

## **Estudio magnético y de resistividad en los alrededores de la Pirámide del Sol, Teotihuacan, México**

René E. Chávez<sup>1</sup>, Linda Manzanilla<sup>2</sup>, Nayeli Peralta<sup>2</sup>, Andrés Tejero<sup>3</sup>, Gerardo Cifuentes<sup>3</sup> y Luis Barba<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> *Instituto de Geofísica UNAM, Laboratorio de Exploración, Cd. Universitaria, México D.F.*

<sup>2</sup> *Instituto de Investigaciones Antropológicas UNAM, Cd. Universitaria, México D.F.*

<sup>3</sup> *Facultad de Ingeniería, Div. de Ciencias de la Tierra, UNAM. Cd. Universitaria, México D.F.*

Recibido: 20 de octubre, 1992 ; aceptado: 23 de abril, 1993.

### **RESUMEN**

La existencia de cuevas y túneles en los alrededores de la ciudad prehispánica de Teotihuacan, México es muy conocida. El descubrimiento de un túnel que termina en una cámara tetralobulada debajo de la Pirámide del Sol condujo a pensar sobre la relación entre los edificios prehispánicos y esta clase de estructuras. El descubrimiento de un mayor número de cuevas y túneles en zonas aledañas a Teotihuacan, ej. Oztoyohualco, localizado a unos cuantos kilómetros al NW de la Pirámide del Sol y estudios regionales condujeron a pensar en la existencia de una red de túneles y cuevas bajo la gran ciudad, cuyos fines se cree fueron totalmente ceremoniales.

Con este motivo, se llevaron a cabo en los alrededores de la Pirámide del Sol estudios geofísicos para inicialmente definir la respuesta geofísica en la zona donde la posición del túnel era conocida (flanco W), y posteriormente establecer la posible continuación en dirección E del túnel descubierto bajo la Pirámide del Sol (flanco E). Se realizó un levantamiento de campo total y de gradiente magnético a detalle en la pequeña plaza localizada a los pies de la escalinata principal, y a su vez se llevó a cabo un perfil de resistividad con un arreglo Wenner en dirección S-N, cruzando perpendicularmente el túnel antes mencionado. Aplicando el filtro de reducción al polo a los datos magnéticos se logró definir la posición del túnel y obtener un modelo tridimensional de él, que estuvo de acuerdo con los datos de resistividad.

Se llevaron a cabo una serie de mediciones magnéticas de campo total entre la plataforma de la pirámide y una depresión en donde se observaron varias entradas a túneles. Una de estas estructuras fue parcialmente explorada, lo que permitió definir los parámetros a utilizar en el estudio geofísico. Inicialmente se realizó un levantamiento de campo total, obteniéndose un patrón de máximos y mínimos correspondientes a pilares de basalto y cuevas parcialmente rellenas. Se levantó un perfil de resistividad sobre uno de los patrones magnéticos, obteniéndose un par de altos de resistividad que estaban relacionados con la presencia de oquedades. Esto fue confirmado por un par de barrenos exploratorios localizados sobre dicha anomalía que detectaron material de relleno pobremente compactado. Esto condujo a pensar en la posibilidad de que los túneles y cuevas estuvieran parcialmente rellenos. El mapa de reducción al polo mostró con mayor claridad dicho patrón. Se seleccionó una de esas anomalías para ser interpretada con más detalle. Se obtuvo un modelo magnético tridimensional que estuvo acorde con los resultados del perfil de resistividad y de los barrenos.

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten afirmar que el túnel que cruza por debajo de la Pirámide del Sol se continúa en dirección E, hacia la depresión, haciendo factible la hipótesis de la existencia de una red de túneles de carácter religioso.

**PALABRAS CLAVE:** Resistividad, magnetometría, detección, túneles, arqueología.

### **ABSTRACT**

The existence of tunnels and caves within the limits of the pre-Columbian city of Teotihuacan, Mexico is well known. A semi-natural tunnel was discovered several years ago beneath the Pyramid of the Sun, ending in a four-lobed chamber. The presence of similar features in Oztoyohualco (NW of the city), led to suspect the presence of a network of tunnels beneath the city.

A geophysical survey was carried out initially to calibrate the instruments on known tunnels. Then geophysical data were used to define the tunnel continuation east of the pyramid. Total field and magnetic gradient surveys were done in detail over a small plaza in front of the main stairway of the pyramid, along with a resistivity profile using a Wenner array (S-N direction) perpendicular to the structure. The reduction-to-the-pole filter was applied to the magnetic data to define the position on the surface of the tunnel. This allowed to compute a three-dimensional model that agreed with the resistivity survey.

A total field magnetic survey was performed and a series of high and low magnetic patterns were obtained. The anomalies were interpreted as magnetic signature of basaltic intrusives surrounded by caves partially filled with soil. A resistivity profile was surveyed on one of these patterns. A couple of resistivity highs were found that corresponded to the position of two caves. This result was confirmed by exploratory drilling. The anomaly was modeled with a set of three-dimensional prisms, according to the results provided by the drills and the resistivity profile.

The results suggest an extension of the tunnel beneath the Pyramid of the Sun in the E direction and lend plausibility to the existence of a network of tunnels beneath the city.

**KEY WORDS:** Resistivity, magnetics, detection, tunnels, archaeology.

**INTRODUCCION**

Heyden (1975) describe las características de un túnel que pasa bajo la Pirámide del Sol, utilizado en tiempos de Teotihuacan II (100 a.C.) para fines rituales (Figura 1). Esta estructura tiene una longitud total (explorada) de poco más de 100 m, desde la base de la pirámide hasta una cámara tetralobulada que se encuentra casi por debajo del ápex de este edificio prehispánico, a una profundidad desde la superficie a la base del túnel de 6 m, aproximadamente. Originalmente se pensó que esta estructura terminaba en la cámara antes mencionada; sin embargo, existen evidencias basadas en un estudio geológico-geofísico realizado en Teotihuacan (Barba et al, 1990), que sugieren que el túnel continuaba en dirección E, hacia el flanco oriental de la pirámide (Figura 2).

Soruco (1985) obtuvo importante información de otra cueva de carácter astronómico al SE de la Pirámide del Sol. Basante (1982) hizo, por su parte, varias descripciones de cuevas del valle, algunas de las cuales fueron excavadas. Estos trabajos y lo expuesto por Heyden (1975, 1981) sugieren la existencia de un sistema de túneles y cuevas en Teotihuacan, que pudiese ser un modelo de inframundo o Tlalocan (Manzanilla et al, 1989).

La existencia de cuevas en Teotihuacan no es un dato nuevo. Heyden (1981) reproduce el glifo de Teotihuacan del Códice Xolotl en el cual se pueden apreciar las dos grandes pirámides (la del Sol y la de la Luna), bajo las cuales hay una cueva con un personaje dentro. No sería improbable que esta figura se refiriese a los oráculos que frecuentemente se hallaban dentro de cuevas, como lo señala la *Relación de Teotihuacan* (Soruco 1985: 107).

El fenómeno de los túneles y cuevas en el Valle de Teotihuacan es muy importante desde el punto de vista arqueológico debido a que está íntimamente ligado a la elección de la ubicación del primer centro urbano de Teotihuacan en el sector noroeste. Es importante hacer notar que, de acuerdo con Mooser (1968), el centro urbano en lugar de disponerse cerca de los manantiales de Puxtla en San Juan o más cerca de los lugares de cultivo, se haya elegido en un sector que, a primera vista, parecía inerte. El mismo autor menciona que, entre el Cerro Gordo y el Cerro Malinalco, había corrido un flujo piroclástico que cubrió la zona noroeste del valle y que sobre éste se había construido la parte norte de la ciudad. Un estudio geológico-geofísico a nivel regional en el valle de Teotihuacan. (Barba et al, 1990) reveló que los teotihuacanos, al poblar el valle, hallaron un sustrato de conos cineríticos ahogados en toba volcánica. Por eso se observan bombas volcánicas muy

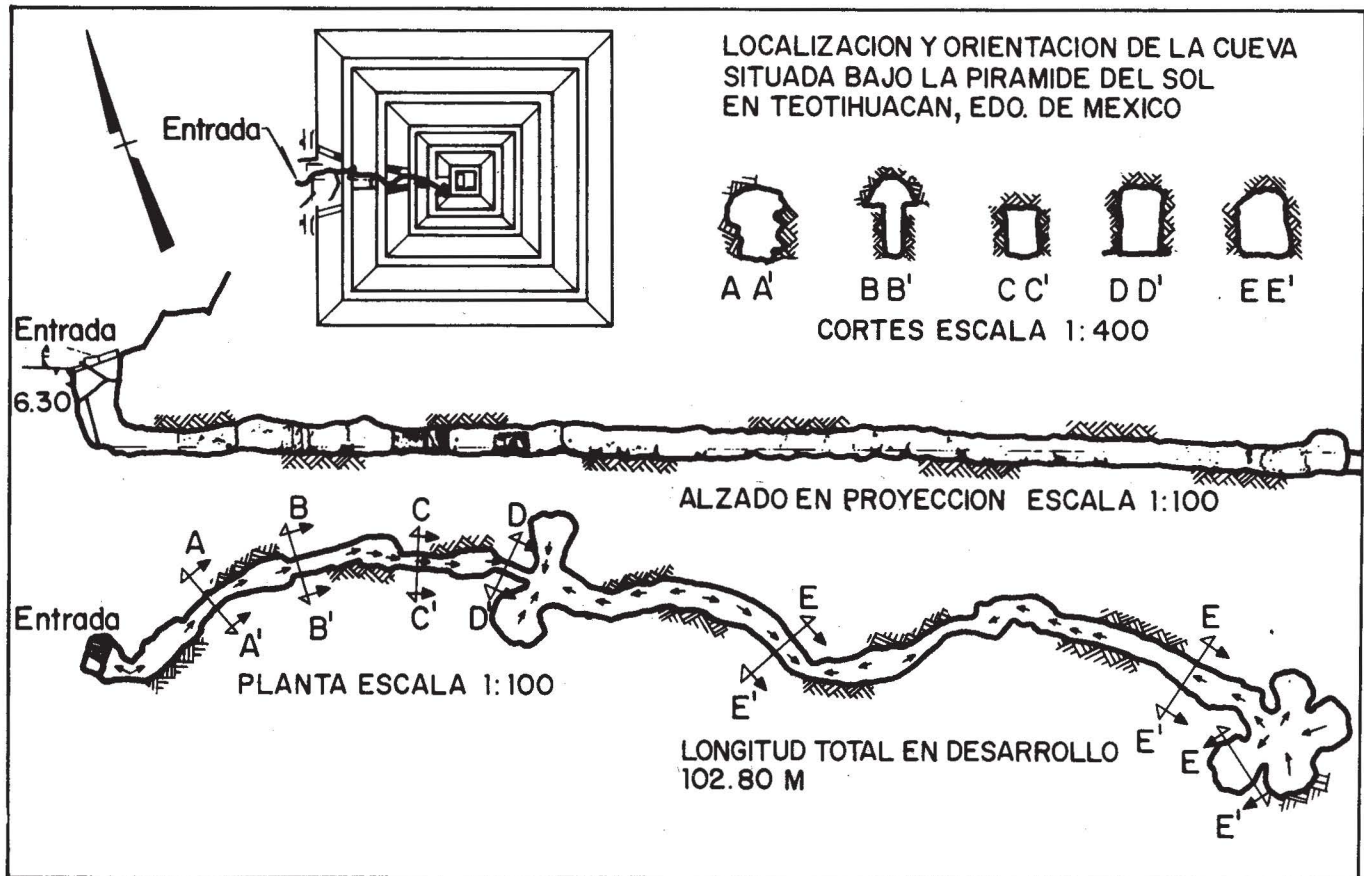


Fig. 1. Vista en planta y en sección del túnel que pasa por debajo de la Pirámide del Sol. Se muestra además su localización bajo la pirámide (Modificado de Heyden, 1981).

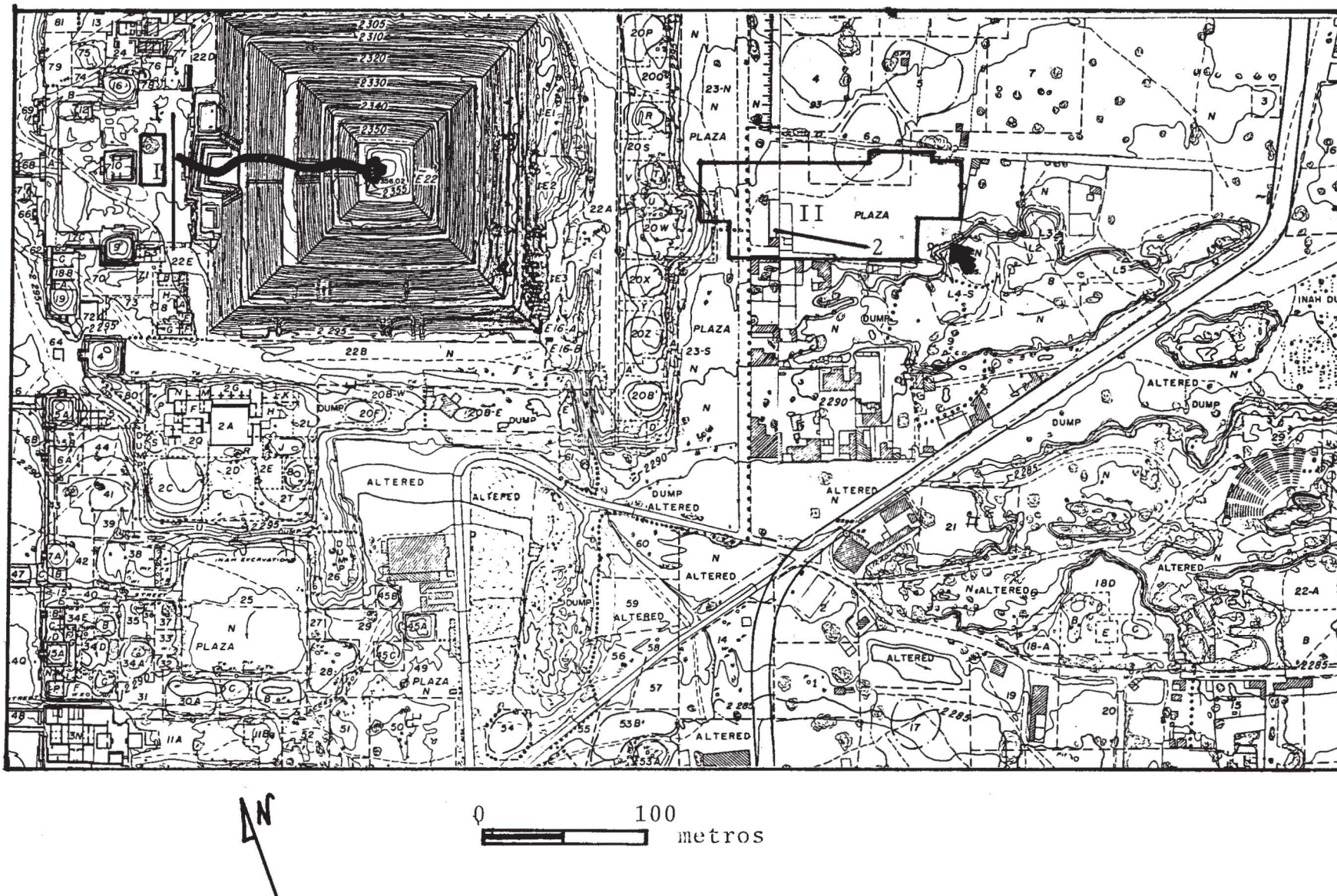


Fig. 2. Mapa topográfico de la zona de la Pirámide del Sol. Se muestra además la posición del túnel reportado por Heyden (1981). Los recuadros presentan la posición de los estudios magnéticos (I y II), y la posición de los perfiles de resistividad TEOW-1(1) y TEOW-2 (2). La flecha muestra la cueva explorada. Los contornos topográficos están a 1 m (Modificado de Millon, 1973).

grandes en el interior de cuevas. Los piroclastos formaron parte de la estructura del cono. Los teotihuacanos extrajeron estos materiales de estos sectores produciendo huecos a profundidad y depresiones en forma de túneles. En ciertos casos, fueron cavando en zonas de debilidad producto de los contactos entre la toba y los piroclastos de las laderas de los conos. Es posible que los teotihuacanos estuviesen buscando un tamaño y color determinado de los materiales, además de ciertas características como: facilidad de transporte y extracción, y ligereza. En ciertas zonas del valle aparecen grandes depresiones semicirculares en las que probablemente había una mayor concentración de conos cineríticos alineados W-E, que han sido vaciados y de los cuales sólo queda la parte central de la chimenea y algunos bloques inclinados de basalto (quizá los diques que están radiales al centro del cono).

El objetivo de este trabajo fue localizar la posible continuación del túnel referido por Heyden (1975) en dirección E de la pirámide. Para este fin se plantearon los siguientes estudios:

1. Un reconocimiento geológico de la zona aledaña para determinar los distintos tipos de fenómenos volcánicos presentes.
2. Un reconocimiento detallado de las cuevas y depresiones visibles localizadas al E de la pirámide del Sol con el fin de explorarlas y definir hasta donde fuese posible ubicar su extensión para ver en qué contextos litológicos están excavadas.
3. Llevar a cabo una serie de mediciones magnéticas de campo total y gradiente para definir las anomalías de interés. Realizar una serie de perfiles geoeléctricos en zonas bien localizadas para confirmar la presencia de posibles estructuras relacionadas con los túneles. La Figura 2 muestra las zonas donde se hicieron las mediciones magnéticas en forma de rejillas (zona I y II), y el par de perfiles eléctricos (TEOW-1 y TEOW-2).
4. Efectuar perforaciones para definir las propiedades y características de ciertas anomalías magnéticas y eléctricas, con objeto de evaluar los modelos geofísicos.

## BOSQUEJO GEOLOGICO

Los depósitos piroclásticos que cubren gran parte de la zona arqueológica de Teotihuacan representan un caso interesante en la geología del Valle. Mooser (1968) menciona que es sorprendente que los primeros asentamientos en este lugar no se realizaran en la zona de manantiales. Por otro lado, Mooser establece la posible existencia de agua en el fondo de algunas cuevas, lo que implicaría que este conjunto de cuevas y túneles localizados en los flujos piroclásticos jugarían un papel determinante en la ubicación de los asentamientos teotihuacanos.

El Cerro Malinalco localizado al N de la zona es una de las estructuras más antiguas en el valle; se encuentra muy erosionado y se identifica como un estrato-volcán del

Mioceno (Mooser, 1968). El Cerro Gordo es otra estructura de edad intermedia, pues los volcanes de la zona se encuentran del Terciario Medio al Cuaternario, siendo éste un estrato-volcán del Plioceno. Al NE de estos volcanes existen cuando menos cinco conos cineríticos del Cuaternario. De ellos provino el material que forma el flujo de lavas y tobas basálticas, que descendió por el estrecho existente entre los cerros de Malinalco y Gordo. Mooser (1968) y Barba *et al* (1990) mencionan la posible existencia de un cauce de un río o arroyo al final de dicho estrecho. Esto tuvo como consecuencia que al contacto del material caliente con el agua se produjera gran cantidad de vapor a lo largo de dicho cauce, formando los espacios vacantes que al solidificarse formarían las cuevas. Las tendencias de dichas estructuras están en dirección W-E (Barba *et al*, 1990), a la altura de la Pirámide de la Luna.

En dirección de la Pirámide del Sol, hacia el SE, el patrón estructural de los túneles cambia, extendiéndose en una gran área de colapsos y con trayectorias menos definidas. Esto, se cree, fue debido a un estancamiento de agua en esa zona, que es la más baja. Al parecer, este sistema de cuevas sólo puede existir hacia la parte N del Río San Juan, ya que la formación geológica al sur es completamente distinta, pues carece de estas estructuras.

Los túneles colapsados que pueden actualmente observarse son depresiones que se encuentran entre los 3 y 5 m bajo el nivel del suelo. En sus paredes, pueden observarse las entradas de dichos túneles y cuevas de diferentes tamaños. Algunos de ellos fueron parcialmente explorados; tal es el caso de Oztoyohualco, al NW de la Pirámide del Sol (Arzate *et al*, 1990, y el mencionado por Heyden (1975) entre otros, cuya entrada está en el flanco W de la pirámide, y que probablemente continúa hacia el E encontrándose con la cueva-observatorio, detrás de la pirámide del Sol.

Esta red tubular sobre la que se asienta la ciudad de Teotihuacan pudo haber sido modificada en algunos casos por los primeros habitantes de la ciudad para servir como pasajes entre ciertos puntos (ambas pirámides, por ejemplo). Es igualmente probable, como lo señala Mooser (1968) que estas estructuras tuvieran un adecuado abastecimiento de agua, dado que en sus partes más profundas existirían manantiales.

## ESTUDIO GEOFISICO EN LA PIRAMIDE DEL SOL

En 1987 se inició un estudio geofísico regional del Valle de Teotihuacan para abordar el problema de los túneles y cuevas de interés arqueológico (Chávez *et al*. 1988; Manzanilla *et al*. 1989; Barba *et al*. 1990; Arzate *et al*, 1990). Posteriormente, se realizó un estudio a detalle en la zona de la Pirámide del Sol, en donde se hallaba un túnel de importancia ceremonial y que se había propuesto como la causa para erigir encima la mayor estructura de la antigua ciudad de Teotihuacan (Figura 1). Se propuso incluso que era el lugar más sagrado del sitio, y que por tanto pertenecería a un sistema de estructuras de esta naturaleza que existirían por debajo de la ciudad arqueológica. Se decidió

entonces llevar a cabo un estudio geofísico detallado en la plaza localizada al frente de la pirámide del Sol (flanco W) y en su parte posterior (flanco E), con el fin de definir su continuidad con un sistema de túneles localizados hacia el E de la pirámide. La Figura 2 muestra las zonas en donde se realizó el levantamiento magnético (zona I y II) y la posición de los dos perfiles de resistividad eléctrica.

El estudio geofísico formó parte de la investigación arqueológica en relación a la continuación del túnel que cruza en dirección W-E la Pirámide del Sol, a profundidad. La Figura 1 muestra la trayectoria explorada del túnel (Heyden, 1981) antes mencionado. De acuerdo con las características de dicha estructura, como son, profundidad ( $\approx 3$  m, a la parte más alta) y diámetro (de 2 m a 4 m) (ver la Figura 1), fue posible definir el intervalo de muestreo para los levantamientos de magnetometría y de resistividad.

Para el estudio magnético se utilizó un magnetómetro de cesio marca Varian de campo total y de alta sensibilidad (0.1 nT). En la zona I se determinaron simultáneamente dos lecturas, a 0.3 m y a 1.2 m del suelo respectivamente, para obtener el gradiente magnético. En la zona II se hicieron observaciones de campo total con el sensor colocado a una distancia de 1.2 m del suelo. Para corregir estas observaciones, se instaló un magnetómetro base marca Geometrics 816 con el sensor puesto a 1.5 m de altura. Este se localizó en un claro fuera de la zona II de medición. Se tomaron lecturas cada 3 minutos para calcular la variación diurna.

Se utilizó un equipo de resistividad marca SCINTREX, que incluye un transmisor TSQ de 2.5 KW y un receptor IPR-10 para llevar a cabo los perfiles de resistividad. El arreglo empleado fue el de Wenner, que permitió definir con claridad las anomalías geoelectricas, en relación a su forma y tamaño. Para dicho arreglo la separación entre electrodos fue de 4 m (TEOW-1) y de 6 m (TEOW-2), siendo el intervalo de muestreo de 1 m para ambos casos.

#### A. Retícula magnética en la Zona E de la Pirámide del Sol

En la Plaza del Sol, entre la Pirámide del Sol y su adyutorio (Figura 2), se llevó a cabo un levantamiento de gradiente magnético a detalle (zona I), que consistió en realizar una serie de mediciones a lo largo de cinco líneas de 30 m en sentido N-S y separadas entre sí 4 m, con lecturas cada 2 m. El resultado se puede observar en la Figura 3A, donde se muestran las anomalías de campo total observadas con el sensor a 0.3 m. El efecto del túnel está representado por una anomalía dipolar cuyo lóbulo positivo se encuentra orientado hacia el N, y otro parcialmente expuesto hacia el SE. El gradiente magnético se midió con una separación entre sensores de 0.9 m (Figura 3B). El patrón de anomalía está asociado a la trayectoria del túnel en dirección W, hacia la plaza misma, y que desaparece alrededor de los 60 m (Figura 3A, eje de ordenadas). Es importante hacer notar que por la forma de las anomalías la magnetización de la estructura es de signo negativo. Sin

embargo, al suponerse el túnel vacío, o parcialmente relleno de material poco magnetizable, es de esperarse que el efecto proviene realmente de la roca encajonante, es decir de los flujos de basalto (Arzate *et al*, 1990).

La reducción al polo se aplicó a la anomalía de la Figura 3A, como se muestra en la Figura 4A. Esta transformación se efectuó mediante el método de filtraje en el dominio de las frecuencias (Correa, 1990), con objeto de centrar las anomalías sobre el cuerpo productor. Los parámetros usados fueron el ángulo de inclinación ( $I=47^\circ$ ) y de declinación ( $D=8^\circ 30'$ ), y el valor del campo geomagnético a esta latitud (IGRF=44300 nT). Se supuso que la magnetización del medio era totalmente por inducción. El resultado es un bajo magnético con una amplitud de 1670 nT, de forma elongada en dirección NE-SW.

Se interpretó la anomalía reducida al polo por medio de un modelo de prismas poligonales. La Figura 4B muestra el efecto magnético de un prisma que se encuentra a una profundidad de 3 m bajo el nivel del suelo, con un espesor de 3 m con una magnetización de 0.076 SI. Este valor fue obtenido del análisis en el Laboratorio de Paleomagnetismo del IGF-UNAM, de muestras localizadas en los alrededores de la Pirámide de la Luna hechas por Arzate *et al* (1990). De acuerdo con este modelo, el túnel descrito por Heyden (1975), parece seguir unos 14 m dentro de la zona I de medición y detenerse después. Actualmente, la extensión hacia el W de este túnel se encuentra bloqueada a los pies del flanco correspondiente de la Pirámide del Sol.

#### B. Retícula magnética al E de la Pirámide del Sol

Durante el estudio regional de las depresiones alrededor de la Pirámide del Sol (Barba *et al*, 1990) se encontró que entre la pirámide y la depresión que se encuentra al E (Figura 2, zona II), no existen construcciones localizadas en el mapa topográfico de Millon (1973). Esta región aparece como una gran plaza, delimitada por una gran depresión hacia el S y SE, edificios relacionados con la plataforma de la Pirámide del Sol hacia el W, y pequeños montículos pertenecientes a restos de pirámides hacia el N (Figura 2). Esto es inusual ya que todo el espacio alrededor de esta importante pirámide está ocupado por distintos tipos de estructuras. Si se toma en cuenta que las depresiones se forman por los colapsos de los techos, se puede suponer que una de las razones por las que los teotihuacanos no construyeron en esta área fue por el riesgo de hundimiento.

Se realizó una exploración subterránea de una cueva que comienza en la mencionada depresión (Figura 2, margen inferior derecha de la zona II marcada con una flecha), obteniéndose un mapa en planta de la extensión de dicha estructura. Esto permitió definir su trayectoria en dirección W, hacia la pirámide. La Figura 5 muestra una imagen del interior de una de las cámaras exploradas. Como se puede observar, la altura entre el piso y el techo de estos túneles es muy variable, de unos cuantos centímetros hasta de varios metros. En el reconocimiento de su interior pudieron apreciarse sedimentos que elevaban el piso de la cueva de

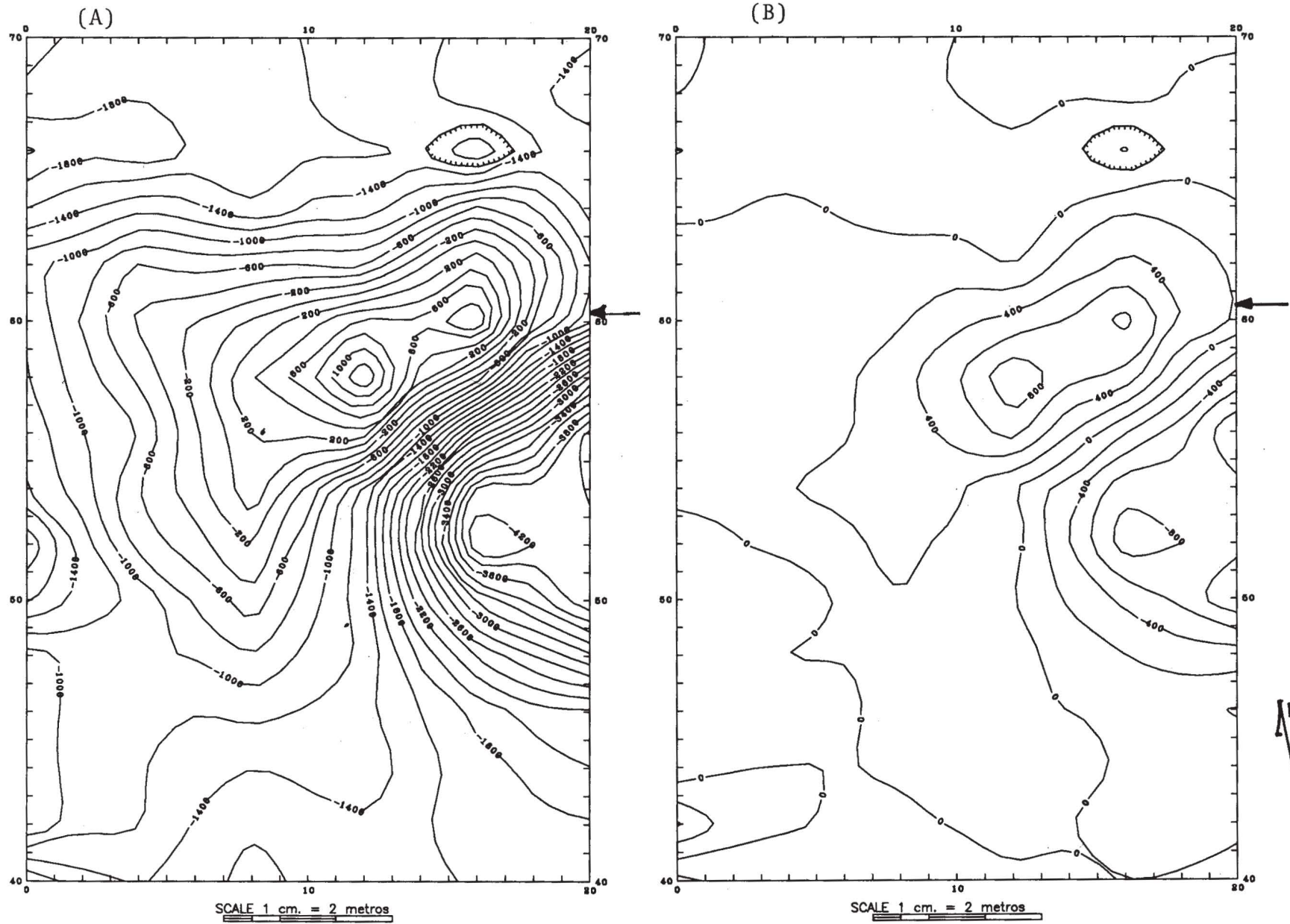


Fig. 3. Mapa de anomalías magnéticas de campo total (sensor a 0.3 m) (A). Mapa de gradiente magnético ( $\Delta h=0.9$  m) (B). La posición estimada del túnel está marcada por la flecha. Los contornos están cada 200 nT.

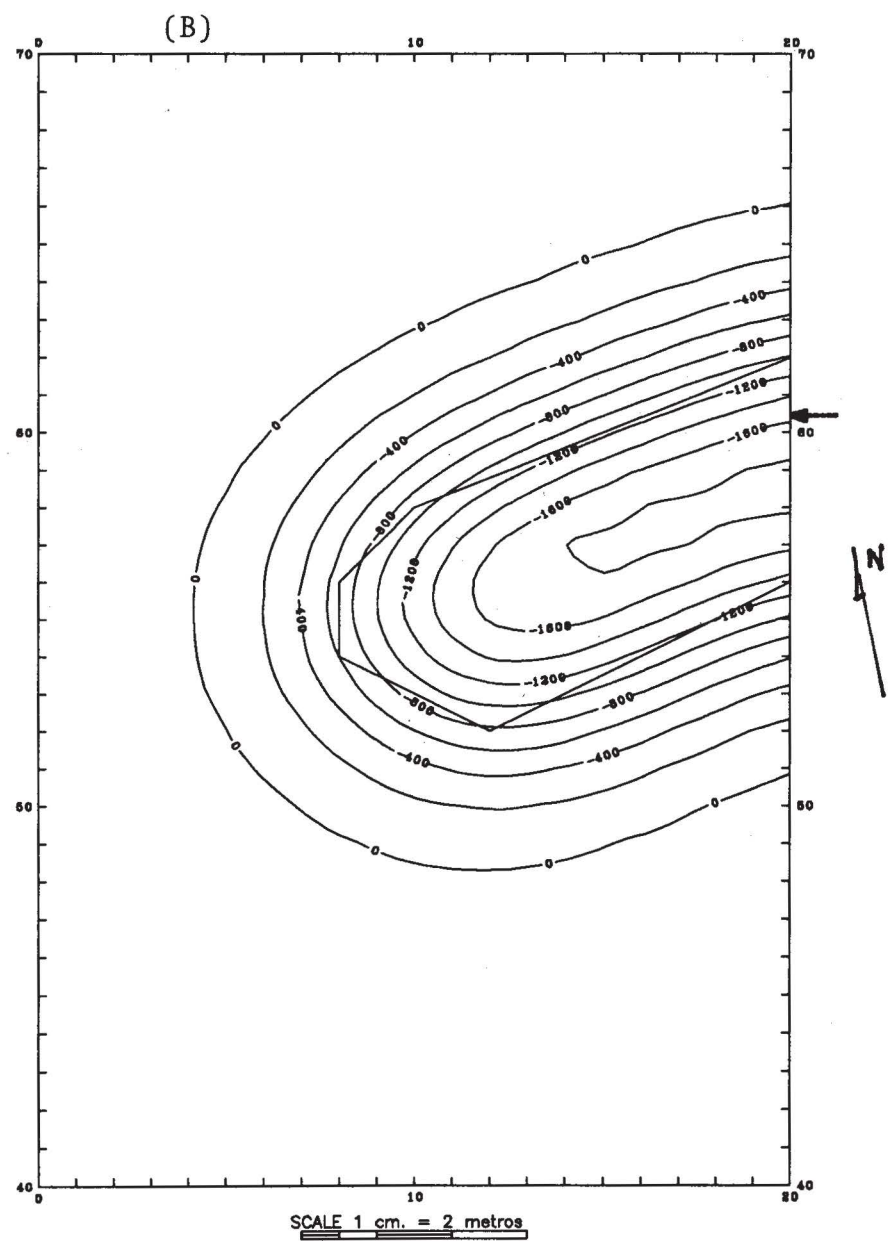
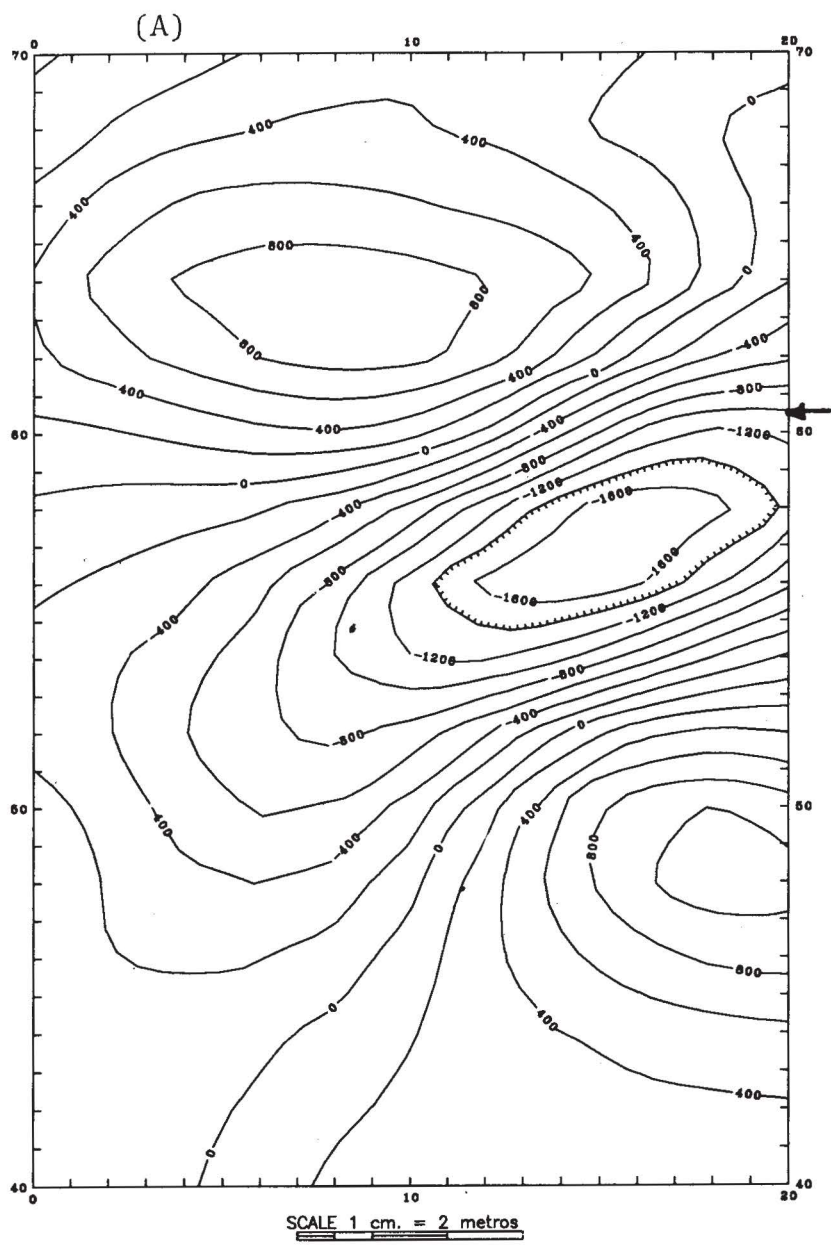


Fig. 4. Reducción al polo del mapa de la Fig. 3A. (A). Anomalías de campo total calculadas a partir del modelo formado por un prisma poligonal (línea continua) (B). La flecha marca la posición estimada del túnel. Contornos cada 200 nT.



Fig. 5. Fotografía que muestra el interior de una de las cámaras de la cueva explorada (flecha en la Fig.2). Nótese en la parte superior los flujos piroclásticos. El suelo es material de relleno y toba.

forma inesperada en dirección W, descubriéndose que en la última cámara explorada, el piso se unía al techo. Se decidió entonces seguir su trayectoria utilizando métodos geofísicos.

En este espacio se llevó a cabo un levantamiento de campo total en la superficie del terreno para intentar detectar la continuación de túneles observados en la mencionada depresión y su seguimiento en dirección a la Pirámide del Sol (Figura 2, zona II). Resultados anteriormente obtenidos en la detección de cuevas en el área de la Pirámide de la Luna (Arzate *et al*, 1990) y el estudio magnético realizado en la zona I indicaron que los valores magnéticos bajos estaban relacionados con la presencia de estas cavidades. La Figura 6A muestra la anomalía de campo total obtenida. Los bajos magnéticos están asociados a la presencia de túneles u oquedades y los altos a los pilares de basalto, mencionados anteriormente.

La retícula posee dimensiones de 160x80 m<sup>2</sup>, aproximadamente, en la cual se tomaron lecturas magnéticas cada 2 m, con un total de 1380 estaciones, distinguiéndose cuatro zonas importantes marcadas con las letras A, B, C, y D (Figura 6). Estas anomalías están asociadas a los restos de conos volcánicos mencionados al principio, en forma de pilares de basalto, y las zonas probables de extracción de

material usado en la construcción de los edificios prehispánicos.

La Figura 5B muestra el resultado de aplicar el filtro de reducción al polo (Correa, 1990) a los datos de la Figura 5A. En este mapa nuevamente se han marcado las zonas de interés con las letras de la A a la D. Es interesante hacer notar que dichos máximos se encuentran rodeados por bajos magnéticos que presentan un patrón semicircular alrededor de estos rasgos. Esto puede indicar la existencia de una serie de túneles y oquedades excavadas a profundidad que estarían comunicadas entre sí.

La Figura 7A es una amplificación de la anomalía magnética (C) de la Figura 6. Se observa la posición del perfil eléctrico TEOW-2 y los puntos (círculos negros) en donde se realizaron los barrenos exploratorios. El barreno (1) se hizo justo encima del alto magnético, encontrando el tope del pilar de basalto a 1 m de la superficie, aproximadamente. Esta estructura se continuó por los siguientes 3 m, sin encontrar la base de la misma. El barreno (2) se llevó a cabo en la región de bajos magnéticos, localizándose un hueco relleno de sedimentos no consolidados a una profundidad de 3.3 m en su parte más alta y con un espesor estimado de más de 2 m.

Con base en los resultados obtenidos, se construyó un modelo tridimensional compuesto por una serie de prismas



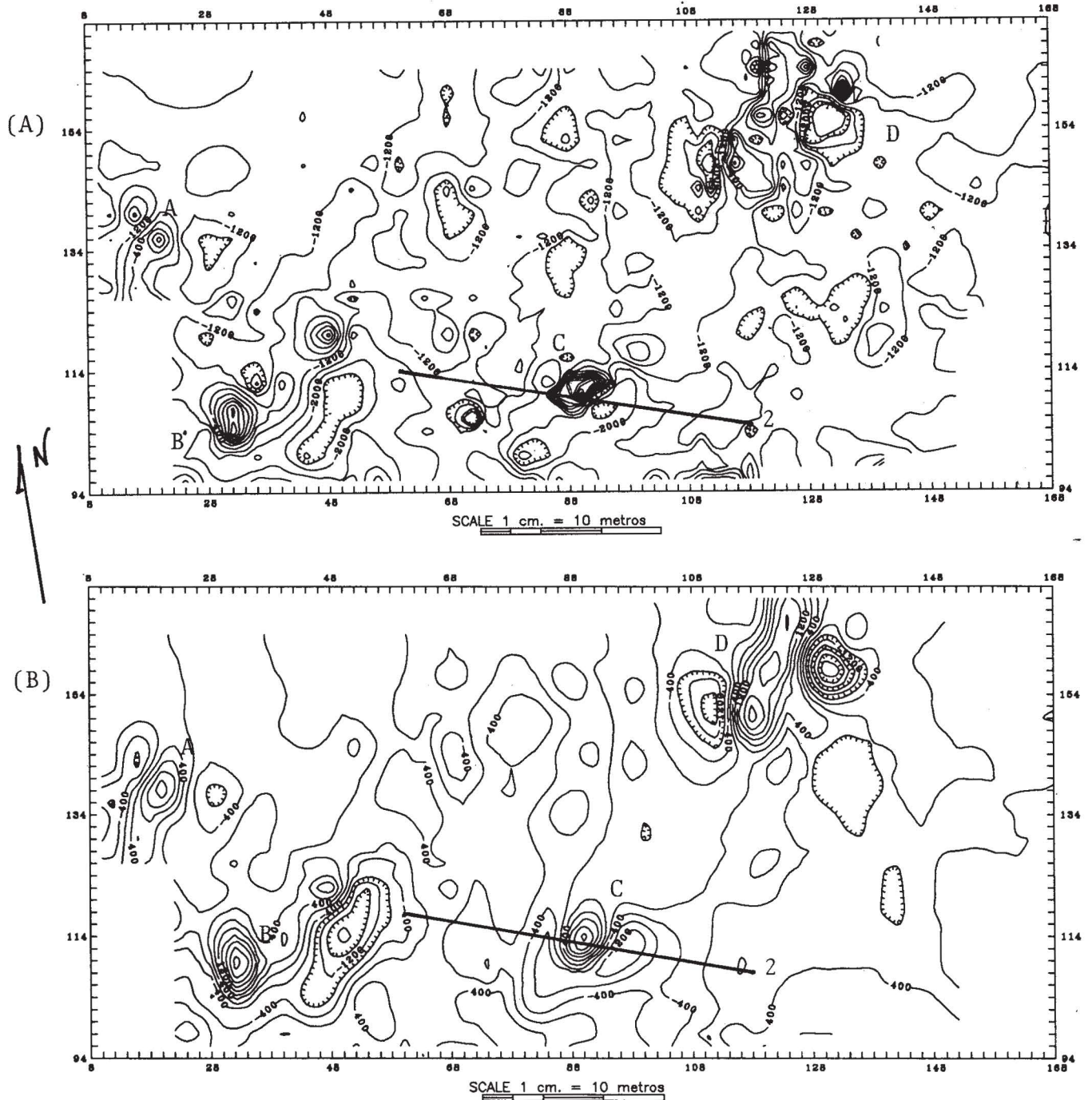


Fig. 6. Anomalía de campo total perteneciente a la región E de la Pirámide del Sol, zona II (A). Anomalía reducida al polo (B). Nótese los patrones magnéticos (anomalías A, B, C, D) asociados a los pilares de basalto (altos magnéticos) y a las zonas semicirculares excavadas (baos magnéticos). Contornos son cada 400 nT.

poligonales (3) para modelar la anomalía de la Figura 7A. El modelo con su correspondiente respuesta magnética calculada se observa en la Figura 7B. Este modelo se puede asociar a una estructura en forma de pilar rodeada de una caverna de forma semilunar, probablemente debido a que los teotihuacanos, al cavar, se toparon con el dique de basalto y lo bordearon para continuar la extracción del material.

### C. Interpretación de los perfiles geoelectricos

La Figura 2 muestra la localización de los perfiles de resistividad realizados en la zona en estudio. El primer perfil TEOW-1 se encuentra a unos 10 m de la rejilla de gradiente magnético, hacia la escalinata principal de la Pirámide del Sol, en su flanco W. Este perfil en particular cruza transversalmente el punto por donde se estima pasa

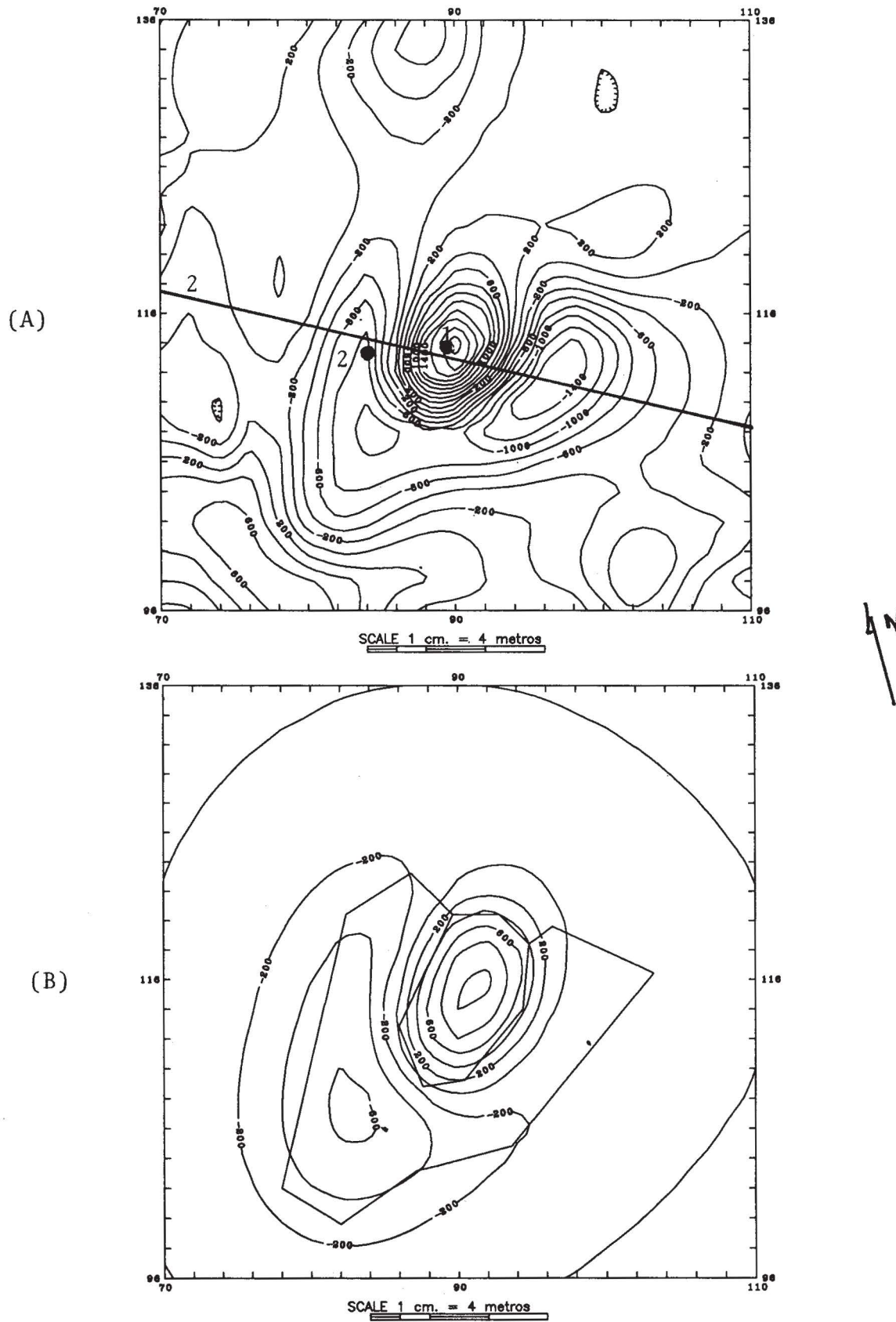


Fig. 7. Amplificación de la anomalía reducida al polo (C), que muestra la posición del perfil de resistividad TEOW-1 y los barrenos exploratorios (1 y 2) (A). El modelo magnético de la anomalía (C), en línea continua y su respuesta se muestra superpuesta (B). Contornos son cada 200 nT.

el túnel a profundidad descubierto por Heyden (1975), como se puede observar en la Figura 8 (4 m de profundidad, 3 m de espesor, y 6 m de ancho). Sobre esta misma línea se realizó también un perfil de gradiente magnético, con separación de detectores de 0.9 m, donde el sensor inferior estaba a una altura de 0.3 m. El segundo perfil TEOW-2 se hizo dentro de la zona II del levantamiento magnético, en dirección SE-NW. Este perfil pasa por el centro de la anomalía magnética (C) de la Figura 7A, que es la continuación del túnel explorado antes mencionado (Figura 5).

El perfil TEOW-1 muestra dos máximos de resistividad de 60 Ohms/m y 51 Ohms/m, respectivamente. La posición del túnel que se muestra en la Figura 8, ha sido inferida a partir de la interpretación magnética de la Figura 4B y de la posición estimada del túnel a profundidad. Esta estructura está asociada a los máximos de resistividad reportados y se encuentra entre los 62 m y los 68 m, aproximadamente. Por otro lado, el gradiente magnético presenta un mínimo de 680 nT/m de amplitud sobre la posición estimada del túnel. Se puede observar también un máximo en el gradiente magnético que parece coincidir con un mínimo de resistividad hacia donde la curva observada termina. Este resultado hace pensar que además de la estructura del

túnel se encuentra otro cuerpo, que es posiblemente parte de la misma plataforma de la pirámide del Sol en esa dirección.

La Figura 9 muestra el perfil eléctrico TEOW-2 realizado en la sección S de la rejilla magnética (Figura 6B y Figura 7A). Esta línea se llevó a cabo con objeto de confirmar la existencia de una oquedad bajo el patrón de anomalías magnéticas obtenida en la zona C (Figura 7A). La curva de resistividad observada muestra la presencia de dos altos de resistividad (con amplitudes de 165 Ohms/m y 118 Ohms/m, respectivamente). Se ha incluida en esta Figura 9 un perfil magnético obtenido de los datos de la Figura 6B (MAG-2). Como en el caso anterior, aparecen dos bajos magnéticos (18 m y 33 m) asociados a los máximos de resistividad, y un alto magnético (26 m) asociado al máximo de resistividad cuya amplitud es bastante alta, 2,200 nT aproximadamente, asociado a un pilar de basalto. En la misma Figura 9 se observa la posición de los barrenos exploratorios (1 y 2). El barreno (1) confirmó la presencia de dicho pilar. Por otro lado, la perforación (2) encontró evidencia de la oquedad modelada en la Figura 7B (cuerpo semicircular), al obtenerse material de relleno muy poco compactado. Ambos perfiles de resistividad confirman los resultados obtenidos con magnetometría y los barrenos ex-

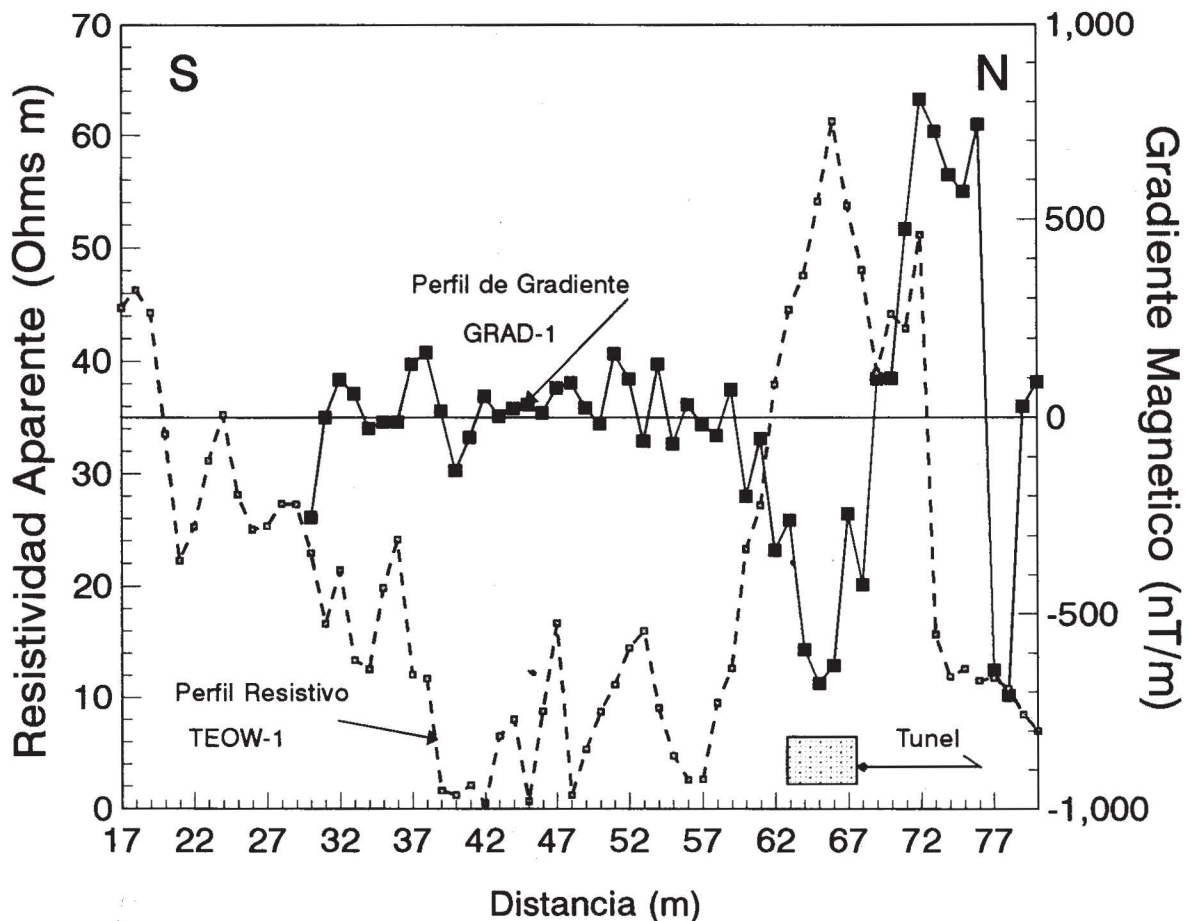


Fig. 8. Perfil de resistividad TEOW-1 (□) y de gradiente magnético GRAD-1 (▲). Se muestra esquemáticamente la posición del túnel inferida a partir del modelo obtenido en la Fig. 4B y de su posición a profundidad (Fig. 2). Es importante hacer notar el patrón observado: el máximo de resistividad coincide con el mínimo de gradiente magnético en la posición del túnel.

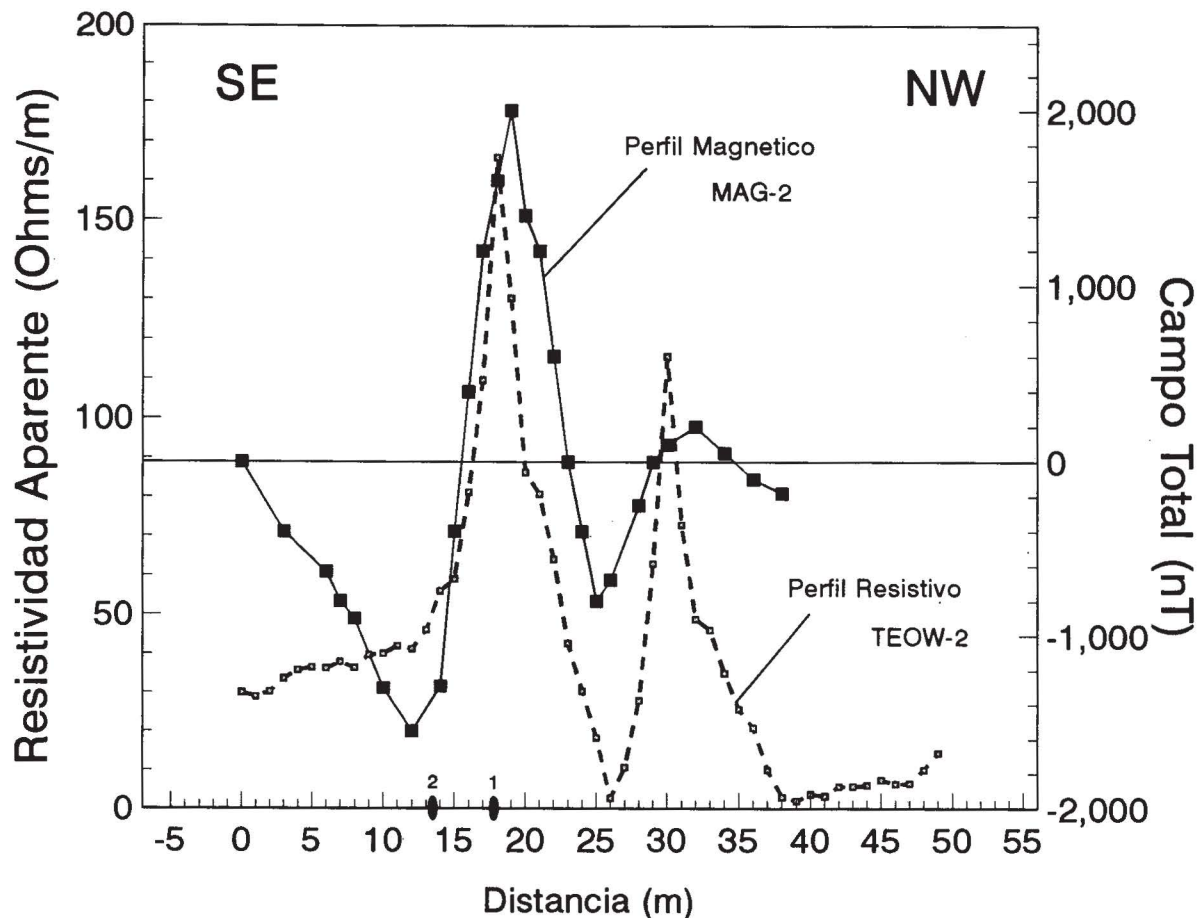


Fig. 9. Perfil de resistividad TEOW-2 (□) y de campo total reducido al polo MAG-2 (■). Se muestra la posición de los barrenos exploratorios (1 y 2). El patrón de las curvas de resistividad y magnética es similar al de la Fig. 8.

ploratorios realizados en la zona al presentar el mismo patrón de comportamiento. Estos estudios hacen evidente el método propuesto por los arqueólogos, que fué seguido por los antiguos pobladores de esta ciudad para obtener el material de construcción necesario, e igualmente modificar algunas de estas estructuras para sus propias ceremonias religiosas.

### CONCLUSIONES

Al iniciar el trabajo, se contó con datos provenientes del túnel descrito por Heyden (1975) y de cuevas que son visibles en depresiones aledañas a la Pirámide del Sol. Una de ellas, ubicada en la margen inferior derecha de la retícula II magnética, fue estudiada con detalle y fue posible correlacionarla con los mínimos magnéticos. El trabajo que aquí se describe tuvo como meta el obtener información en los espacios intermedios entre estos dos extremos. La correlación del perfil geoelectrico TEOW-1 con interpretación de la rejilla y el perfil GRAD-1 de gradiente magnético muestran la presencia de una oquedad que es la continuación hacia el oeste del túnel que describe Heyden (1975), el cuál parece terminar abruptamente entre la base W de la pirámide y el Adoratorio (Figura 2).

La tendencia de las anomalías magnéticas indicaron la presencia de diques basálticos rodeados por huecos, como

fue confirmado por los barrenos exploratorios (1 y 2) y el perfil de resistividad TEOW-2. Por lo tanto, puede pensarse que el túnel de la Pirámide del Sol forma parte de un sistema de cuevas y túneles que desemboca en la depresión E, donde se observan un buen número de ellas, y una de las cuáles fue parcialmente explorada (Figura 2). Esto sugiere que los bajos magnéticos asociados a máximos de resistividad indican la presencia de material no magnético que, al parecer, está relleno de espacios vaciados por los teotihuacanos. Este resultado confirma que la mayor parte de los mínimos magnéticos mostrados por la retícula (Figura 6) deben corresponder a espacios parcialmente rellenos. También se confirma la hipótesis planteada acerca de que un sistema de cuevas y túneles se extiende desde la depresión hasta las proximidades de la Pirámide del Sol. Existe la posibilidad de que los mismos teotihuacanos hayan relleno intencionalmente las cavidades, dado que se observó que el volumen de tierra es mayor en la parte interior de las cavidades que en la boca.

### AGRADECIMIENTOS

Se agradece de una manera muy especial a los estudiantes del curso de Prospección Eléctrica de la Fac. de Ingeniería, UNAM que ayudaron en la recolección de los datos de resistividad eléctrica y a los tesisistas del IIA-UNAM por su colaboración en la obtención y captura de los datos

magnéticos. Este estudio forma parte de un proyecto interdisciplinario entre los Institutos de Investigaciones Antropológicas, de Geofísica y la Facultad de Ingeniería (Div. de Ciencias de la Tierra). Este estudio fue financiado por CONACyT (Dra. Linda Manzanilla), por el proyecto IGF-029102 (Dr. René E. Chávez) y la Fac. de Ingeniería (Div. de Ciencias de la Tierra: Geofísica), la que además prestó el equipo de resistividad y dos magnetómetros de campo total G-816.

#### BIBLIOGRAFIA

- ARZATE, J. A., L. FLORES, R. E. CHAVEZ, L. BARBA y L. MANZANILLA, 1990. Magnetic Prospecting for Tunnels and Caves in Teotihuacan, México, Geotechnical and Environmental Geophysics. S. H. Ward (ed.). Society of Exploration Geophysicists. Investigations in Geophysics No. 5 pp. 155-162.
- BARBA, L. A., L. MANZANILLA, R. CHAVEZ, L. FLORES y A. J. ARZATE, 1990. Caves and tunnels at Teotihuacan, Mexico; A geological phenomenon of archaeological interest, Centennial Special Volume 4, Geological Society of America, 431-438.
- BASANTE, O. R., 1982. Algunas cuevas en Teotihuacan, Memoria del Proyecto Arqueológico Teotihuacan 80-82, R.
- CABRERA CASTRO, I. RODRIGUEZ y N. MORELOS (eds.), México, INAH, Colección Científica, Arqueología 132, 341-354.
- CHAVEZ, R., J. ARZATE, L. FLORES, L. MANZANILLA y L. BARBA, 1988. Estudio geofísico de las cuevas y túneles de Teotihuacan, México, UNAM, Instituto de Geofísica, Comunicaciones Técnicas. Serie Investigación No. 78.
- CORREA, I., 1990. Transformación lineal en frecuencias de mapas gravimétricos y magnéticos: Tesis de Maestría en Ingeniería (DEPFI-UNAM), México, 137p.
- HEYDEN, D., 1975. An Interpretation of the Cave Underneath the Pyramid of the Sun in Teotihuacan, Mexico. *American Antiquity*, 40, 131-147.
- HEYDEN, D., 1981. Caves, Gods, and Myths: World Views and Planning in Teotihuacan, en Benson, Elizabeth P. (ed.): *Mesoamerican Sites and World Views*, Dumbarton Oaks Research Library and Collection, Washington, 1-39.
- MANZANILLA, L., L. BARBA, R. E. CHAVEZ, J. ARZATE y L. FLORES, 1989, El inframundo de Teotihuacan. Geofísica y Arqueología, Ciencia y Desarrollo XV-85, CONACYT, México, 21-35.
- MILLON, R., 1973. Urbanization at Teotihuacan, Mexico, 1: The Teotihuacan Map. Text, Austin, University of Texas Press.
- MOOSER, F., 1968. Geología, naturaleza y desarrollo del valle de Teotihuacan, En: *Materiales para la arqueología de Teotihuacan*, J. L. Lorenzo (ed.), México, INAH, Serie Investigaciones No. 17, pp. 29-37.
- SORUCO, E., 1985. Una cueva ceremonial en Teotihuacan, tesis de licenciatura en Arqueología, México, ENAH.
- René E. Chávez<sup>1</sup>, Linda Manzanilla<sup>2</sup>, Nayeli Peralta<sup>2</sup>, Andrés Tejero<sup>3</sup>, Gerardo Cifuentes<sup>3</sup> y Luis Barba<sup>2</sup>.
- <sup>1</sup> Instituto de Geofísica UNAM, Laboratorio de Exploración, Cd. Universitaria, 04510 México D.F.
- <sup>2</sup> Instituto de Investigaciones Antropológicas UNAM, Cd. Universitaria, 04510 México D.F.
- <sup>3</sup> Facultad de Ingeniería, Div. de Ciencias de la Tierra, UNAM. Cd. Universitaria, 04510 México D.F.