajar en contextos urbanos, ya que la información del subsuelo puede ser recuperada aún en zonas pavimentadas y urbanizadas. Además, es una técnica no destructiva, no altera el contexto y la información adquirida puede ser visualizada en tiempo real para hacer una evaluación inmediata. Por otra parte, el georradar permite que una vez procesada y analizada la información, se pueden comprobar algunas de las hipótesis planteadas, como: la localización de vestigios arqueológicos y alteraciones naturales como la carsticidad del subsuelo. Adicionalmente, con la información registrada, ha sido posible crear un mapa de zonificación georreferenciado de los distintos elementos, naturales y culturales, hallados en el subsuelo de la ciudad de Mérida, Yucatán. (Ligorred, 2009; Ligorred y Barba, 2009).

El objetivo de este trabajo es Identificar por medio del georradar zonas de valor arqueológico y anomalías de origen natural en el subsuelo de la Ciudad de Mérida Yucatán para planificar y prevenir obras urbanas que las puedan afectar, así como para recuperar información que promueva la investigación, difusión y recuperación de la memoria histórica.

2. Metodología

Las técnicas geofísicas permiten adquirir información del subsuelo desde la superficie del terreno de forma indirecta sin necesidad de excavar. Los datos adquiridos con estas técnicas ayudan a tomar decisiones en fases previas y durante la excavación en los proyectos arqueológicos. La información en mapas, perfiles o imágenes tridimensionales registra la posición y la profundidad aproximada de los elementos en el subsuelo y con ello se puede ubicar con mayor precisión los vestigios y prevenir afectaciones en el patrimonio invisible enterrado.

La profundidad de investigación del equipo depende principalmente de las condiciones del terreno y del contraste entre las propiedades electromagnéticas de los materiales enterrados y

las capas del suelo. Si existe un contraste suficiente entonces será posible detectar las anomalías, dependiendo de sus dimensiones y la profundidad a la que se encuentren (Blancas, 2000). Dadas sus características de portabilidad, resolución, rapidez, muestreo en tiempo real, entre otras, el georradar resulta ser la técnica idónea para el estudio en zonas urbanas y contextos cársticos.

El georradar es una técnica geofísica somera y no destructiva para obtener información del subsuelo y del interior de estructuras. Los fundamentos de esta técnica geofísica consisten en la emisión de energía en pulsos de radiofrecuencia hacia el subsuelo desde una antena que se desplaza sobre la superficie del terreno (Figura 1).

La energía es transmitida hacia el subsuelo hasta encontrarse con discontinuidades, ya sean elementos antrópicos o naturales que difieren con

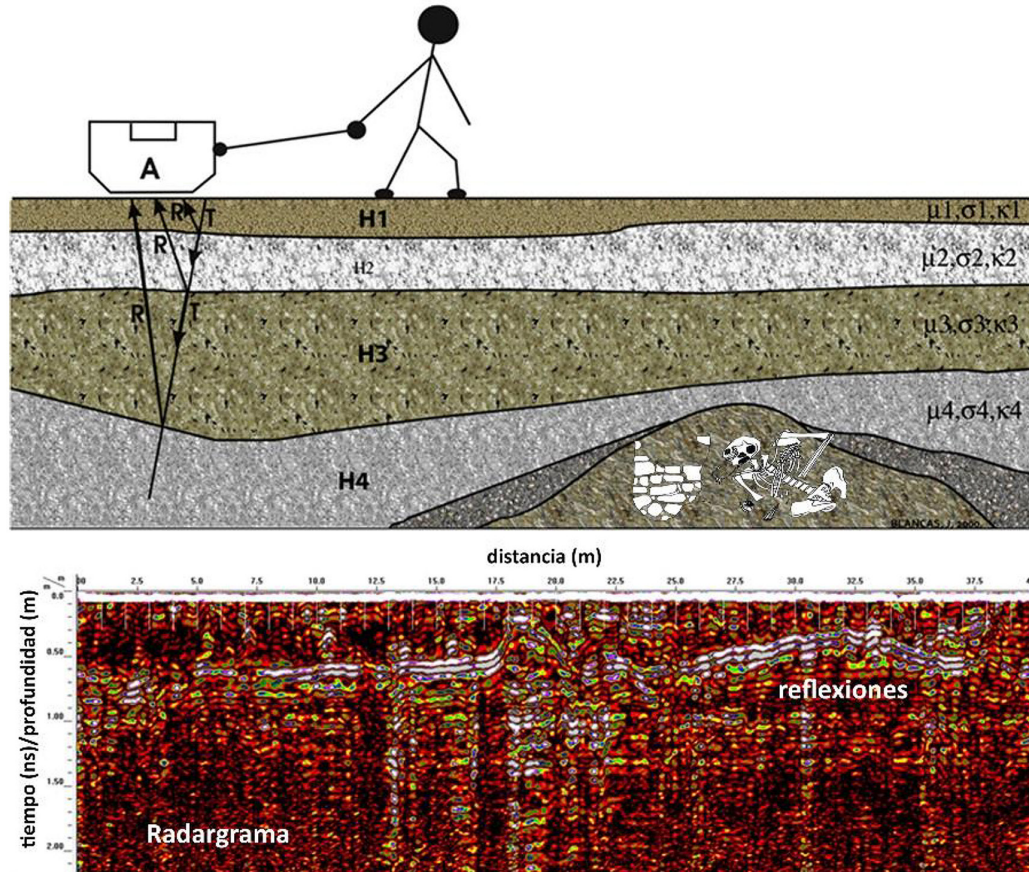


Figura 1 Principios de operación del georradar (Blancas, 2012).

las propiedades electromagnéticas del contexto. Parte de la energía se refleja de vuelta hacia la superficie, donde se registra su tiempo de llegada, y su amplitud depende del contraste de velocidades y la profundidad de los materiales en el subsuelo. Este fenómeno se repite en intervalos de tiempo muy cortos mientras la antena se desplaza sobre la superficie del terreno, generando imágenes distancia- tiempo, semejantes a perfiles del subsuelo llamados radargramas (Blancas, 2012).

En terrenos con condiciones de baja conductividad, arenas o rocas de tipo calcáreo, la técnica incrementa la profundidad de penetración y resolución espacial, y puede generar imágenes del subsuelo con mayor resolución que con otra técnica de prospección geofísica en condiciones similares.

En contraparte, cuando se utiliza en terrenos salinos y arcillosos con alta saturación de agua y minerales conductivos, la profundidad de penetración y la resolución espacial son menores.

2.1. ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Los datos se adquirieron con el equipo Impluse Radar Cross Over Ground Penetrating Radar modelo CrossOver®4080 de frecuencia central dual (400/800MHz) y se utilizó el programa CrossPoint (Impulse Radar) para visualización, procesamiento, interpretación y análisis de los datos de georradar.

Durante la adquisición de los datos se hicieron recorridos lineales sobre la superficie del terreno con la antena de frecuencia dual, registrando discontinuidades en el subsuelo de 2-4 metros de profundidad promedio. Se utilizó una tableta electrónica con la aplicación ViewPoint de Impulse Radar para configurar los parámetros de adquisición, un odómetro electromecánico para registrar la distancia recorrida y un gps interno incorporado en la antena para georreferenciar la información adquirida. Durante la adquisición se visualizó la información en tiempo real para hacer un análisis e interpretación preliminar de los

datos. La información adquirida se descargó para procesarla y visualizarla mediante el programa CrossPoint y con el programa GPR Slice para generar cortes de profundidad en las zonas donde se hicieron líneas paralelas como fue el caso de la zona de “el Kambul y el Imposible”. Se aplicaron las rutinas de procesamiento, como ajustes de ganancias para compensar la atenuación de la señal por las propiedades electromagnéticas del subsuelo, aumento de la relación señal-ruido por medio de filtros digitales en espacio y tiempo, corrección de tiempo de arribo de la señal del terreno, y en algunos casos la migración de datos en los cortes de profundidad para aproximar mejor la geometría y dimensiones reales de los elementos enterrados.

3. Resultados

La Figura 2 muestra la zona de protección delimitada por la cota 4m. Incluye las zonas de probable presencia de patrimonio arqueológico marcado con las cotas 5 y 6m, además se han reportado cenotes, las depresiones y los lugares en donde se realizaron los estudios con georradar, seleccionados de acuerdo a los objetivos en esta etapa del proyecto, al registro de las zonas de patrimonio arqueológico del municipio y por las anomalías identificadas por estudios geofísicos previos hechos por el LPA.

3.1. TEATRO PEÓN CONTRERAS Y PARQUE DE LA MADRE

En la zona de estudio Teatro Peón Contreras y Parque de la Madre, se buscaron las reflexiones de posibles cimientos de un antiguo convento y la presencia de un aljibe (depósito de agua).

Al interior del Teatro Peón Contreras, en la línea PCL2, se registraron reflexiones de lo que podrían ser los cimientos de estructuras del antiguo convento entre 1 y 2 metros de profundidad (Figura 3a). La PCL18 (Figura 3b) exhibe anomalías de 8-15, 25-28 y de 48-115 metros del recorrido

de la antena, las reflexiones de gran amplitud es probable que correspondan con los cimientos del antiguo convento. Un contacto muy destacado de 1-1.5 metros de profundidad y de 73-115 metros del recorrido al parecer es piso o una superficie nivelada de antiguo convento.

La línea PCL21 (Figura 3c) levantada a un costado de la Iglesia de la Tercera Orden muestra reflexiones superficiales, algunas de ellas, se ubican de 0-6, de 10-12 y de 23-33 metros del recorrido, las más cercanas a la Iglesia podrían estar mostrando restos del antiguo claustro.

3.2. PARQUE SANTIAGO

Los estudios realizados en el año 2005-2006 encontraron anomalías de posibles caminos mayas o *sacbé*s. Apoyándose en los datos cartográficos, los nuevos estudios con georradar se ampliaron a las calles aledañas del parque Santiago, buscando la continuidad de un posible camino, así como el registro de estructuras mayas (Figura 4). La verificación PSL3 (Figura 4a) sobre la calle 59, entre 74 y 72, muestra un paquete de reflexiones horizontales entrecortadas a lo largo de todo el

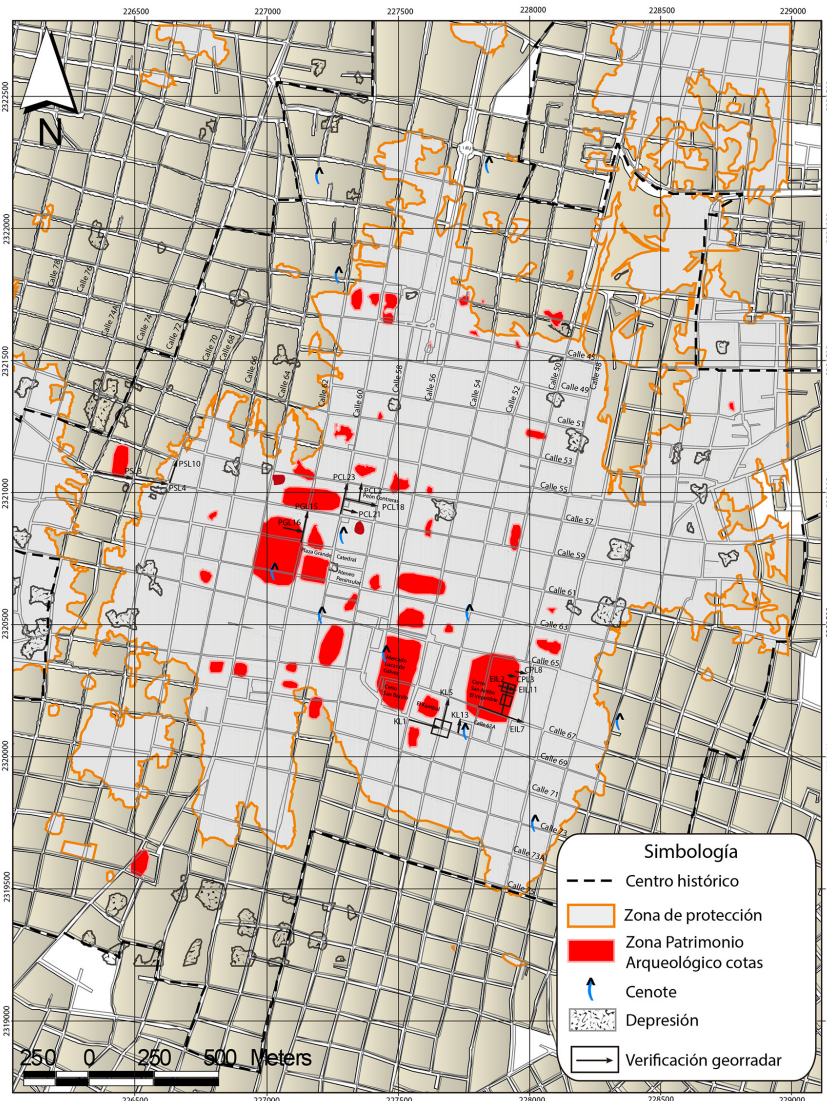


Figura 2 Plano general de la Ciudad de Mérida con la información arqueológica, cartográfica y geofísica (Adaptada de Barba *et al.*, 2009).

radargrama y en el primer metro de profundidad, relacionadas con los restos de una posible estructura o de un camino Maya que según los registros históricos entraba por la parte poniente de la ciudad (Ligorred, 1998). Por debajo de esta superficie se registran reflexiones de origen posiblemente natural de carsticidad en la roca madre.

La línea PSL4 (Figura 4b) levantada en la parte sur de la Iglesia de Santiago Apóstol, sobre la calle 59, registra anomalías importantes a lo largo de todo el recorrido, una nivelación del terreno entre 0.6-0.8 metros de profundidad, y dos grupos de anomalías muy destacadas de posibles alteraciones de la roca madre de 30-45 y de 103- 112 metros del recorrido de la antena.

La línea PSL10 sobre la calle 70, al este de la Iglesia de Santiago Apóstol, (Figura 4c) exhibe reflexiones de gran amplitud, al inicio de 0-12 metros del recorrido y hasta 2.6 metros de profundidad de posibles restos. Posteriormente una nivelación de 12-63 metros del recorrido, entre 0.6-1 metros de profundidad. Debajo de estas reflexiones se registró otro grupo importante de posibles vestigios de 29-52 metros del recorrido y de 2-3 metros de profundidad.

3.3. PLAZA GRANDE

En la Plaza principal o “Plaza Grande” se realizaron líneas de georradar en las calles aledañas para buscar los restos de un basamento importante de época Maya y la profundidad a la que se desplantan otras estructuras arqueológicas. Sobre la calle 62, de sur a norte, entre la 61 y la 59, se levantó la línea de georradar PGL15, detectándose prácticamente en todo el radargrama dos contactos, el más superficial a 0.6 metros, y el más profundo entre 1.8 -2 metros de profundidad, exhibiendo el desplante de un posible basamento prehispánico (Figura 5).

Para la línea PGL16, se hizo una línea perpendicular a la calle 62, dentro de un estacionamiento cuya entrada está sobre la C62. El radargrama muestra el recorrido de oeste a este,

se registraron 4 grupos de anomalías importantes, la más superficial de 12-62 metros del recorrido es originada por un contacto superficial a 0.6 metros de profundidad. Las anomalías más profundas, la 3 y 4, llegan hasta 3 metros de profundidad, y la anomalía 4 está entre 2 y 4 metros de profundidad, es posible que sean parte de un basamento arqueológico y algunas pueden ser cavidades de origen natural, principalmente la más profunda.

3.4. ESTUDIOS EN LA ZONA DE EL KAMBUL

Esta zona es de especial interés para la ubicación de un posible monumento escultórico, conocido como El Kambul, una especie de faisán y símbolo de la cultura Maya (Ligorred, 1998).

Los estudios con georradar destacan anomalías importantes en las calles.

La línea KL1, sobre la calle 69, entre 54-52, muestra un contacto horizontal de una posible nivelación a 1.8 metros de profundidad de 1-50 y de 70-114 metros del recorrido. Hay otros grupos de anomalías a lo largo de toda la línea con características distintas de posibles restos constructivos entre 2-3.5 metros de profundidad que pudieran formar parte de vestigios prehispánicos, principalmente las que se encuentran de 104-115 metros del recorrido (Figura 6a).

Las líneas KL13 y KL5, sobre las calles 52 y 50A respectivamente, y perpendiculares a la calle 69. La línea KL13 muestra una serie de capas horizontales a lo largo de todo el radargrama hasta casi 1 metro de profundidad (Figura 6b), subyaciendo a estas capas hay anomalías más profundas hasta los 40 metros del recorrido y en la parte final de la calle, algunas de estas anomalías pueden ser parte de los restos de una estructura arqueológica ubicada al oeste y contener el posible monumento escultórico, sin embargo, la excavación arqueológica permitirá conocer el origen de estas anomalías. Para la línea KL5, el radargrama muestra reflexiones de gran amplitud al final del recorrido entre 1-3.5 metros de profundidad, las reflexiones heterogéneas y

profundas podrían ser originadas por carsticidad en la roca madre debido a que se tiene registrado el acceso a un cenote en esa zona (Figura 6c).

Para esta área se realizó una retícula en forma de cruz en la intersección de las calles. Se eligió un corte a 2 metros de profundidad en los que se observa la distribución de zonas anómalas por debajo de la capa urbana actual. Se muestran algunas anomalías que pueden relacionarse a elementos culturales como aquel indicado en la esquina suroeste de la intersección (Figura 7).

3.5. ESTUDIOS EN LA ZONA EL IMPOSIBLE

La zona de estudio El Imposible forma parte de un montículo arrasado, también llamado el Cerro de San Antón que existió en el centro de la ciudad de Mérida. Este montículo ubicado al oriente, y otro al poniente (Cerro de San Benito) serían dos de las estructuras que rodeaban la plaza principal de la Ciudad Maya de T'Hó (Ligorred, 1998). Los estudios geofísicos hechos por el Laboratorio de Prospección Arqueológica en años anteriores registraron los límites de dicha estructura (Ligorred y Barba, 2009; Barba *et al.*, 2009; Barba *et al.*, 2020). En estos estudios se amplió la zona de prospección hacia la escuela Preparatoria 5 y en la Casa del Pueblo, ubicados al sur sobre la calle 67, entre la 48 y 50, y al norte sobre la 65, entre 48 y 50 (Figura 2).

Las verificaciones con georradar sobre la calle 67 y en los patios interiores de la Preparatoria número 5 registraron anomalías importantes a lo largo de todo el recorrido relacionadas con la superficie cultural donde estuvo el Cerro de San Antón. Hay grupos de reflexiones de 0.5 a 2.5 metros de profundidad, con características producidas por los cimientos y nivelaciones de una gran estructura enterrada que podría corresponder al montículo arrasado conocido también como El Imposible, porque según las crónicas era tan masivo que era imposible destruirlo. Sin embargo, fue arrasado, quedando aún, según las imágenes de georradar, vestigios de este importante monumento Maya en el subsuelo.

La línea EIL11, ubicada en la parte norte de la Preparatoria y levantada sobre la cancha de baloncesto, exhibe reflexiones de gran amplitud por debajo de la capa actual de concreto, es un paquete de reflexiones consistentes que van desde 5-22 metros del recorrido hasta 2.5 metros de profundidad, disminuyendo su amplitud en la parte oriente y donde también parece finalizar la zona con restos arqueológicos (Figura 8a).

Los cortes de profundidad hasta 2 metros muestran las reflexiones más fuertes en colores rojo y amarillo relacionadas con parte de los vestigios de la antigua estructura arqueológica maya que fue arrasada y nivelada, pero que sus cimientos y desplantes aún permanecen bajo la superficie de los patios de la Preparatoria, además de predios ubicados al norte y en las calles 67, 65 y 50 según los datos de la prospección en la zona donde se ubicaba El Imposible (Figura 8b).

3.6. PARQUE ARQUEOLÓGICO CHEN HÓ

Chen Hó es un parque arqueológico con estructuras expuestas y forma parte de un sistema de parques alrededor de la ciudad de Mérida (Abejón *et al.*, 2015; Ligorred, 2019) (Figura 9), en este lugar se realizaron verificaciones con georradar para detectar subestructuras y anomalías de origen natural (Figura 10a).

La línea CHL2 cruza una estructura arqueológica de sur a norte, las reflexiones al inicio y final del radargrama (0-12, 47-52 metros) por debajo de 2 metros de profundidad es posible que se sean de origen natural, asociadas con la carsticidad en la roca madre y se sabe que existen en el parque zonas con cavidades. Mientras que, las reflexiones de 30-40 metros, realizada sobre un montículo es muy probable que sean originadas por una subestructura o un elemento cultural en el interior (Figura 10b).

La línea CHL8, levantada sobre una estructura arqueológica al norte del parque, exhibe reflexiones casi al centro del montículo, posiblemente de un altar o una tumba (Figura 10c).

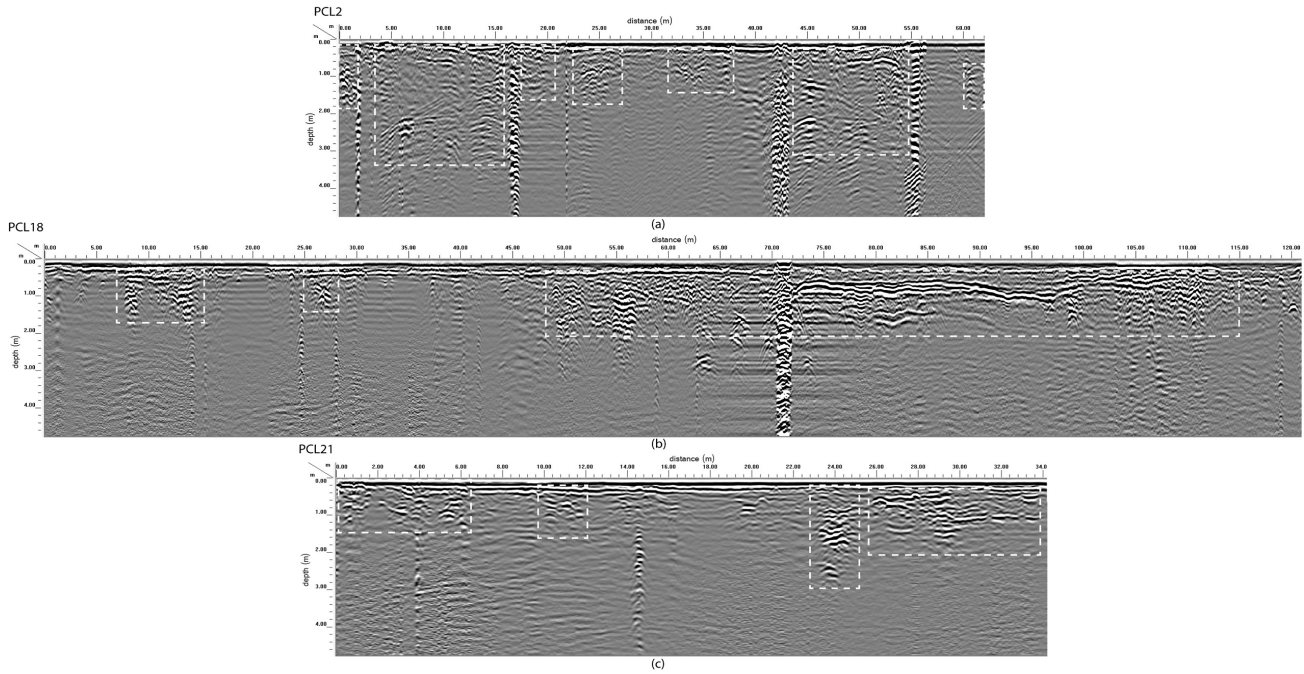


Figura 3 Radargramas de líneas de georradar representativas en la zona de estudio Teatro Peón Contreras.

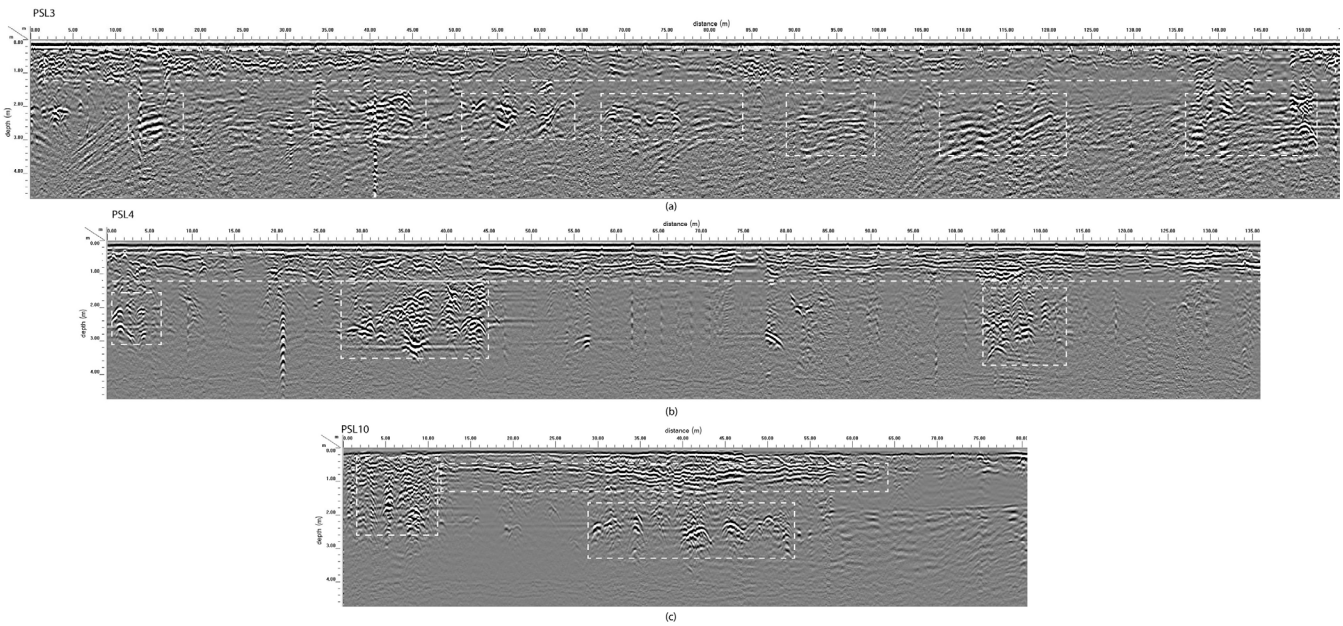


Figura 4 Radargramas de las líneas levantadas en la zona del Parque Santiago.

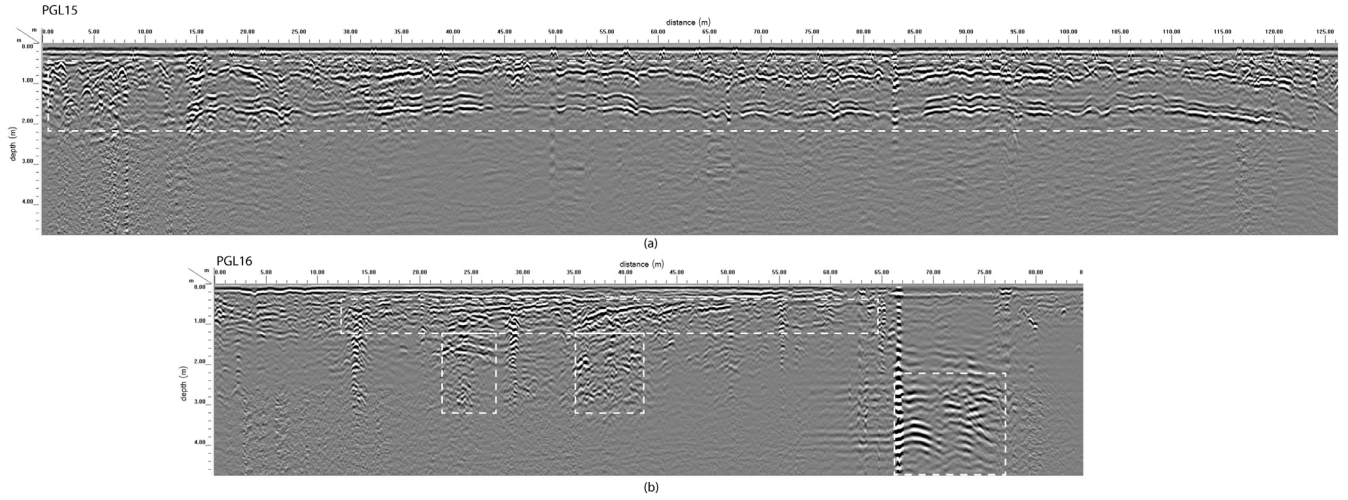


Figura 5 Radargramas de las líneas levantadas en zonas aledañas a la Plaza Grande.

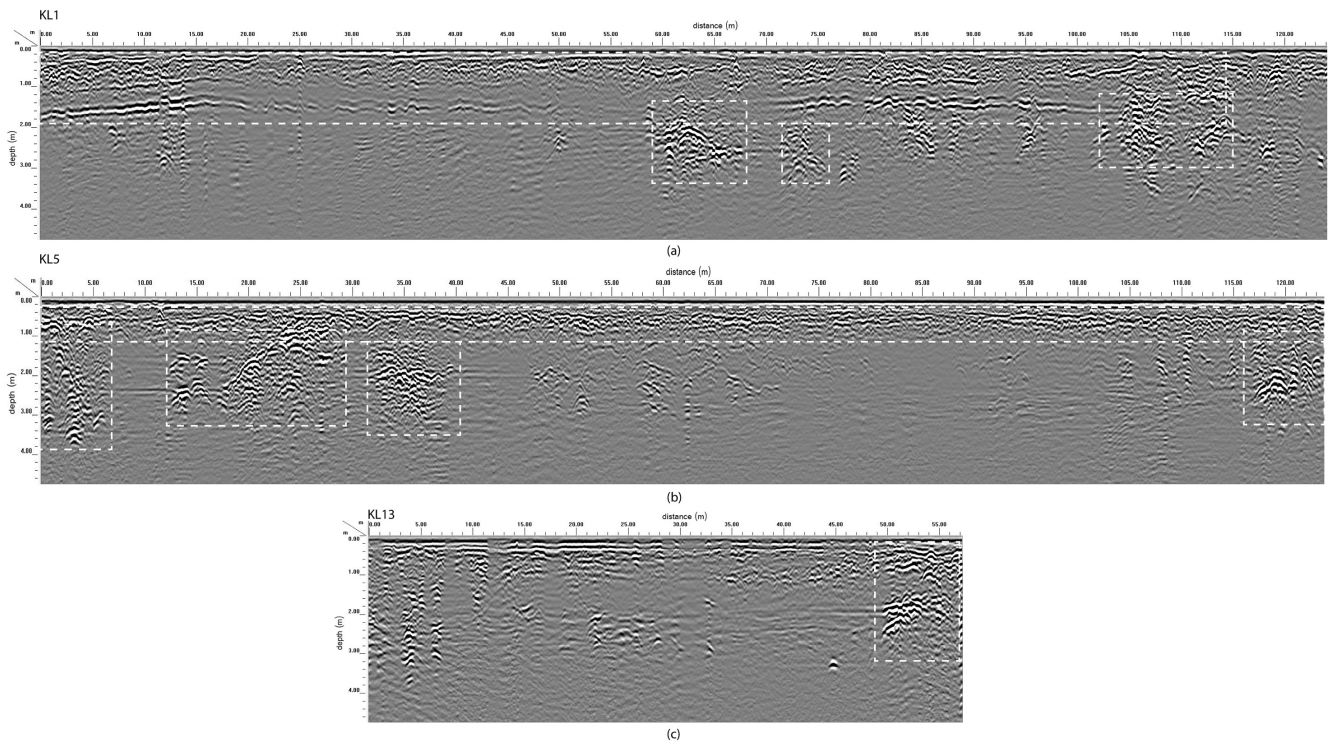


Figura 6 Radargramas de las líneas adquiridas en la zona El Kambul.

Al sur de la línea CHL19 y perpendicular a la línea CHL19, se muestran anomalías muy reflectivas, las más superficiales es probable que sean de origen cultural, y las más profundas, mayores a 2 metros, podrían ser de origen natural, aunque la roca madre en algunos sectores del parque está aflorando (Figura 10d).

4. Discusión

En la zona de estudio Teatro Peón Contreras y Parque de la Madre, la línea PCL2 recorrió de sur a norte, un pasillo del interior del teatro y se

registraron anomalías de posibles cimientos de la estructura de un antiguo convento a menos de 1 metro de profundidad.

Por otra parte, en la PCL21 de la misma zona, perpendicular a la calle 60, se realizó la prospección con georradar en el andador de la Iglesia de la tercera orden. En ella, se registraron anomalías muy reflectivas e importantes a lo largo de todo el recorrido, entre 0.5-2.5 metros de profundidad, algunas pueden ser originadas por los cimientos del claustro del convento jesuita que estuvo en ese lugar, otras anomalías se tendrían que verificar con un estudio más detallado para saber si tienen relación con vestigios Mayas.

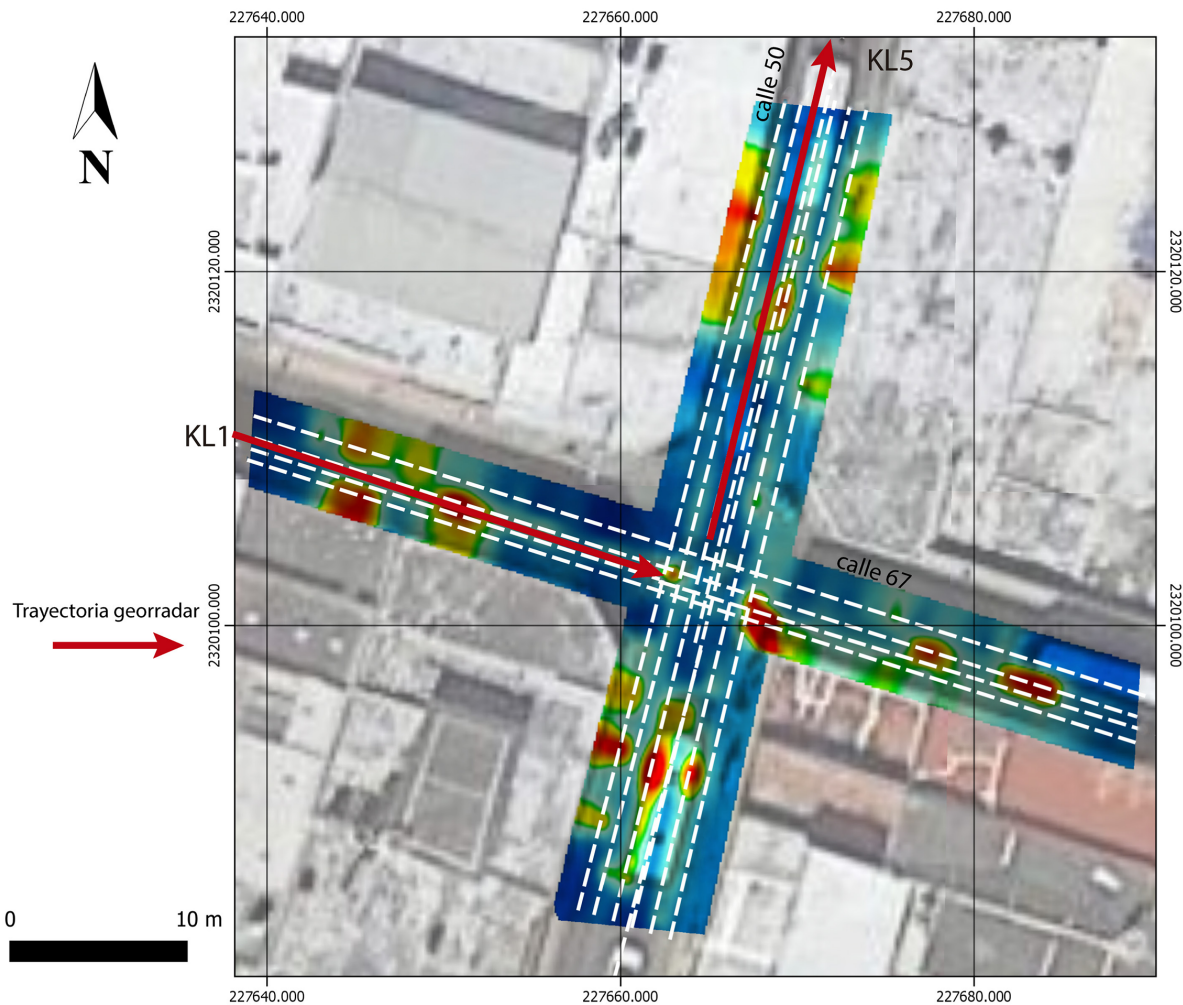
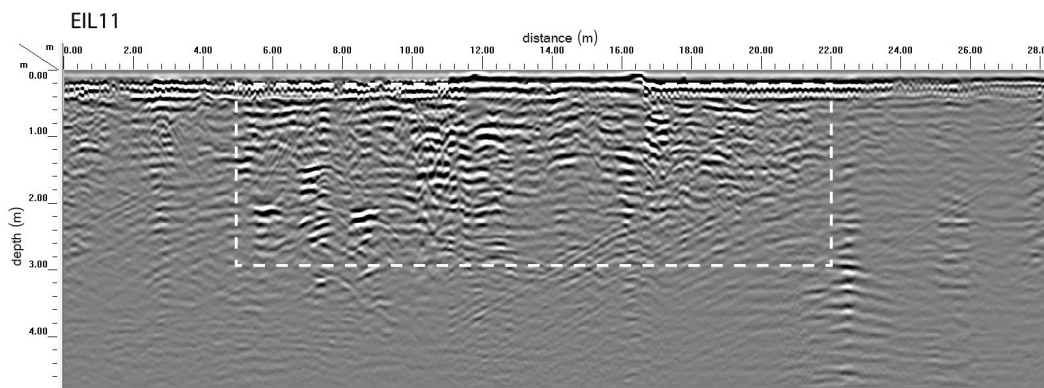


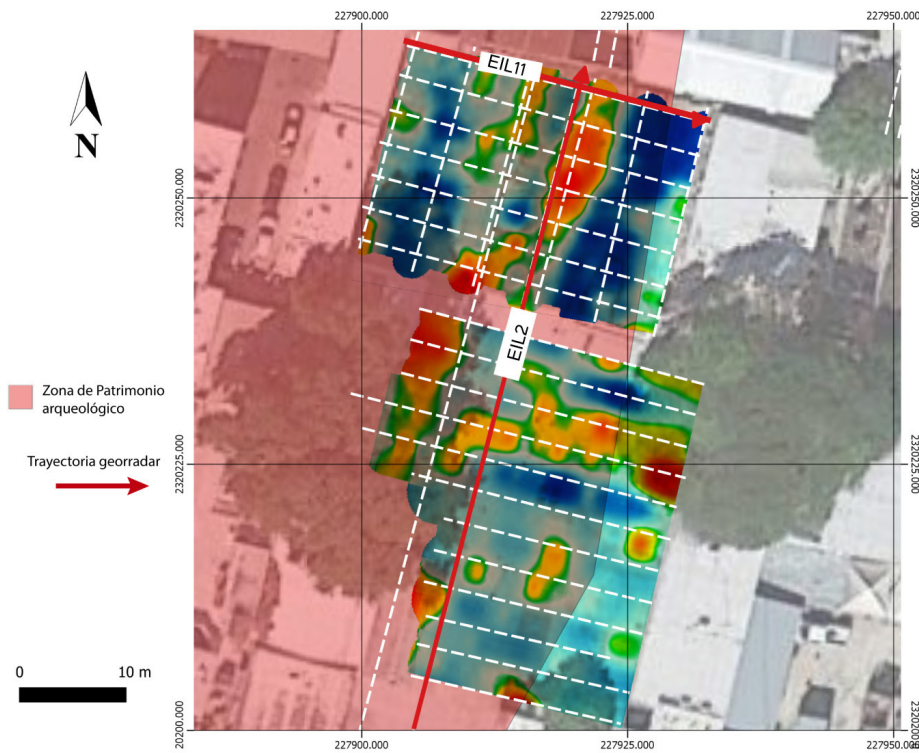
Figura 7 Corte de georradar a 2 metros de profundidad en la zona de El Kambul.

En la zona del Parque Santiago, la línea PSL3, muestra a lo largo de todo el radargrama y hasta 1 metro de profundidad una serie de capas que pueden corresponder con un antiguo camino Maya (*saché*) y los restos de posibles vestigios de una plataforma Maya que es cortada por la parte sur. Debajo de esta posible plataforma y camino, se registran reflexiones asociadas con carsticidad,

entre 2-3 metros de profundidad. La línea PSL4, levantada en la parte sur de la Iglesia de Santiago Apóstol, de oeste a este sobre la calle 59, registra anomalías importantes a lo largo de todo el recorrido, se exhibe una continua nivelación entre 0.6-0.8 metros de profundidad, probablemente asociada con el posible *saché*, y dos grupos de anomalías muy reflectivas de 30-45m de una



(a)



(b)

Figura 8 Líneas de verificación de georadar y cortes a 2 metros de profundidad en el interior de la Preparatoria número 5, zona El Imposible.

posible zona carstificada relativamente profunda y otra un poco más pequeña entre 103-112 metros del recorrido.

Al inicio de la línea PSL10, entre 1 y 12 m se registraron reflexiones de posibles restos culturales que llegan hasta los 2.5 metros de profundidad. Entre 13 y 63 m del recorrido se observa una clara nivelación de terreno a la misma profundidad que en la línea PSL4 asociadas con la continuación del sacbé. Por debajo de esta capa, entre 2 y 3 m de profundidad se registraron reflexiones posiblemente de zonas carstificadas.

En la zona de la Plaza Grande, sobre la calle 62, de sur a norte, entre la calle 61 y la 59, se hizo el estudio con georradar en la línea PGL15, registrándose en todo el radargrama dos contactos, el más superficial a 0.6 metros, y el más profundo entre 1.8-2 metros de profundidad, asociadas

con una posible nivelación prehispánica de la estructura ubicada al poniente (Figura 2).

La línea PG16 en la misma zona, se hizo una línea perpendicular a la calle 62, dentro de un estacionamiento. El radargrama muestra 4 grupos de anomalías importantes, la más superficial de 12 a 62 metros del recorrido es originada por una capa superficial a 0.6 metros de profundidad, que es la misma de la línea PGL15. Las anomalías registradas de 21-26 y 35-41 metros del recorrido llegan hasta 3 metros de profundidad, y la anomalía que va de 66-76 metros del recorrido está entre 2 y 4 metros de profundidad, es posible que las más superficiales sean parte del basamento arqueológico ubicado en la parte oriental (Figura 2), pero algunas pueden ser cavidades de origen natural, principalmente la más profunda que llega a los 4 metros.



Figura 9 Ubicación de los parques arqueológicos en la Ciudad de Mérida, Yucatán, Chen Hó (4), (Ligorred, J., 2019).

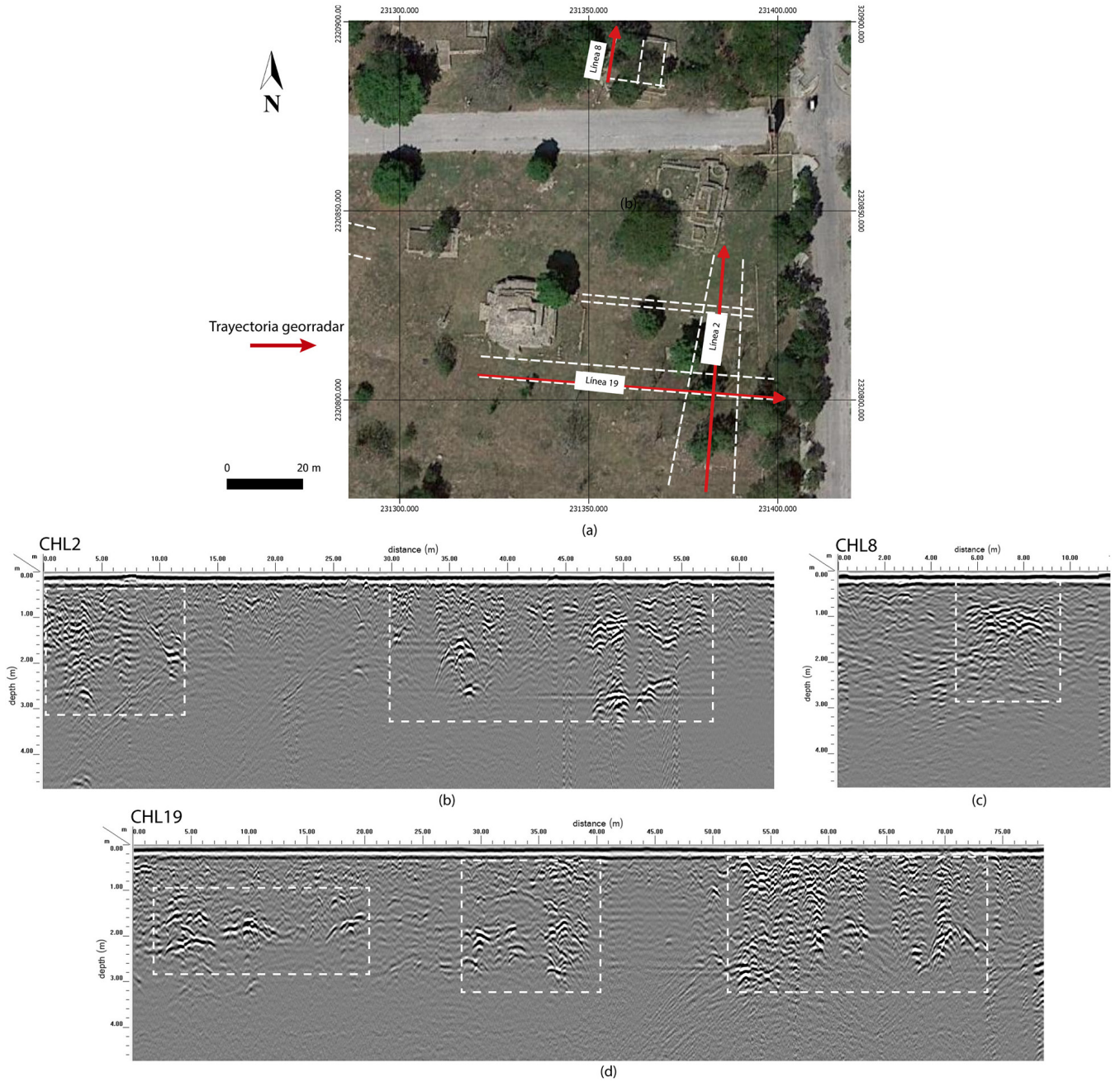


Figura 10 Verificaciones con georradar en un sector del parque arqueológico Chen'Ho.

Para la zona de Kambul, la línea KL1, sobre la calle 69, entre las calles 54 y 52, se registró el contacto horizontal de una posible nivelación a 1.8 metros de profundidad de 1-50 y de 70-114 metros del recorrido de la antena asociada posiblemente con los restos de una estructura Maya ubicada al norte. Hay otras anomalías a lo largo de toda la línea con reflexiones hiperbólicas características de posibles estructuras mayas, y en el caso de reflexiones múltiples, entre 2-3.5 metros de profundidad, están más asociadas con zonas carstificadas. Entre las dos nivelaciones, entre 60 y 65 m del recorrido y a 2 metros de profundidad se registró una reflexión hiperbólica y uniforme que podría ser el monumento escultórico buscado conocido como El Kambul.

Las líneas KL13 y KL5, sobre las calles 52 y 50A respectivamente, y perpendiculares a la calle 69, exhiben anomalías de reflexiones heterogéneas podrían ser originadas por la carsticidad de la roca madre, principalmente en KL5 donde pudiera estar asociada con una zona de cenote; mientras que en KL13 el radargrama muestra reflexiones de gran amplitud entre 1-3.5 metros de profundidad que es recomendable verificar para saber alguna de ellas es de origen cultural y está asociada con el monumento escultórico de El Kambul.

En tanto que, en la zona de El Imposible, los estudios geofísicos con georradar realizados en la Preparatoria 5, muestran anomalías importantes en los radargramas adquiridos. Hay grupos de reflexiones desde 0.5 a 3 metros de profundidad, posiblemente producidas por los cimientos y nivelaciones de esta la estructura. El radargrama de EIL11 y los cortes de profundidad a dos metros exhiben las reflexiones de una estructura Maya que se edificó en esta zona y que fue hasta el siglo XX cuando finalmente fue destruida, sin embargo, parte de sus cimientos aún se preservan según los datos geofísicos. Es necesario para los objetivos del proyecto verificar algunas de estas anomalías para comprobar las interpretaciones.

Por último, en el sitio arqueológico Chen Hó, ubicado en uno de los parques alrededor de la ciudad, se pudo observar que la línea de verificación

CHL2, cruza una estructura arqueológica de sur a norte, las anomalías en el inicio y al final de la estructura, es posible que se sean de origen natural, según reporta la carsticidad en la zona, mientras que, la anomalía ubicada casi al centro es muy probable que sea una subestructura o un elemento cultural.

La línea CHL8, levantada sobre una pequeña estructura arqueológica al norte, muestra reflexiones producidas por una alteración casi al centro del montículo, que se interpreta con base en otras similares en la zona como un altar, una cámara o con una excavación previa.

Comentarios finales

El georradar ha demostrado a lo largo de los últimos 20 años que es la técnica idónea para evaluar de forma rápida y no destructiva estructuras arqueológicas en zonas urbanizadas como la Ciudad de Mérida, Yucatán (Barba *et al.*, 2006).

En los estudios sobre pasillos, cuartos y espacios abiertos, así como en calles, parques, plazas y aún en el interior del Teatro Peón Contreras, se pudo recuperar información del subsuelo para analizar y comprobar las hipótesis planteadas como parte del proyecto “El patrimonio cultural-natural en las políticas y gestión del desarrollo urbano-territorial en ciudades mexicanas del siglo XXI” (Barba *et al.*, 2020).

Las anomalías incluidas en este artículo representan una pequeña muestra de las líneas que se levantaron en la Ciudad de Mérida. Las líneas seleccionadas, muestran características distintas de acuerdo con su origen natural o cultural, algunas son reflexiones horizontales de posibles superficies de preparación para levantar los basamentos prehispánicos, otras son posibles muros, murallas, caminos y demás estructuras arqueológicas, algunas podrán corresponder con infraestructura urbana, y las más profundas y heterogéneas es probable que sean originadas por la carsticidad en el subsuelo.

El estudio con georradar en la ciudad de Mérida pretende conjuntar toda la información procesada adquirida en las calles, plazas y sitios públicos que se complementará con la información topográfica y arqueológica para tener una interpretación integral de los resultados, comprobar las hipótesis planteadas y reconstruir el funcionamiento de la antigua ciudad Maya de T'Hó.

Contribución de los autores

Conceptualización: Blancas, J., Barba, L., Ligorred, J.; Análisis o adquisición de datos: Blancas, J., Bernal, I., Uriarte, N.; Desarrollo metodológico/técnico: Blancas, J., Barba, L., Ligorred, J.; Redacción del manuscrito original: Blancas, J., Barba, L., Ligorred, J.; Redacción del manuscrito corregido y editado: Blancas, J., Barba, L., Ligorred, J., Ortiz, A.; Diseño gráfico: Blancas, J., Bernal, I.; Trabajo de campo: Blancas, J., Bernal, I., Uriarte, N., Ligorred, J.; Interpretación: Blancas, J., Barba, L., Bernal, I., Ligorred, J.; Financiamiento: Ligorred, J., CONAHCYT.

Financiamiento

Proyecto “El patrimonio cultural-natural en las políticas y gestión del desarrollo urbano-territorial en ciudades mexicanas del siglo XXI”. Proyecto Ciencia de Frontera. CONAHCYT, 1312406.

Editor a cargo

Avto Goguitchaichvili.

Referencias

Abejz, L.J., Barba Pingarrón, L., Blancas Vázquez, J., Ortiz Butrón, A., 2015, La prospección arqueológica como herramienta en la gestión

del Patrimonio Urbano. El Caso del Parque Ecoarqueológico de Xoclán, Mérida, Yucatán: Revista de Investigaciones Arqueométricas, 1(1) 1-11.

Barba, L., Ligorred, J., Blancas, J., Ortiz, A., Che, I., Rosado, R., 2006, La geofísica y el patrimonio arqueológico bajo la ciudad de Mérida: resultados preliminares, en Paredes Guerrero, B. (ed.), Memoria II Anuario de Investigación Sobre Conservación, Historia y Crítica del Patrimonio Arquitectónico y Urbano: Mérida, Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Arquitectura, 161-164.

Barba L., Ortiz, A., Blancas, J., 2007, Prospección arqueológica con georradar en el Centro Histórico de la Ciudad de Mérida Yucatán: Revista Actualidades Arqueológicas, 7, 16-32.

Barba, L., Blancas, J., Ortiz, A., Ligorred, J., 2009, GPR Detection of Karst and Archaeological Targets Below the Historical Center of Merida, Yucatán, México: Studia UBB Geologia, 54(2), 27-31. <http://dx.doi.org/10.5038/1937-8602.54.2.6>

Barba, L., Ligorred, J., Blancas, J., Ortiz, A., 2020, Searching with georadar ancient T'hó, a Mayan city underneath the modern Merida, Yucatan: STAR: Science & Technology of Archaeological Research, 5(2), 247-256. <https://doi.org/10.1080/20548923.2020.1760489>

Blancas, J., 2000, Principios y Aplicaciones del Método de Radar de Penetración Terrestre (GPR): México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, tesis de licenciatura, 199 p.

Blancas, J., 2012, Percepción remota y técnicas geofísicas de prospección para el estudio de un asentamiento del Formativo en La Laguna Tlaxcala: México. Universidad Nacional Autónoma de México, Posgrado en Ciencias de la Tierra, tesis de maestría, 240 p.

Carrillo, R. 1991. Plano Fotogramétrico de Mérida, Yucatán. 109 Planos a escala 1:2000. Elaborado por la compañía Ingeniería Técnica de Estudios y Proyectos

- SA de CV (ITEPSA) para la Subdirección de Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial de la Gerencia Regional de la Comisión Nacional del Agua.
- Garza, S., Kurjack, E., 1980, Atlas arqueológico del estado de Yucatán: México, SEP, Instituto Nacional de Antropología e Historia, 249 p.
- Ligorred Perramon, J., 1998, T'Hó, la Mérida ancestral: Mérida, Ayuntamiento de Mérida, Dirección de Desarrollo Urbano.
- Ligorred Perramon, J., 1999, T'Hó en el Centro Histórico de Mérida. Ichcanzihó: Mérida, Ayuntamiento de Mérida, Dirección de Desarrollo Urbano, 1 p.
- Ligorred Perramon, J., 2009, La gestión municipal del patrimonio arqueológico en Mérida, Yucatán, México: Mérida, Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Ciencias Antropológicas, tesis de maestría.
- Ligorred Perramon, J., 2019, "X-plorar" el patrimonio arqueológico del centro histórico de Mérida. De la ancestral T'Hó (Jo') a la ciudad del siglo XXI: Revista de la Universidad Autónoma de Yucatán, 275, 4-29.
- Ligorred, J., Barba, L., 2009, Reencuentro con la Mérida ancestral: Arqueología Mexicana, 17(99), 64-69.
- Lindsay, M., 2000. El antiguo San Benito ¿El trono del jaguar?: Ichcanzihó Los nacidos de la serpiente, 6, 10-11.
- Tommasi, L., 1951, La ciudad de ayer, de hoy y de mañana: México, Editorial Cultura, 338 p.
- Audemard, F.A., y Castilla, R., 2016, Present-day stress tensors along the southern Caribbean plate boundary zone from inversion of focal mechanism solutions: a successful trial. *J. S. Am. Earth Sci.* 71, 309-319.
- Audemard, F. A., De Santis, F., Singer, A. & Ramos, C., 1995, El Sistema de Fallas de La Victoria, Venezuela Norcentral: Trazas Activas, Complejidades Estructurales, Cinemática y Sismicidad Asociada. En IX Congreso Latinoamericano de Geología. (Diskette).
- Audemard, F. A., Machette, M., Cox, J., Hart, R. y Haller, K., 2000, Map of Quaternary Faults of Venezuela. Scale 1:2,000,000. Acompañado por noticia explicativa: Map and Database of Quaternary Faults in Venezuela and Offshore regions (USGS Open-File Report 00-18, 78 p). *A project of the International Lithosphere Program Task Group II-2: Major active Faults of the World* (Regional Coord.: Carlos Costa, Univ. San Luis-Argentina, ILP II-2 co-chairman Western Hemisphere: Michael Machette, USGS-Colorado).
- Audemard, F.E., y Audemard, F.A., 2002, Structure of the Mérida Andes, Venezuela: relations with the south America-caribbean geodynamic interaction. *Tectonophysics* 345, 299-327.
- Wall, G. P., 1860b, On the geology of a part of Venezuela and of Trinidad. *Quarterly Journal of the Geological Society London* 16, 460-470.
- Weber, J., y Dixon, T., 2001, GPS estimate of relative motion between the Caribbean and South American plates, and geologic implications for Trinidad and Venezuela. *Geology* 29, 75-78.
- Weber, J. C., Geirsson, H., Latchman, J. L., Shaw, K., La Femina, P., Wdowinski, S., Norabuena, E., 2015, Tectonic inversion in the Caribbean-South American plate boundary: GPS geodesy, seismology, and tectonics of the Mw 6.7 22 April 1997 Tobago earthquake. *Tectonics*, 34(6), 1181-1194.
- Ysaccis, R., Cabrera, E. y Del Castillo, H., 2000, El sistema petrolífero de la Blanquilla, costa afuera Venezuela. en VII Congreso Bolivariano Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas, Caracas, 411-425.