

Reyes, Erick y Beatriz Cosenza

2008 Metodologías arqueofísicas utilizadas en Guatemala en los últimos veinte años. En *XXI Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2007* (editado por J. P. Laporte, B. Arroyo y H. Mejía), pp.1109-1121. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala (versión digital).

70

## METODOLOGÍAS ARQUEOFÍSICAS UTILIZADAS EN GUATEMALA EN LOS ÚLTIMOS VEINTE AÑOS

*Erick Reyes  
Beatriz Cosenza*

### Palabras clave

*Arqueofísica, física nuclear, arqueometría, prospección, frecuencia, metodología, análisis, técnica, geofísica, análisis de cerámica, fechamiento*

### Abstract

#### **ARCHAEOPHYSICAL METHODOLOGIES APPLIED IN GUATEMALA DURING THE LAST TWENTY YEARS**

*In the field of archaeological research it has been generalizing the use of techniques developed due to the advances of physics, originally conceived for studies in many different fields of science, but that have revealed to be very useful tools in providing information to the archaeologist. This paper is an analysis of the archaeophysical methodologies that have been applied in Guatemala during the last twenty years, in order to verify the tendency to increasingly incorporate such techniques and estimate the convenience of their implementation for the reduction of costs, the prospection planning and the introduction of more exact field data in archaeological investigations.*

La investigación arqueológica mundial ha evolucionado al compás de la tecnología, incorporando técnicas multidisciplinarias que aportan información al arqueólogo. Con el fin de verificar el desarrollo de dichas técnicas en Guatemala, se realizó un primer análisis partiendo de la evidencia documental, de modo que se tenga una referencia de la aplicación progresiva de las metodologías que se denominan arqueofísicas. Se eligió una retrospectiva de 20 años, puesto que la documentación revisada está constituida por las memorias de los Simposios de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, que se realizan desde 1987, por ser éstas una recopilación sistemática representativa del quehacer de la arqueología en el país.

Se define aquí *arqueofísica* como la parte de la arqueometría que agrupa todas las metodologías en las cuales se aplica alguna ley o principio físico para fines de investigación y análisis arqueológico.

En general, la investigación arqueológica comienza con un estudio regional de reconocimiento, que permite ubicar un sitio particular en un contexto común de estudio a escala mayor. Luego se realizan diversas formas de prospección para definir las áreas específicas de trabajo y plantear algunas hipótesis sobre su función. Se ejecutan excavaciones estratigráficas para establecer una relación cronológica entre los diversos niveles de ocupación (por ejemplo, de sitios abandonados superpuestos en el mismo lugar). Luego se procede al análisis de los materiales, el cual permite determinar las materias primas, su procedencia, las técnicas de elaboración y su función. Además, se efectúa el fechamiento de materiales de interés, para obtener un marco cronológico que permite ubicar los sucesos en el tiempo. Y, por último, se hace la integración e interpretación, que obliga al investigador a dar la explicación final del caso en base a la información recabada.

Para llevar a cabo todo este proceso, la arqueología es una ciencia que por mucho tiempo ha usado la pala y el pico valiéndose de estudios aerofotográficos, fotogramétricos y de reconocimiento superficial en base a la detección de cambios topográficos abruptos (montículos), a la concentración de cerámica y/o roca, además de la arquitectura visible.

Actualmente se puede hacer uso de las imágenes de satélite para el estudio regional. Para definir estructuras enterradas contamos con la ayuda de fotografías aéreas de baja altitud, de la geofísica de superficie, de aparatos de sondeo mecánico, análisis topográfico, sistemas de posicionamiento global, sistemas de información geográfica, etc. Para el análisis de los materiales, se hace la separación macroscópica y luego se usan microscopios electrónicos de barrido, espectrómetros de masas, aceleradores y otras herramientas de tecnología avanzada. Para fechar los materiales, se utilizan técnicas de radiocarbono, termoluminiscencia, hidratación de obsidiana, dendrocronología, etc.

Una parte fundamental de todo este proceso la constituye la prospección arqueológica, que se refiere al uso de varias técnicas que, aplicadas a un sitio, sirven para determinar la ubicación de éste y de sus rasgos enterrados. Debido a que una parte de la información arqueológica no está ni en las estructuras ni en los artefactos, sino en la relación entre ellos y en su contacto con el medio que los rodea, la excavación tradicional altera e incluso puede dañar la información intrínseca del suelo y sedimentos al removerlos y desecharlos. Sin embargo, parte de esta información puede obtenerse desde la superficie y ser interpretada antes de practicar una excavación destructiva.

Es indudable la importancia de la afinación de las técnicas de prospección en la arqueología moderna. Cada día las posibilidades de aplicarlas aumentan con el uso de equipos mejorados; sin embargo, el problema de la interpretación de los resultados persiste. Esto se debe a que cualquier característica aislada es sólo una pequeña parte de la información arqueológica total: aún en el caso en que la técnica fuera muy rigurosa y exacta, la información obtenida sería sólo parcial. La complejidad del comportamiento humano produce muy diversas modificaciones en un asentamiento. Por ello, en lugar de practicar un análisis intensivo de cada una de estas modificaciones, se intenta estudiar las que se revelan más definidas e interpretar todo en conjunto. De este modo, la información geofísica, por ejemplo, permitirá la interpretación de sitios arqueológicos desde la superficie, cuando muchas pequeñas partes se conjuntan para construir un cuerpo de información más completa, y así reducir la cantidad de prospecciones invasivas a realizar.

Por último, es necesario integrar la información en mapas de distribución y estadísticas. Sin embargo, para interpretar los resultados, la única herramienta fiable es la inteligencia humana.

En la presente versión digital se ha incluido una serie de fotografías que ilustran el proceso de prospección de campo descrito más adelante (Figuras 6 a 12).

## **LAS TÉCNICAS ARQUEOFÍSICAS**

### **FOTOGRAFÍA AÉREA**

Se caracteriza por su capacidad de establecer la correlación entre rasgos que son imposibles de apreciar al nivel del suelo, mostrando patrones de distribución que facilitan la detección y delimitación de posibles sitios de estudio. Los restos arqueológicos que pueden producir marcas en la superficie son los que están a menos de 1 m de profundidad. Éstas se deben a diferencias en las características químicas, físicas y biológicas de las capas superiores. La mayoría de las marcas son producidas por el comportamiento diferencial del suelo cuando un agente actúa uniformemente sobre la superficie.

### **GEOFÍSICA DE SUPERFICIE**

Los métodos geofísicos pueden ser: pasivos, cuando miden la variación de las propiedades físicas del suelo, y activos, cuando producen una alteración en el terreno y miden la respuesta que se produce en él. Según la propiedad física que se mida, éstos pueden ser:

## MÉTODOS RESISTIVOS

Son métodos activos basados en la búsqueda de contrastes entre las propiedades eléctricas del suelo y de las estructuras enterradas en él. Dicho contraste depende de la naturaleza de los materiales, su forma, distribución y el contenido de humedad. Si este contraste es suficientemente grande, los rasgos arqueológicos serán detectados. La propiedad medida se denomina resistividad aparente, que es la resistividad que se observa en la superficie a causa de la distribución de resistividades de los distintos materiales en el subsuelo. En general, la medición se realiza por medio de arreglos de cuatro electrodos (Pérrot-Minnot *et al.* 2005), dos que introducen corriente eléctrica en el terreno, y dos que miden la diferencia de potencial resultante (Carabelli s.f.). La separación entre los electrodos aumenta la profundidad de investigación por lo que, en el trabajo arqueológico, la distancia entre electrodos es pequeña dado que los rasgos normalmente se encuentran cerca de la superficie.

## PROSPECCIÓN MAGNÉTICA

El reconocimiento magnético es la técnica de prospección más ampliamente usada en arqueología debido a su confiabilidad y fácil uso. Se basa en la medición de pequeños cambios en las propiedades magnéticas del terreno (Aitken 1958). El campo magnético total en cualquier punto de la superficie de la Tierra es la suma de variaciones locales (características geológicas o arqueológicas), sumadas a las variaciones en la intensidad del campo magnético terrestre. Los magnetómetros más comunes en arqueología son los de protones y de vapor de cesio (Pérrot-Minnot *et al.* 2005), capaces de medir pequeñas variaciones en la intensidad del campo magnético total. Con este equipo es posible registrar lecturas en distintos puntos de un sitio arqueológico; el recorrido sistemático de la superficie permitirá la interpretación final. Normalmente se presentan rasgos concentrados, como los hornos y las cavidades, o rasgos lineales como los muros y las trincheras por el contraste de susceptibilidad (capacidad de magnetización; Linington s.f.). El magnetómetro detecta fácilmente los hornos debido al cambio de propiedades magnéticas que el fuego produce por la combinación de temperatura, minerales de hierro, tiempo y condiciones reductoras durante la combustión, que ocasionan cambios importantes en las partículas de hierro (Tite y Mullins 1971).

Interpretar las anomalías es quizá el paso más importante en la prospección magnética, por lo que es necesario considerar algunas influencias perturbadoras. Estas anomalías se desplazan un poco hacia el sur con respecto a su origen. En una curva de perfil normal existen dos aspectos asociados: un valor magnético mínimo hacia el norte junto con un valor máximo hacia el sur.

## TÉCNICAS ELECTROMAGNÉTICAS

Son eficientes en la detección de metales, sin embargo, son escasos en Mesoamérica, por lo que su aplicación arqueológica en esta región es limitada. Se propone como una herramienta para minimizar interferencias magnéticas causadas por la presencia de objetos metálicos, ayudando a desechar anomalías indeseables y evitar errores de interpretación en la prospección magnética. El principio de operación de sus equipos (EM-31, EM-38, localizadores magnéticos y detectores de metales) se basa en la emisión y recepción de campos electromagnéticos en sus bobinas.

El georadar (*ground penetrating radar* -GPR-) posee múltiples aplicaciones ya que ofrece un registro de alta resolución, es un método rápido y la utilización de intervalos de disparo pequeños permite considerarlo como un método casi continuo. Su aplicación a yacimientos arqueológicos permite la caracterización del subsuelo de forma no invasiva, por lo que constituye una herramienta muy útil para la delimitación y caracterización de estructuras. En el mejor de los casos, la técnica permite dimensionar las labores de excavación arqueológica, delimitar sectores de interés y orientar la intervención arqueológica. Su éxito depende de las características naturales del terreno, del tipo de estructuras arqueológicas analizadas, del equipo utilizado y de la correcta interpretación. Los datos son registrados directamente en un equipo informático, donde pueden ser visualizados casi en tiempo real durante las labores de prospección. Una antena emite una señal al suelo, la cual puede sufrir reflexión, refracción o difracción. Las ondas reflejadas son captadas por una antena receptora y son visualizadas directamente en el

monitor del equipo. Así, los datos indican variaciones de las propiedades electromagnéticas de los materiales del subsuelo, tales como la permisividad eléctrica, conductividad y permeabilidad magnética del subsuelo, y dependen también de la intensidad de la señal recibida y su tiempo de llegada.

## **ANÁLISIS DE CERÁMICA Y SEDIMENTOS**

Los principios de la física nuclear han permitido desarrollar equipos de frecuente uso para el análisis químico de cerámica y sedimentos. Los métodos más utilizados son:

### **ESPECTROMETRÍA DE MASAS**

Una partícula cargada sufre una fuerza si se desplaza en presencia de un campo magnético. Esta fuerza, llamada fuerza de Lorentz, desvía a la partícula de su trayectoria original en un radio de curvatura que depende de la masa y de la carga de la partícula. Para un núcleo dado, existe un cociente carga/masa ( $q/m$ ) que lo caracteriza. Una vez fijo el campo magnético, núcleos de diferente  $q/m$  incidirán sobre una placa detectora en diferentes puntos. Si la placa es de tipo fotográfico se formará una línea cuya intensidad dependerá del número de núcleos que haya incidido en esa región específica de la placa. En los instrumentos más modernos se pueden establecer abundancias del orden de partes por millón.

### **ACTIVACIÓN NEUTRÓNICA**

Una muestra arqueológica (cerámica, por ejemplo) se expone a un haz colimado de neutrones térmicos (la fuente de neutrones puede ser un reactor nuclear de investigación, una fuente radioactiva o un acelerador de iones o protones), los núcleos de los elementos constituyentes (blancos) interactúan con los neutrones incidentes (proyectiles), produciéndose la captura neutrónica, que posteriormente se desintegrará en dos productos: fotón gamma y producto pesado. La energía de la radiación gamma detectada permite identificar los elementos constituyentes de la muestra. La intensidad del pico característico revela las concentraciones específicas de cada uno de ellos. Finalmente, la cantidad del elemento analizado viene dada por la relación entre la tasa de conteo del pico característico del isótopo en la muestra y el de una masa estándar. Esta herramienta se utiliza tanto para el análisis elemental como para el análisis de isótopos, siendo un aporte importante en aquellos casos donde la espectrometría de masa se dificulta.

### **DIFRACCIÓN DE RAYOS X**

Su principio físico consiste en que cada sustancia cristalina tiene una estructura atómica particular que difracta los rayos X con un patrón característico. Generalmente se requiere de una pequeña cantidad del material. Se usa para el estudio de arcillas y materiales cristalinos, por lo que es una herramienta útil para el análisis preliminar de cerámicas.

### **ANÁLISIS DE PROPIEDADES MAGNÉTICAS**

En estudios de identificación y caracterización de materiales arqueológicos, particularmente de fragmentos de cerámica, se ha empleado una serie de relaciones entre varios criterios magnéticos. Entre éstos se encuentran principalmente aquellos que dependen de la susceptibilidad magnética, de la intensidad del campo geomagnético, de la intensidad de magnetización remanente natural (MRN) y de la coercitividad. Así, algunos de los criterios magnéticos están más relacionados con el tipo de material empleado en la cerámica, mientras que otros dependen del tiempo de cocción, de las condiciones locales y métodos de preparación, además de la función a que fue destinada la pieza.

### **OTRAS**

Algunas técnicas que también son utilizadas en análisis de materiales basadas en principios físicos son: espectrometría Mössbauer, ensayo de compresión, ensayo de impacto y dilatometría.

## **TÉCNICAS DE FECHAMIENTO**

### **RADIOCARBONO**

La determinación de la edad de una muestra se fundamenta en la cuantificación de su contenido de carbono 14 (C-14) o radiocarbono. Es un isótopo radiactivo cuyo núcleo se transforma en otro elemento emitiendo electrones a una velocidad determinada. El C-14, se mezcla con el oxígeno para dar origen al bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el cual se difunde a través de la biosfera, de modo que los seres vivos gozan de una concentración de equilibrio conocida. Cuando sobreviene la muerte, el intercambio de carbono radiactivo (respiración, alimentación, fotosíntesis) se interrumpe y los átomos restantes decaen en una proporción tal, que su cantidad inicial se reduce a la mitad al cabo de 5730 años. Al transcurrir un tiempo de vida media se pierde la mitad de los átomos presentes originalmente, hasta que después de siete vidas medias es despreciable la cantidad restante. En este punto, la cantidad residual del isótopo radiactivo C-14 es  $1/128$  con respecto a la cantidad inicial. Esta cantidad de material radiactivo es muy difícil de detectar por los métodos convencionales y por lo tanto, éste es el límite práctico para el método de fechamiento por carbono 14. Por lo general se fijan 40,000 años como límite (5730 x 7 = 39,990 años). Este fenómeno tiene un comportamiento que se representa mediante una ecuación exponencial que es aplicable a cualquier elemento radiactivo.

### **OTRAS TÉCNICAS DE FECHAR**

También se utilizan el fechado por reloj Potasio/Argón, por trazas de fisión del uranio, por arqueomagnetismo y por termoluminiscencia.

### **FOTOGRAFÍA MULTIESPECTRAL**

Es la principal técnica desarrollada por la teledetección espacial. Permite fotografiar los elementos pictográficos desde diferentes longitudes de onda, generalmente en el campo de las radiaciones visibles, cercanas al infrarrojo. Las cámaras multiespectrales son de barrido y no utilizan películas, sino detectores electrónicos que registran radiaciones electromagnéticas, usando computadoras para mejorar la calidad de las imágenes y contribuir a la automatización de la información y tratamiento de datos.

### **ANÁLISIS DE LA FRECUENCIA DE UTILIZACIÓN DE METODOLOGÍAS ARQUEOFÍSICAS**

Para analizar la frecuencia de la aplicación de las metodologías arqueofísicas en los últimos 20 años, se tomó como referencia la publicación de las memorias de los Simposios de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, desde el número I, realizado en 1987, hasta el XIX, realizado en el año 2005 y publicado en el 2006. Por medio de una revisión de las memorias, se detectaron aquellos artículos en los cuales se hace mención de dichas técnicas, tomando en cuenta tanto las menciones de aplicación en Guatemala, como las de referencia a las metodologías (no se consideraron las menciones correspondientes a otros países).

Los datos se agruparon en intervalos de cinco años (simposios I-V, VI-X, XI-XV y XVI-XIX) en las siguientes categorías: metodologías geofísicas (radar, métodos magnéticos, métodos electromagnéticos, métodos eléctricos), análisis de cerámica y sedimentos (análisis químico, espectrometría de masas, difracción de rayos X, fluorescencia de rayos X, análisis por activación de neutrones, análisis de plasticidad y dureza, requemado, gas cromatográfico, análisis de susceptibilidad magnética SIRM y ARM), técnicas de fechado (fechado por radiocarbono, por arqueomagnetismo y por termoluminiscencia), fotografía aérea y fotografía multiespectral. Las Figuras 1-5 muestran el resultado del análisis.

En el caso de las metodologías geofísicas (Figura 1), se revela un marcado incremento en su implementación en los últimos años (2002-2005), que constituye también una ampliación de la variedad

de métodos que se aplican, siendo el georadar la técnica que ha sido utilizada históricamente, aunque con baja frecuencia, y los métodos magnéticos (magnetometría, gradiometría, localizadores magnéticos, etc.), los que mayor frecuencia de uso han tenido, seguidos por los métodos electromagnéticos (conductividad: EM-31, EM-38) y, por último los métodos eléctricos (resistividad).

En cuanto al análisis de cerámica y sedimentos (Figura 2), se evidencia un aumento gradual en su frecuencia de uso a lo largo del periodo estudiado, siendo el intervalo de 2002-2005 el que posee el valor más alto para dicha frecuencia, al igual que para las técnicas de fechamiento (Figura 3), que constituyen en su mayoría fechado por radiocarbono, pero presentan un caso de fechado por termoluminiscencia en el periodo mencionado y dos casos de fechado por arqueomagnetismo, uno en el mismo intervalo y otro en el intervalo de 1992-1996.

La tendencia general para la aplicación de metodologías arqueofísicas (Figura 4) es a aumentar con el paso de los años, por lo que se evidencia cómo la aplicación de la tecnología a estudios arqueológicos pasa de ser algo que se hace rara vez, a ser parte de las prácticas comunes de prospección. Un ejemplo de un fenómeno similar es el uso cada vez más frecuente de los sistemas de posicionamiento global (GPS), las imágenes satelitales y la integración de datos en sistemas de información geográfica (SIG), que hace algunos años eran muy novedosas y sólo comenzaban a utilizarse, y que hoy forman parte fundamental en el reconocimiento y registro de la información para fines arqueológicos (Figura 5).

## **CONCLUSIONES**

La prospección arqueológica tradicional tiene como efecto secundario la alteración y la potencial destrucción de valiosas evidencias geológicas y arqueológicas, lo cual es contrario al objetivo de cualquier excavación. La intervención de las tecnologías arqueofísicas adquiere entonces una gran importancia en la determinación de rasgos arqueológicos en el lugar de estudio, de forma no invasiva.

Las metodologías arqueofísicas de análisis de cerámica y sedimentos, así como las de fechamiento, permiten establecer relaciones de origen, distribución y temporalidad que de otra manera sería imposible verificar, contribuyendo a sustentar teorías de relaciones comerciales, habitacionales, etc.

El uso de metodologías arqueofísicas ha aumentado con el paso del tiempo, lo cual implica que la confianza en las mismas ha aumentado en forma positiva durante los últimos veinte años.

Para aumentar la exactitud y confiabilidad de los estudios arqueológicos, es importante la implementación de estudios interdisciplinarios, donde el aporte de los distintos especialistas pueda ser integrado por el arqueólogo, para darle una interpretación basada en evidencias más sólidas.

En consecuencia, es necesario integrar equipos multidisciplinarios de especialistas (geofísicos, físicos, ingenieros, químicos, etc) para obtener resultados óptimos.

Actualmente, Guatemala cuenta con muy poco equipo para la aplicación de técnicas arqueofísicas. Sin embargo, se debe fomentar el uso extensivo de los equipos de los que se dispone (resistímetro-USAC, EM-38-Fundación de Antropología Forense, algunos laboratorios de análisis químico y otros).

## REFERENCIAS

- Aitken, Martin J.  
1958 *Magnetizing Prospecting, Archaeometry* 1:24-29.
- Carabelli, Edmundo  
1989 *Métodos eléctricos en las investigaciones arqueológicas*. Fondazione Lerici, Roma.
- Linnington, R. E., s.f.  
1989 *Technical Introduction to Prospecting Problems*. Mecanuscrito, Fondazione Lerici, Roma.
- Pérrot-Minnot, S., E. Reyes, B. Cosenza, O. Chinchilla, A. Mojica, L. Pastor, R. Vanhoeserlande, y R. Guérin  
2005 Prospección geofísica en la zona de Cotzumalguapa: Resultados de la VI Escuela Centroamericana de Geofísica Aplicada. En *XVIII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2004* (editado por J.P. Laporte, B. Arroyo y H. E. Mejía), pp.1009-1017. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala.
- Tite, M. S. y C. Mullins  
1971 *Enhancement of the Magnetic Susceptibility of Soils in Archaeological Sites. Archaeometry* 13:209-220.

**FRECUENCIA DE METODOLOGÍAS GEOFÍSICAS UTILIZADAS EN ARQUEOLOGÍA EN GUATEMALA ENTRE 1987 Y 2005**

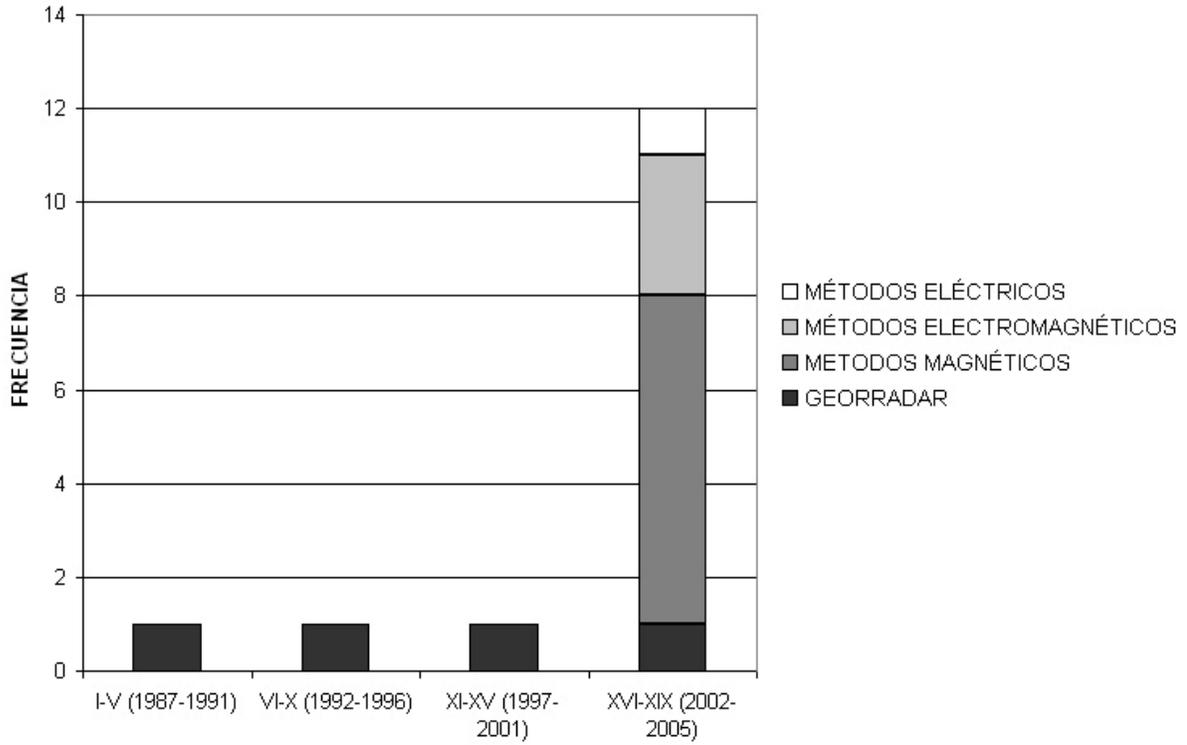


Figura 1

**FRECUENCIA DE UTILIZACIÓN DE METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS DE CERÁMICA Y SEDIMENTOS PARA ARQUEOLOGÍA EN GUATEMALA ENTRE 1987 Y 2005**

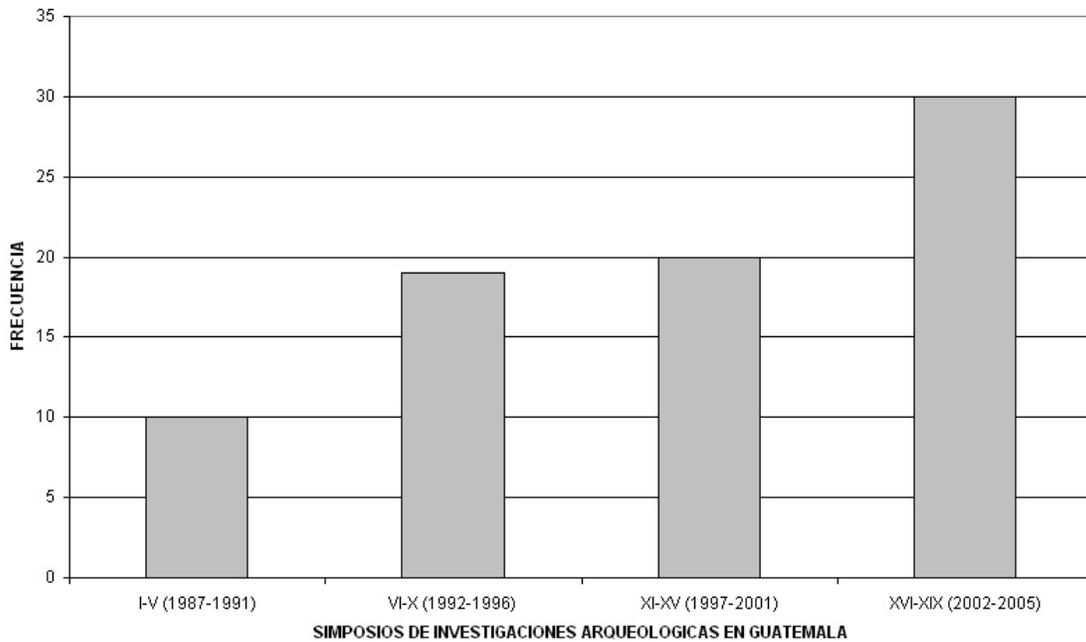


Figura 2

FRECUENCIA DE UTILIZACIÓN DE TÉCNICAS DE FECHADO PARA ARQUEOLOGÍA EN GUATEMALA ENTRE 1987 Y 2005

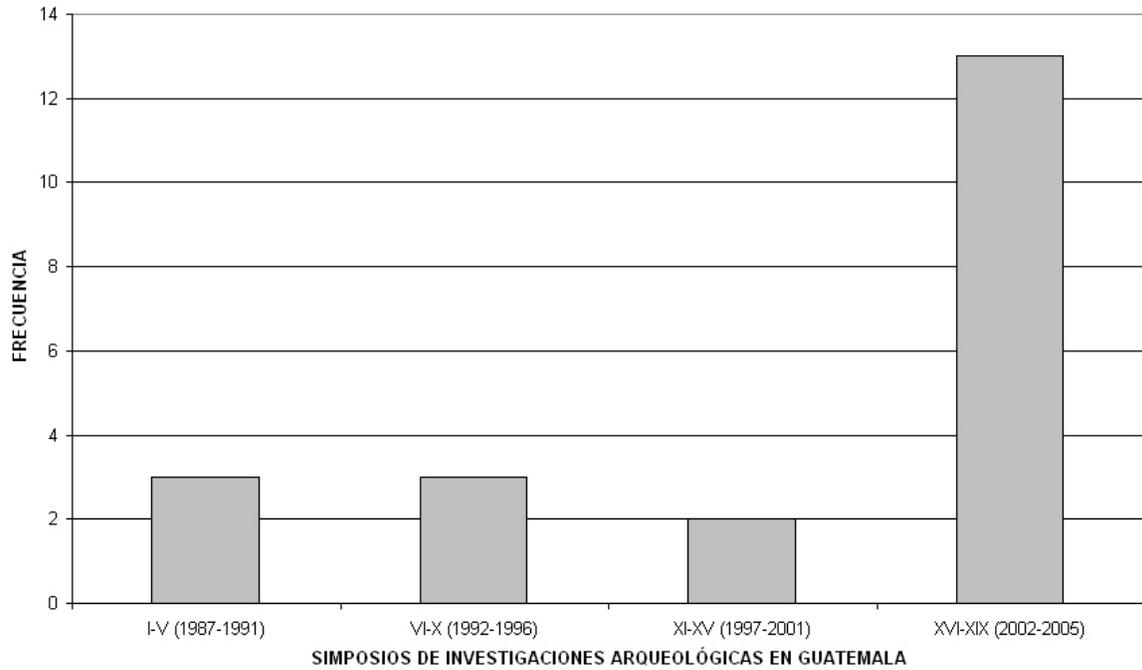


Figura 3

FRECUENCIA DE METODOLOGÍAS ARQUEOFÍSICAS UTILIZADAS EN GUATEMALA DE 1987 A 2005

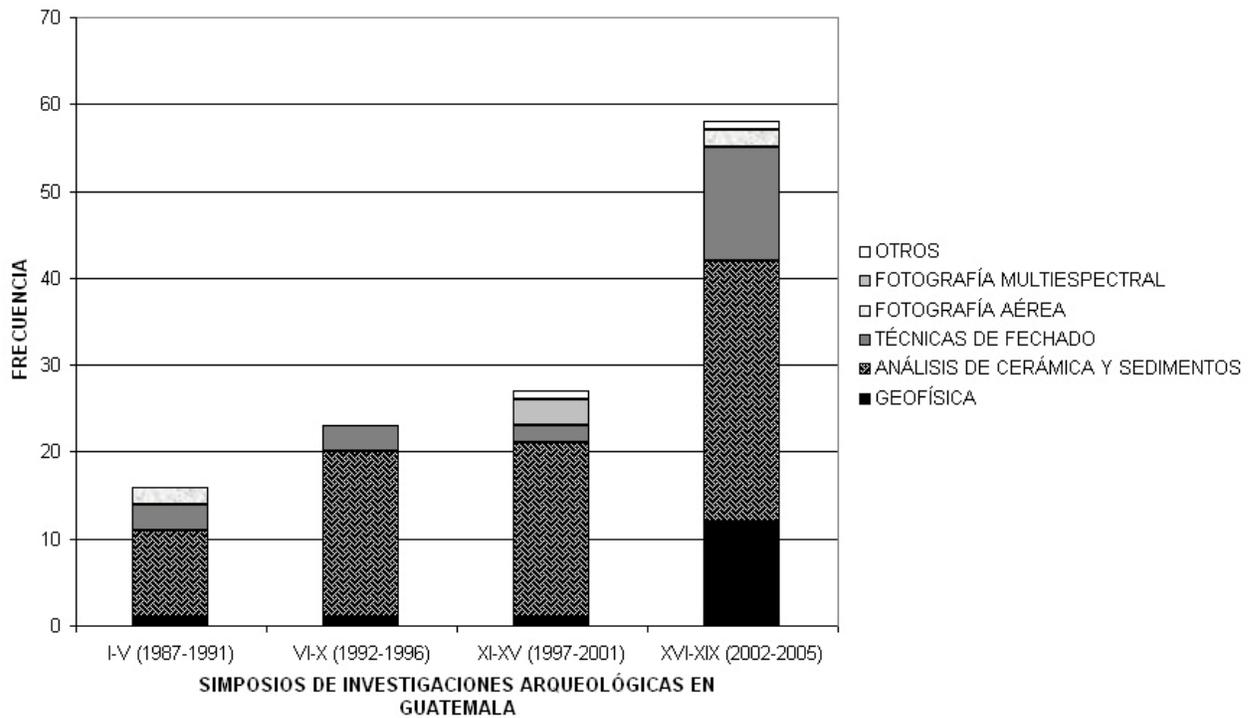


Figura 4

FRECUENCIA DE USO DE SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS),  
FOTOGRAFÍA SATELITAL E INTEGRACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN  
GEOGRÁFICA (SIG) PARA ARQUEOLOGÍA EN GUATEMALA ENTRE 1987 Y 2005

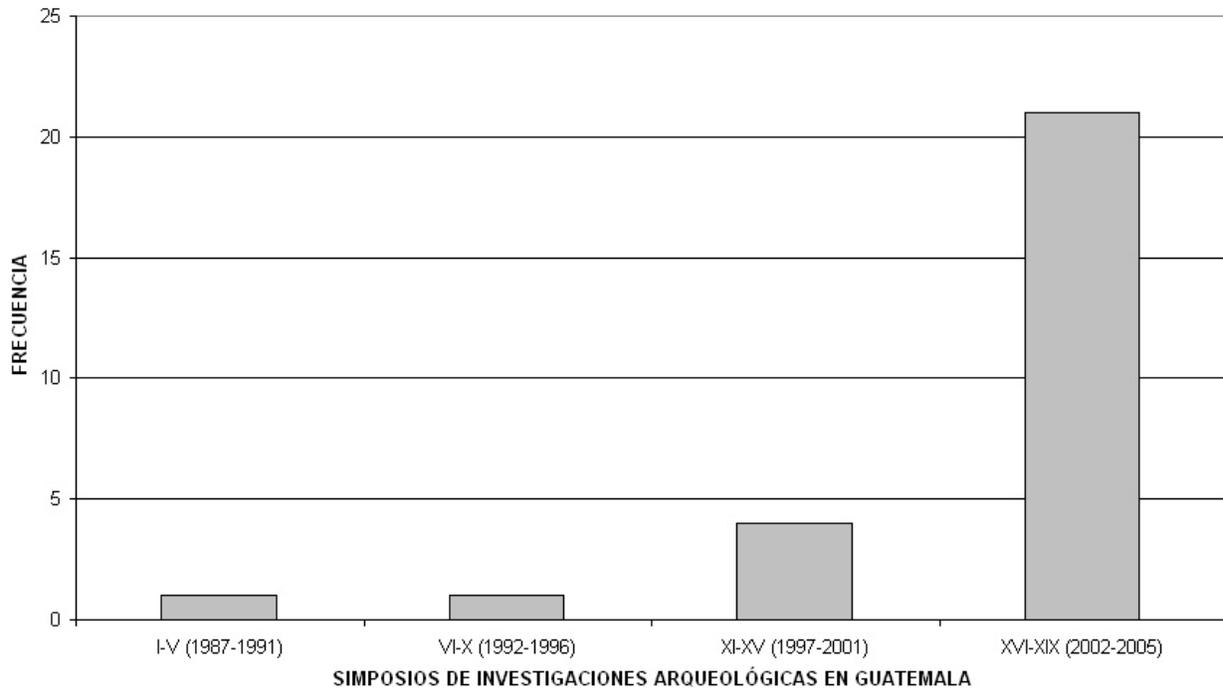


Figura 5

■ Diagrama de flujo de la metodología del estudio de sitios arqueológicos desde la superficie (Barba, 1986: 49)

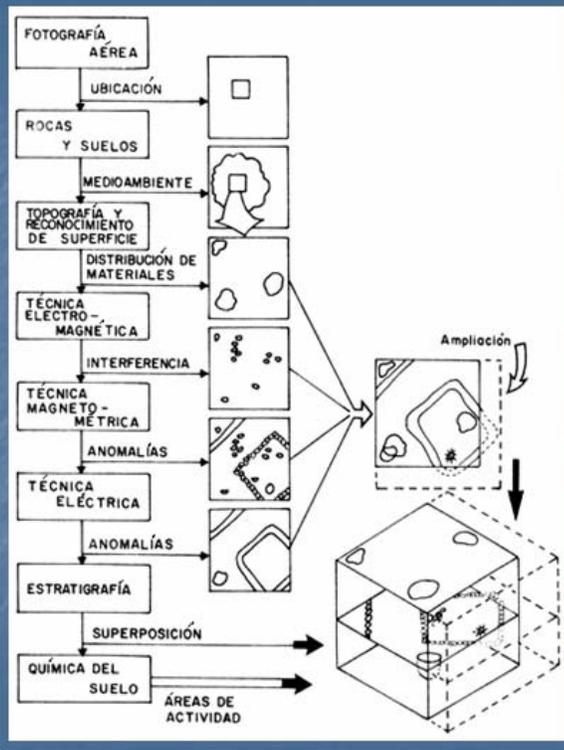


Figura 6

# Prospección geomagnética con magnetómetro de precesión protónica

VI Escuela de Geofísica Aplicada para América Central (2003)  
El Baúl, Santa Lucía Cotzumalguapa.



Figura 7

# Prospección magnética con magnetómetro de vapor de cesio

Prospección geofísica en El Baúl (2006).



Figura 8

## Prospección electromagnética – slingram EM-31



Figura 9

## Prospección electromagnética – slingram EM-38



Figura 10

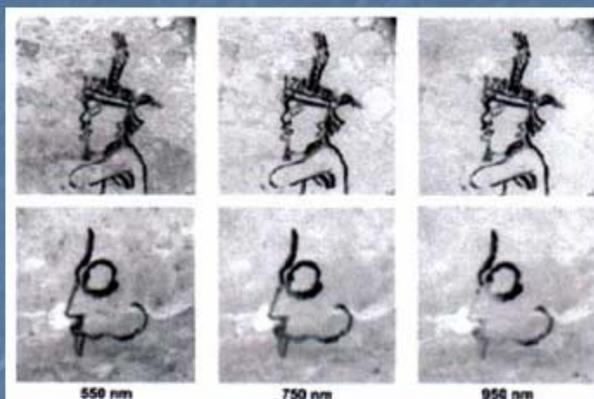
## PROSPECCIÓN CON GEORADAR



VI Escuela de Geofísica Aplicada para América Central (2002), El Baúl, Santa Lucía Cotzumalguapa.

Figura 11

## Fotografía multispectral



Imágenes multispectrales de los dibujos 83 y 62 de Naj Tunich

Típica disposición del equipo para imágenes multispectrales en Golondrinas



Figura 12