

## PROSPECCIÓN ARQUEOGEOFÍSICA EN PANAMÁ LA VIEJA: PRESENTACIÓN DE CASOS

Louis Pastor<sup>\*</sup>  
Richard Vanhoeserlande<sup>\*</sup>  
Nicolas Florsch<sup>\*\*</sup>  
Isabelle Florsch<sup>\*\*</sup>  
Jaime Toral<sup>\*\*\*</sup>  
Joaquín González<sup>\*\*\*</sup>  
María Lezcano<sup>\*\*\*</sup>  
Alexis Mojica<sup>\*\*\*</sup>

### 1.INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la Geofísica ha jugado un papel muy importante en la identificación de acuíferos contaminados, el estudio de la mecánica del subsuelo, la identificación de reservas de aguas subterráneas, el estudio de la distribución de las estructuras y capas geológicas, y también en la Arqueología. En este trabajo se presentan los diferentes métodos geofísicos empleados como herramientas alternas, no destructivas, en la detección de estructuras arqueológicas enterradas, específicamente, en el sitio de Panamá La Vieja. Se utilizaron los siguientes métodos geofísicos: el Electrorresistivo, Electromagnético y Magnético.

En el marco de la cooperación entre universidades y entidades científicas latinoamericanas y francesas, se han desarrollado, desde hace ya más de una década, proyectos de investigación en ciertas áreas de la ciencia. Una de estas áreas, que está tomando auge en Centroamérica y más que todo en nuestro país, es la Geofísica. Esta disciplina se encarga del estudio de las propiedades físicas del suelo. Dentro de la Geofísica encontramos una sub-rama que enfoca sus esfuerzos en la aplicación de la Geofísica a la Arqueología: la Arqueogeofísica.

---

\* Universidad de París VI y VII

\*\* Universidad de La Rochelle

\*\*\* Universidad de Panamá (Centro de Investigaciones con Técnicas Nucleares/Instituto de Geociencias).

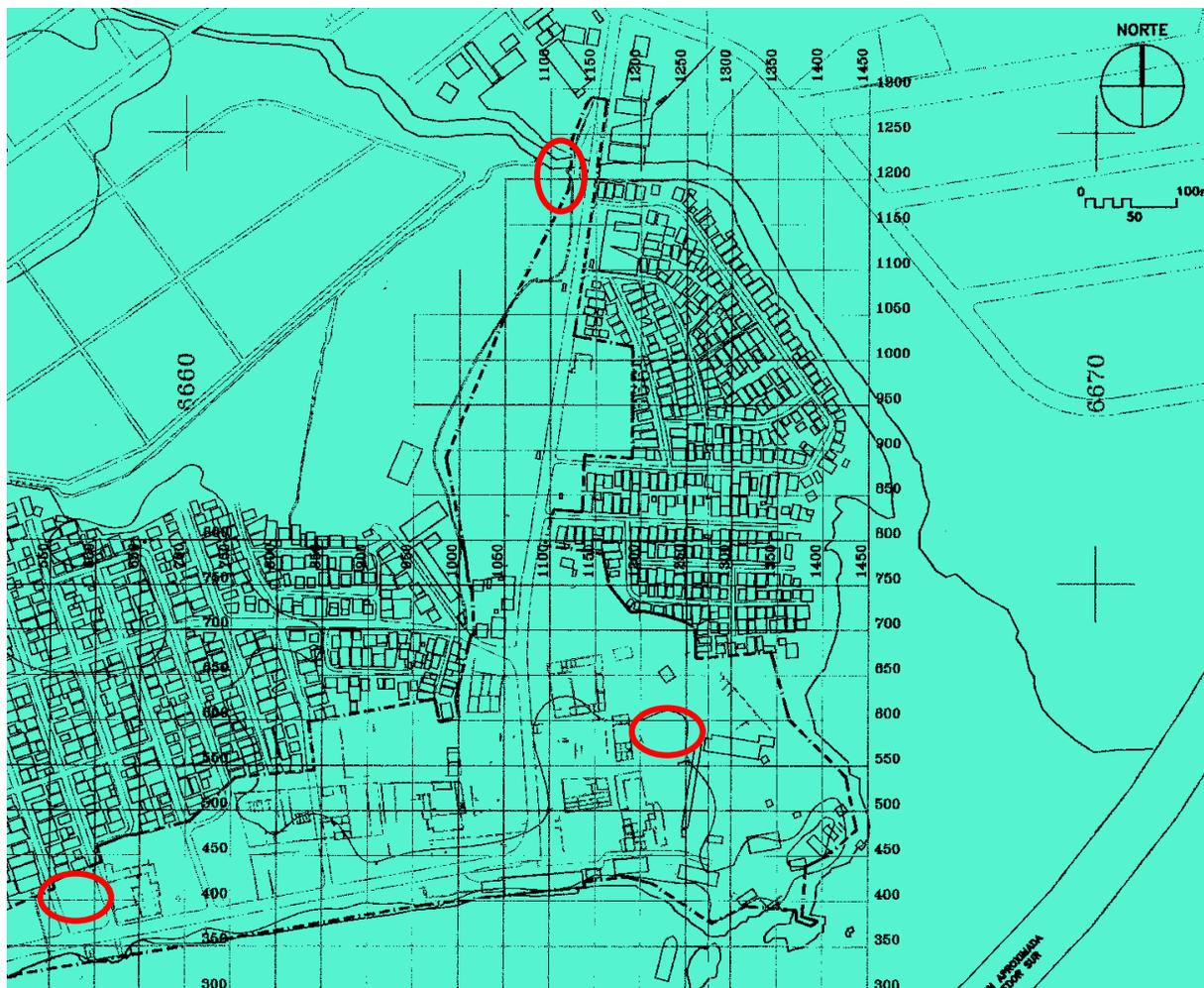


Figura 1

Complejo Arqueológico de Panamá La Vieja. Localización de áreas prospectadas.

Para estudiar la antigua ocupación del espacio por el hombre, el prospector geofísico centra su atención sobre las variaciones en todo punto del espacio y del tiempo, de ciertas magnitudes físicas del suelo (la resistividad eléctrica, el campo geomagnético, la conductividad eléctrica, la susceptibilidad magnética, la temperatura, entre otras). La representación de estas variaciones en un mapa nos permite, mediante la interpretación sistemática y científica, dar respuesta a interrogantes de carácter arqueológico.

Este informe presenta los resultados de los trabajos de prospección geofísica llevados a cabo durante la tercera semana del mes de julio del año 2000 en el Conjunto Histórico Monumental de Panamá La Vieja. Estos trabajos incluyen un proceso de

prospección, cartografía, tratamiento de mapas (aplicación de algoritmos especiales a los datos geofísicos) e interpretación final. Los sectores elegidos para esta prospección fueron: Puente del Rey, el occidente del Convento de San Francisco (de ahora en adelante “campo de fútbol”), y el oriente de la Casa Alarcón (ver figura 1).

## 2. LOS MÉTODOS GEOFÍSICOS APLICADOS

Generalmente, los métodos de la Geofísica Aplicada en la detección de rasgos arqueológicos centran su atención en la obtención de mapas de isovalores o pixeles, ya sea de la resistividad, la conductividad, el gradiente magnético, etc., que permiten evaluar la posible ubicación de un rasgo arqueológico.

### A. El método eléctrico

Es el método geofísico más antiguo utilizado en la prospección arqueológica. Sabemos que todos los materiales poseen en algún grado la propiedad de facilitar el paso de cargas eléctricas. En la naturaleza podemos encontrar los casos extremos: los conductores que poseen esta particularidad bien marcada, como por ejemplo, los metales y electrolitos, y los resistores que se oponen al paso de las cargas eléctricas, como lo son el aire, los plásticos, etc. Esta capacidad de permitir la circulación eléctrica se expresa en términos de la conductividad eléctrica o su inversa: la resistividad eléctrica. Estos parámetros físicos, son los que sirven de base para los métodos de prospección arqueológica (Dabas *et al.* 1998). Los contrastes en estos parámetros, de las características arqueológicas, con respecto al medio circundante juegan un papel muy importante en la interpretación final de los mapas.

En el suelo, la resistividad eléctrica depende esencialmente de la salinidad del agua contenida en las rocas, de la presencia de arcilla, de los minerales metálicos, de la cantidad de óxidos, de la granulometría, etc. La medida de la resistividad eléctrica se hace mediante la inyección de corriente de baja intensidad (en el orden de los miliamperios), utilizando dos electrodos metálicos. La circulación de esta corriente crea un potencial eléctrico, que es posible medir con la ayuda de otros dos electrodos metálicos. La razón del potencial y la corriente eléctrica en el suelo es proporcional a la resistividad eléctrica (Telford *et al.* 1996).

En la práctica, generalmente, se trabaja con un conjunto de arreglos específicos de electrodos, los cuales pueden ser seleccionados de acuerdo con las características propias del terreno en donde se pretende prospeccionar y de los objetivos del estudio. Por ejemplo, la topografía o la existencia de corrientes parásitas, provenientes de los cables de alta tensión que existan cerca del sitio arqueológico que se desea estudiar, los cuales pueden afectar los resultados.

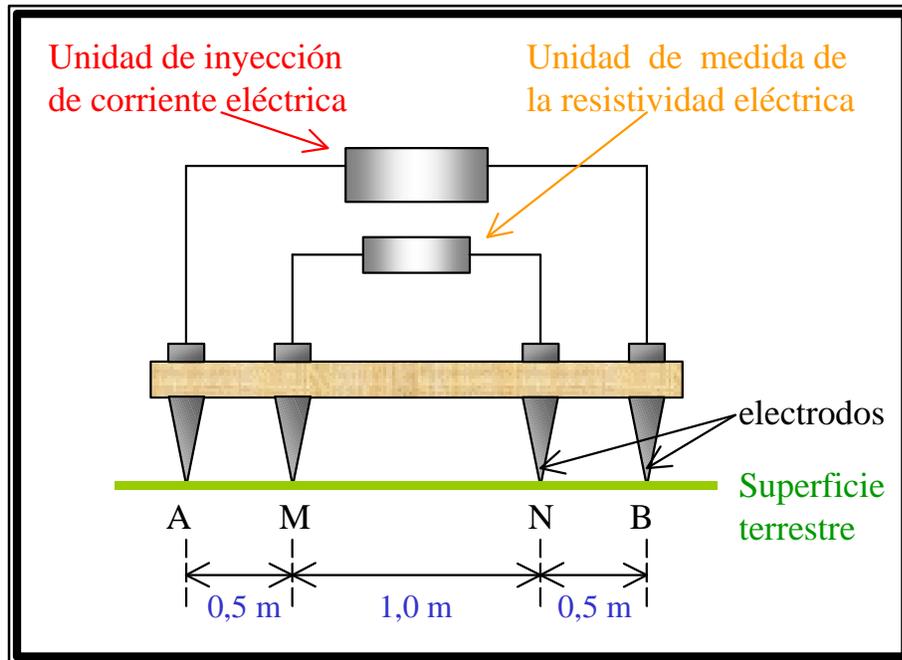


Figura 2

Arreglo de electrodos empleados para la detección de la calzada de Puente del Rey.

En el Puente del Rey, por ejemplo, se utilizó la configuración específica de electrodos conocido como Wenner Modificado o una configuración Dipolo-Dipolo (Figura 2).

#### B. El método electromagnético – La familia Slingram

Los sistemas electromagnéticos, llamados también SCM (*Soil Conductivity Meter*), pueden medir de manera bastante precisa la conductividad eléctrica del subsuelo. La conductividad eléctrica corresponde al inverso de la resistividad eléctrica y se expresa en milisiemens por metro ( $mS/m$ ). El fundamento teórico de este método consiste en el fenómeno de inducción electromagnética por medio de una bobina

(como una antena), que crea un campo electromagnético, que se propaga en el aire y posteriormente, en el volumen de subsuelo cercano a la vertical de la bobina. Este campo magnético induce corrientes eléctricas en el subsuelo, en las partes más conductoras y en los metales enterrados. Estas corrientes inducidas crean un campo electromagnético secundario que puede ser detectado por una segunda bobina receptora. Hay que destacar que estos dos campos no son iguales (Figura 3). La razón de estos campos electromagnéticos es proporcional al promedio de las conductividades eléctricas del terreno (Parasnis 1997).

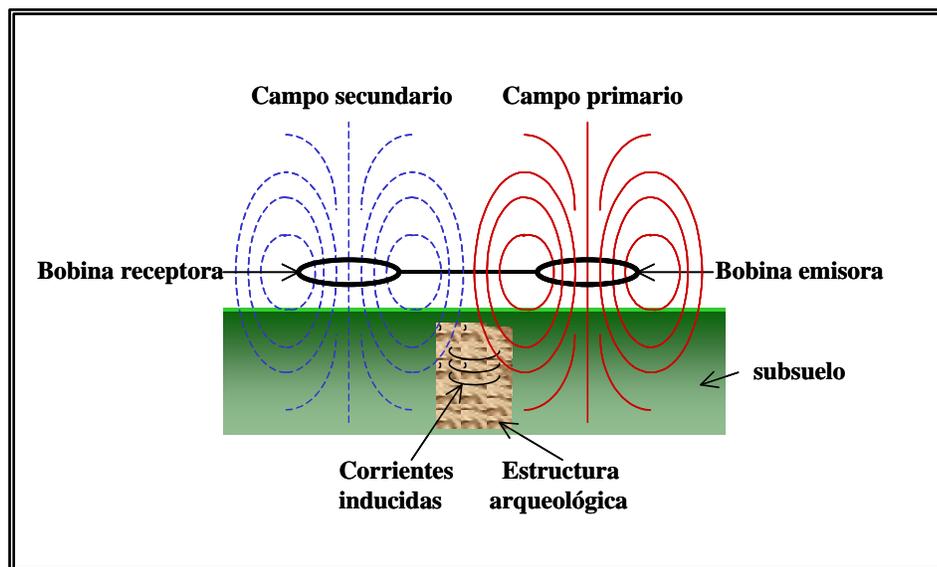


Figura 3  
Principio básico del Método Electromagnético (Slingram).

Hay que destacar que este método, utilizado hoy día en prospecciones arqueológicas, presenta algunas limitaciones. Por ejemplo, si trabajamos sobre terrenos poco resistivos o muy conductores, es posible que nos encontremos con el problema de no poder medir el campo electromagnético secundario. Sin embargo, este método posee una ventaja sobre el método eléctrico, ya que no se necesita un contacto directo de las bobinas con el suelo; es decir, que la bobina generadora del campo primario puede encontrarse a más de un metro por encima del terreno a estudiar.

### C. El método magnetométrico

La prospección magnética, junto con los métodos eléctricos, son las herramientas geofísicas más empleadas en Arqueología. Teniendo en cuenta que las medidas del campo magnético necesitan un número considerable de correcciones, y por lo tanto, la interpretación se torna más difícil en comparación con los métodos eléctricos. En realidad el método magnético constituye un método pasivo, pues lo que se mide es un campo creado por la tierra. Dicho campo varía en el tiempo, a una escala en el orden del segundo. Desde un punto de vista práctico, lo que nos interesa en realidad es observar las variaciones espaciales del campo magnético (Lowrie 1997).

El valor del campo magnético medido en un mismo punto podrá cambiar en el tiempo y una misma estructura arqueológica se podrá traducir en una anomalía diferente en función de la latitud del terreno de prospección (Figura 4).

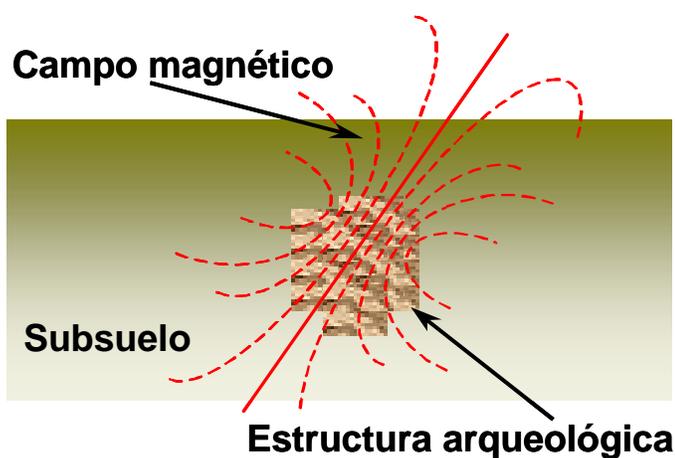


Figura 4  
Campo magnético creado por las estructuras contenidas en el subsuelo.

Todos los dispositivos magnéticos miden la amplitud del campo magnético de las estructuras que se encuentran en el subsuelo. Generalmente, dicho valor está dado en nanoteslas (nT), en el Sistema Internacional. El dispositivo utilizado en el sitio arqueológico de Panamá La Vieja posee una definición de 0,1 nT.

### 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Se resume a continuación la información obtenida en los sectores prospectados.

#### A. El Puente del Rey

Se trata de una estructura ubicada en la parte norte del complejo arqueológico de Panamá La Vieja. El problema consiste en la detección de la calle hispánica que conecta el puente con la Calle de Santo Domingo. La figura 5 muestra un esquema sobre el sitio de interés.

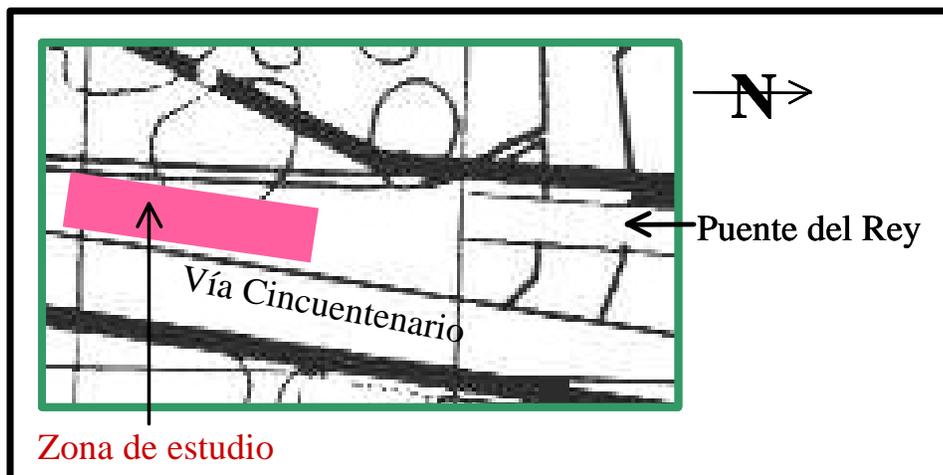


Figura 5

Puente del Rey: área prospectada, al sur de la estructura arquitectónica.

En la zona de estudio, que se encuentra remarcada en la figura 5, se llevaron a cabo dos tipos de prospecciones eléctricas (Método Eléctrico). Una de ellas se realizó ubicando 2 electrodos muy lejos del portaelectrodos (configuración eléctrica Polo – Polo). La respuesta obtenida mostró un nivel considerable de ruido (potencial eléctrico propio del terreno) a causa de los cables de alta tensión que se encuentran cerca del área de estudio (existencia de transformadores y cables subterráneos), lo que provoca las llamadas corrientes parásitas. Con el objeto de disminuir la interferencia creada por dichas corrientes, se utilizó el tipo de configuración eléctrica Wenner Modificado.

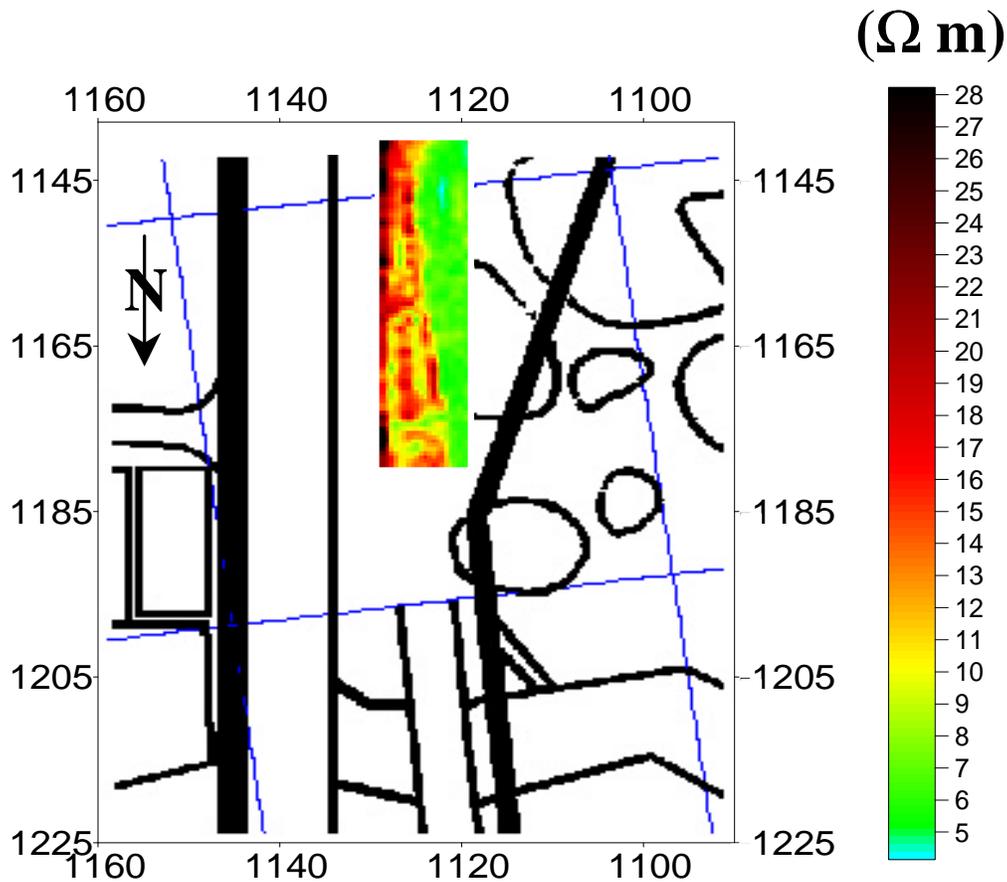


Figura 6  
Puente del Rey. Mapa de los datos de la resistividad eléctrica ya tratados.

En la figura 6, se observan los diferentes valores de la resistividad eléctrica. Se puede apreciar claramente la continuación de la calle que se extiende desde el puente hacia el resto del complejo arqueológico principal. Por otra parte, la anomalía que se encuentra en la sección superior derecha del mapa (en color verde y azul), representa una pequeña zona saturada de agua. La misma corresponde a una zona de valores bajos de la resistividad eléctrica, como puede observarse en la escala de colores que está al lado del mapa.

La prospección se llevó a cabo cada metro, analizando un área total de 10 m x 40 m. Una vez compilada toda la información, los datos fueron sometidos a un tratamiento numérico, que permitió revelar de manera más marcada, la continuación de la calzada.

## B. Campo de fútbol

Este sitio se encuentra localizado en la sección occidental del complejo monumental de Panamá La Vieja (Figura 7). La inspección superficial muestra la existencia de restos prehispánicos en esta zona. El sector es utilizado actualmente como campo de fútbol por los jóvenes de la comunidad aledaña. Con el objetivo de detectar dichos vestigios precolombinos, se aplicaron dos técnicas geofísicas (la Electromagnética y la Magnética), en una superficie de 47 m por 43 m.



Figura 7.  
Representación esquemática de la zona del cuadro de fútbol.

En primer lugar se realizó una prospección magnética. El dispositivo utilizado en este análisis corresponde al G-858 de la familia *Geometrics*. Los datos de campo obtenidos en el sitio de interés, presentaban gran cantidad de ruido. Un factor importante que ha impedido realizar una buena interpretación del mapa de gradiente magnético, es la presencia de material férreo disperso, es decir, la contribución de todos estos elementos sobre y alrededor de la zona de estudio (malla metálica, talleres de mecánica, arcos de fútbol y la circulación de automóviles). A causa de lo anterior, fue necesario llevar a cabo una serie de tratamientos numéricos de los datos geofísicos.

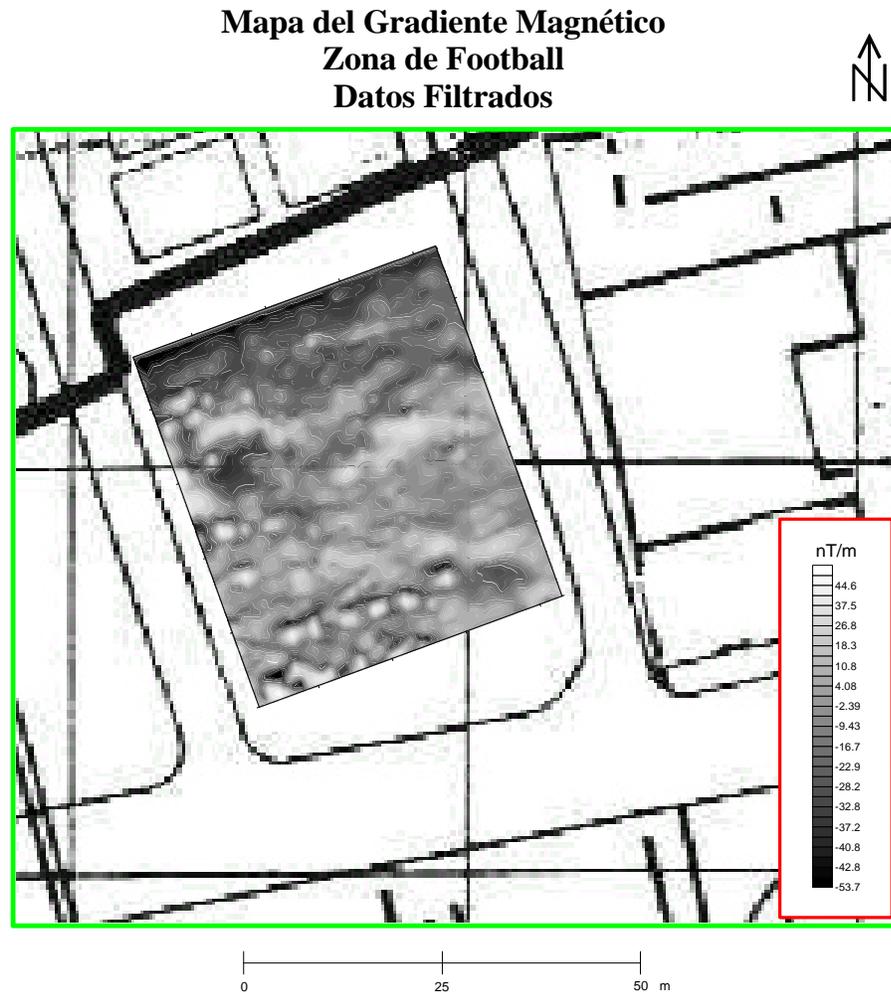


Figura 8  
Representación gráfica de los datos del gradiente magnético filtrados.

El mapa de la figura 8 corresponde a la zona de estudio, donde todos los datos del gradiente magnético fueron sometidos a un tratamiento de compresión. Se llevó a cabo mediante la aplicación de una función trigonométrica inversa, y sobre los valores comprimidos se aplicó un filtro paso-bajo (para una ventana de filtraje de 2 m). Se interpolaron los valores del gradiente para 1,0 m x 0,2 m con el fin de minimizar la contribución negativa de los factores externos. La figura 9 representa una interpretación de este último mapa de gradiente magnético.

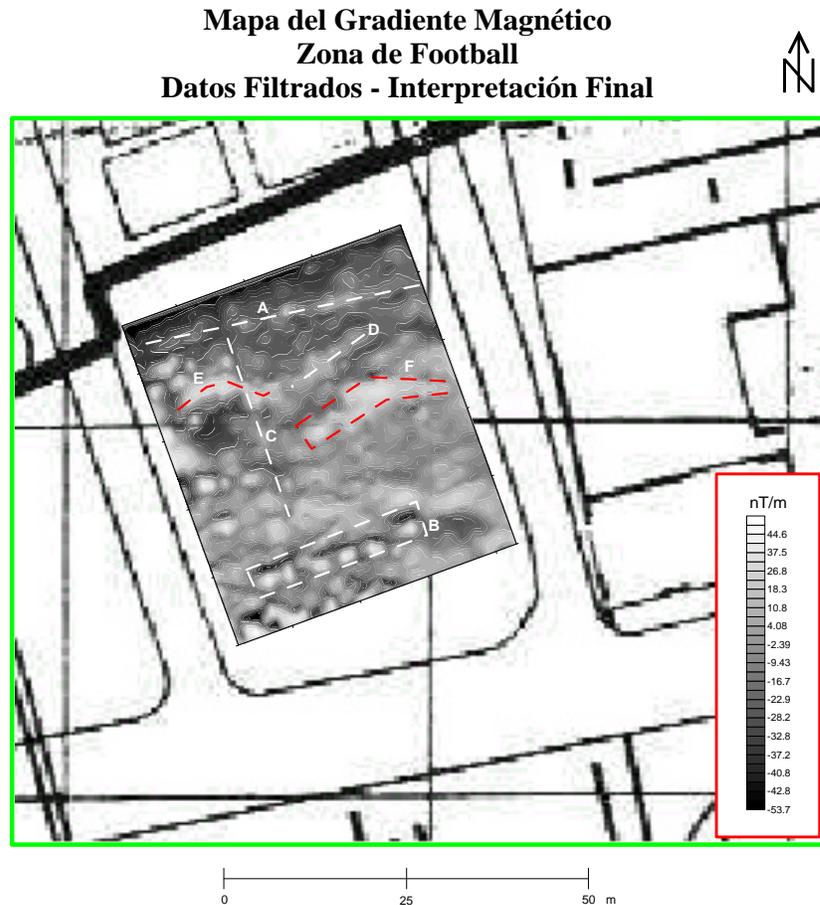


Figura 9

Interpretación del mapa de gradiente magnético, comprimidos, interpolados y filtrados.

Las principales características que se pueden identificar, después de haber llevado a cabo un proceso de compresión, de interpolación (definición de una malla de interpolación específica) y filtrado de datos, se especifican a través de las siguientes anomalías del gradiente:

**Anomalía A**, que puede representar una prolongación de uno de los muros hispánicos que conforman las ruinas localizadas a un costado del campo de fútbol. El alineamiento es de NE – SO y la misma posee altos valores de susceptibilidad magnética (alto grado de magnetización).

**Anomalía B**, que puede estar asociada a una construcción reciente. En esta anomalía, los valores altos del gradiente magnético pueden visualizarse de manera

puntual, probablemente asociados a elementos metálicos que conforman dichas estructuras.

**Anomalía C**, esta anomalía del gradiente magnético corresponde a un efecto de perfil, debido al sentido con que se ha desarrollado la prospección magnetométrica. Ella no representa ninguna información relacionada con estructuras de naturaleza arqueológica.

**Anomalías D, E y F**, corresponden a anomalías de niveles elevados del gradiente magnético. Se torna difícil definir la naturaleza de las mismas, debido a la gran concentración de elementos metálicos en el lugar, tal como se mencionó anteriormente. Los cables de alta tensión afectan notablemente el reconocimiento de las características arqueológicas. El movimiento de partículas cargadas en dichas líneas, generan un campo magnético que puede alterar, de manera muy significativa, la respuesta del campo magnético creado por los vestigios arqueológicos que se encuentran a escasa profundidad.

En esta misma zona fue aplicado el Método Electromagnético, utilizando un dispositivo de la familia *Slingram* (EM38). Este utiliza dos bobinas separadas a una distancia de 1 m; la profundidad de investigación de este sistema es de 1 m aproximadamente.

Las medidas de la conductividad eléctrica se trazaron cada metro, con un espacio de interpolación de 50 cm.

La respuesta se observa en la figura 10, que en comparación con los mapas de gradiente magnético, no revela mucha información. El 75% del terreno prospectado presenta valores altos de la conductividad eléctrica, propio de un subsuelo saturado de material metálico (recordemos que los metales poseen la propiedad de facilitar el paso de la corriente eléctrica).

En realidad, resulta difícil llevar a cabo una interpretación precisa con respecto a las diferentes características arqueológicas que se encuentran distribuidas en el subsuelo, ante la presencia de fluctuaciones de los campos electromagnéticos provocadas por los cables de alta tensión y otros factores.

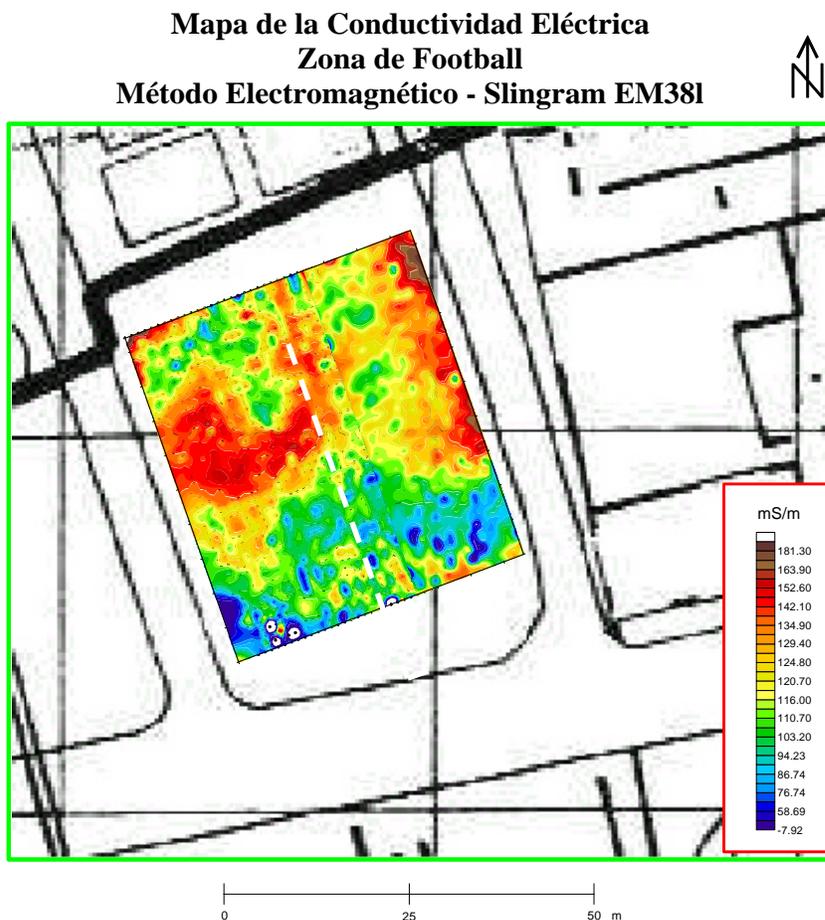


Figura 10

Mapa de conductividad eléctrica llevada a cabo en el área del campo de fútbol.

En este mapa, se evidencian zonas de alta conductividad eléctrica (tonalidades rojas), las cuales se encuentran cerca de las porterías. Las anomalías propias que se observan en este mapa son muy difíciles de interpretar, por el exceso de ruido.

#### C. Solar al este de la Casa Alarcón

Esta estructura hispánica se encuentra ubicada a pocos metros, al norte de la Torre Principal. En la figura 11, se observa la zona prospectada y la distribución de las principales estructuras arqueológicas que afloran.

En esta zona se aplicó el método electromagnético Slingram, logrando cubrir un área de  $(33 \times 50) \text{ m}^2$ , en donde las medidas se obtuvieron cada metro (1700 valores de la conductividad eléctrica).

## Casa Alarcón

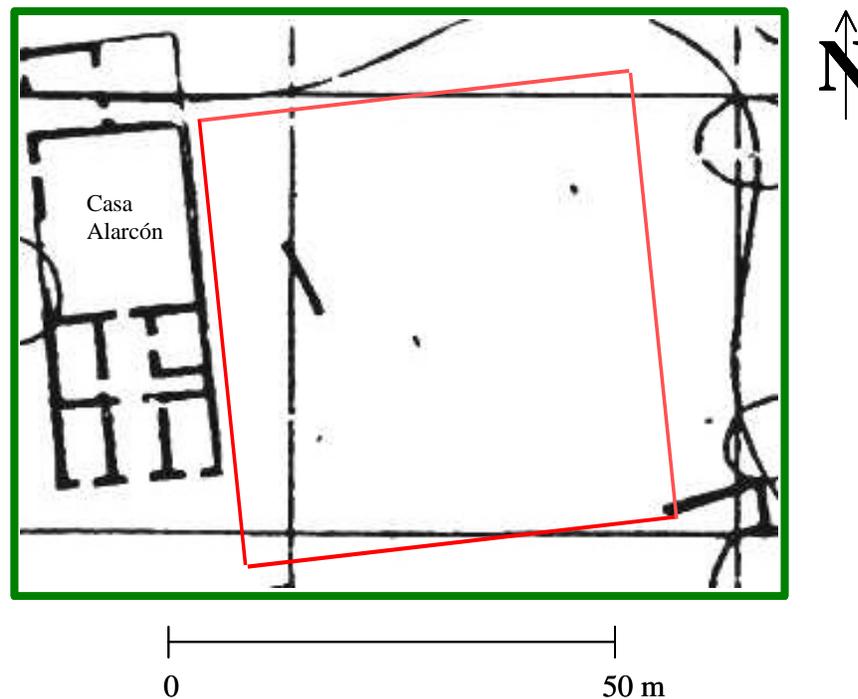


Figura 11  
Solar al oriente de la Casa Alarcón.

Mediante un tratamiento numérico de los datos geofísicos (aplicación de algoritmos especiales), fue posible identificar algunas anomalías de importancia arqueológica. Las mismas guardan cierta relación geométrica con las demás estructuras que afloran en el sitio, a excepción de la anomalía B, que refleja la continuación de una calle hispánica. La figura 12 muestra los resultados obtenidos.

La **anomalía A**, en dirección NE – SO, refleja altos valores de conductividad eléctrica (tonalidad roja) y está asociada a una estructura metálica. Posteriormente, mediante excavaciones, se comprobó que dicha anomalía corresponde a un tubo de la época actual.

Las **anomalías B**, podrían estar asociadas a los límites de la calle del Obispo.

La **anomalía C** corresponde posiblemente a la base de un muro, que aflora parcialmente.

**MAPA DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA**  
**Sitio Arqueológico de Panamá Viejo**  
**Datos Interpolados y Aplicación del Algoritmo de Wallis**

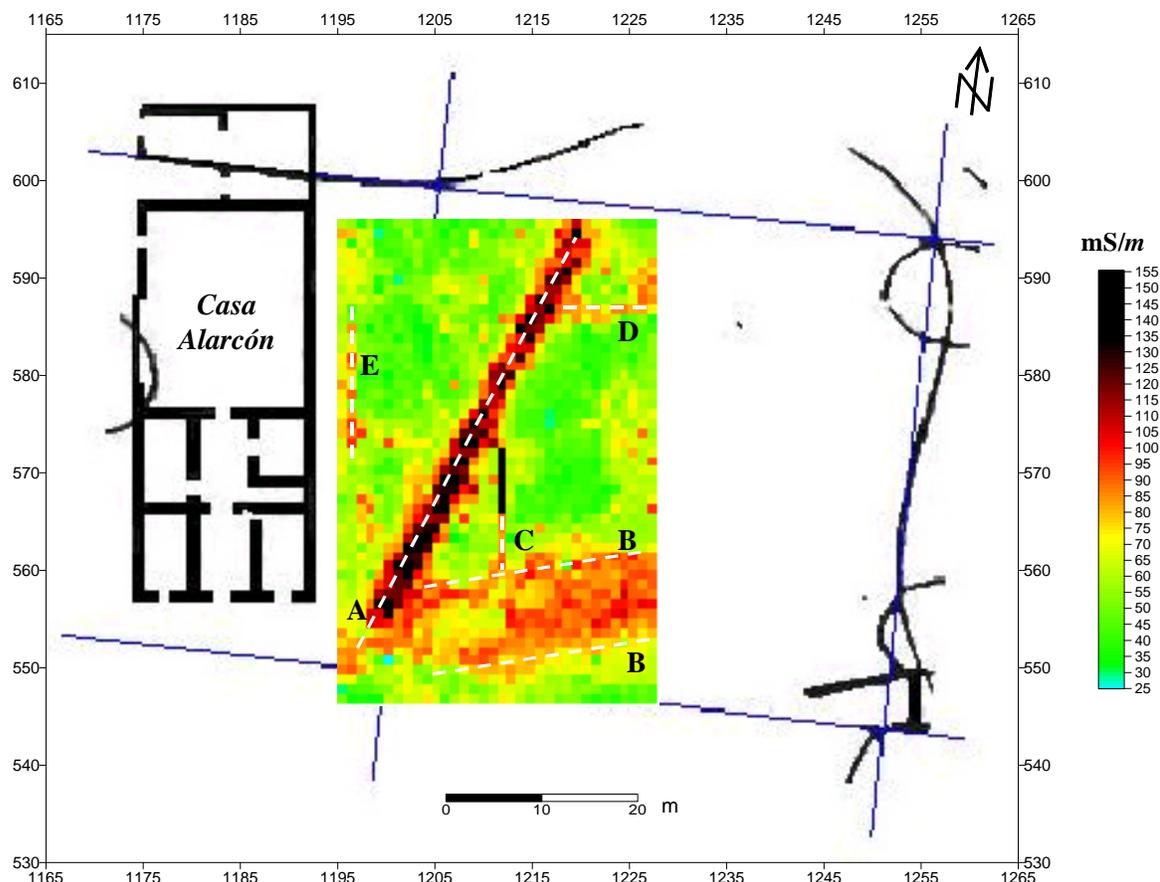
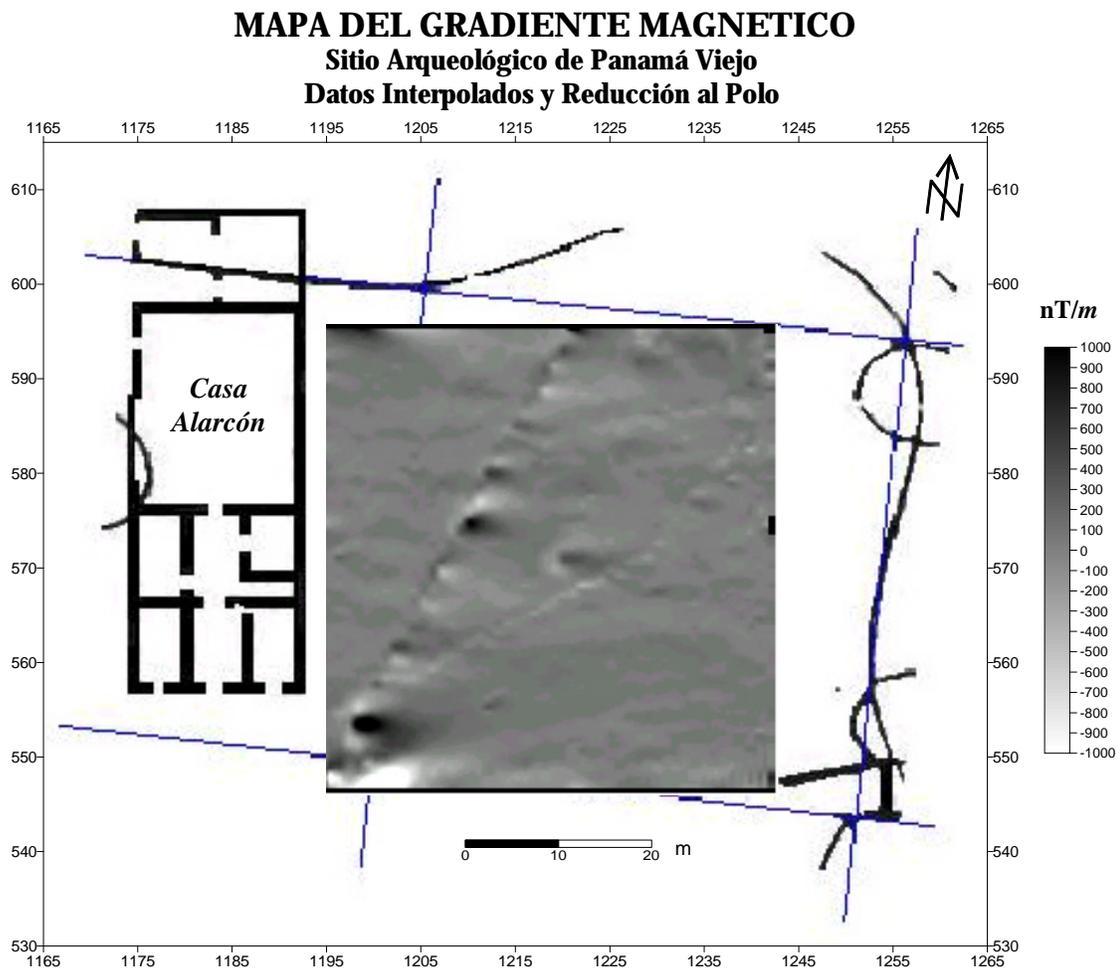


Figura 12.

Mapa de conductividad eléctrica obtenida mediante la aplicación del método electromagnético en el solar este de la Casa Alarcón.

Las **anomalías D y E**, reflejan valores altos de la conductividad eléctrica. Estas pueden estar asociadas con algunas piedras que se encuentran alineadas sobre el terreno y que probablemente correspondan a las fundaciones de edificaciones.

También se analizó esta zona utilizando el método magnetométrico (estudio del gradiente magnético), dando resultados interesantes, que guardan una buena correlación con los obtenidos mediante el método electromagnético. La figura 13 muestra el mapa del gradiente magnético, interpolado y reducido al polo.



Mapa del gradiente magnético, correspondiente al solar ubicado al este de la Casa Alarcón.

En el mapa de la figura 13 se observan zonas oscuras, que revelan estructuras enterradas con una alta susceptibilidad magnética. En la figura 14, se presentan las interpretaciones del mapa de gradiente magnético. Las alineaciones que aparecen, y que están representadas por las líneas blancas punteadas, corresponden a anomalías del gradiente magnético bien definidas:

La **anomalía A** corrobora la presencia del tubo metálico identificado en el mapa de conductividad eléctrica. La misma presenta un alto grado de magnetización, característico de ciertos cuerpos metálicos.

La **anomalía B** expresa también un buen alineamiento sobre el terreno, que podría corresponder a cables enterrados en el área.

La interpretación de este mapa resulta un tanto compleja, debido a la presencia de material volcánico que aflora y subyace en el terreno, ya que su contribución al gradiente magnético es de mayor intensidad que la de las estructuras de interés.

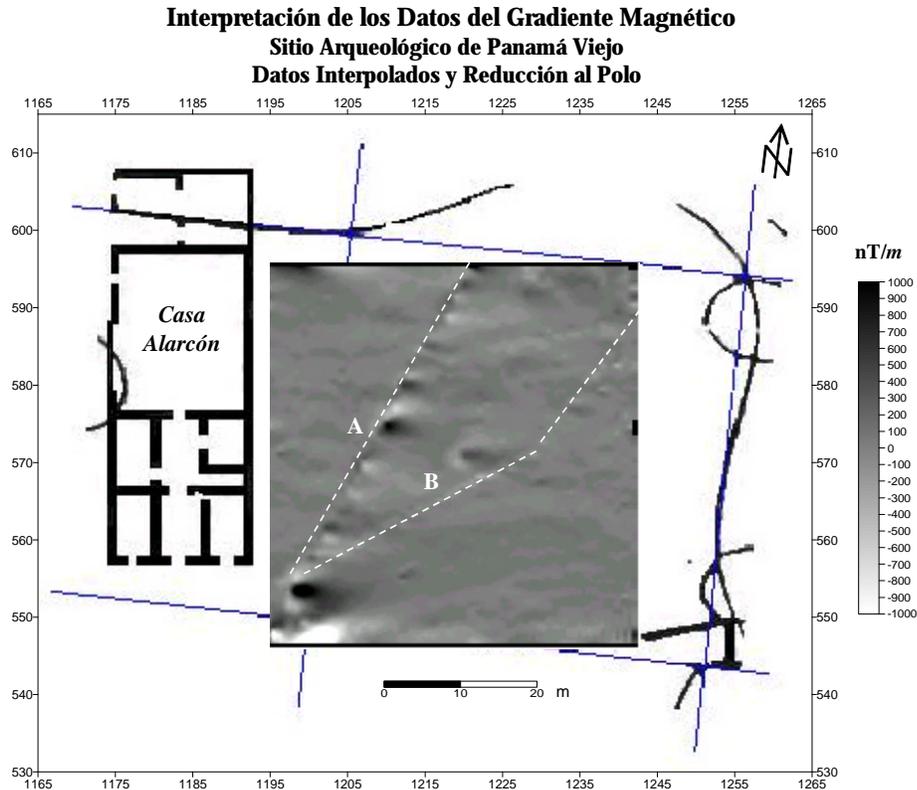


Figura 14

Interpretación de los datos de gradiente magnético, interpolados y reducidos al polo.

#### 4.CONCLUSIONES

Como toda técnica, los métodos geofísicos también tienen sus limitaciones. Las mismas están muy relacionadas con las condiciones del terreno que se desea prospectar. De todas las técnicas geofísicas que se aplicaron en el sitio arqueológico de Panamá La Vieja, el Método Eléctrico es el más sencillo y es el que más aplicaciones tiene en la prospección arqueológica. Es por eso que a pesar de la presencia de corrientes parásitas en el Puente del Rey, producto de la gran cantidad de

líneas de alta tensión y transformadores, fue posible realizar una buena interpretación de los datos de resistividad eléctrica. La distribución de los mismos refleja un buen alineamiento de la calle hispánica (dirección N – S) que se conecta con el Puente del Rey, y que, siguiendo la dirección Sur, es posible identificar la zona de intersección de dicha calle con la actual Vía Cincuentenario. Sin embargo, consideramos que es necesario seguir prospectando el resto de la zona para poder definir dicha intersección o cualquier otra característica, por ejemplo, una posible desviación de la misma.

En relación al campo de fútbol, no fue evidente ubicar las anomalías del gradiente magnético ni de la conductividad eléctrica propias de las estructuras precolombinas de interés en este estudio, a causa del alto nivel de contaminación de material férrico, de cables de alta tensión y la circulación constante de vehículos y equipo pesado. Sin embargo, fue posible identificar otras anomalías del gradiente magnético debidas a estructuras hispánicas enterradas en dicha zona. Estos resultados evidencian la importancia de mantener los sitios arqueológicos aislados de las diferentes actividades de la comunidad.

Por otra parte, en el solar ubicado al este de la Casa Alarcón fue más evidente la identificación de posibles estructuras arqueológicas. Esta zona muestra poco grado de contaminación en comparación con las otras zonas estudiadas, debido su distancia de las actividades de la urbe. El mapa de conductividad eléctrica evidencia la posible presencia de estructuras arqueológicas, mientras que el mapa del gradiente magnético se encuentra afectado por la influencia del campo magnético provocado por las rocas volcánicas que afloran en la superficie y que subyacen en el área.

## BIBLIOGRAFÍA

Dabas, M., H. Deléntag, A. Ferdière, C. Jung, y W. Zimmermann  
1998 *La prospection*. Ediciones Errance, París.

Bellanger, M.  
1998 *Traitement numérique du signal*. Edit. Dunod, Francia.

Grant, F. y G. West  
1965 *Interpretation theory in applied geophysics*. Edit. McGraw-Hill, New York.

Jacques, M. y J.L. Lacoume

1996 *Méthodes et techniques de traitement du signal et applications aux mesures physiques*. Edit. Masson, Francia.

Lowrie, W.

1997 *Fundamentals of geophysics*. Cambridge University Press, New York.

Parasnis, D. S.

1997 *Principles of applied geophysics*. Edit. Chapman & Hall, Inglaterra.

Telford, W. *et al.*

1996 *Applied geophysics*. Cambridge University Press, New York.