

MUNIBE (Antropología y Arqueología)	Suplemento N.º6	73-81	SAN SEBASTIAN	1988	ISSN 0027 - 3414
-------------------------------------	-----------------	-------	---------------	------	------------------

Estado actual de las investigaciones arqueofísicas en la provincia de Alava: La prospección por campos eléctricos en los yacimientos arqueológicos de La Hoya e Iruña.

J.M. GONZALEZ DE DURANA *
H.J. LLANOS ACEBO **

RESUMEN

En la presente comunicación se exponen los resultados obtenidos y la metodología utilizada en las campañas de prospección geofísica hasta el momento efectuadas en los yacimientos arqueológicos de La Hoya e Iruña.

Estos trabajos se han acometido, a petición del Instituto Alavés de Arqueología, por un equipo de profesores adscritos a diferentes departamentos de la Universidad del País Vasco, cuyas líneas de investigación, se han orientado a la aplicación de campos eléctricos para el reconocimiento del subsuelo con diferentes objetivos, de los que la prospección arqueológica constituye el núcleo de esta comunicación.

No hay que olvidar que la utilización de estas técnicas proporciona un conocimiento previo y no destructivo de la geometría de los restos arqueológicos, permitiendo la planificación y rentabilización de las campañas de excavación de los yacimientos hasta ahora inventariados, cuestión ésta de gran interés para el investigador en Arqueología.

Los primeros trabajos se desarrollaron durante el verano de 1985 en el Poblado de La Hoya y consistieron en el reconocimiento de una parte del yacimiento (500 m²) por diversos procedimientos, mediante la aplicación de campos eléctricos constantes, que sirvieron de base para el establecimiento de una metodología que posteriormente se ha adaptado a las peculiaridades estructurales de la Ciudad Romana de Iruña, en la que se ha investigado un sector cercano a los 10.000 m².

En concreto, el procedimiento que ha resultado ser más eficaz es el de las calicatas eléctricas con dispositivo tetraelectrónico, tipo Schlumberger, modificado para sucesivas separaciones interelectrodinas, permitiendo obtener distintos niveles de información, correspondientes a profundidades crecientes, en el cuerpo del yacimiento.

Por lo que respecta a los resultados obtenidos debe resaltarse, al menos en el yacimiento de La Hoya, una muy aceptable correspondencia entre la interpretación geofísica, reflejada en la cartografía automática, generada por tratamiento y filtrado de la información, y la disposición real de las estructuras enterradas, puestas de manifiesto en posterior excavación (1986). Así mismo, hemos obtenido el trazado estructural del área investigada en la Ciudad de Iruña.

De acuerdo con las temáticas que se tratarán en este Congreso, pensamos que esta comunicación se incluiría en el área de Arqueología. sub-área 3.2 o 3.6

1. INTRODUCCION

La presente comunicación tiene por objeto dar a conocer los trabajos que, en materia de prospección geofísica, han venido efectuándose en distintos yacimientos de la provincia de Alava. Los primeros trabajos se desarrollaron durante 1985 en el Poblado de La Hoya y consistieron en el reconocimiento de una parte del yacimiento (500 m²) por diversos procedimientos, mediante la aplicación de campos eléctricos constantes, que sirvieron de base para el establecimiento de una metodología que posteriormente se ha adaptado a las peculiaridades estructurales de la Ciudad Romana de Iruña, en la que se ha investigado un sector cercano a los 10.000 m² (Figura 1).

Por lo que respecta a los resultados obtenidos debe resaltarse, en el yacimiento de La Hoya, una muy aceptable correspondencia entre la interpretación geofísica, reflejada en la categoría automática, generada por tratamiento y filtrado de la información, y la disposición real de las estructuras enterradas, puestas de manifiesto en posterior campaña (1986), habiéndose así mismo obtenido un primer trazado estructural del área investigada de la Ciudad Romana de Iruña que esperamos sirva de guía para las excavaciones que, antes o después, hayan de abordarse en este importante enclave histórico.

2. METODOLOGIA Y ORGANIZACION DE LOS TRABAJOS DE CAMPO.

Tras las primeras visitas de inspección a los yacimientos mencionados se realizaron diferentes ensayos preliminares, que perfilaron a las Calicatas Eléctricas como la técnica más idónea, dentro de los métodos de prospección eléctrica, para la localización de anomalías producidas por la desigual distri-

* Universidad del País Vasco.
Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial.
c/ Nieves Cano, 12. 01006 VITORIA-GASTEIZ

** Universidad del País Vasco.
Escuela Universitaria de Profesorado.
c/ Marqués de Urquijo, s/n. 01006 VITORIA-GASTEIZ

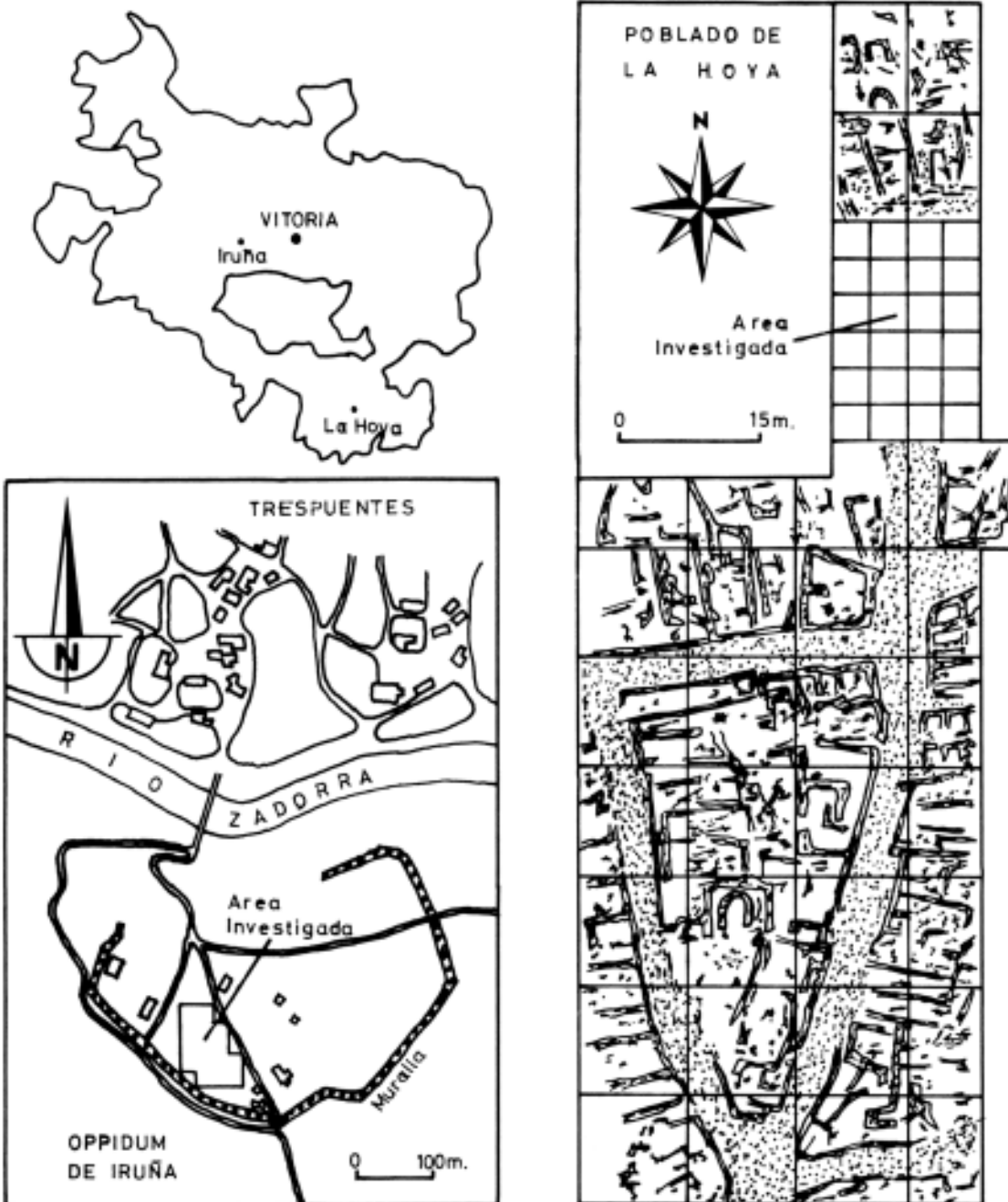


Figura 1. Situación geográfica de los yacimientos y localización de las áreas investigadas.

bución de los materiales rocosos constituyentes de los restos de las edificaciones ocultas.

Pese a ser esta técnica bastante utilizada en otras aplicaciones, principalmente con fines geológicos, los equipos convencionales disponibles en el mercado, no poseen la deseada sensibilidad tan necesaria en los trabajos de investigación arqueofísica, por lo que uno de los principales y primer objetivo a cubrir fué disponer de un equipamiento adecuado.

El equipo diseñado y construido, consta básicamente de un generador de campo eléctrico constante, constituido en esencia de una fuente de corriente continua variable, a su vez alimentada por un grupo electrógeno portátil, capaz de suministrar una tensión máxima de 500 voltios y una intensidad má-

xima de 5 amperios. Este equipo incorpora un dispositivo de puesta a cero concebido en base a amplificadores operacionales que tiene como misión el anular las corrientes residuales y telúricas existentes en el terreno en el momento de efectuar las mediciones. Como aparatos de medida se conectan dos multímetros comerciales digitales de precisión, que sirven para medir la diferencia de potencial y la intensidad producidos por el campo eléctrico aplicado al terreno a través de los electrodos conectados a los circuitos de corriente y de potencial.

De las diferentes modalidades de calicatas eléctricas móviles en las que los electrodos se desplazan conjuntamente conservando sus distancias y posiciones mutuas a lo largo de una serie de perfiles

como un todo rígido, se han venido utilizando las del tipo Schlumberger. La investigación por este método consiste en una serie de determinaciones de pares de valores de los parámetros eléctricos por medio de un dispositivo simétrico de cuatro electrodos coplanares de separación constante si bien adaptado en cada caso a las necesidades del propio yacimiento.

Así, en el Yacimiento de la Hoya, dadas las moderadas dimensiones y el carácter reticular de sus edificaciones además de la desigual naturaleza de los fragmentos utilizados para la construcción de los parámetros, se adoptó como unidad de investigación de base, una área cuadrada (4 x 4 m.), reticulada internamente en 16 celdas elementales para las medidas eléctricas, de 1 m² cada una.

Sin embargo, en la Ciudad Romana de Iruña se adoptó como unidad base un área de 20 x 20 m. reticulada en cuadros de 2 x 2 m, muy adecuada a las presumibles características de las estructuras, por lo general de elevada consistencia, mayor amplitud y disposición geométrica bien definida, que caracterizan a la arquitectura romana.

Mediante este dispositivo (SCHLUMBERGER), puede medirse la resistividad aparente del subsuelo a diferentes profundidades, aumentando o disminuyendo la distancia interelectrónica de los electrodos de corriente, y obtenerse a través de consideraciones teóricas la distribución del campo eléctrico y del potencial eléctrico en el subsuelo. Las anomalías en la distribución del campo, indicarán la geometría de los cuerpos enterrados. De esta manera, pensando en cubrir profundidades de investigación de hasta unos 8 metros, se eligieron alternativamente, según el yacimiento, unas distancias interelectrónicas, variables (2,4,6 y 8 m. en La Hoya y 6, 10 y 14 m. en Iruña) acordes con las mallas previamente trazadas, con lo que se han obtenido respectivamente cuatro y tres profundidades de penetración del campo eléctrico para cada punto, correspondientes a otros tantos niveles u horizontes de información.

En cuanto a la propia labor de campo, la primera tarea organizativa consistió en un reconocimiento del entorno geológico y de la morfología de los yacimientos, que culminó con la elección de las zonas de investigación referenciadas en el esquema adjunto. En concreto, en el poblado de La Hoya, se estudió un área de unos 500 m², ubicada entre dos de las zonas excavadas y actualmente puesta al descubierto durante la campaña realizada por el Grupo Arqueológico Alavés en Agosto de 1986. En el asentamiento de Iruña, se ha investigado un área próxima a los 10.000 m², repartida en dos sectores localizados a ambos lados del camino principal que, con orientación aproximada norte sur, atravesaba el oppidum comunicando con el cercano puente que vadea el río Zadorra. No obstante, en el presente tra-

bajo se suministran los resultados correspondientes al sector más occidental, básicamente unos 6.500 m², ya que el resto de la superficie prospectada está por el momento en fase interpretativa.

Posteriormente, una vez delimitadas las áreas de investigación, se procedió a la organización y ejecución de las campañas de sondeo, las cuales, a excepción de la llevada a cabo en La Hoya, fueron completadas en dos fases de unos 20 días de duración durante la primavera y comienzos del verano de 1986, lo que necesariamente ha llevado a considerar las variaciones de los valores de resistividad del terreno en función de las cambiantes condiciones climáticas estacionales.

3. TRATAMIENTO DE LA INFORMACION

Los datos procedentes de los sondeos en yacimientos arqueológicos, deben ser adecuadamente tratados antes de poder ser representados gráficamente en un display, en un plotter o en impresora.

En primer lugar contienen parte de información errónea debida a errores accidentales de los operarios o de los equipos, a la carencia de datos en ciertas zonas de difícil acceso e, incluso, a la incorrecta anotación de los valores indicados por el aparato de medida. Este último error podría solventarse incorporando al equipo un microordenador portátil dotado de convertidor analógico/digital que realizaría la toma automática de datos. Es preciso por tanto un primer filtrado que elimina los errores accidentales y, en ciertos casos, supla la posible falta de información.

Por otra parte, los datos procedentes del campo, casi nunca poseen la suficiente densidad de puntos tal que puedan ser representados directamente, y con la necesaria nitidez, en un display de alta resolución. Por consiguiente se hace indispensable interpolar entre los datos obtenidos, para así obtener un mayor número de puntos a representar. El proceso de interpolación debe ser de ejecución rápida para no consumir excesivos tiempos de CPU que harían tediosa la tarea de la interpretación. Una vez efectuada la interpolación, los datos se almacenan en una matriz, representación numérica de una imagen, siendo cada elemento de la matriz, un número que identifica el nivel de gris o de color de cada punto de la imagen y, finalmente, obtenido un número suficiente de puntos y aplicados los métodos de tratamiento digital de imágenes, podrá procederse a la representación gráfica correspondiente.

Como algoritmos tendentes a eliminar los errores de campo se han realizado procedimientos tipo smoothing basados en simples cálculos de parámetros estadísticos. El procedure Smoothing junto con

el Estad contenidos en el programa Pascal que figura en la Tabla I indican claramente los algoritmos utilizados. Entre los algoritmos de interpolación se han ensayado varios basados en la teoría de elementos finitos que aunque han dado buenos resultados, son de ejecución un tanto lenta. El que figura en el programa Pascal, es de ejecución lo suficientemente rápida en un microordenador personal del tipo IBM-PC.

El programa Pascal incluye igualmente los procedimientos de impresión de los resultados obtenidos en color, en pantalla, y en escala de grises, en la impresora, con el propósito de que sean fácilmente asimilables por el lector todos los algoritmos utilizados.

4. RESULTADOS E INTERPRETACION

La interpretación se efectúa de forma automática mediante el programa elaborado (Tabla I). El progra-

ma obtiene en primer lugar los valores numéricos de la matriz de resistividades del nivel considerado, que pueden servir para una primera fase interpretativa. En cualquier caso, estos resultados numéricos tienen escaso interés práctico ya que no resulta fácil obtener conclusiones de los mismos, siendo por ello mucho más interesantes los resultados gráficos, los cuales son obtenidos directamente por el ordenador, y representados por éste en pantalla y en impresora. Además los gráficos en pantalla se muestran en color, por lo que en ellos pueden apreciarse con suficiente detalle las formas geométricas de las estructuras ocultas del yacimiento. Las salidas por la impresora reproducen los mismos gráficos obtenidos en pantalla, aunque en escala de grises. A título de ejemplo, se incluyen algunas de estas últimas (Figuras 3, 4 y 5).

En la figura 3, perteneciente al Poblado de La Hoya, se aprecia una notable correspondencia entre las formas geométricas empíricas, deducidas a

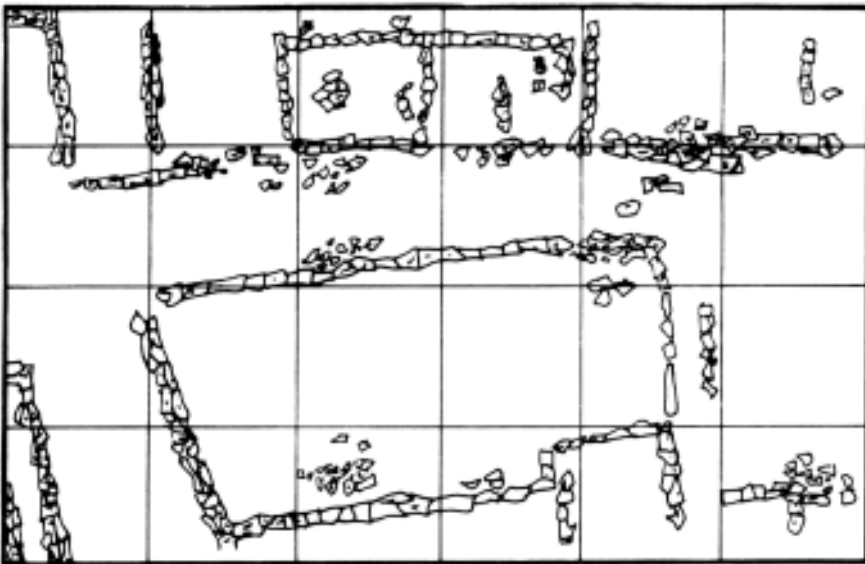


Figura 2. Poblado de La Hoya. Resultado campaña 1986.



Figura 3. Poblado de La Hoya. Mapa de isorresistividades, nivel 2.

partir de los datos de campo y representadas por el programa, y las estructuras fundamentales de edificación puestas al descubierto en posterior excavación, a su vez esquematizadas sintéticamente en la figura 2.

Este proceso, con ciertas modificaciones, se ha aplicado en el yacimiento de Iruña, obteniendo la cartografía del área estudiada, por unidades individuales de investigación y por agrupamientos de las mismas las cuales posibilitan la unión entre elementos anexos dando así una mejor visión estructurada del conjunto (Fig. 4 y 5).

Basados en los resultados gráficos obtenidos correspondientes a la Ciudad de Iruña, se ha procedido a la realización de una primera interpretación geométrica de las estructuras de las edificaciones, a nuestro juicio existentes, que se incluye en el plano correspondiente a la figura 6. Como es lógico ésta interpretación debe tomarse «a priori» con la debida cautela, pudiendo ser objeto de modificaciones

a medida que se incorporen nuevos datos, sobre todo en aquellas zonas en las que se requiere una mayor densidad de muestreo, y por la información complementaria aportada por arqueólogos especializados en construcciones romanas en colaboración con los cuales, deseablemente debería abordarse esta fase interpretativa.

5. CONCLUSIONES

Se han realizado dos campañas de prospección geofísica mediante la aplicación de campos eléctricos en los yacimientos arqueológicos de La Hoya e Iruña.

En cuanto al equipo y método utilizados hemos podido comprobar la validez de los mismos tanto a nivel experimental como de resultados obtenidos. No obstante sería de gran ayuda la incorporación al mismo de un microordenador portátil para la toma di-

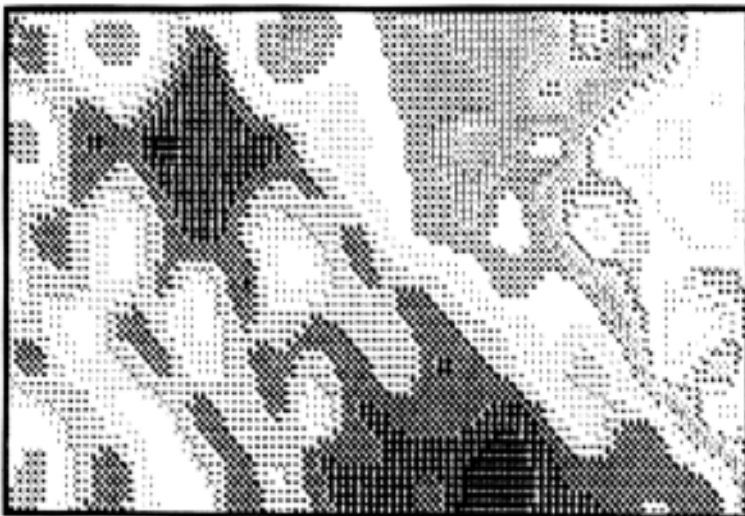


Figura 4. Iruña. Mapa de isorresistividades, nivel 3 coordenadas -10, -80.



Figura 5. Iruña. Mapa de isorresistividades, nivel 2 coordenadas -30, -70.

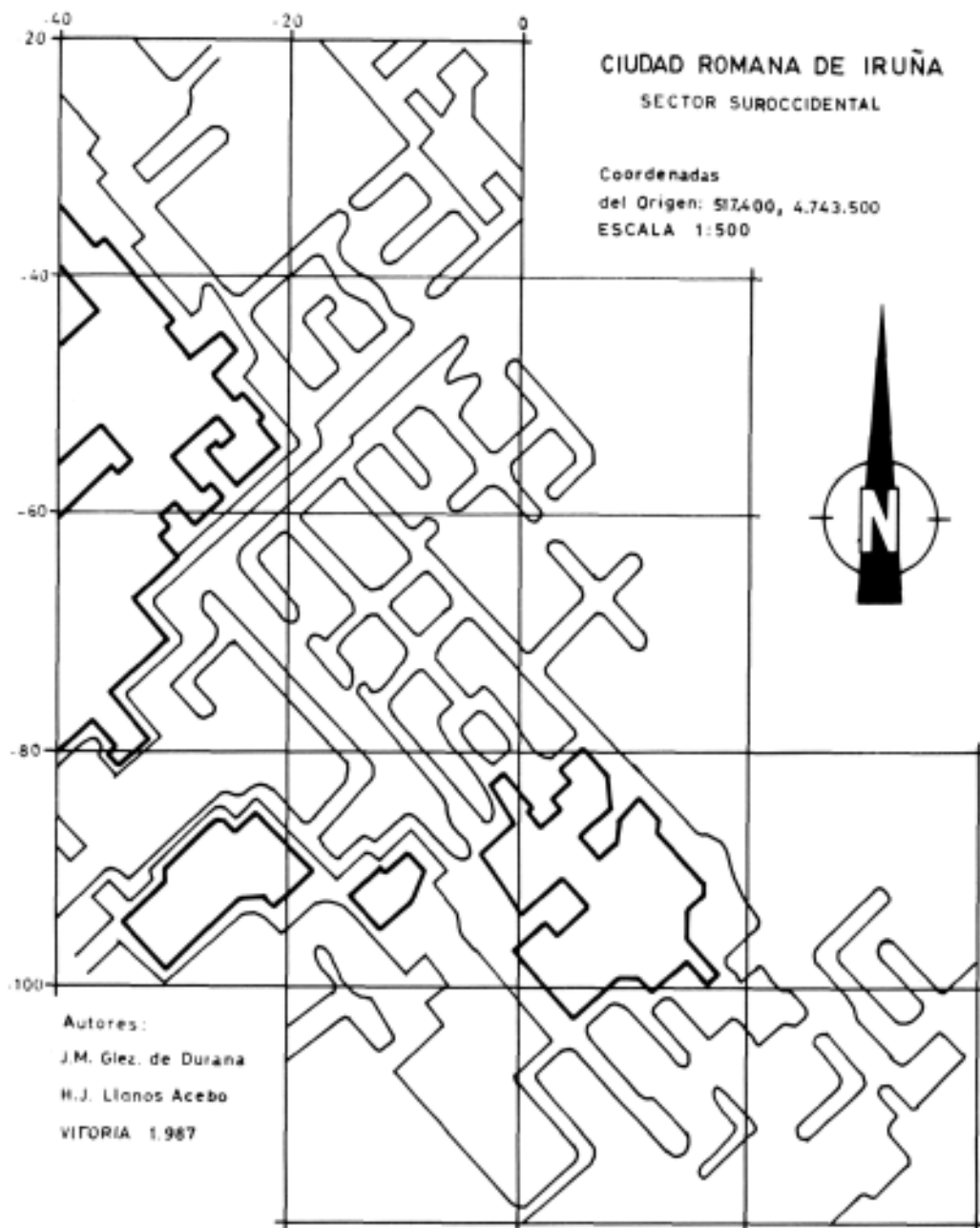


Figura 6.
Interpretación geofísica
del área prospectada.

recta de datos en el campo, e incluso para poder determinar in situ la geometría de ciertas estructuras de los yacimientos, lo que permitiría una mayor rapidez en la toma de decisiones sobre las zonas a investigar.

En base a los datos recogidos en las sucesivas campañas y mediante tratamiento y filtrado digital de la información por ordenador se han confeccionado sucesivas salidas gráficas correspondientes a diferentes profundidades de investigación, a partir

de las cuales puede deducirse las estructuras de las edificaciones presentes en los yacimientos.

Esperamos que los resultados obtenidos puedan ser de interés para los futuros estudios arqueológicos que se realicen en estos y otros yacimientos, y así mismo deseamos expresar nuestro más sincero agradecimiento a la Excm. Diputación Foral de Alava y a la Caja de Ahorros de Alava, por las facilidades y ayudas prestadas para el desarrollo de estos trabajos.

TABLA I

```
program iruña(input,output);

const pp=3; dimx=29; dimy=19; nfil=9; ncol=9; xcc=1.5;
type pvector=array[0..pp] of real;
  gran_matriz=array[0..dimy,0..dimx] of real;
  matriz=array[0..nfil,0..ncol] of real;
```

```

    pmatriz=array[0..pp] of pvector;
    str10=string[10]; str4=string[4];
var q,qmenu:char;
    i,j,k,nivelk,ii,jj,xx,yy,xxx,xi,xf,yi,yf,npx,npj,nfilmax,ncolmax,
    ox,ox1,oy,nox,noy,nfich:integer; alto:1..2; ancho:1..3;
    x,y,z,xc,yc,mv,ma,factor,rmax,rmin,rmed,dstd:real;
    b,bb,c,r:pvector; color:array[0..63,1..4] of integer;
    ro:gran_matriz; ddm,bbm:pmatriz; fro:text;
    s:str10; sox,soy:str4; s2:string[1]; iru:array[1..6] of str10;

procedure menu;
begin
    clrscr; writeln('      M      E      N      U  ');writeln;
    writeln('                ');
    writeln('                ');
    writeln('      A:      ');
    writeln('                ');
    writeln('                ');
    writeln('      B:      ');writeln;
    writeln('                ');
    writeln('      C:      ');
    writeln('                ');
    writeln('      D:      ');writeln;
    writeln('                ');
    writeln('      E:      ');
    writeln('                ');
    writeln('      F:      ');writeln;
    write(' Composición del mapa (A..F): '); read(qmenu);
    writeln; npx:=10;npj:=10;
    case qmenu of
        'a': begin alto:=1;ancho:=1; npx:=20;npj:=18; end;
        'b': begin alto:=2;ancho:=1; end;
        'c': begin alto:=1;ancho:=2; end;
        'd': begin alto:=2;ancho:=2; end;
        'e': begin alto:=1;ancho:=3; end;
        'f': begin alto:=2;ancho:=3; end;
    end;
    write(' Origen: ');read(ox,oy);writeln;
    write(' Nivel: ');read(nivelk);writeln;
    nfilmax:=alto*(nfil+1)-1;ncolmax:=ancho*(ncol+1)-1;
    nfich:=alto*ancho;ox1:=ox;
end;

procedure leero(s:str10;niv,posy,posx:integer);
var i,j,k: integer; r: real;
begin
    clrscr;writeln(s,' Nivel: ',niv);
    assign(fro,s); reset(fro);
    for i:=posy*(1+nfil) to posy*(1+nfil)+nfil do
        begin
            for k:=1 to 3 do
                for j:=posx*(1+ncol) to posx*(1+ncol)+ncol do
                    begin read(fro,r); if k=nivelk then ro[i,j]:=r end
                end; close(fro)
            end;
        end;
end; ( leero )

procedure leer_ficheros;
begin
    for i:=1 to alto do
        begin
            oy:=oy+20*(i-1);
            for j:=1 to ancho do
                begin
                    k:=ancho*(i-1)+j; ox:=ox1+20*(j-1);
                    if oy>=0 then s2:'#' else s2:'';
                    str(ox,sox);str(oy,soy);iru[k]:='r'+sox+s2+soy;
                    writeln;write(k:2,iru[k]:10);
                end;
            end;
        end;
end;

```

```

    end;
write('[CR]');read(q);
writeln;
if nfich=1 then leero(iru[1],nivelk,0,0)
else
begin
for i:=1 to alto do for j:=1 to ancho do
begin
k:=ancho*(alto-i)+j;
leero(iru[k],nivelk,i-1,j-1);
end;
end;
end;

procedure cubicar(d:pvector; var b:pvector);
( Procedure externo que interpola un Spline cubico )

procedure cubicar4(dm:pmatriz; var b:pmatriz);
var i:integer;
begin for i:=0 to pp do cubicar(dm[i],b[i]) end;
function cubica(x:real; b:pvector):real;
begin cubica:=x*x*x*b[3]+x*x*b[2]+x*b[1]+b[0] end;

procedure setmatriz(mat:gran_matriz);
var i,j:integer;
begin for i:=0 to dimx do for j:=0 to dimy do mat[i,j]:=1 end;

procedure normalizar(var a:gran_matriz; nfil,ncol:integer;
amax,amin:real);
var i,j: integer; b: gran_matriz;
begin writeln('Normalizar ');
for i:=0 to nfil do
for j:=0 to ncol do b[i,j]:=16*((a[i,j]-amin)/(amax-amin));a:=b;
end;

procedure realizado_bordes(var a:gran_matriz; nfil,ncol:integer);
( Procedure externo )

procedure print_matriz(a:gran_matriz; nfil,ncol,ndig,ndec:integer);
var i,j: integer;
begin
for i:=0 to nfil do
begin
for j:=0 to ncol do write(a[i,j]:ndig:ndec); writeln;
end;
write('[CR]');read(q);
end;

procedure estad(a:gran_matriz; nfil,ncol:integer;
var amax,amin,media,dstd:real);
var i,j,k,n: integer; a0,sa,sa2: real;
begin
writeln('Estadistica'); amin:=10000;amax:=0; sa:=0; sa2:=0;
n:=(nfil+1)*(ncol+1);
for i:=0 to nfil do for j:=0 to ncol do
begin
a0:=a[i,j];sa:=sa+a0; sa2:=sa2+a0*a0;
if a0>0 then
begin
if amin > a0 then amin:=a0; if amax < a0 then amax:=a0;
end; end;
media:=sa/n; dstd:=sqrt((sa2-sa*sa/n)/n);
writeln('max =',amax:6:2,' min =',amin:6:2,
' media =',media:6:2,' dstd =',dstd:6:2);
end;
end;

procedure smooting (var a:gran_matriz;
media,dstd:real; nfil,ncol:integer);
( Procedure externo que suaviza valores extremos )

```



```

procedure define_color;
const maxcolor=16; var f:fichero; i,j:integer;
begin
  assign(f,'color4_pr'); reset(f);
  for i:=maxcolor downto 0 do
    for j:=1 to 4 do read(f,color[i,j]);
  close(f);
end;

procedure plottear(xx,yy:integer; z:real);
var c,c1,c2,c3,c4:integer;
begin
  r:=trunc(z); c1:=color[c,1]; c2:=color[c,2]; c3:=color[c,3];
  c4:=color[c,4]; plot(xx,yy,c1); plot(xx+1,yy,c2);
  plot(xx,yy+1,c3);plot(xx+1,yy+1,c4);
end;

begin (      M A I N      )
  menu;
  (%U+); clrscr; setmatriz(ro); leer_ficheros;
  print_matriz(ro,nfilmax,ncolmax,3,0);
  estad(ro,nfilmax,ncolmax,rmax,rmin,rmed,dstd);
  smooting(ro,rmed,dstd,nfilmax,ncolmax);
  estad(ro,nfilmax,ncolmax,rmax,rmin,rmed,dstd);
  normalizar(ro,nfilmax,ncolmax,rmax,rmin);
  estad(ro,nfilmax,ncolmax,rmax,rmin,rmed,dstd);
  realzado_bordes(ro,nfilmax,ncolmax);
  print_matriz(ro,nfilmax,ncolmax,3,0);

  GraphColorMode; palette(2); graphbackground(9);define_color;
  xc:=xcc*npix;yc:=xcc*npix;
  for i:=0 to nfilmax-3 do for j:=0 to ncolmax-3 do
    begin
      xi:=npix+1;xf:=2*npix;
      if j=0 then xi:=1;if j=ncolmax-3 then xf:=3*npix;
      yi:=npy+1;yf:=2*npy;
      if i=0 then yi:=1;if i=nfilmax-3 then yf:=3*npy;
      for ii:=0 to pp do
        for jj:=0 to pp do ddm[ii,jj]:=ro[i+ii,j+jj];
      cubicar4(ddm,bbm);
      xx:=xi;
      while xx <= xf do
        begin
          r[0]:=cubica((xx-xc)/npix,bbm[0]);
          r[1]:=cubica((xx-xc)/npix,bbm[1]);
          r[2]:=cubica((xx-xc)/npix,bbm[2]);
          r[3]:=cubica((xx-xc)/npix,bbm[3]);
          cubicar(r,b); yy:=yi;
          while yy <= yf do
            begin
              z:=cubica((yy-yc)/npy,b);
              plottear(j*npix+xx,i*npy+yy,z);
              yy:=yy+2;
            end;
            xx:=xx+2;
          end;
        end;
      gotoxy(2,25); delete(iru[1],1,1);
      write('Iruna(',iru[1],'). Nivel ',nivelk);
    end.

```