

Denisse L. Argote Espino, * René E. Chávez Segura, *
Pedro A. López García** y Gerardo Cifuentes*

Arqueogeofísica en el sitio Los Teteles de Ocotitla, Tlaxcala

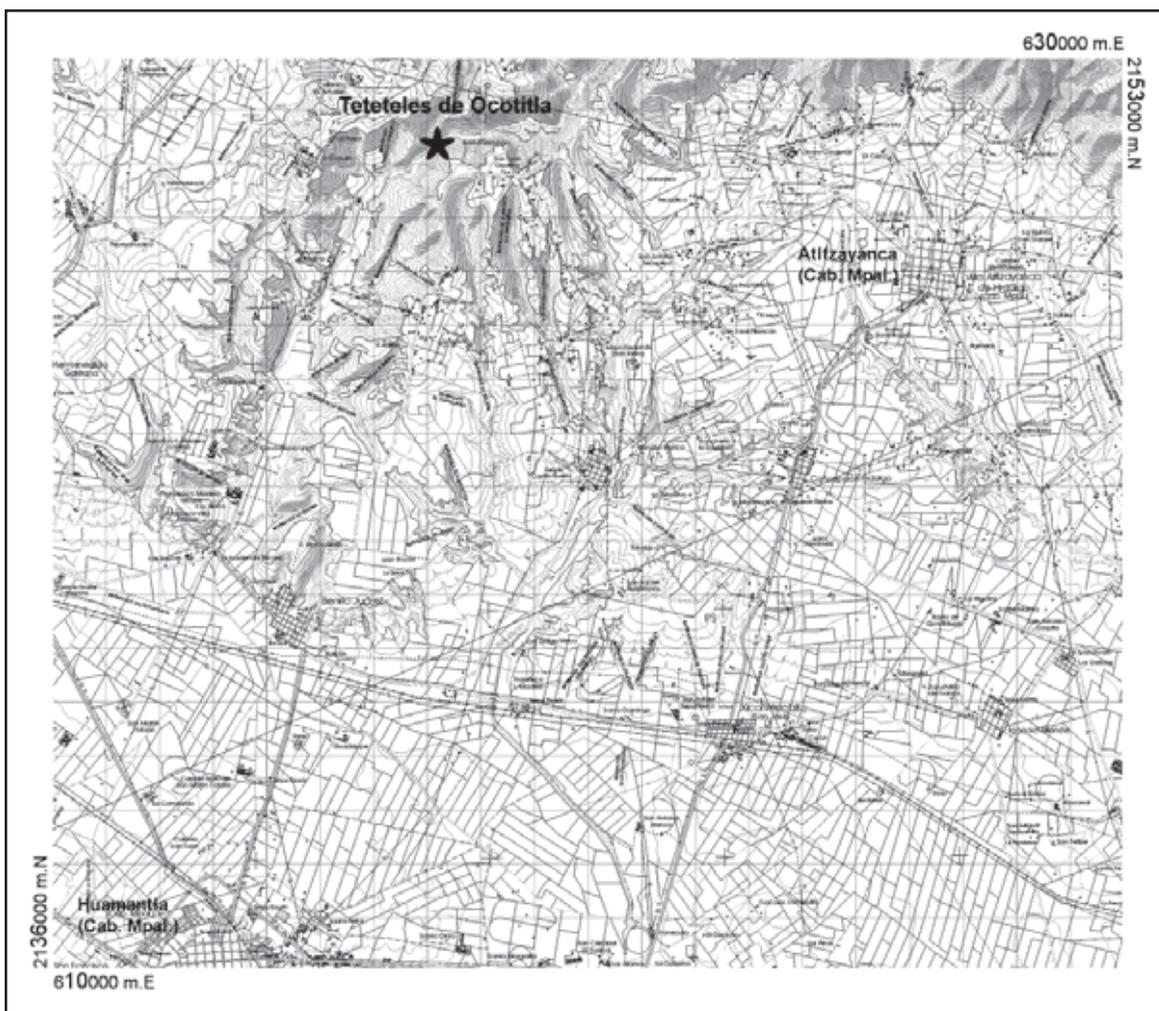
Se realizó un estudio geofísico en el sitio arqueológico de Los Teteles de Ocotitla, estado de Tlaxcala, utilizando la técnica de radar de penetración terrestre para localizar estructuras arquitectónicas enterradas que pudieran ser de interés para futuras excavaciones. El sitio está compuesto por varias terrazas con señales de ocupación prehispánica, de posible influencia teotihuacana, de las que se estudiaron principalmente tres. En la terraza Sup 1 se detectó un grupo de anomalías, que podían indicar la posible presencia de una de las tumbas excavadas por García Cook en 1974. En la terraza Sup 2 se registran tres grupos de anomalías, siendo la principal un posible cuarto o tumba. En la terraza Inf se muestran dos anomalías que aparentemente conforman dos muros derrumbados, así como un piso debajo de ellos. Los resultados de esta investigación muestran la viabilidad de métodos geofísicos como el radar para la prospección arqueológica previa a la excavación.

El sitio arqueológico Los Teteles de Ocotitla se localiza dentro de una zona rural hacia el noreste del volcán La Malinche, municipio de Alzayanca, estado de Tlaxcala (fig. 1). Este sitio está compuesto de varias terrazas con evidencia de ocupación humana, probablemente del periodo teotihuacano o fase Tenanyecac. A simple vista se puede apreciar la presencia de varios montículos, así como algunos muros expuestos, entre ellos el perfil del montículo que ha sido cortado por la carretera. Una de las terrazas superiores fue excavada por el arqueólogo Ángel García Cook en la década de 1970, encontrando una tumba con cerca de 300 ofrendas. García Cook (1997) describe que esta tumba tenía la forma de un cuarto rectangular, cuyo piso, techo y muros estaban contruidos con lajas bien trabajadas de roca de toba andesítica, característica de la geología de esta región.

Con base en los antecedentes arqueológicos del sitio Los Teteles, se pensó en llevar a cabo una prospección geofísica que permitiera el reconocimiento de más tumbas, o de estructuras arqueológicas como casas-habitación en la zona de las terrazas. Las terrazas del sitio han sido utilizadas para el cultivo y son relativamente planas, con surcos hechos por el arado. Estas características permitieron diseñar una investigación rápida utilizando el método geofísico de radar de penetración terrestre (o *GPR* por sus siglas en inglés). Nuestro estudio —parte de un proyecto de investigación arqueológica— se logró gracias a

* Departamento de Exploración Geofísica, Instituto de Geofísica-UNAM. efenfi@yahoo.com.

** Centro INAH Tlaxcala. dplopez@prodigy.net.mx.



● Fig. 1 Ubicación geográfica del sitio Los Teteles de Ocotitla (carta topográfica 1:50000 del INEGI.)

la colaboración conjunta del Instituto de Geofísica de la UNAM y el centro INAH-Tlaxcala.

Encuadre geológico

En las partes aledañas al área estudiada afloran rocas de origen volcánico y lacustre de edad terciaria. Las rocas volcánicas son basaltos y tobas efusivas de composición andesítica. Una reducida extensión está constituida por rocas sedimentarias, conglomerados y aluvión, especialmente en las partes bajas de las laderas. La estratigrafía de la región (municipio de Atlix) cuenta con depósitos del Terciario que corresponden a rocas andesitas, ampliamente distribuidas en el

Eje Neovolcánico. Dos sierras con elevaciones de hasta de 3000 msnm, con un alineamiento general E-O, conforman la zona. Litológicamente es una roca de andesita porfídica de color gris claro, con pseudocapas o lajas en posición horizontal en algunas localidades, a las que tentativamente se le puede asignar una edad Mioceno-Plioceno.

Para el Cuaternario los depósitos son de basalto, rocas distribuidas en zonas de derrames y conos volcánicos en todo el Eje Neovolcánico. Litológicamente, es un basalto de olivino gris oscuro con estructura fluidal, en ocasiones vesicular y masiva. El espesor de esta roca es de 20 a 30 m y subyace a las tobas andesíticas. Se les asigna una edad del Pleistoceno. La toba

andesítica es la roca con mayor distribución y forma las partes bajas; su extensión abarca la mayor parte del estado de Tlaxcala. Son tobas líticas de color pardo y espesor muy variable, ya que se han reportado espesores hasta de 50 m. También se le asigna una edad del Pleistoceno.

Para caracterizar la zona geológicamente, el Servicio Geológico Mexicano presenta una clasificación que se muestra en la fig. 2. La región marcada con el número 1 corresponde a una formación de rocas volcánicas de tipo andesita-dacita del Plioceno; el número 2 alude a rocas volcánicas de toba andesítica-andesita con rocas extrusivas; el número 3 corresponde a rocas

sedimentarias de aluvión de formación en el Holoceno; el número 4 representa rocas volcánicas de toba andesítica-andesita del Pleistoceno; el número 5 simboliza rocas volcánicas de toba riolítica del Pleistoceno, y el 6 corresponde a rocas sedimentarias asociadas a cuerpos de agua.

Antecedentes arqueológicos

Tlaxcala es un estado con una gran riqueza histórica y arqueológica. Desde el punto de vista arqueológico es una región que desempeñó un



● Fig. 2 Geología de la parte oriental de Huamantla (Servicio Geológico Mexicano).

papel importante en el desarrollo del México actual. En la entidad se ha realizado un sinnúmero de investigaciones, registrándose vestigios humanos de grupos sedentarios que datan de 1600 a.C. hasta asentamientos correspondientes a la época del contacto con los españoles. La información recabada ha servido para tener un conocimiento sobre las diferentes etapas de ocupación humana, del desarrollo tecnológico alcanzado por estas culturas, sobre los materiales utilizados en sus necesidades diarias y las relaciones que pudieron tener con otras culturas de Mesoamérica. La secuencia cultural regional que se maneja hasta el momento fue establecida por García Cook (1996) y está basada principalmente en el análisis de los sitios de la subárea I (zona noroeste del estado de Tlaxcala) y sus materiales, cuyas fases se encuentran resumidas en la fig. 3.

Dentro de esta secuencia, la Fase Tezoquipan (400 a.C. a 100 d.C.) se considera la más importante del desarrollo cultural del área; es aquí cuando se sientan las bases para el surgimiento de las ciudades o de grandes poblaciones del Clásico en las regiones vecinas (García Cook, 1991a). Hay un fuerte incremento en la población con respecto a épocas anteriores; las aldeas chicas tenían un promedio de 150 habitantes, las mayores contaban con hasta 1000 habitantes y otros pueblos importantes con cerca de 2000 o más habitantes (García Cook, 1997). Los sitios se asentaban sobre laderas de cerros, en las cimas y en el valle mismo, cerca de las fuentes de agua permanente. Se encuentran grandes terrazas —habitacionales, de cultivo o de habitación-cultivo— y una gran cantidad de canales para el control de lluvia y para riego. Existen grandes aldeas en torno a verdaderos

poblados con grandes estructuras ceremoniales y “residenciales”. Se utiliza piedra y tepetate en la construcción de estructuras, y en algunos lugares se observa estuco blanco o rojo.

Durante la fase siguiente (Tenanyecac, de 100 a 600 d.C.) decrece la población y, por ende, disminuye el número de ocupaciones, aun cuando se siguen registrando “sitios asentados en el valle y en la parte norte de laderas altas o bajas de las lomas o cerros” (*ibidem*). Los asentamientos más importantes se encuentran cerca de las fuentes de agua permanente. Existen sitios con presencia de estructuras de tipo monumental, incluyendo plataformas de uso residencial y ceremonial, así como juegos de pelota. Las estructuras ceremoniales son grandes plataformas escalonadas, con plataformas de menor dimensión o montículos en la parte superior; de igual manera existen algunos sitios fortificados en puntos estratégicos con fines defensivos. En algunos sitios que se encuentran dentro de la esfera teotihuacana se puede observar el talud tablero. El número de casas de estos asentamientos varía de 50 en los asentamientos más pequeños a 300 en los sitios mayores, con una población que podría haber variado de 150 hasta más de 1000 habitantes. En cuanto a la agricultura, hay evidencia de sistemas de canales, cultivos por irrigación, uso de chinampas, represas y depósitos de agua, de lo que se infiere un grado de especialización de la población para atender estos sistemas productivos y las tareas relacionadas con el control político (*ibidem*).

A principios de 1974 el Proyecto Arqueológico Puebla-Tlaxcala, a cargo de García Cook, llevó a cabo la investigación del sitio T-358, conocido como Los Teteles de Ocotitla. Este sitio

Tompantepec	Preclásico temprano	1700 a 1200 a.C.
Tlatempa	Preclásico medio	1200-800 a.C.
Texoloc	Preclásico tardío	800-300 a.C.
Tezoquipan	Protoclásico	400 a.C. a 100 d.C.
Tenanyecac	Clásico	100 a 650
Texcalac	Posclásico	650 a 1100
Tlaxcala	Posclásico	1100 a 1519

● Fig. 3 Fases culturales establecidas por el proyecto FAIC para la región de Tlaxcala.

se encuentra sobre la ladera norte de una cañada por la que pasa el río La Caldera (García Cook *et al.*, 1997a) hacia el noreste del volcán La Malinche, con coordenadas exactas de 97° 52' 52.16 O y 19° 27' 20.34" N (UTM: 617439, 2151627). Entre los objetivos a desarrollar en el sitio se consideró el levantamiento de materiales de superficie, la topografía y labores de excavación por medio de pozos y trincheras. En ese tiempo García Cook calculó más de 20 estructuras, además de terrazas y plazas, por lo que consideró al sitio como de arquitectura monumental.

Durante los trabajos realizados por García Cook se logró dar con una tumba bastante importante, de la que se recuperaron siete enterramientos primarios y siete secundarios, con un total de 304 ofrendas de filiación teotihuacana asociadas a los mismos (Vega, 1997). Las dimensiones del interior de la tumba eran de 2.10 m en su longitud mayor por 1.45 de ancho máximo y 1.50 m de altura media. En total se encontraron 320 objetos al interior de la tumba: 61 vasijas diferentes, dos vasijas zoomorfas con "cola-vertedera-puente", así como 257 objetos y otros materiales no cerámicos (García Cook, *ibidem*). La cronología asignada a estos materiales asociados va del año 50 a 200 d.C. (Peña Gómez, 1997). Por lo que se ubicarían dentro de las fases culturales de Tezoquipan tardío y Tenanyecac temprano.

En recorridos realizados actualmente por el sitio se pueden apreciar estructuras piramidales con dimensiones variables (montículos que van de 1 a 10 m de altura). Un poco más al Norte del área central del sitio, cruzando el río La Caldera, que lleva agua todo el año, se encuentra otro conjunto de terrazas con gran cantidad de materiales de tipo cerámico y lítico. Con el transcurso del tiempo este lugar ha sufrido varios incendios y ha estado expuesto a un fuerte grado de erosión, además de que varias estructuras fueron destruidas por la construcción de un camino de terrecería que literalmente las rebanó, por lo que hoy en día sólo pueden apreciarse los cimientos en los cortes. El saqueo también ha estado presente, ya que los pobladores han excavado con frecuencia para dejar a la vista pisos de estuco rojizo. Es por ello que

actualmente se ha visto la necesidad de volver a estudiar este sitio a partir de técnicas novedosas, como el radar de penetración terrestre, que nos permitan rescatar el máximo de información de forma rápida y eficiente.

Generalidades de método

El radar de penetración terrestre (GPR) es una técnica de prospección geofísica basada en la emisión de impulsos electromagnéticos que viajan a través del subsuelo mediante una antena transmisora en la superficie. Los parámetros eléctricos (constante dieléctrica, permeabilidad magnética y conductividad) de los materiales del medio a investigar controlan la propagación de la señal. Las reflexiones de estas señales son detectadas por una antena receptora (en un sistema mono-estático, como es el caso, una sola antena transmite y registra). Estas señales generan una serie de registros de ondas electromagnéticas reflejadas en un perfil de espacio-tiempo que definen las características estratigráficas del subsuelo y las anomalías geológicas en el mismo. Al desplazar la antena sobre la superficie se registra el conjunto de reflexiones producidas, con lo que se obtiene una imagen bidimensional de las reflexiones bajo la línea de prospección.

Los impulsos electromagnéticos empleados en la técnica GPR se encuentran en el intervalo de frecuencia de 10 MHz a 2 GHz (Annan, 2002). Las aplicaciones en ingeniería civil se enfocan a la localización de fracturas, cavidades, tuberías, cables subterráneos, determinación de espesores de muros y detección de microfisuras (Ulriksen, 1982). En geología estructural permite la localización y continuidad de fallas, y su correlación con las unidades estratigráficas (Doolittle y Asmussen, 1992; Fisher *et al.*, 1992; Stevens *et al.*, 1995). En el caso de la arqueología, su rango de interés se encuentra desde unos cuantos centímetros hasta algunas pocas decenas de metros bajo la superficie del terreno. Técnicas como el radar, que estudian objetivos a profundidades someras, han sido recientemente utilizadas de forma extensiva en las in-

vestigaciones arqueológicas en todo el mundo (Clark, 1986; Wynn, 1986; Barba *et al.*, 1990; Scollar *et al.*, 1990; Goodman, 1994; Chávez *et al.*, 2001; Ponce *et al.*, 2004, entre otros).

Instrumentación

La instrumentación utilizada para esta prospección consistió en un sistema mono-estático (una sola antena transmite y recibe) SIR-2000 de Geophysical Survey System Inc. (GSSI, 1997) y una antena con frecuencia central de 270 MHz, modelo 5104, propiedad del Departamento de Exploración del Instituto de Geofísica de la UNAM. El sistema SIR-2000 es un equipo que posee un microprocesador Intel clase x486 con un monitor de cristal líquido para visualizar la información capturada, y un panel de operación simplificado montado en la consola que trabaja con una alimentación de 12 VDC (fig. 3). La frecuencia de operación es uno de los factores que determinan la resolución y penetración de los objetivos a investigar en un estudio de GPR. Mientras mayor es la profundidad del objetivo de estudio, la frecuencia utilizada debe ser menor, y viceversa. La antena utilizada (270 MHz) tiene una profundidad de trabajo entre 0 y 9 m, lo cual depende de las propiedades del subsuelo y los parámetros de transmisión.

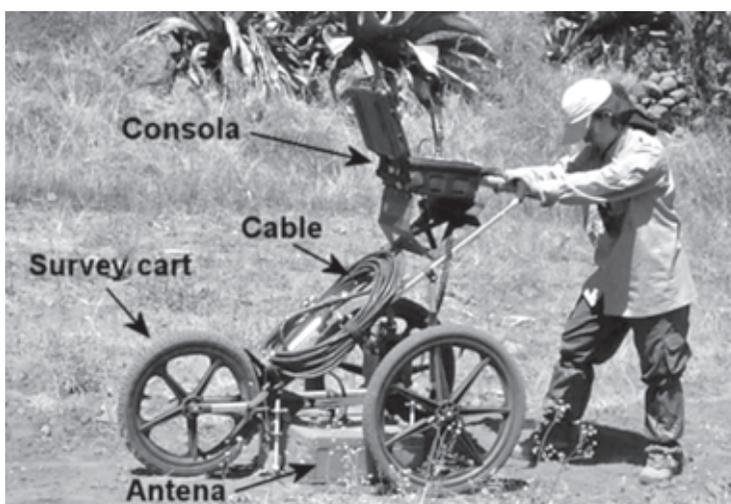
La operación del sistema SIR-2000 consiste en montar la consola y la antena sobre un carro de investigación (*survey cart*), el cual se empuja sobre la línea de estudio y se lleva a una velocidad constante con el fin de poder tener un número uniforme de muestras (fig. 4). Debido a que el carro ya lleva un odómetro integrado a sus ruedas, el cual ajusta las distancias que se van recorriendo, no es necesario mantenerlo en movimiento constante, sino que pueden hacerse paradas en los lugares donde se observen anomalías importantes, lo cual permite detallar la zona de interés.

Estudio geofísico

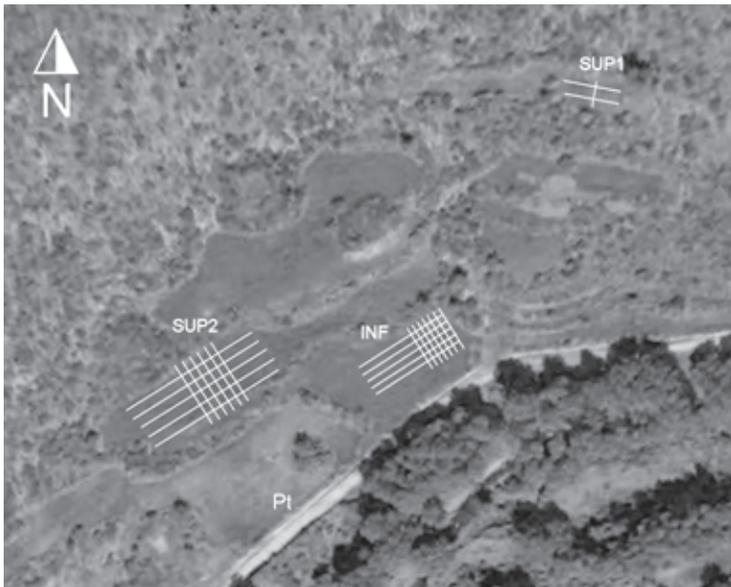
Para trabajar con el radar se seleccionaron cuatro terrazas principales (fig. 5). Dos sirvieron como calibración y confirmación del buen funcionamiento del equipo con los parámetros seleccionados (terrazas inferior y superior); las otras dos (terrazas centrales) —seleccionadas por tener las condiciones adecuadas, como un terreno relativamente plano que permitiera el paso del radar, así como la presencia de material arqueológico de superficie— fueron utilizadas para realizar el estudio geofísico detallado de las mismas.

En primer término se debió calibrar el instrumento y establecer la configuración de los parámetros necesarios para que el equipo pudiera trabajar de manera óptima y se detectaran correctamente los rasgos de interés. Para la calibración y el estudio de velocidades de señal en el terreno se determinó la zona donde pudiera encontrarse un elemento material detectable y de profundidad conocida. Para ello se seleccionó la terraza que se encuentra más pegada al camino de terracería, y desde cuyo perfil (*Pt*, en la fig. 5) se podía observar expuesto un muro arqueológico compuesto de lajas de toba andesítica (fig. 6).

Después de varias pruebas se determinó que los parámetros adecuados para la antena de 270 MHz era un modo somero (*shallow*), una venta-



● Fig. 4 GPR SIR-2000 de Geophysical Survey System Inc.



● Fig. 5 Imagen de satélite que muestra las terrazas seleccionadas del sitio Los Teteles de Ocotitla.

na de 75 ns con cuatro puntos de ganancia, 512 muestras por traza, 16 bits por muestras y 1024 trazas por segundo. También se aplicó un filtro pasabandas IIR (impulso de respuesta infinita) que permitiera el paso de las frecuencias dentro del rango de 75 a 700 MHz. Los valores de las ganancias debieron ser ajustadas en cada terraza porque el suelo se encontraba poco compactado, lo cual provocaba variaciones en la velocidad de la señal. El análisis de velocidades utilizando un elemento de profundidad conocida permite determinar la constante dieléctrica adecuada para determinar las profundidades reales de los rasgos encontrados en el subsuelo. Finalmente se determinó que la constante dieléctrica adecuada era de 6 (constante adimensional), coincidiendo con los valores publicados en tablas para la arena no saturada (tipo de sedimento propio del lugar). Sin embargo, es necesario tomar en cuenta que el terreno a profundidad no era homogéneo.

Una vez calibrado el equipo, subimos a la terraza (*Sup 1* en fig. 5)

en la que García Cook *et al.* (*ibidem*), excavaron dos tumbas; esto se hizo para comprobar si con el método de radar se podían registrar dichos elementos encontrados por García Cook y sus colaboradores. En este lugar se llevaron a cabo tres perfiles, dos que corrían en dirección aproximada Este-Oeste, de 24 m de largo y 3 m de separación entre ellas, y uno perpendicular en dirección aproximada Norte-Sur, de 9 m de largo y que cruzaba una anomalía detectada en los perfiles horizontales. La ubicación de la terraza *Sup 1* sobre el lugar exacto en que hicieron las excavaciones de la tumba se logró gracias a las fotografías y mapas topográficos proporcionados por García Cook *et al.* (*ibidem*).

Cabe señalar que si bien al momento de la prospección no se obtuvieron resultados contundentes, en el procesamiento de los datos sí pudieron distinguirse rasgos interesantes del subsuelo que podrían correlacionarse con los muros de la tumba descubierta por García Cook y su equipo.

No fue fácil determinar las terrazas a investigar en detalle, pues se dependía del poco tiempo



● Fig. 6 Muro arqueológico expuesto desde la carretera del sitio Los Teteles de Ocotitla.

po disponible para completar el estudio y de la profundidad de los surcos hechos por el arado en la tierra; el otro inconveniente fue la presencia de duraznos cultivados en el lugar, además de la probabilidad de éxito por la posible presencia de restos arqueológicos. Finalmente, se consideraron dos terrazas que contenían todas las características favorables mencionadas, por lo que sólo fue necesario limpiar y aplanar el terreno para que la base de la antena estuviera siempre en contacto con el suelo. Dado que se deseaba detectar elementos de tamaño reducido, como muros, cimientos, pisos, etcétera, se establecieron intervalos entre líneas de medición de 2 m, a fin de combinar una alta resolución espacial con una mayor rapidez en la prospección.

Para evitar confusiones al momento de la prospección, procesamiento e interpretación, a las terrazas estudiadas se les pusieron diferentes nombres (fig. 5). A la terraza excavada por García Cook y su grupo de investigadores en 1994 se le denominó Sup 1, por encontrarse en la posición más alta. Se denominó Inf a la terraza central ubicada más a la izquierda, mientras a la situada más a la derecha se le denominó Sup 2. A la terraza pegada a la carretera se le llamó Pt, ya que se trata de un perfil de calibración. Estos nombres se emplearán en el resto de la descripción, por ello es importante aclararlo.

En la terraza Sup 2 se realizaron cinco perfiles en dirección NE-SO de 55 m de largo, cubriendo toda la longitud de la terraza, así como seis perfiles perpendiculares en dirección NO-SE de 14 m de largo y cubriendo la parte central de la terraza, donde se habían apreciado algunas anomalías importantes en los perfiles horizontales previos. En la terraza Inf se realizaron cinco perfiles horizontales en dirección NE-SO de 30 m de largo y siete perfiles verticales en dirección NO-SE de 12 m de largo. Esta terraza presentaba una elevación central y cierta inclinación que descendía en dirección de la carretera, lo cual impidió cubrir toda la terraza con el GPR en ese momento. Una vez obtenidos todos los perfiles en campo, se procedió a su análisis en laboratorio.

El procesamiento de los datos de GPR fue realizado con el programa Radan versión 6. El pro-

cesamiento se compone de tres partes: la edición de los datos, el filtrado y el realce del despliegue final. La edición incluyó la edición manual de las marcas y la normalización de la distancia de todas las marcas, pues aun cuando se dispuso un carro de investigación (*survey cart*) que permitía la medida automática de la distancia, siempre contiene un cierto error, y en este caso fue de 1-2 por ciento. Por tanto, para garantizar que todos los perfiles tuvieran la misma cantidad de marcas, las mismas trazas por metro y, por ende, la misma longitud, se realizó la edición arriba mencionada. Una vez que los perfiles mostraron las mismas características, se procedió al filtrado.

Comúnmente, los datos traen consigo ruido y otras alteraciones que impiden observar con certeza las anomalías que representan los datos reales y de interés para nosotros. Por tanto, es necesario remover las frecuencias ruidosas y otros tipos de artefactos. Para esto se aplicó un filtro pasabandas tipo FIR (impulsos de respuesta finita, por sus siglas en inglés) que eliminó las frecuencias ubicadas fuera del rango de 70 a 300 MHz; este rango se determinó mediante un análisis del espectro de frecuencias de cada uno de los perfiles, separando las frecuencias que contenían los datos de interés de las que contenían mayor cantidad de ruido. Además se realizó un *stacking* (ajuste promediado) cada 29 trazas para suavizar los perfiles, ya que contenían muchas discontinuidades provocados por los brincos que da la antena al pasar por pequeñas alteraciones en el terreno, como piedras o huecos. Se aplicó además un filtro de remoción del fondo (*background removal*) para quitar una serie de bandas horizontales que recorren todos los perfiles de principio a fin. Estas bandas opacan a las anomalías de interés e impiden ver las interfaces reales de los estratos. Estas bandas se deben generalmente a una saturación de la señal.

Se realizó el despliegue de la información mediante un aumento del rango de ganancias en la parte superior y una disminución de las mismas en la porción inferior, utilizando para ello una función lineal de cinco puntos de control con valores de 40, 20, 10, 5, 5, respectivamen-

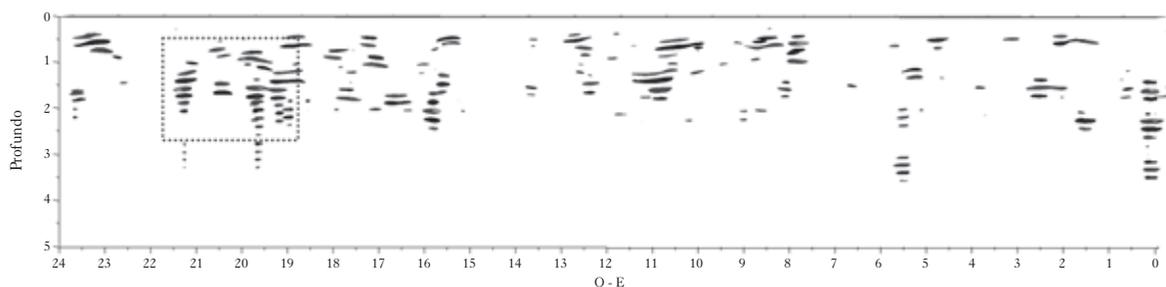
te; las variaciones en la paleta de color también ayudan a interpretar mejor los datos. Finalmente, se creó un modelo tridimensional y super-tridimensional de cada una de las terrazas mediante el módulo 3-D del mismo programa Radan, así como de otro programa de visualización de datos volumétricos llamado Slicer. El uso de dos programas permite comparar resultados y complementarlos con las diferentes propiedades de cada uno. El modelo tridimensional simple interpola datos de los perfiles que corren en la misma dirección, mientras el modelo super-tridimensional interpola perfiles que corran en diferentes direcciones. Además, a estos modelos se les puede dar una presentación en forma de isosuperficies, es decir, seleccionar el rango de tonos de color que representa a las amplitudes más altas y dejar transparente el resto, lo que sólo permite visualizar las anomalías de interés.

Los datos en corte obtenidos de la terraza Sup 1 (fig. 7) indican la presencia de una zona anómala (encerrada en un rectángulo de líneas discontinuas) que podría reflejar una estructura en forma de caja de 2-3 m de largo y un ancho de 1-1.5 m, e iniciando a una profundidad aproximada de 0.70 m. Este tipo de características corresponde a las descritas por García Cook *et al.* (1997) y observadas en sus figuras. Dicha estructura se encuentra aproximadamente a 19 m del inicio del perfil, ubicado junto a un conglomerado prominente de rocas, similar al mostrado por los autores en su gráfico de las tumbas, lo cual podría ser un indicativo de la presencia de éstas. Además se puede intuir que el estrato natural está muy alterado y removido (a una profundidad aproximada de 1.5 y 2 m), quizá

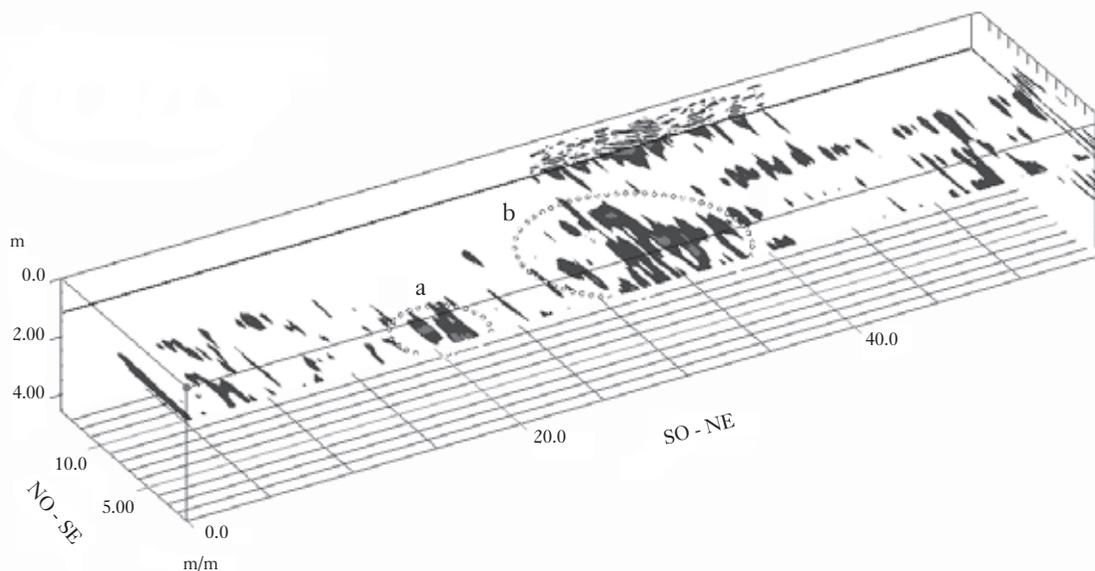
debido a las trincheras que García Cook excavó en su investigación.

Una vez obtenido el modelo tridimensional de los datos de las demás terrazas, tanto en la terraza Sup 2 como en la Inf pudieron observarse anomalías cuyo comportamiento podría indicar la presencia de estructuras arqueológicas. En una rebanada de tiempo de 1 m de profundidad del modelo super-tridimensional de la terraza media (fig. 8), puede apreciarse en la parte central un grupo de anomalías (letra **b**) formando una especie de cuarto, de geometría semi-circular y dimensiones de 7 x 7 m. Esta *circularidad* puede deberse a derrumbes de los muros, en caso de tratarse de una casa-habitación o una tumba. También se observa otra pequeña anomalía (letra **a**) a 20 m de distancia del origen del perfil, que también señala la presencia de algún elemento importante. En el modelo 3D simple de los perfiles horizontales (fig. 9) se puede apreciar la misma anomalía importante, además de otras dos (letras **a** y **c**) que también señalan la presencia de algún elemento de interés.

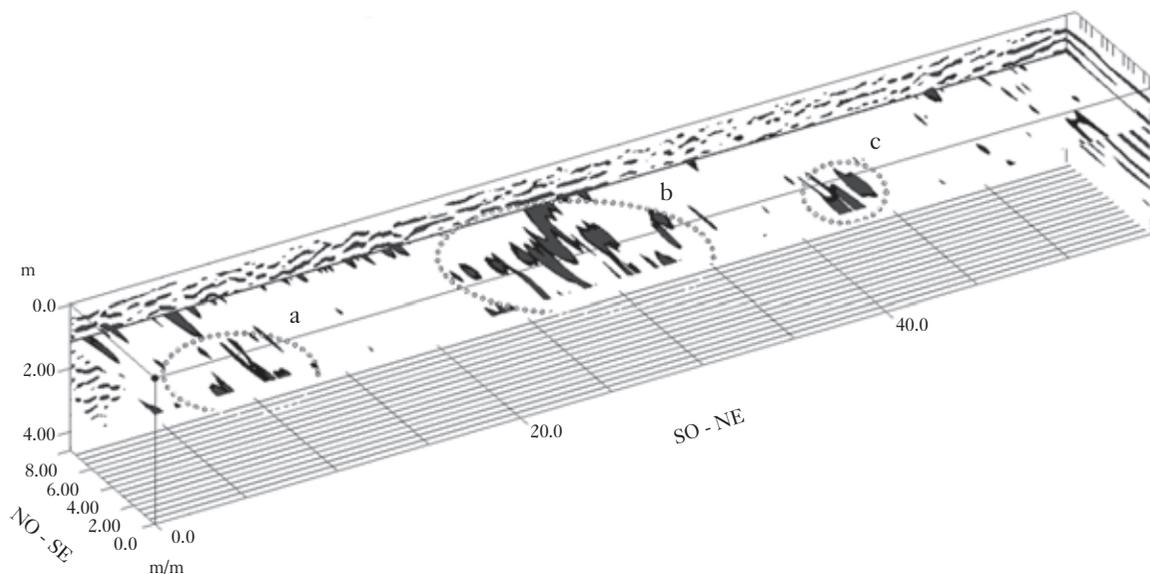
Al observar el corte vertical de los perfiles horizontales, producido en isosuperficies en el programa Slicer (fig. 10), pueden verse las mismas tres anomalías. La anomalía **a** aparenta ser un muro derrumbado. La anomalía **b** posee una geometría similar a la que se observó en la terraza Sup 1, excepto que ésta mide algunos metros más (5 m aprox.), se podría pensar en alguna especie de cuarto con techo (probablemente una tumba). Además, en el corte de un montículo hecho por el paso de la carretera se observó una estructura que mostraba la misma geometría semicircular con un techo de la mis-



● Fig. 7 Corte en perfil del modelo 3D de la terraza Sup 1 en perfil Slicer.



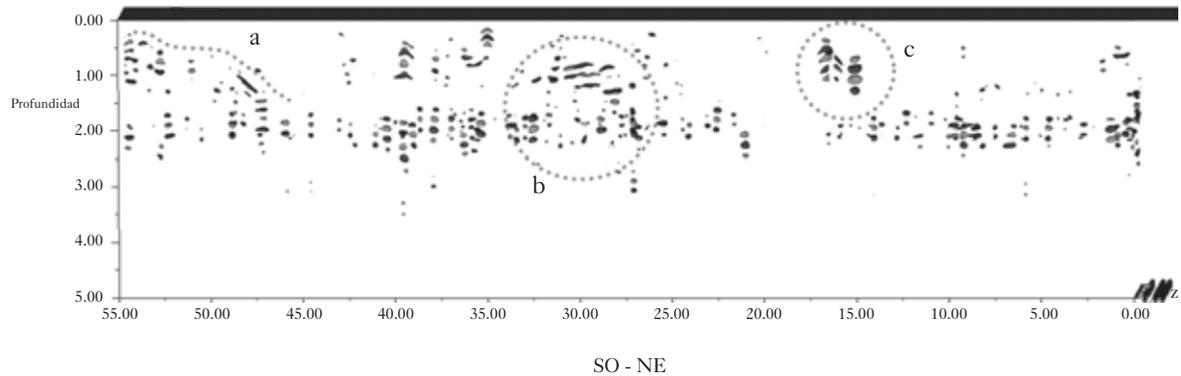
● Fig. 8 Rebanada a 1 m de profundidad del modelo super 3D en el programa Radan (terrace Sup 2).



● Fig. 9 Rebanada de 90 cm de profundidad del modelo 3D simple de los perfiles horizontales (terrace Sup 2).

ma laja (fig. 11), lo cual indica que puede tratarse de un elemento de este tipo. La anomalía **c** es un tanto indeterminada, aunque también aparenta una especie de muro o barrera; cabe recordar que esta anomalía se encuentra muy cerca del fin de la terraza, por lo que pudiera ser parte del muro de contención.

En la terraza Inf, a partir de un corte vertical del modelo tridimensional de los perfiles horizontales (fig. 12) se observan dos grupos de anomalías (**a** y **b**) separadas por un vacío. Estas anomalías parecen caer, como dos derrumbes de muros que convergen en la zona hueca. Debajo de ellas, aproximadamente a 2 m, puede verse



● Fig. 10 Corte vertical de los perfiles horizontales de la terraza Sup 2 con el programa Slicer.



● Fig. 11 Estructura arqueológica de forma semicircular observada desde la carretera.

un estrato que sigue una tendencia horizontal; como nos encontramos en una zona con una tendencia a bajar hacia la carretera, podría pensarse que no se trata de un estrato natural sino del piso o basamento de una plaza sobre la que pudieron construirse algunas casas. Vale la pena notar que precisamente esta terraza se encuentra en medio de tres montículos, restos de edificaciones prehispánicas.

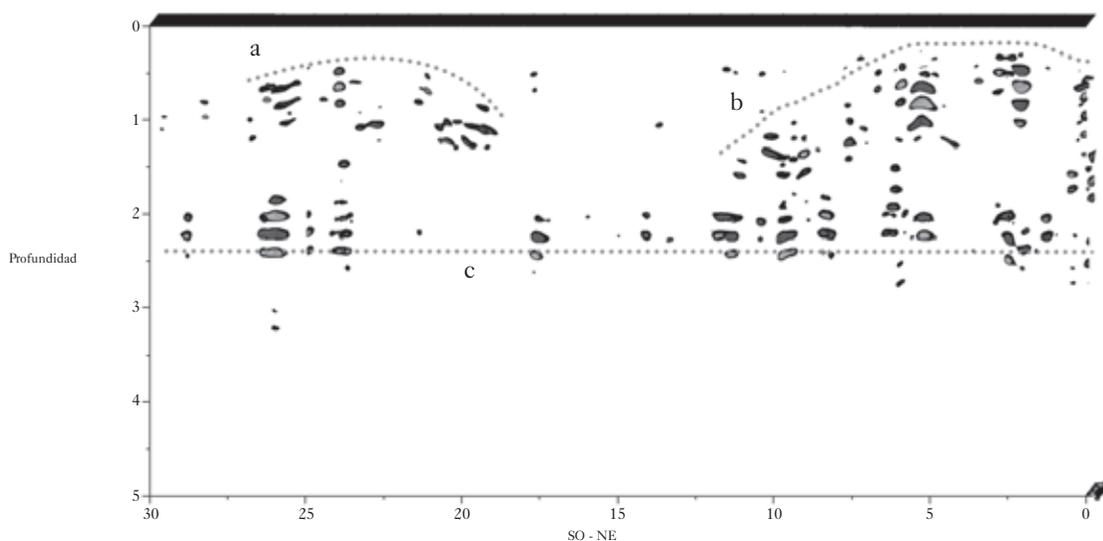
En una rebanada de tiempo del modelo super-tridimensional hecha a 1.50 m de profundidad (fig. 13), se puede observar un grupo de anomalías ubicado en la misma posición que la anomalía (a) de la figura anterior, cuya forma

podría interpretarse como la estructura de una habitación.

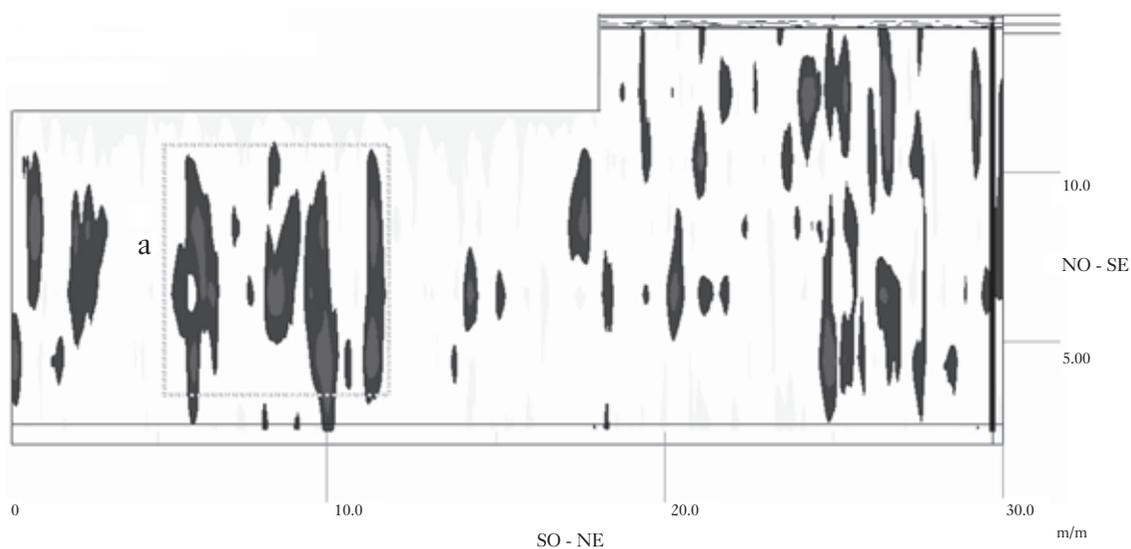
Conclusiones

En las líneas de GPR levantadas se encontró evidencia de elementos de posible interés arqueológico. Aunque las anomalías registradas no son muy evidentes (las hipérbolas no son muy marcadas), cabe notar que no se debe a la ausencia de material arqueológico sino a la baja reflectividad del mismo. Además, la poca compactación del suelo provocó una serie de rebotes de la señal que también afectan al registro de la misma en los

radargramas. Aún así, las anomalías encontradas mediante la prospección geofísica permitieron ubicar posibles estructuras arqueológicas y sus profundidades. Estos datos son de utilidad para la interpretación de la función del sitio de acuerdo con la distribución espacial de sus elementos, y puede servir como base para futuras excavaciones. La investigación desarrollada muestra que con una adecuada estrategia de investigación y conocimiento previo de la zona, la prospección geofísica en sitios arqueológicos en medios rurales resulta ser más eficiente y útil en la investigación que los métodos convencionales.



● Fig. 12 Corte vertical de la terraza Inf, visualizado como isosuperficies en el programa Slicer.



● Fig. 13 Rebanada de tiempo a 1.50 m de profundidad de la terraza Inf mediante el programa Radan.

Bibliografía

- Annan, A.P.
2002. "GPR—History, Trends, and Future Developments", en *Subsurface Sensing Technologies and Applications*, vol. 3, núm. 4, pp. 253-270.
- Barba, L. *et al.*
1990. "Caves and Tunnels at Teotihuacan: A Geological Phenomenon of Archaeological Interest",

en N.P. Lasca y J. Donahue (eds.), *Archaeological Geology of North America*, Boulder, Geological Society of America (Centennial Special, vol. 4), pp. 431-438.

- Chávez, R.E. *et al.*
2001. "Site Characterization by Geophysical Methods in the Archaeological Zone of Teotihuacan, México", en *Journal of Archaeological Science*, núm. 28, pp. 1265-1276.

- Clark, Anthony J.
1986. "Review of Archaeological Geophysics in Britain", en *Geophysics*, vol. 51, núm. 7, pp. 1404-1413.
- Doolittle, J. A. y L. E. ASMUSSEN
1992. "Ten Year of Applications of Ground Penetrating Radar by the United States Department of Agriculture", en P. Hanninen y S. Autio (eds.), *Fourth International Conference of Ground Penetrating Radar*, Rovaniemi, Geological Survey of Finland (Special Paper, 16), pp. 139-147.
- Fisher, E., G. A. Mc. Mecham y A. P. Annan
1992. "Acquisition and Processing of Wide-Aperture Ground Penetrating Radar Data", en *Geophysics*, vol. 57, pp. 495-504.
- García Cook, Ángel
1996. "El desarrollo cultural prehispánico en el norte del área, intento de una secuencia cultural", en A. García Cook y B. Merino (comps.), L. Mirambell (coord.), *Antología de Tlaxcala*, vol. 1, México, INAH/Gobierno del Estado de Tlaxcala (Antologías), pp. 247-254.

1997a. "Una secuencia cultural para Tlaxcala", A. García Cook y B. Merino (comps.), L. Mirambell (coord.), *Antología de Tlaxcala*, vol. 2, México, INAH/Gobierno del Estado de Tlaxcala (Antologías), pp. 57-89.

1997b. "Cronología de la tumba y comentarios generales", en A. García Cook y B. Merino (comps.), L. Mirambell (coord.), *Antología de Tlaxcala, volumen 2*, México, INAH/Gob. de Tlaxcala (Antologías), pp. 395-412.
- García Cook, A., M. Arias y R. Abascal
1997. "Una tumba de la fase Tenanyecac en Tlaxcala, México", en A. García Cook y B. Merino (comps.), L. Mirambell (coord.), *Antología de Tlaxcala*, vol. 2, México, INAH/Gobierno del Estado de Tlaxcala (Antologías), pp. 333-394.
- Goodman, Dennis
1994. "Ground-Penetrating Radar Simulation in Engineering and Archaeology", *Geophysics*, vol. 59, núm. 2, pp. 224-232.
- Peña Gómez, Rosa M.
1997. "Restos óseos de Los Teteles de Ocotitla. Estudio preliminar", en A. García Cook y B. Merino (comps.), L. Mirambell (coord.), en *Antología de Tlaxcala*, vol. 3, México, INAH/Gobierno del Estado de Tlaxcala (Antologías), pp. 41-59.
- Ponce, R. *et al.*
2004. "Empleo de los métodos geofísicos en la prospección arqueológica urbana: la Basílica de Nuestra Señora de la Salud, Patzcuaro, México", en *Trabajos de Prehistoria*, vol. 61, núm. 2, pp. 11-24.
- Scollar, I. *et al.*
1990. *Archaeological Prospecting and Remote Sensing*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Stevens, K.M., A.L. Lodha y N.M. Soonawala
1995. "The Application of Ground Penetrating Radar for Mapping Fractures in Plutonic Rocks within the Whiteshell Research Area, Pinawa, Manitoba, Canada", *Journal of Applied Geophysics*, vol. 33, pp.125-141.
- Ulriksen, C.P.
1982. "Application of Impulse Radar to Civil Engineering", tesis de doctorado, Department of Engineering Geology, Lund, Lund University of Technology.
- Vega Sosa, Constanza
1997. "Comparaciones entre Los Teteles de Ocotitla, Tlaxcala, y Teotihuacan a través de materiales cerámicos", en A. García Cook y B. Merino (comps.), L. Mirambell (coord.), *Antología de Tlaxcala*, vol. 3, México, INAH/Gobierno del Estado de Tlaxcala (Antologías), pp. 383-399.
- Wynn, Jeffrey C.
1986. "Archaeological Prospection: An Introduction to the Special Issue", *Geophysics*, vol. 51, núm. 3, pp. 533-537.