

Pedro Antonio López García
Escuela Nacional de Antropología
e Historia, INAH

Denisse Lorenia Argote Espino
Dirección de Estudios Arqueológicos, INAH

Andrés Tejero Andrade
Facultad de Ingeniería, UNAM

**Óscar Guillermo
Huacuja Montiel**
Museo Comunitario de Altzayanca, Tlaxcala

Prospección eléctrica aplicada al estudio de un sitio arqueológico al noreste de Tlaxcala

Resumen: El sitio de Los Teteles de Ocotitla se ubica en una zona de labriego hacia la porción central de la sierra de Ocotitla, aproximadamente a 14 km al noreste de Huamantla, Tlaxcala. El sitio presenta varias terrazas artificiales con evidencia de ocupación humana, probablemente contemporánea al periodo teotihuacano del Clásico temprano. El objetivo de este trabajo fue determinar la distribución espacial de estructuras arqueológicas no visibles en superficie en tres de las terrazas superiores, así como determinar zonas potenciales para realizar excavaciones arqueológicas. Se analizó por el método de tomografía de resistividad eléctrica en 2D y 3D, con lo que se detectaron cuatro zonas de interés así como sus respectivas profundidades. Este método geofísico no destructivo es procedimiento rápido, autosuficiente, útil para delimitar la ubicación y la forma de las anomalías detectadas desde la superficie del suelo. Los trabajos de excavación arqueológica comprobaron la existencia de plataformas, muros y otros elementos prehispánicos, con lo que se demostró la eficiencia del método geofísico en la localización de estructuras arquitectónicas enterradas.
Palabras clave: prospección geofísica, tomografía eléctrica, excavación arqueológica, Los Teteles de Ocotitla.

Abstract: The archaeological site of Los Teteles de Ocotitla is in a modern agricultural area in the central Sierra of Ocotitla, approximately 14 km northeast of Huamantla, Tlaxcala. This site has several artificial terraces with evidence of human occupation, probably contemporary to Early Classic Teotihuacan. The objective of this work was to determine the spatial distribution of non-visible archaeological structures on three of the upper terraces of the site, as well as to determine potential areas to conduct archaeological excavations. For this reason, a geophysical study was implemented using 2D and 3D Electrical Resistivity Tomography, with which four zones of interest were detected as well as their respective depths. This non-destructive geophysical method is a rapid, self-sufficient procedure, useful in delimiting the location and shape of anomalies detected from the ground surface. The archaeological excavations confirmed the existence of platforms, walls, and other pre-Hispanic elements, which proved the efficiency of the geophysical method in locating buried architectural structures.

Keywords: geophysical prospection, electrical tomography, archaeological excavations, Los Teteles de Ocotitla.

Esta investigación busca contribuir al entendimiento del desarrollo cultural de la región noreste del estado de Tlaxcala. De esta manera, se propuso realizar una serie de estudios integrales que aportaran información para interpretar los patrones arqueológicos observados. Como un acercamiento al objeto de estudio, se propuso la aplicación de técnicas de prospección geofísica como un medio de localización eficiente, no invasivo ni destructivo, de estructuras arqueológicas ubicadas bajo la superficie de algunas áreas del sitio arqueológico de Los Teteles de Ocotitla.

Los métodos tradicionales utilizados en arqueología no permiten obtener información sobre el subsuelo sin excavar, por lo que la aplicación de técnicas geofísicas ha resultado ser una herramienta de investigación confiable, antes y durante la excavación. La prospección geofísica permite determinar los parámetros físicos del subsuelo en estudios de reconocimiento a gran escala. En casos específicos, puede

proporcionar información útil sobre la profundidad de las estructuras en el subsuelo y detectar el tipo y geometría de las mismas (Argote-Espino *et al.*, 2009). Una de las técnicas geofísicas más aplicadas actualmente es la tomografía de resistividad eléctrica (TRE), la cual mide la resistencia eléctrica específica de los materiales presentes en el subsuelo tanto vertical como horizontalmente. El método de tomografía eléctrica es adecuado en la detección de cavidades, muros, cimientos y otras estructuras tanto artificiales como naturales a diferentes profundidades (Argote-Espino *et al.*, 2013; Cardarelli *et al.*, 2008; Rucker *et al.*, 2009). El uso de la resistividad en la identificación de estructuras es sin duda una herramienta esencial en el estudio arqueológico.

En este trabajo se presentan los resultados de la investigación geoelectrica realizada en tres terrazas del sitio arqueológico de Los Teteles de Ocotitla, aproximadamente a 14 km al noreste de la ciudad de Huamantla, estado de Tlaxcala, durante los trabajos

de campo realizados en 2014 y 2015, cuyo objetivo fue explorar la extensión de algunas terrazas a diferentes niveles topográficos con la intención de detectar estructuras bajo la superficie y determinar si correspondían a elementos arqueológicos.

Antecedentes

El sitio de Los Teteles de Ocotitla se ubica en una zona de labriego sobre la ladera norte de una cañada por donde fluye el río La Caldera, en la porción central de la sierra de Ocotitla, al noreste del volcán de La Malinche, estado de Tlaxcala (figura 1). El sitio, en su mayoría, se compone de varias terrazas artificiales con evidencia de ocupación humana, probablemente contemporánea al periodo teotihuacano del Clásico temprano. De acuerdo con García Cook (1976), en épocas prehispánicas la sierra dentro de la que está el sitio constituía un paso obligado entre la cuenca de México y la zona del golfo de México, por lo que poseía gran importancia como centro regulador del tránsito comercial y cultural. Su posición geográfica con respecto a otros sitios arqueológicos importantes registrados en el estado de Tlaxcala se puede apreciar en

la misma figura 1; sin embargo, se desconoce hasta el momento la relación que estos pudieron tener con Los Teteles en épocas prehispánicas. García Cook consideraba que la función del sitio era controlar el paso por el supuesto corredor, sin esclarecer si era un asentamiento subordinado o un asentamiento autónomo que mantenía algún tipo de interacción económica, política o cultural con algún otro centro rector.

Se tomó particular interés en el sitio debido a que es una de las pocas zonas arqueológicas en la región que se encuentra en relativo buen estado de conservación. Además, en 1974, el arqueólogo Ángel García Cook realizó el hallazgo de una tumba (figura 2). Durante los trabajos realizados, recuperaron un total de 7 entierros primarios y 7 secundarios, con ofrendas de filiación teotihuacana asociadas a los mismos (Vega Sosa, 1997). La tumba tenía una forma rectangular con base y tapa, todo construido con lajas trabajadas de roca basáltica-andesítica, propia de la región. Las dimensiones del interior de la tumba eran de 2.10 m en su longitud mayor por 1.45 m de ancho máximo y 1.50 m de altura media, y estaba enterrada entre 1 m y 50 cm de profundidad, según la posición en la pendiente de la terraza (García Cook *et al.*, 1976).

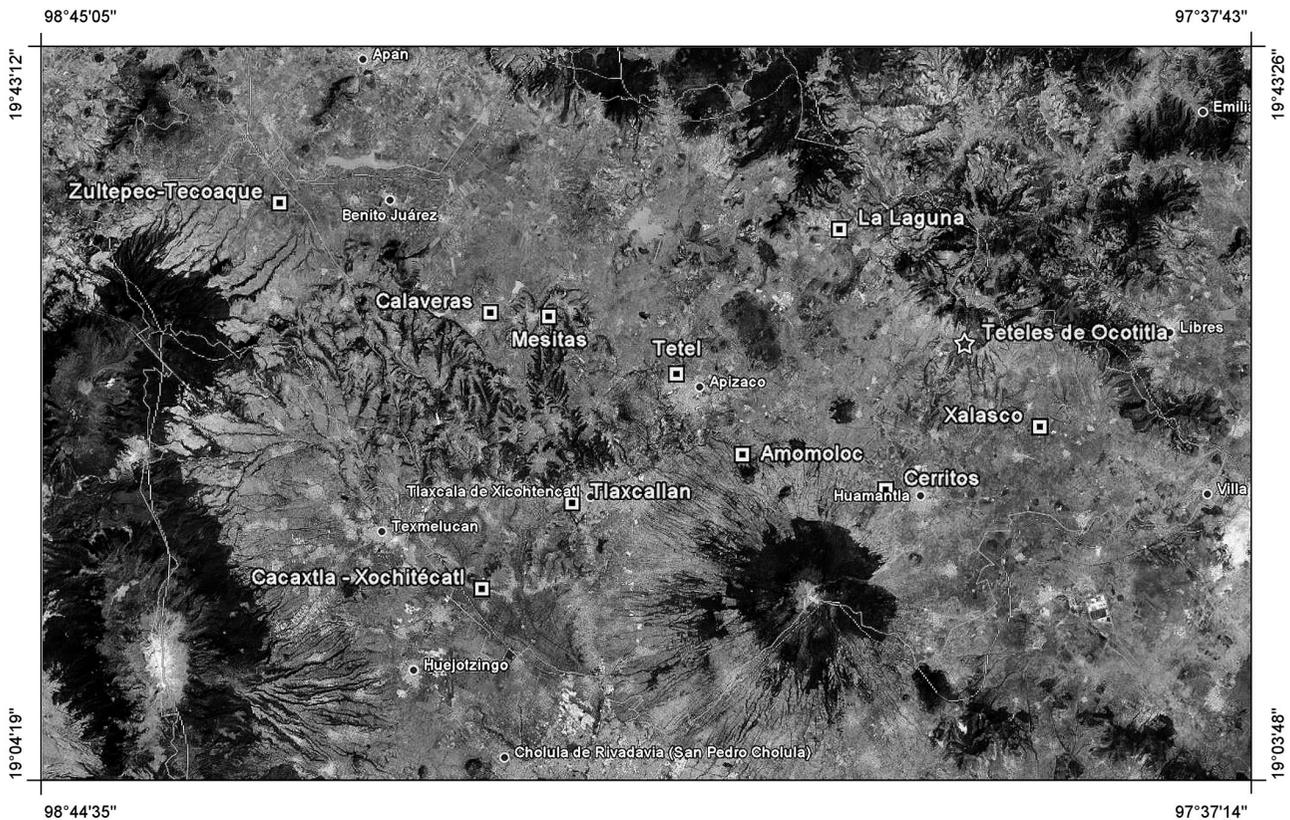


Fig. 1 Localización del área de estudio. También se pueden apreciar diversos sitios arqueológicos registrados para el estado de Tlaxcala. Fuente: imagen de satélite obtenida de Google Earth (© 2015, Google Inc.).

En total registraron 320 objetos en el interior de la tumba: 61 vasijas diversas, dos vasijas zoomorfas, así como 257 objetos distintos y otros materiales no cerámicos. La cronología asignada a esos materiales es de entre el año 50 y 200 d.C. (Peña Gómez, 1997), lo que la colocaría dentro de las fases culturales Tezoquipan tardío y Tenanyecac temprano, fases locales de la secuencia cultural establecida por García Cook (1976) que datan de entre los años 200 a.C. a 200 d.C., y que son contemporáneas a Teotihuacan I y II (Patlachique, Tzacualli y Miccaotli). La cerámica hallada tanto dentro como fuera de esa tumba corresponde a algunos tipos cerámicos importados de Teotihuacan, otras formas que son imitaciones de la teotihuacanas, además de algunos tipos del golfo de México y de Cholula.

En recorridos realizados actualmente por nuestro equipo en el sitio se han apreciado estructuras piramidales con dimensiones variables, montículos que miden desde un metro hasta ocho o diez metros de altura. Un poco más al norte del área central del sitio, cruzando el río La Caldera, que cuyo caudal corre todo el año, se encuentra otro conjunto de terrazas con una gran cantidad de materiales de tipo cerámico y lítico. Con el transcurso de los años, este lugar ha sufrido varios incendios y ha estado expuesto a un fuerte grado de erosión, sin olvidar mencionar que varias estructuras fueron arrasadas por la construcción de un camino de terrecería que rebanó literalmente varias estructuras de las cuales hoy en día sólo se pueden apreciar los cimientos en los cortes. El saqueo también ha estado presente ya que los pobladores han excavado con frecuencia, dejando a la vista pisos de estuco color café-rojizo, así como de arcilla cocida. Por ello se volvió a estudiar este sitio utilizando

do técnicas de alta tecnología que permitieran rescatar el máximo de información de una forma rápida y eficiente. El objetivo fue aportar y ampliar, en la medida de lo posible, los datos específicos del sitio, sobre todo en lo relativo a sistemas constructivos, el tipo de rasgos arquitectónicos, así como estudios cronológicos, ya que no se cuenta con mucha información al respecto. Así, la aplicación de métodos geofísicos ha permitido ampliar la visión sobre este sitio y ha probado ser de utilidad para la planeación de estrategias de excavación en las diversas etapas de la investigación. Aunque ya se han realizado varias prospecciones geofísicas previas en el sitio (Argote-Espino *et al.*, 2009; López García, 2007; López García *et al.*, 2008; López García *et al.*, 2012; López-García *et al.*, 2014), en este trabajo sólo se presentan los resultados obtenidos del estudio de tres terrazas mediante el método de tomografía eléctrica y su comprobación a través de excavaciones arqueológicas.

Metodología empleada

El sitio arqueológico de Los Teteles de Ocotitla posee características que lo definen como un importante asentamiento prehispánico. Las estructuras visibles se encuentran dispersas en una gran extensión de terreno y el tipo de arquitectura se puede considerar monumental (montículos con alturas de 2 a 8 m y distribuidos en forma de plazas). Desafortunadamente, no se tiene un conocimiento preciso de la disposición de la mayoría de los elementos arquitectónicos prehispánicos debido a las transformaciones que han sufrido a lo largo de los últimos siglos por la acción del hombre moderno. En esta investigación se buscaba dar respuesta a una pregunta principal: ¿cuál es la

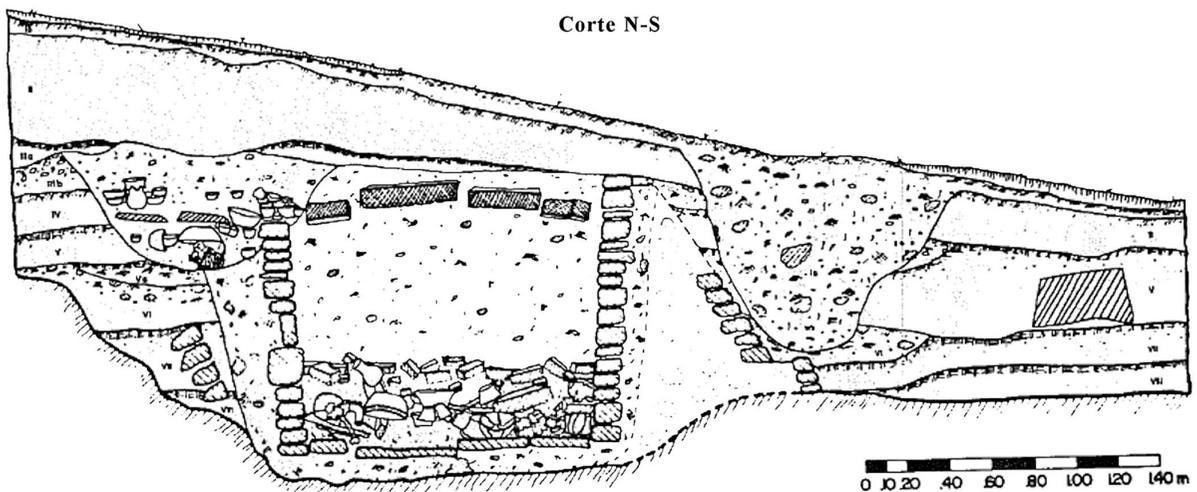


Fig. 2 Dibujo en perfil de la tumba excavada por García Cook y su equipo en 1974. Fuente: modificado del original en García Cook (1976).

ubicación y distribución espacial de las estructuras de interés arqueológico? Para dar respuesta a ello, se diseñó un levantamiento geofísico por medio de la técnica de tomografía de resistividad eléctrica en tres de las terrazas superiores del sitio, que corresponden a zonas en donde se llegan a plantar algunos árboles de durazno y, en ocasiones, se siembra maíz y frijol.

Los métodos geofísicos resultan ser eficientes y rápidos en la prospección de un sitio; por otro lado, se puede inferir la complejidad interna de los rasgos enterrados en un sitio arqueológico. Por lo tanto, resulta conveniente su aplicación con el fin de poder programar los trabajos de excavación con base en la construcción de mapas y modelos 3D de anomalías individuales, tanto de las áreas previamente estudiadas como de las no exploradas. Esto con el fin de tener una expectativa más certera de lo que se puede encontrar y a qué profundidades, aumentando la probabilidad de éxito en la selección de las estrategias del trabajo arqueológico. La continuidad de este trabajo ha permitido, además, corroborar que los métodos geofísicos con un procesamiento adecuado de los datos pueden llegar a tener una probabilidad de éxito del 100% en la localización de estructuras bajo la superficie. El método aplicado durante esta etapa de la investigación fue el de tomografía de resistividad eléctrica en tres dimensiones (TRE-3D), el cual ha sido exitosamente desarrollado durante las últimas tres décadas para la investigación de áreas con materiales de propiedades eléctricas contrastantes; además, es pertinente la corroboración de los resultados *in situ* mediante excavaciones arqueológicas con el fin de comprobar y precisar los límites de las estructuras que producen las imágenes, los postulados derivados de su interpretación y las conclusiones obtenidas a través de ellas. El método de TRE, por su diseño tanto teórico como en campo, define una serie de valores a profundidad en términos de la resistividad del medio. Las imágenes producidas son construidas sistemáticamente al medir la resistencia de los materiales al paso de la corriente eléctrica, tanto a profundidad como lateralmente, haciendo visible el escenario (artificial o natural) encerrado en el subsuelo de un sitio.

La distribución de la resistividad eléctrica del subsuelo se obtiene mediante la inyección de una corriente eléctrica en la tierra y la medición de la diferencia de potencial en dos puntos determinados de la superficie. La idoneidad del método reside en el hecho de que las estructuras enterradas pueden ser detectadas como anomalías o contrastes de las propiedades eléctricas del medio. Se sabe que las variaciones de resistividad se correlacionan bien con la naturaleza litológica de los materiales de la tierra, lo que proporciona información importante con el fin

de localizar restos arqueológicos. El método se basa en la aplicación de la ley de Ohm:

$$\rho_a = k (V / I)$$

En la ecuación, ρ_a es la resistividad aparente; k es un factor geométrico que depende únicamente de las posiciones recíprocas de los electrodos; V es la medida de diferencia del potencial, e I es la intensidad de la corriente inyectada (Parasnis, 1997). La resistividad aparente es graficada en varios puntos a profundidad en función de la configuración eléctrica empleada (Edwards, 1977), donde X, Y y Z determinan las coordenadas de cada punto de observación. Las coordenadas XY muestran la localización de los puntos en superficie y Z representa la profundidad teórica de investigación (Barker, 1989). La determinación de los puntos de atribución permiten estimar la profundidad teórica máxima de investigación que se puede tener para un cierto arreglo de electrodos empleado (Edwards, 1977).

La distribución de la resistividad verdadera en el medio investigado puede ser estimada por un procedimiento de inversión sobre la base de la minimización de una función adecuada. Esta función es, en general, la suma de la diferencia al cuadrado entre las resistividades aparentes medidas y las calculadas (Tejero-Andrade *et al.*, 2015). El medio investigado se discretiza en una rejilla de células 2D (o 3D), donde a cada celda se le asigna un valor inicial de la resistividad. El método de solución minimiza la diferencia entre resistividades medidas y calculadas mediante la formulación de una inversión suavizada con restricciones, circunscribiendo el cambio en los valores de resistividad en el modelo invertido (Silvester y Ferrari, 1996). La solución al problema, como es bien sabido, no es única. Para el mismo conjunto de datos de medida, hay una amplia gama de modelos que puede dar lugar a los mismos valores de resistividad calculados (Loke y Barker, 1996).

Para el caso específico de la aplicación del método de TRE en el área de estudio, se seleccionó un modelo multicanal con lectura simultánea cruzada a lo largo de dos perfiles conectados entre sí por un sistema de cableado. Los arreglos electrónicos utilizados para la exploración de las zonas fueron Wenner-Schlumberger (W-S), Dipolo-Dipolo ecuatorial (DDEQ) y Mínimo Acoplamiento (MA), teniendo en cuenta la longitud y anchura de cada una de las terrazas. Estos arreglos fueron elegidos por su alta sensibilidad a los cambios horizontales en la resistividad y porque presentan una relación señal/ruido alta (Loke, 2004). El equipo utilizado fue un SyscalPro48, con caja de *switch* que permite el uso de 48 electrodos adicionales, manufacturado por IRIS Instruments (Orleane, Francia).

El sistema está diseñado para realizar automáticamente conjuntos predefinidos de mediciones de resistividad con capacidad de despliegue a lo largo. Se emplearon electrodos de cobre de 2 cm de diámetro hidratados con una solución de sulfato de cobre (CuSO_4) con el fin de conducir mejor la electricidad en el medio. Este equipo funciona con una batería externa de 12 V y utiliza cables multicore para el control de electrodos conectados en una o varias líneas.

El programa utilizado para el procesamiento numérico de los datos fue EarthImager 3D (©1999, Advanced Geosciences Inc.), el cual está diseñado para invertir los datos recogidos con una rejilla rectangular de electrodos. El programa utiliza la técnica de mínimos cuadrados con inversión suavizada con restricciones para producir un modelo 3D del subsuelo a partir de los datos de resistividad aparente. Es completamente automático y el usuario no tiene que suministrar un modelo de inicio. Es compatible con cálculos paralelos, lo que reduce significativamente el tiempo de inversión. Las diferencias del voltaje registradas fueron procesadas con filtros de promedios móviles ponderados (1/4, 2/4, 1/4), los cuales fueron aplicados para cada nivel. Este procedimiento fue capaz de reducir el ruido en los perfiles, obteniendo un nivel de ruido promedio menor al 7% en el área de estudio. Los datos eléctricos procesados numéricamente se visualizaron en un espacio tridimensional mediante el uso de isosuperficies de resistividad.

Las áreas de excavación realizadas en las terrazas 1 y 3 fueron determinadas de acuerdo con los resultados obtenidos en la prospección geofísica, realizando cuatro unidades de excavación en las áreas definidas por las anomalías eléctricas principales. Se excavaron cuadrículas iniciales de $2 \times 2 \text{ m}^2$, ampliándose en función de los hallazgos registrados con el fin de identificar los elementos arqueológicos correspondientes a las anomalías registradas, así como de recuperar los materiales arqueológicos resultantes. Los ejes de los cuadrantes de la retícula se orientaron con respecto al norte magnético (eje Y) y al este (eje X).

Resultados

Como se mencionó arriba, algunas terrazas que conforman este sitio ya habían sido previamente investigadas. En esta ocasión se seleccionaron las marcadas en la figura 3 debido a que representaban espacios en donde no se había prospectado por medios eléctricos con anterioridad. A continuación se describen los resultados obtenidos en cada una de las terrazas.

Terraza I

En la terraza 1 se realizaron tres perfiles paralelos de 62 m de longitud, corriendo de suroeste a noreste, con una separación entre perfiles de 8 m, cubriendo un área total de $62 \times 16 \text{ m}^2$. Las coordenadas ex-



Fig. 3 Terrazas prospectadas con el método de tomografía eléctrica. Las líneas blancas marcan la posición de las líneas eléctricas levantadas. Las flechas blancas marcan el sentido en el que se levantaron los datos eléctricos. Fuente: modificado a partir de imagen de satélite obtenida de Google Earth (© 2015 Google Inc.).

tremas UTM (datum WGS84) del cuadrante de estudio fueron las siguientes: 14 617379 mE, 2151630 mN (esquina SW); 14 617435 mE, 2151645 mN (esquina SE); 14 617376 mE, 2151639 mN (esquina NW); 14 617435 mE, 2151653 mN (esquina NE). Para cada línea se utilizaron 32 electrodos con una separación entre electrodos de 2 m, permitiendo una mejor resolución en la detección de elementos arqueológicos como muros, pisos y tumbas. Para el diseño de la retícula de estudio, Aizebeokhai *et al.* (2009) recomiendan una separación máxima entre perfiles de $4a$, siendo a la separación entre electrodos. Seguir tal regla asegura una adecuada calidad y resolución a la imagen de resistividad del subsuelo. En este caso, la separación entre electrodos fue de 2 m y entre perfiles de 8 m, por lo que se cumplió con la regla. La profundidad de investigación alcanzada fue de 6.7 m.

En la figura 4 se muestra el contorno 3D en isosuperficies de las anomalías eléctricas más representativas. De particular interés en la terraza 1 son dos anomalías con valores de resistividad de $\sim 200\text{-}280 \Omega\text{m}$ en las zonas oeste (a la izquierda de la figura) y central del bloque, cuyo techo se encuentra cercano a la superficie, las cuales podrían corresponder con estructuras arqueológicas construidas con material andesítico y rellenas con un material menos consolidado (sedimentos depositados). Cabe mencionar que la roca andesítica, propia de la región, era comúnmente utilizada en la zona como material constructivo.

La anomalía 1, a la izquierda del bloque, posee una forma geométrica aproximadamente rectangular y un tamaño de alrededor de 6 m de largo por 6 m de ancho por 2 m de alto. La estructura fuente de la anomalía 2 (centro de la figura) podría poseer unas dimensiones aproximadas de 8 m de largo por 8 m de ancho. Estas dos anomalías fueron las seleccionadas en esta terraza para realizar excavaciones arqueológicas. Otros elementos observables en la porción oriental del bloque (a la derecha de la figura) son dos series de pequeñas anomalías con altas resistividades ($\sim 280\text{-}350 \Omega\text{m}$) alineadas con orientación E-O, formando lo que podría suponerse como muros de aproximadamente 20 m de longitud.

Una vez determinadas las zonas de excavación, se planeó la estrategia para la comprobación de los resultados. Durante la excavación de la anomalía 1, a una profundidad aproximada de 20 cm comenzó a aparecer una gran cantidad de rocas sueltas que no correspondían a una estructura sino a derrumbes, por lo que se despejó el área y se continuó bajando. A una profundidad de 40 cm se logró localizar un alineamiento de piedras que correspondía a un muro de contención que corría en dirección aproximada N-S, con una desviación de 26° hacia el noroeste (figura 5).

Como siguiente paso, se decidió extender la excavación con la finalidad de poder determinar la extensión del muro y su profundidad. El desplante del muro se pudo comprobar a los 78 cm de profundidad desde

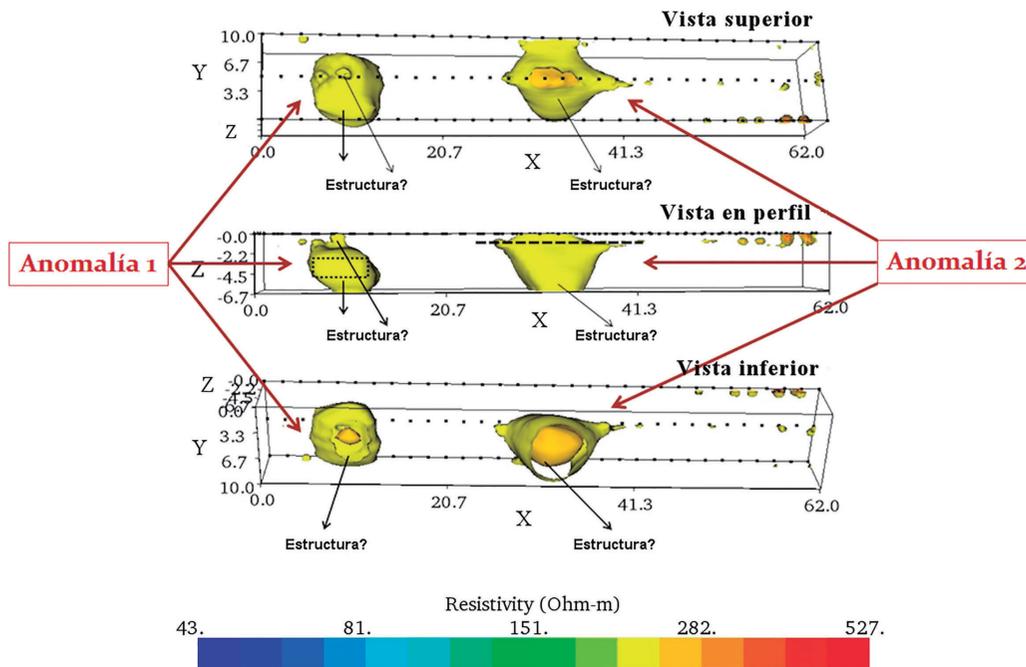


Fig. 4 Modelo 3D de resistividad presentado en isosuperficies de la terraza 1. Fuente: imágenes obtenidas con EarthImager 3D (©1999, Advanced Geosciences Inc.).

la superficie; su extensión no se pudo determinar con exactitud ya que continuaba tanto hacia el límite sur como norte de la terraza. Dicho muro se encontraba emplazado cercano del límite oeste de la terraza, dentro de una zona de plaza (rodeada por tres montículos de 3-6 m de altura), por lo que se considera que corresponde al límite de una plataforma que fue construida para dar acceso hacia el centro de la plaza.

Al excavar el área definida por la anomalía 2, en el estrato más superficial se registró una gran cantidad de piedras careadas dispuestas de forma irregular en el terreno, probablemente producto del derrumbe de alguna estructura previa. Aproximadamente a 40 cm bajo la superficie se detectó un alineamiento de piedra (figura 6) con una orientación similar al muro de la excavación de la anomalía 1 (26° al NO), el cual continuaba hasta el límite sur de la terraza. El muro presentaba un recubrimiento de arena adosada a su

cara exterior. La excavación del pozo alcanzó 1.85 m de profundidad, sin lograrse registrar el desplante del muro. Se considera que este muro formó parte de una plataforma secundaria colocada por encima de la localizada en la excavación de la anomalía 1, como una plataforma compuesta por dos cuerpos escalonados, parte del complejo de la plaza prehispánica. Sobre esta plataforma se detectó un muro de probable geometría circular que pudo ser parte de un altar emplazado al centro sur de la terraza.

Terraza II

Esta terraza corresponde a la trabajada por el arqueólogo Ángel García Cook en 1974, misma en la que excavó una trinchera de 70 m a lo largo de toda la terraza con el fin de encontrar vestigios arqueológicos relevantes. Es aquí donde realiza el hallazgo de la



Fig. 5 Restos de una plataforma localizados en la posición de la anomalía 1 de la terraza 1. La retícula está dividida en unidades de 2x2 m².



Fig. 6 Muro de contención de una plataforma registrado durante la excavación de la anomalía 2. Del lado derecho y por encima de la plataforma se registró un muro que probablemente correspondía a un altar.

tumba mencionada en páginas anteriores. Se estudió esta terraza debido a que se pensaba que algunas porciones —no excavadas previamente— pudieran contener alguna otra tumba o estructura de interés. En esta estrecha terraza se instaló un sólo perfil de 95 m de longitud, que corre de oeste a este a lo largo de la misma, con 1 m de separación entre electrodos (figura 7). Las coordenadas UTM de inicio (14 617451 mE, 2151693 mN) y fin (14 617556 mE, 2151688 mN) del perfil fueron obtenidas mediante un GPS portátil marca Garmin. Para este perfil sólo se utilizó el arreglo Wenner-Schulmberger. La profundidad de investigación alcanzada fue de 6.4 m.

Tomando en cuenta los planos de la excavación realizada por el arqueólogo García Cook (figura 8), el perfil parece estar detectando parte de la trinchera y la ampliación de los pozos 1 y 2 excavados por García Cook y su equipo. La anomalía de bajas resistividades ($\sim 10\text{-}30 \Omega\text{m}$) del lado derecho de la figura 8, que muestra una superficie superior plana horizontal,

marcaría el piso de la excavación del pozo donde se realizó el hallazgo de la tumba (aproximadamente a 2-2.5 m de profundidad). Por lo tanto, no se consideró como elemento relevante para la planeación de excavaciones en esta terraza.

Terraza III

En la terraza III se realizaron dos perfiles paralelos de 50 m de longitud en una dirección aproximada oeste a este, con una separación entre perfiles de 7 m. El cuadrante de estudio estaba delimitado por las siguientes coordenadas UTM (WGS84): 14 617500 mE, 2151672 mN (esquina SW); 14 617552 mE, 2151670 mN (esquina SE); 14 617502 mE, 2151680 mN (esquina NW); 14 617555 mE, 2151678 mN (esquina NE). La separación entre electrodos fue de 2 m con el fin de poder detectar objetivos de alrededor de 1 m de tamaño. La profundidad de investigación alcanzada fue de 10 m.

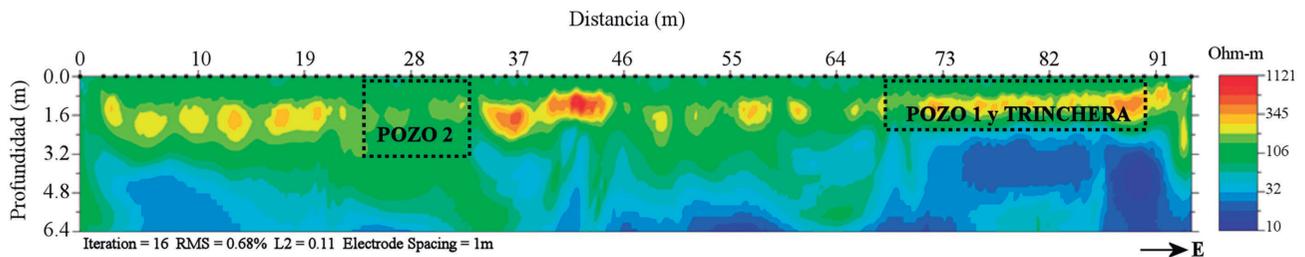


Fig. 7 Perfil eléctrico de la terraza II. Las zonas enmarcadas en líneas punteadas delimitan las áreas de excavación del arqueólogo Ángel García Cook en 1974.

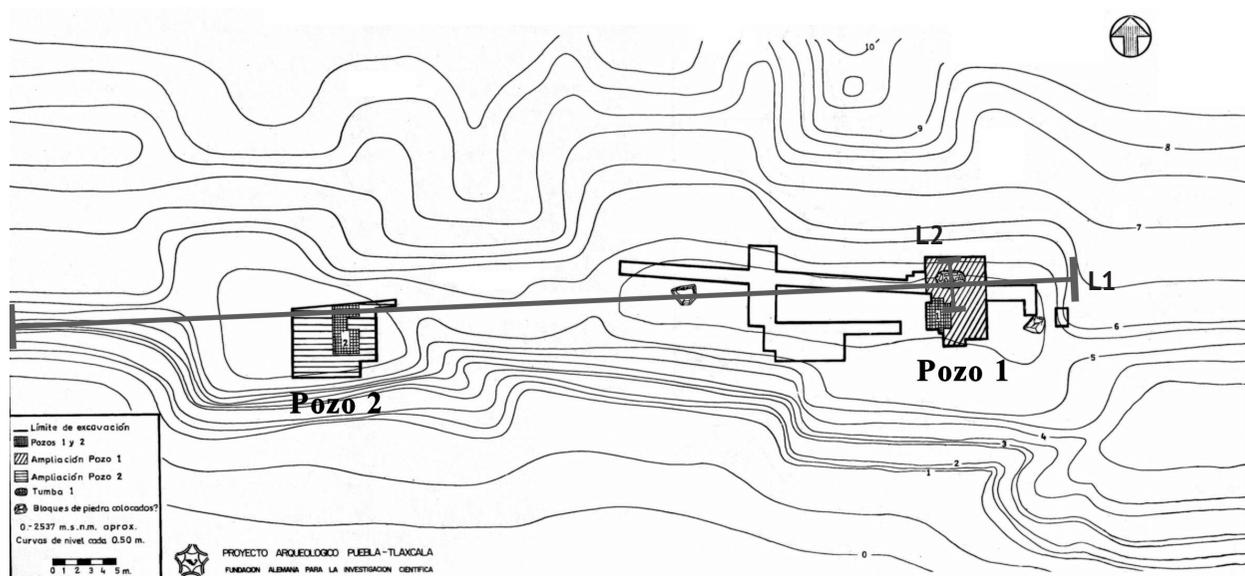


Fig. 8 Plano de la excavación realizada por Ángel García Cook en 1974 sobre una de las terrazas superiores del sitio. La línea L2 marca la posición del corte dibujado en la figura 2. L1 demarca el transecto del perfil eléctrico de 95 m de largo, levantado en esta investigación. Fuente: modificado del plano original en García Cook (1976).

En la figura 9 se aislaron en forma de isosuperficies las anomalías más relevantes. Algunas zonas anómalas graficadas en tonos rojos (valores de ~200-300 Ωm) asumieron una forma regular y, por lo tanto, podían estar relacionadas con estructuras arqueológicas. En esta figura se pueden evidenciar dos anomalías principales, cuyo techo en ambos casos se localiza prácticamente en la superficie. La anomalía mayor (anomalía 4), localizada a la izquierda de la figura, tiene unas dimensiones de aproximadamente 18 m de largo por 6 m en su parte más ancha y su base se localiza cerca de los 3 m de profundidad. La anomalía menor (anomalía 3), a la derecha de la figura, muestra unas dimensiones aproximadas de 3×3 m² y una profundidad máxima de 1 m. Ambas anomalías señalaban zonas potenciales de excavación arqueológica.

Durante la excavación de la anomalía 4 (figura 10), casi al nivel de la superficie, se registraron grandes cantidades de rocas andesíticas trabajadas de diferentes tamaños, sueltas y acomodadas irregularmente sobre el terreno. Al no observar muros ni ningún tipo de alineamiento que evidenciara la presencia de una estructura arquitectónica, se procedió a retirar las piedras y seguir excavando a mayor profundidad. Sin embargo, las piedras continuaron aflorando sin ningún orden y de forma abundante. El pozo se exca-

vó hasta una profundidad de 1.80 m por debajo de la superficie hasta llegar a un apisonado de arcilla rojiza compactada con un grosor no mayor a los 3 cm. Al no encontrarse un orden en el acomodo de las piedras, la conclusión que se desprende es que se localizó el relleno de alguna pirámide que fue posteriormente arrasada, probablemente por las labores de remoción y nivelación del terreno como parte de los trabajos agrícolas del área.

Sin duda, la excavación de la anomalía 3 resultó ser la más interesante (figura 11). Siguiendo el mismo procedimiento de excavación que en los casos anteriores, a los 20 cm por debajo de la superficie se registró un alineamiento de lajas delgadas de roca andesítica que corría en una dirección sureste-noroeste, con una orientación de 25° al NO. Al irse liberando los sedimentos, se observó que correspondía a un muro cuyo desplante se encontraba a aproximadamente 90 cm de profundidad. A la misma profundidad, del lado norte del muro, se observó un piso construido con lajas pulidas de roca andesítica de diversos tamaños. Entre los materiales registrados durante la excavación del muro se encontraban bloques de estuco con pintura roja y abundante material lítico y cerámico; de este último se registraron fragmentos de vasos del tipo Anaranjado delgado y fragmentos de cerámica bicroma rojo sobre crema.

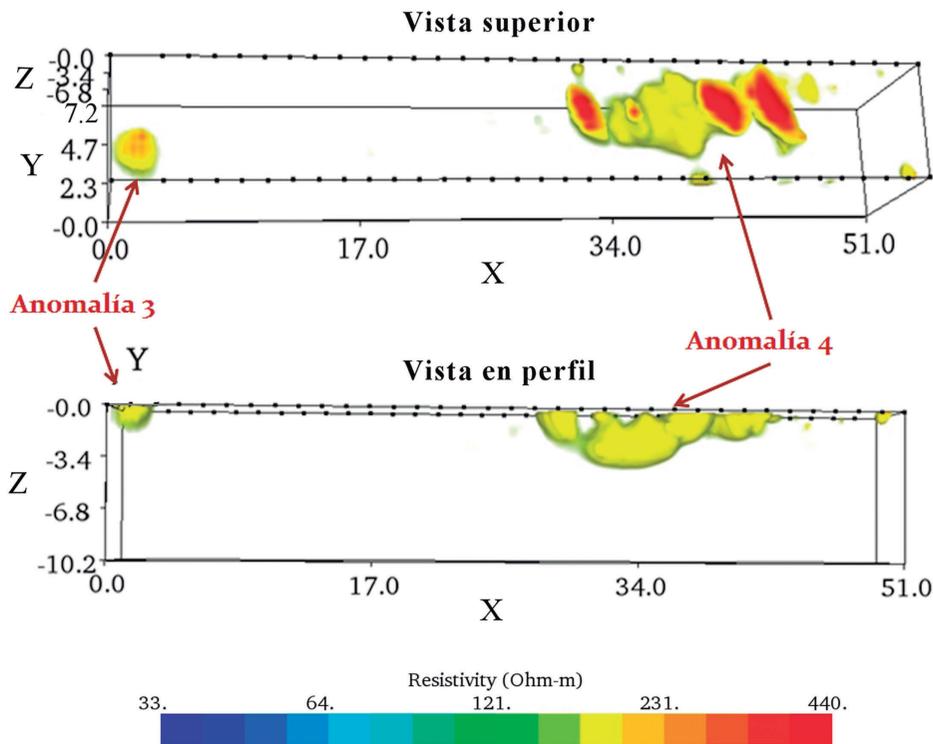


Fig. 9 Terraza 3. Modelo 3D de resistividades presentadas en isosuperficies. Fuente: imágenes obtenidas con EarthImager 3D (©1999, Advanced Geosciences Inc.).

El tipo y la calidad de los materiales encontrados, tanto utilitarios como de construcción, llevan a suponer que se trataba de un área habitacional perteneciente a algún personaje o familia de nivel jerárquico alto dentro del sitio o a una estructura de función cívico-ceremonial. Los trabajos de excavación tuvieron que darse por concluidos en este punto debido a las limitantes de tiempo y presupuesto, por lo que las dimensiones exactas de esta unidad habitacional no pudieron ser determinadas por completo; sin embargo, los límites de esta estructura podrían inferirse a través del área demarcada por la anomalía eléctrica.

Conclusiones

En este trabajo se han mostrado los resultados de la aplicación de la técnica geofísica de tomografía eléctrica en 2D y 3D en el sitio arqueológico de Los Teteles de Ocotitla, Tlaxcala, revelando ser un estudio de gran importancia desde un punto de vista arqueológico.

Dicha metodología ha empezado a cobrar gran interés e importancia en el ámbito de la arqueología debido a que incluyen métodos no invasivos ni destructivos y se adecuan a los diferentes objetivos bajo investigación, como la localización de pisos, muros, cavidades y demás estructuras. Las lecturas eléctricas, visualizadas como superficies de isorresistividad, permitieron establecer la distribución espacial de anomalías eléctricas interpretadas como restos arqueológicos enterrados bajo la superficie del sitio, delimitando las áreas potenciales de excavación de acuerdo a su posición, dimensiones y profundidad mínima y máxima.

Es importante resaltar la exactitud del método, ya que las cuatro anomalías excavadas resultaron tener una significancia arqueológica. Aunque en la anomalía 3 no se haya detectado una estructura arqueológica en pie, todo indica que ésta fue destruida en un momento de la historia del sitio. La información recuperada en la etapa de excavación ayudará en el



Fig. 10 Trabajos de excavación en la anomalía 3 de la terraza 3. En la imagen del lado derecho se puede apreciar parte del piso de arcilla rojiza.



Fig. 11 Muro y piso de lajas de roca andesítica localizados en la unidad de excavación de la anomalía 4.

conocimiento sobre la variabilidad interna presente en el sitio. Para profundizar más en el estudio de este sitio y obtener más información sobre su cronología, su función y sus filiaciones prehispánicas, se considera importante la continuación del proyecto realizando investigaciones multidisciplinarias.

Agradecimientos

Agradecemos los comentarios realizados por los dic-taminadores para mejorar la calidad de este artículo. Este trabajo fue financiado por el proyecto Conacyt no. CB-2011/168476.

Bibliografía

- Aizebeokhai, A. P., Olayinka, A. L., y Singh, V. S.**
2009 Numerical Evaluation of 3D Geoelectrical Resistivity Imaging for Environmental and Engineering Investigations Using Orthogonal 2D Profiles. *seg Technical Program Expanded Abstracts 2009*, enero: 1440-1444.
- Argote-Espino, D., Tejero, A., Chávez, R. E., López, P. A., Bravo, R.**
2009 3D Modelling of Magnetic Data from an Archaeological Site in North-Western Tlaxcala State, Mexico. *Journal of Archaeological Science*, 36 (8): 1661-1671.
- Argote-Espino, D., Tejero-Andrade, A., Cifuentes-Nava, G., Iriarte, L., Farías, S., Chávez, R., y López, F.**
2013 3D Electrical Prospection in the Archaeological Site of el Pahñú, Hidalgo State, Central Mexico. *Journal of Archaeological Science*, 40 (2): 1213-1223.
- Barker, R. D.**
1989 Depth of investigation of collinear symmetrical four-electrode arrays. *Geophysics*, 54 (8): 1031-1037.
- Cardarelli, E., Fischanger, E., y Piro, S.**
2008 Integrated Geophysical Survey to Detect Buried Structures for Archaeological Prospecting. A Case-History at Sabine Necropolis (Rome, Italy). *Near Surface Geophysics*, 6 (1): 15-20.
- Edwards, L. S.**
1977 A Modified Pseudosection for Resistivity and Induced Polarization. *Geophysics*, 42: 1020-1036.
- García Cook, Ángel**
1976 Cronología de la tumba y comentarios generales. En Á. García Cook (coord.), *Suplemento Comunicaciones, Proyecto Puebla-Tlaxcala III* (vol. I, pp. 53-68). Puebla, FAIC.
- García Cook, Ángel, Arias, M., y Abascal, Rafael**
1976 Una tumba de la fase Tenanyecac en Tlaxcala, México. En Á. García Cook (coord.), *Suplemento Comunicaciones, Proyecto Puebla-Tlaxcala III* (vol. I, pp. 13-28). Puebla, FAIC.
- Loke, M. H.**
2004 Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys. Recuperado de: <https://sites.ualberta.ca/~unsworth/UA-classes/223/loke_course_notes.pdf>, consultada el 30 de julio de 2018
- Loke, M. H., y Barker, R. D.**
1996 Practical Techniques for 3D Resistivity Surveys and Data Inversion. *Geophysical Prospecting*, 44 (3): 499-523.
- López García, Pedro A.**
2007 Informe de los estudios de área y patrón de asentamiento en la región oriental de Huamantla. Problemas de investigación y conservación, noviembre-mayo de 2007. Archivo Técnico de la Coordinación Nacional de Arqueología, INAH, MÉXICO.
- López García, P. A., Argote Espino, D. L., y Chávez Segura, R. E.**
2008 Estudio magnético y electromagnético del sitio arqueológico T-358, Tlaxcala. En F. López, W. Wiesheu y P. Fournier (coords), *Perspectivas de la investigación arqueológica III* (pp. 85-112). México, INAH.
- López García, P. A., Tejero Andrade, A., y Argote Espino, D. L.**
2012 Informe final de levantamiento de datos eléctricos en el sitio arqueológico de los Teteles de Ocotitla, Tlaxcala, mediante el método de tomografía eléctrica. Archivo Técnico de la Coordinación Nacional de Arqueología, INAH, México.
- López-García, P., Argote-Espino, D. L., Tejero-Andrade, A., y Chávez-Segura, R.**
2014 Integral Geophysical Study to Characterise Archaeological Structures in Los Teteles de Ocotitla, Mexico. *Open Journal of Archaeometry*, 2 (1): 77-80.

Parasnis, D. S.

1997 *Principles of Applied Geophysics*. 5ª ed. Londres, Chapman & Hall.

Peña Gómez, Rosa María

1997 Restos óseos de Los Teteles de Ocotitla. Estudio preliminar. En A. García Cook y L. Merino (comps.), L. Mirambell (coord.), *Antología de Tlaxcala* (vol. III, pp. 41-59). México, INAH (Antologías).

Rucker, D. F., Glaser, D. R., Osborne, T., y Maehl, W. C.

2009 Electrical Resistivity Characterization of a Reclaimed Gold Mine to Delineate Acid Rock Drainage Pathways. *Mine Water and Environment*, 28: 146-157.

Silvester, P., y Ferrari, R.

1996 *Finite Elements for Electrical Engineers*. Cambridge, Cambridge University Press.

Tejero-Andrade, A., Cifuentes, G., Chávez, R. E., López-González, A. E., y Delgado-Solórzano, C.

2015 L- and Corner-arrays for 3D Electric Resistivity Tomography: An Alternative for Geophysical Surveys in Urban Zones. *Near Surface Geophysics*, 13 (4): 355-367.

Vega Sosa, Constanza

1997 Comparación entre Los Teteles de Ocotitla, Tlaxcala y Teotihuacan a través de materiales cerámicos. En A. García Cook y L. Merino (comps.), L. Mirambell (coord.), *Antología de Tlaxcala* (vol. III, pp. 382-400). México, INAH (Antologías).