

eman ta zabal zazu



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

Geofisika tekniken karakterizazioa Euskal Herriko Antzinaroko aztarnategi arkeologikoetan

Ekhine Garcia Garcia_k

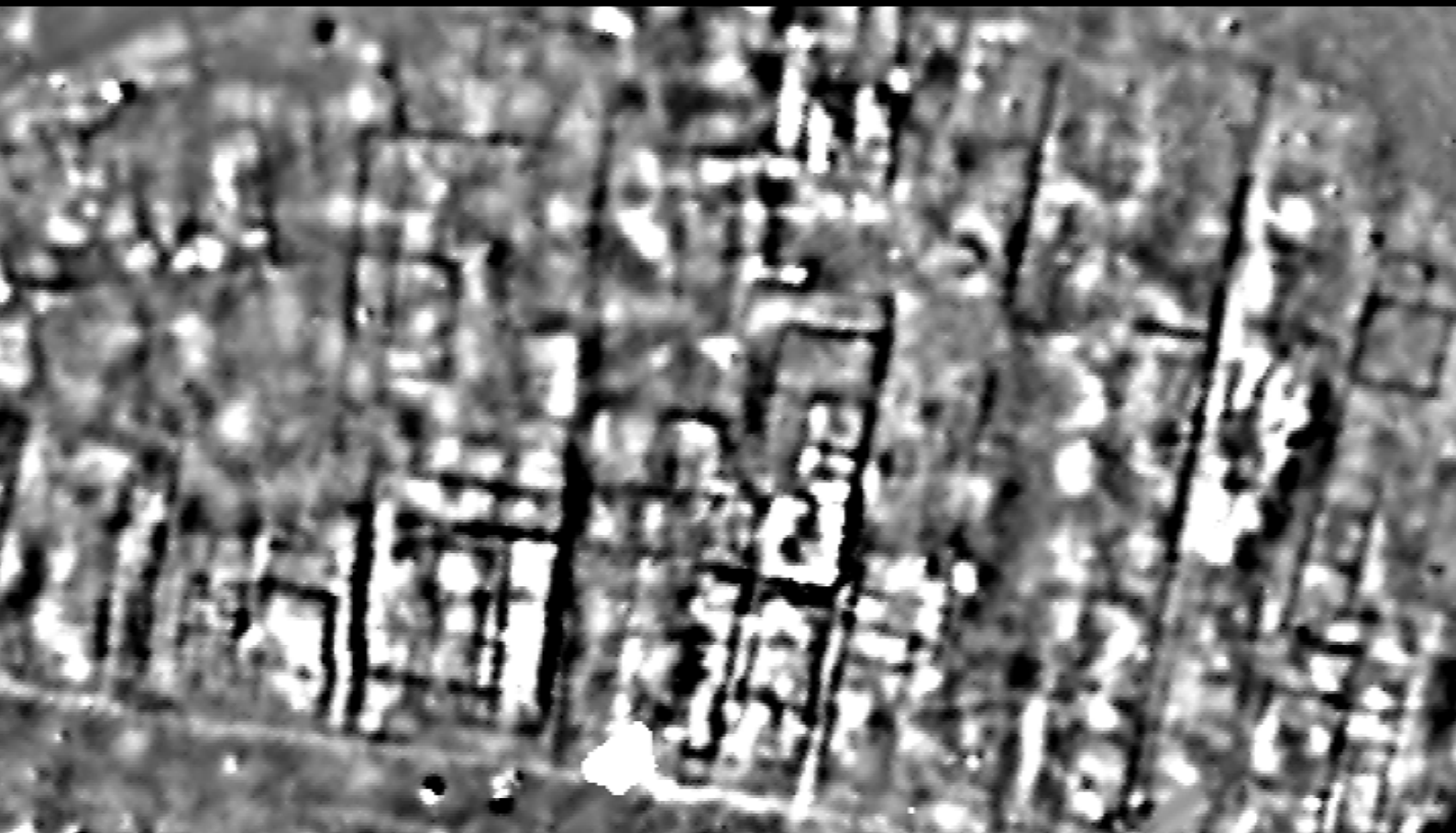
Doktore titulua eskuratzeko aurkezturiko

TESIA

2017

Zuzendaria: **Arantza Aranburu Artano**

Mineralogia eta Petrologia Saila



Zaindu maite duzun hori.

Ruper Ordorika

Es gibt keine Tatsachen, es gibt nur Interpretationen.

Ez dago Egitaterik, Interpretazioak baizik.

Friedrich Nietzsche

Izenburua: Geofisika tekniken karakterizazioa Euskal Herriko Antzinaroko aztarnategi arkeologikoetan

Autorea: Ekhine Garcia Garcia

ZABALDUZ 2012 deialdiaren baitan Euskal Herriko Unibertsitatea eta Aranzadi Zientzia Elkartearen arteko elkarlanean burututako ikerketa

Tesi Zuzendaria: Arantza Aranburu Artano

Aranzadi Zientzia Elkarteko tutorea: Juantxo Agirre Mauleon

2017

Azaleko irudia: Auritz-Aurizberri aztarnategi erromatarrean burututako miaketa magnetikoaren emaitzaren xehetasuna (-15 nT beltzez, 15 nT zuriz. Mendebaldera orientatuta dago).

Lan hau *Creative Commons* baimen baten mende dago (Aitortu-EzKomertziala-LanEratorririkGabe 4.0 Nazioartekoa). Lanaren kopia aldatu gabeak kopian, banatu eta jendaurrean hedatzea onartzen du baimendunak, baina ez hartatik eratorritako lanik; bereziki irudiak ezin dira autorearen baimenik gabe berrerabili. Ordainetan, jatorrizko egilea aitortu eta aipatu behar da. Aldi berean, lan hau ezin da merkataritza xedetarako erabili.



Geofisika tekniken karakterizazioa Euskal Herriko Antzinaroko aztarnategi arkeologikoetan

Ekhine Garcia Garciak

Doktore titulua eskuratzeko aurkezturiko

TESIA

2017

ZABALDUZ 2012 deialdiaren baitan Euskal Herriko Unibertsitatea (EHU/UPV) eta Aranzadi Zientzia Elkartearen arteko elkarlanean burututako ikerketa.

Euskal Herriko Unibertsitateko zuzendaria: **Arantza Aranburu Artano**

Aranzadi Zientzia Elkarteko tutorea: **Juantxo Agirre Mauleon**

Eskerronak

Asko dira ikerketa honek iraun duen prozesu luzean bidelagun izan ditudanak:

batzuk, gaiari buruz ezer jakin gabe, izandako oztopo eta arazoen keaxak pazientziaz aditu dizkidatenak, horien garrantziaz jabetu ez arren, emaitza politen aurrean nirekin poztu direnak;

beste batzuk, gaian adituak izanda, zalantzak argitu eta aurrera jarraitzeko ideiak piztu dizkidatenak, interpretazio prozesuan beste aztarnategietako adibideak erakutsi dizkidatenak, artikuluak prestatzean zuzenketak eta gomendioak egindakoak; horien artean ikerketa aurreko urteetan lankide izan ditudan SOT Prospecció Arqueològica enpresako kideak, horiekin hazi eta hezi da nere baitako geofisikari eta arkeologoa; baita *ISAP* elkarteko hainbat kide, inspirazio-iturri izan direlako askotan;

zer esan datu-bilketan buru-belarri inplikatu diren boluntarioez, sistema geofisikoak existitzen zirela ere kasik ez zekitela hasi, eta orain landa lanean aritu eta aditu bilakatuak, proiektu bat aurrera ateratzeko lantalde fina osatzen dutenak, momentuko beharretara moldatuaz beste gauza aunitzen artean zintak aldatzen, sasiak edota sator-pilak kentzen, georradarri tiraka edota sukaldean ibiliak;

jakintza-alor anitzeko ikerketa izanik, nerekin batean aritu diren topografo, geologo, arkeologo, historialari, argazkilari eta besteak, batzuetan koadrikulak jartzen, bestetan industen eta materialak siglatzen, edo zundaketa kanpainak egiten; horiek gabe ikerketa hankamotz legokeelako, eta elkarrekin izandako elkarrizketa asko inspirazio-iturri izan direlako; horien artean Aranzadi Zientzia Elkarteko lagunak zein Auritz-Aurizberri aztarnategiko indusketetan parte hartu duten Londreseko *Museum Of London Archaeology*ko kideak;

ikerketa aurreko urteetan proiektu ezberdinetan lankide izandako arkeologo askok, zein ikerketa bitartean aurkitutakoek, erromatar asentamenduen edo beste aspektu arkeologikoen inguruko nere galderak erantzun dituzte, horien artean Bartzelonako *Puig Ciutat* eta Gironako *Ullastret* eta *Empúries* aztarnategietako kideak;

Euskal Herrian burututako esperientziak biltzen lagundu didatenak, horien artean BIBAT-Arabako Arkeologia Museoa, Arkeolan Fundazioa, Bizkaiko Arkeologi Museoa, Bizkaiko Foru Aldundiko Ondare Historikoa Zerbitzuko Arkeologia atala, Gipuzkoako Foru Aldundiko Arkeologo Teknikaria, Nafarroako Vianako Printzea erakundeko Arkeologia Saila, SOT Prospecció Arqueològica enpresa;

tesia euskaraz idaztearen erabakian babestu nauten guztiak, ikerketa nazioartera zabaltzeko beste bideak ere badaudela ulertu dutenak;

askotan nere Euskaltzaindia pertsonal bezala erabilitako euskaldunak, mugagabea edota ahaleraren gorabeherak pazientziaz azaldu dizkidaten filologoak zein lexikoa asmatu behar izan dudanean beren iritzia gupidarik gabe emandakoak; testu honen lehen bertsioak irakurri eta zuzentzeko denbora aurkitu dutenak;

sarean baliabideak eskuragarri jartzen dituzten horiek, \LaTeX euskaratu duenetik hasita Berriaren estilo libururaino, tartean hiztegiak, artikuluak, liburuak eta abar luzea ahaztu gabe; baita beste hizkuntzatan egonagatik ordenagailuen mundu ulergaitzean murgiltzen lagundutako milaka foro-idazle horiek ere, nondik ateratzen ote dute denbora?;

administrazio lan amaiezinetan aritu direnak, batzuetan burokraziarekin borrokan, bestetan diru-iturrien bila, edota baimenak lortzeko lursailen jabeekin solasean;

landa lan egun luzeetan etxean bezala sentiarazi gaituzten Urrobi kanpineko langileak, zein beraien etxean hartu gaituzten edo nauten lagunak, izan indusketa bitartean edo kongresu zein ikastaroengatik etxetik kanpo ibiltzean;

ikerketa zuzentzen aritu direnak, agenda inposibleetan horretarako tartea aurkitutakoak.

Ikerketa burutzeko ezinbestekoa izan da SOT Prospecció Arqueològica taldeak tresna geofisikoak eskuragarri jarri izana, hasi ere ez nintzateke izanen horiek gabe.

Era berean, Geophysical Archaeometry Laboratory Inc. enpresak GPR-Slice softwarea erabiltzeko lizentzia eskuragarri jarri du.

GeodataWIZ enpresako zuzendariaren eskuzabaltasunari esker, suszeptibilitate magnetikoa neurtzeko SM30 gailua dohainik erabiltzeko aukera egon da 2015. urteko arkeologia kanpainan.

Burgoseko Unibertsitateko Giza Eboluzioaren laborategiari esker zundaketa geoarkeologikoak egiteko sistema erabili ahal izan dugu inolako diru-ordainik burutu gabe.

Miaketak Nafarroako Gobernuak, Gipuzkoako Foru Aldundiak eta lursailen jabeek emandako baimenei esker burutu ahal izan dira, horien artean Erroibarreko, Azpeitiako eta Azkoitiako Udalak eta Auritzeko Arrobi Elkarteak.

Erromatar Galtzadaren inguruko ikerketa arkeologikoa egiteko bertako udalerrri txikien eta Eusko Kultur Fundazioen diru-laguntza egon da. Aurizberriko Urrobi kanpinak eta pertsona partikular batzuek ere diruz lagundu dute ikerketa.

Tesi hau Aranzadi Zientzia Elkarteak eta Euskal Herriko Unibertsitatearen arteko elkarlanean burutu da, eta ZABALDUZ 2012 deialdiko diru-laguntza jaso du.

Eskerrak ere aurreko ataletan aurkeztua sentitu ez eta merezi dutela uste duten bidelagun horiei.

Aurkibidea

Eskerronak	i
Aurkibidea	iii
Erabilitako laburdurak	xi
Erabilitako hitz teknikoak	xiii
1. Sarrera	1
1.1. Ikerketaren motibazio pertsonala	3
1.2. Metodologia geofisikoen definizio eta eboluzioa	3
1.3. Geofisika arkeologikoa Euskal Herrian	5
1.4. Ikerketaren helburua eta aplikaturiko metodologia	7
1.5. Tesiaren antolaketa	8
2. Sistema Geofisikoen oinarri teorikoa	11
2.1. Prospekzio geofisikoa arkeologian: ezaugarri orokorrak	13
2.2. Sistema Magnetikoa	17
2.2.1. Oinarrizko Fisika	18
2.2.1.1. Eremu magnetikoa	18
2.2.1.2. Lurraren Eremu magnetikoa	18
2.2.1.3. Induzituriko magnetizazioa	19
2.2.1.4. Hondar-magnetismoa edo Magnetizazio erremanentea	22
2.2.2. Tresneria	23
2.2.3. Anomalia magnetikoen ezaugarriak	23
2.2.4. Datu-prozesua	26
2.2.5. Aplikazio tipikoak Arkeologian	27
2.2.5.1. Lubanarro, silo eta eraikinen barnealdeak	27

2.2.5.2.	Paretak	28
2.2.5.3.	Lur mugimenduak	28
2.2.5.4.	Labeak, sutondoak eta industria gunek	28
2.2.6.	Zarata iturriak	29
2.3.	Georradarra	30
2.3.1.	Oinarrizko Fisika	31
2.3.1.1.	Uhin elektromagnetikoa	31
2.3.1.2.	Permitibitate elektrikoa (ϵ)	32
2.3.1.3.	Eroankortasuna (σ)	33
2.3.1.4.	Iragazkortasun magnetikoa (μ)	34
2.3.1.5.	Uhin elektromagnetikoak pairatzen dituen prozesuak	34
2.3.2.	Tresneria	37
2.3.2.1.	Georradar miaketaren parametroak eta radargramen sorrera	37
2.3.2.2.	Georradar antenen ezaugarriak	38
2.3.3.	Georradar anomalien ezaugarriak	39
2.3.3.1.	Islapen motak	39
2.3.3.2.	Uhinaren hedapena lurzoruan. Barneratze-sakonera	41
2.3.3.3.	Bereizmenean eragiten duten faktoreak	41
2.3.4.	Datu-prozesua	42
2.3.4.1.	Abiaduraren estimazioa	42
2.3.4.2.	Banakako profilen prozesua	43
2.3.4.3.	Time Slice edo Denboran-sailkatze teknika	45
2.3.5.	Aplikazio tipikoak arkeologian	46
2.3.5.1.	Paretak	46
2.3.5.2.	Zorua eta estratigrafia	46
2.3.5.3.	Ehorzketak eta lur mugimenduak	47
2.3.5.4.	Lubanarro eta siloak	48
2.3.5.5.	Arkitektura elementuak	48
2.3.6.	Zarata iturriak	48
2.4.	Sistema Elektrikoa	49
2.4.1.	Oinarrizko Fisika	49
2.4.1.1.	Korronte elektrikoa, eremu elektrikoa eta potentzial-diferentzia	49

2.4.1.2.	Erresistentzia eta erresistibitatea	50
2.4.1.3.	Eremu lerroak eta gainazal ekipotentzialak	51
2.4.1.4.	Arroken erresistibitate elektrikoa	52
2.4.1.5.	Korronte lerroak lurzoruan	53
2.4.1.6.	Kontaktu elektrikoa eta polarizazioa	56
2.4.1.7.	Neurketa elektrikoak eta erresistibitatearen kalkulua	56
2.4.2.	Tresneria	58
2.4.2.1.	Kartografia vs. tomografia	58
2.4.2.2.	Dispositibo erabilienak	58
2.4.2.3.	Dispositiboen aukeraketa	61
2.4.3.	Anomalia elektrikoen ezaugarriak	61
2.4.3.1.	Itxurazko erresistibitatea	61
2.4.3.2.	Ikerketa-sakonera eta bereizmena	61
2.4.3.3.	Anomalia elektrikoen forma	62
2.4.4.	Datu-prozesua	62
2.4.5.	Aplikazio tipikoak Arkeologian	63
2.4.5.1.	Paretak, zoruak eta bideak	64
2.4.5.2.	Lubanarro eta siloak	64
2.4.5.3.	Hutsuneak	64
2.4.5.4.	Sedimentuen potentzia	65
2.4.6.	Zarata iturriak	65
2.5.	Oinarri teorikoen ondorioak	66
3.	Aztarnategien aurkezpena	67
3.1.	Sarrera	69
3.2.	Auritz-Aurizberriko aztarnategi erromatarra (Nafarroa)	70
3.3.	Artziko aztarnategi erromatarra (Nafarroa)	73
3.4.	Neurri txikiagoko beste aztarnategiak Pirinioetan (Nafarroa)	75
3.4.1.	Ibañeta	75
3.4.2.	Sorohandi	76
3.4.3.	Berrotxipi	77
3.4.4.	Ateabaltsa	77
3.5.	Munoaundi herri harresitua (Azkoitia-Azpeitia, Gipuzkoa)	78

4. Miaketa magnetikoaren baliagarritasuna okupazio guneak aztertzeko	83
4.1. Sarrera	85
4.1.1. Metodologia eta tresneria	85
4.1.2. Datu-prozesua	86
4.1.3. Interpretazioa	86
4.2. Auritz-Aurizberriko aztarnategi erromatarra	87
4.2.1. Ikertutako eremuak	88
4.2.2. Datu-bilketa eta datu-prozesua	89
4.2.3. Emaidzak	90
4.2.3.1. Zaldua gunea	91
4.2.3.1.1. Deskribapen orokorra	91
4.2.3.1.2. Galtzada	96
4.2.3.1.3. Eraikinak	98
4.2.3.1.4. P5 gunea	101
4.2.3.1.5. Labeak eta bestelako errekuntza guneak	103
4.2.3.2. Otegi eta Benta guneak	103
4.2.3.3. Carneros eta Esondoa	108
4.2.4. Ondorioak	109
4.3. Artzi	112
4.3.1. Emaidzak	113
4.3.2. Ondorioak	116
4.4. Neurri txikiagoko beste aztarnategiak Pirinioetan	116
4.4.1. Ibañeta	117
4.4.2. Sorohandi	117
4.4.3. Berrotxipi	120
4.4.4. Ateabaltsa	120
4.4.5. Ondorioak	122
4.5. Munoaundi herri harresitua (Azkoitia-Azpeitia)	122
4.5.1. Emaidzak	123
4.5.2. Ondorioak	126
4.6. Miaketa magnetikoaren ondorioak	126

5. Zundaketa geoarkeologikoak informazio geofisikoaren osagarri bezala. Auritz-Aurizberriko aztarnategi erromatarra	129
5.1. Sarrera	131
5.1.1. Metodologia	131
5.1.2. Ikerketa eremua	131
5.1.3. Erregistro modua	133
5.2. Potentzia arkeologikoa eta kontraste magnetikoa	134
5.2.1. Okupazio eremuaren baieztatzea	134
5.2.2. Kontraste magnetikoa eta arkeologia geruzaren lodiera	137
5.3. Interpretazio arkeologikoen balidatzea	139
5.3.1. Eraikinak	139
5.3.1.1. Zalduako E zona. BH1/BH2/BH3 zundak	139
5.3.1.2. Zalduako E20 eraikina. BH6/BH7 zundak	140
5.3.1.3. Zalduako E1 eraikina. BH41 /BH42 zundak	142
5.3.2. Espazio irekiak	142
5.3.2.1. Zalduako P2 gunea. BH43 zunda	144
5.3.2.2. Zalduako P5 gunea. BH17/BH19/BH24/BH25 zundak	145
5.3.3. Konbustio egiturak	148
5.3.3.1. Zalduako P5 gunea. BH23/BH21 zundak	148
5.3.3.2. Zalduako L1 egitura. BH12 zunda	149
5.3.3.3. Zalduako L6 egitura. BH33 zunda	151
5.3.4. Anomalia geologikoak	152
5.3.4.1. Zaldua iparraldeko anomalia linealak	152
5.3.4.2. Otegiko <i>Irla anomaloak</i>	154
5.3.5. Otegiko O8 anomalia	154
5.4. Georradar uhinaren batazbesteko abiadura	157
5.4.1. P5 gunea, abenduan	158
5.4.2. P5 gunea, apirilean	159
5.5. Zundaketa geoarkeologikoen ondorioak	160
6. Miaketa Sistema-Anitzak	163
6.1. Sarrera	165
6.1.1. Metodologia eta tresneria	165

6.1.2.	Datu-prozesua	167
6.1.2.1.	Georradar datuen oinarritzko prozesua	167
6.1.2.2.	Georradar datuen zuzenketa topografikoa	168
6.1.2.3.	Miaketa elektrikoa	170
6.1.3.	Interpretazioa	171
6.1.4.	Ikerturiko guneak	171
6.2.	Auritz-Aurizberri aztarnategia. Zaldua. E1 eraikina	171
6.2.1.	Datu bilketa eta datu-prozesua	172
6.2.2.	Emaitzak	173
6.2.3.	Ondorioak	176
6.3.	Auritz-Aurizberri aztarnategia. Zaldua. Auritz-Aurizberri aztarnategia. E6 eraikina	177
6.4.	Auritz-Aurizberri aztarnategia. Zaldua. P5 gunea	178
6.4.1.	Datu bilketa	179
6.4.2.	Datu-Prozesua	180
6.4.3.	Emaitzak	183
6.4.3.1.	Laburpena	183
6.4.3.2.	Azaleko egitura berriak	185
6.4.3.3.	Sakoneko egitura berriak	187
6.4.3.4.	Egitura ezagunen informazio osagarria	194
6.4.4.	Ondorioak	205
6.5.	Auritz-Aurizberri aztarnategia. Zaldua. E20 eraikina	205
6.5.1.	Datu-bilketa eta datu-prozesua	206
6.5.2.	Emaitzak	207
6.5.3.	Ondorioak	210
6.6.	Auritz-Aurizberri aztarnategia. Zaldua. Iparraldeko muga	211
6.6.1.	Datu-bilketa eta datu-prozesua	211
6.6.2.	Emaitzak	213
6.6.3.	Ondorioak	218
6.7.	Auritz-Aurizberri aztarnategia. Otegi. Iparraldeko irla anomaloak	219
6.8.	Auritz-Aurizberri aztarnategia. Otegi. Galtzadaren jarraipena	223
6.8.1.	Datu-Prozesua	224
6.8.2.	Emaitzak	224

6.8.3. Ondorioak	229
6.9. Auritz-Aurizberri aztarnategia. Otegi. Galtzadaren ondoko O8 anomalia lineala	231
6.10. Artzibarreko aztarnategia	232
6.10.1. Datu-Prozesua	233
6.10.1.1. Georradar datuen datu-prozesua	233
6.10.2. Emaitzak	235
6.10.3. Ondorioak	240
6.11. Miaketa sistema-anitzaren ondorioak	241
7. Indusketa arkeologikoen emaitzen alderaketa	245
7.1. Auritz-Aurizberriko aztarnategi erromatarra	247
7.1.1. A miaketa-zuloa (2,5 m x 3 m)	248
7.1.1.1. Emaitzak arkeologikoak	248
7.1.1.2. Interpretazio geofisikoa	251
7.1.2. B miaketa-zuloa (1 m x 4 m)	253
7.1.2.1. Emaitzak arkeologikoak	253
7.1.2.2. Interpretazio geofisikoa	255
7.1.3. C miaketa-zuloa (2 m x 2 m)	256
7.1.3.1. Emaitzak arkeologikoak	256
7.1.3.2. Interpretazio geofisikoa	259
7.1.4. D miaketa-zuloa (3 m x 2 m)	261
7.1.4.1. Emaitzak arkeologikoak	262
7.1.4.2. Interpretazio geofisikoa	263
7.1.5. E eremuaren indusketa (5,5 m x 30 m)	265
7.1.5.1. Emaitzak arkeologikoak	265
7.1.5.2. Interpretazio geofisikoa	270
7.1.6. Analitikak egin ahal izateko zundaketa berriak	274
7.1.6.1. Otegiko O8 anomalia	274
7.1.6.2. Otegiko <i>irla anomaloak</i>	276
7.1.6.3. Arkeologiara bideratutako zundak	276
7.2. Artzibarreko aztarnategi erromatarra	279
7.2.1. Emaitzak arkeologikoak	280
7.2.2. Interpretazio geofisikoa	282

7.3. Indusketarekin alderatzearen ondorioak	285
8. Ondorioak	287
8.1. Ondorio arkeologikoak	289
8.1.1. Auritz-Aurizberri	289
8.1.2. Artzi	297
8.2. Ondorio metodologikoak	299
8.2.1. Aztarnategien mugatzea	299
8.2.2. Koadrikulen orientazioa	300
8.2.3. Egitura jakinen detektagarritasuna	301
8.2.3.1. Galtzada	301
8.2.3.2. Poste oinarriak	302
8.2.3.3. Terma gunea	302
8.2.3.4. Egitura geologikoak	302
8.2.4. Anomalien interpretazioaren baieztatzea	304
8.3. Etorkizunerako erronkak	306
Bibliografia	307
Erantsitako planoak	319

Erabilitako laburdurak

BP Ingelesetik, *Before Present*. Datazioak ematerako orduan erabiltzen den eskala. Jatorria 1950 urtean du.

ETRS Ingelesetik, *European Terrestrial Reference System 1989*. Europako datu espazialeterako erabiltzen den sistema geodesikoa.

GIS Geografia-Informazioko Sistema. Informazio geografikoa era antolatuan gorde, kudeatu eta analizatzeko sistema. Iturri ezberdinetako informazioa bateratzeko aukera ematen duenez, sistema ezberdinekin lortutako emaitza geofisikoak, aireko irudiak, arkeologia emaitzak eta besteak alderatzeko oso aproposa.

GPR Ingelesetik, *Ground Penetrating Radar*. Georradarra.

GPS Ingelesetik, *Global Positioning System*. Kokapen Sistema Globala, satellite bidezko nabigazio sistema bat da. Horiek erabilia lurreko puntu baten erreferentzia ezagutu daiteke, munduan kokatzeko aukera ematen du.

K.a. Kristo aurretik.

MAG Sistema magnetikoari erreferentzia egiteko.

RES Sistema elektrikoari erreferentzia egiteko.

S.I. Nazioarteko Unitate Sistema (frantsesezko *Système international d'unités*-etik laburtuta). Nazioartean adostutako eta gehien erabiltzen den unitate sistema.

UE UE Unitate Estratigrafikoa. Aztarnategi batean ekintza bakoitzaren ondorio edo lekukoa den egitura, ebaketa edo betekina (gizakiak egina izan ala ez). Harris-en metodoa erabiliz indusketan Ueak identifikatzen dira eta gertaturiko ordena kronologikoaren arabera antolatu. Horretan oinarrituz aztarnategiak pairatutako prozesuen berreraikuntza egitea da helburua.

UTM Ingelesetik, *Universal Transverse Mercator*. Mercatorren proiektzioan oinarritutako koordenatu sistema da. Koordenatu geografikoetan ez bezala, non longitude eta latitudea gradutan neurtzen diren, kasu honetan distantzia metroan neurtzen da. Proiektzioaren distortsioa txikitzeko lurra eremu ezberdinetan banatzen da, eta Euskal Herriari 30N dagokio.

vs Latinetik, *versus*. Bi magnitude kontrajartzeko erabilia.

Erabilitako hitz teknikoak

EUSKARA	DEFINIZIOA	ITURRIA	ENGLISH
Anplitude-mapa	Georradar datuetan, denboran-sailkatze teknikan sortzen den mapetariko bakoitza.	Asmatua	Amplitude slice-map
Barneratze-sakonera	Georradarrean, indargabetu arte uhina iristen den sakonera maximoa.	EKAIA	Depth of penetration
Denbora-xafla	Georradarrean, denboran-sailkatze teknikarekin sortzen den informazio-unitatea.	Asmatua	Time slice
Denbora-leiho	Georradarrean, puntu bakoitzean islapenak entzuten diren denbora-tartea.	Asmatua	Time-window
Denboran-sailkatze	Georradarrean, datuak prozesatzeko teknika, sakonera ezberdinei dagozkien anplitude mapak sortzen dituenak.	Asmatua	Time slicing
Eremu osoaren anomalia	Lurraren eremuaren intentsitatea neurtzen denean (eta ez norabide batean duen pseudo-gradientea).	Asmatua	Total field anomaly
Erlaxazio-maiztasun	Permitibitate elektrikoaren maiztasunarekiko menpekotasuna aztertzean, kargaren metaketa baldintzatzen duen fenomeno bakoitzerako energia galera maximoa ematen den maiztasuna.	Asmatua	Relaxation frequency
Hondar-magnetizazio	Kanpo eremua desagertzen denean mantentzen den magnetismoa.	Harluxet hiztegia	Remanent magnetization
Ikerketa-sakonera	Miaketa geofisikoan informazioa jaso den sakonera maximoa.	Asmatua	Depth of investigation
Info	Georradar miaketan koadrikula bakoitzaren informazioa biltzen duen artxiboa. Erabilitako parametroak profil bakoitzaren kokapena adierazten ditu.	Asmatua, lagu-nartekoa	Info file
Itxurazko erresistibitate	Sistema elektrikoan, lur homogeenak izango zuen erresistibitatea, neurturiko balio berdina sortzeko.	Asmatua	Apparent resistivity
Koadrikulatzea	Datuak koadrikula batean era erregularrean antolatzea.	Asmatua	Gridding
Kontaktuko erresistentzia	Sistema elektrikoan, elektrodoak eta lurraren artean sortzen den erresistentzia elektrikoak.	Asmatua	Contact resistance
Lagin	Georradarrean, traza bakoitza banatzen den informazio-unitatea.	Asmatua	Sample
Oinatza	Georradarrean, argizatutako azalera.	Asmatua	Footprint
Radargrama	Georradarrean, profil bati dagokion traza multzoaren irudikapena.	Asmatua	Radargram
Termoiraunkor	Beroarekin loturiko hondar-magnetizazioa	Asmatua	Thermoremanent
Traza	Georradarrean, puntu batean denboraren arabera jasotako energiaren distribuzioa.	Asmatua	Trace

1. kapitulua

Sarrera

Atal honek ikerketaren testuingurua bildu du. Bide honetara zuzendu nauten motibazioak aipatuko dira. Ondoren, arkeologiara bideraturiko geofisikaren eboluzioa azaldu da labur-labur, eta Euskal Herrian orain arte burututako saiakeren zerrenda aurkeztu da, agian bildu izan ez diren beste batzuk ere egongo direnaren jakitun izanda. Ikerketaren testuingurua ezagututa, helburuak eta erabilitako metodologia azaldu dira. Amaitzeko, tesi idatzi hau nola antolatu den aipatu da.

1.1. Ikerketaren motibazio pertsonala

Nere ibilbide profesionalean arkeologiara bideratutako sistema geofisikoak erabili izan ditut. Urte horietan metatutako esperientzia handia izanagatik, hainbeste dira erantzun geofisikoan eragiten duten faktoreak, non horretan oinarrituz interpretazio arkeologikoa egitea ez den lan erraza. Helburu arkeologikoetara bideratutako miaketetan ez da askotan nahi beste sistema geofisiko aplikatu ahal, eta miaketa baten ostean industen diren eremuak gutxienak dira. Izan ere, baliabideak mugatuak dira, ekonomikoak batik bat. Badira, betiere, geofisika hastapenetatik txertatzen duten ikerketa talde batzuk, Bartzelonako *Puig Ciutat* aztarnategikoa kasu (www.puigciutat.com). Horretako kide izateari esker ikasi dut zein puntutaraino den garrantzitsua geofisikaren begiekin ikusitakoari aurpegian ditugunekin erreparatzea; erratutako edo asmatutako interpretazioen arrazoia ulertzen laguntzen du, eta esperientzia hori hurrengo kasuetara aplika daiteke. Interpretazio arkeologikoa hobetze aldera esperientziak metatzearen beharra ikustea da ikerketa honetara bultzatu nauen arrazoietariko bat.

Bestalde, eskualde batean miaketa ezberdinak egin direnean, bertan hobe funtziona dezaketen sistemei buruzko informazioa pilatzen da, eta horrek hurrengo miaketak prestatzen laguntzen du. Beste herrialde batzuetan, Erresuma Batuan esaterako, guztiz txertatua dute metodologia arkeologikoan, eta horri esker adibide andana pilatu dute. Horregatik interesgarria iruditzen zait Euskal Herri mailan miaketa sistematikoa egitea, aztarnategi kopuru mugatua bada ere. Eremu beraren gainean sistema ezberdinak aplikatzeak bakoitzaren abantaila eta gabeziak aztertzeke parada emango du eta, hori indusketekin alderatuz, erantzun horren arrazoietan sakontzea.

1.2. Metodologia geofisikoen definizio eta eboluzioa

Arkeologiara bideraturiko geofisikaren hastapenak XX. mende erdialdean kokatzen dira. 20ko eta 30ko hamarkadetan zenbait saiakera egin ziren, baina ez ziren interpretatzeko baliagarri ziren mapak lortu (Conyers 2013; Gater eta Gaffney 2003). Arkeologiara bideratutako lehen miaketa 1938an burutu zuen Mark Malamphy-ek Amerikako Estatu Batuetan (Bevan 2000), eta 1946. urtean Richard Atkinson-ek Europan (Clark 1996: 10). Metodologia ezberdina erabili arren, biak erresistentzia elektrikoa zuten oinarri. Miaketa magnetikorako lehen prototipoa Martin Aitken eta Edward Hall-ek asmatu zuten eta 1958ean probatu zuten lehen aldiz. Azkar konturatu ziren arkeologiarentzat tresna baliagarria izango zenaz, landa lanean azkarra eta erraza izateaz gain, giza ekintzaren aztarna asko detekta ditzakeelako (Clark 1996: 17).

60ko hamarkadan garapen handia bizi izan zuten teknika hauek: zenbait lekutan honekin loturiko ikasketak ematen hasi ziren, miaketak egiteko tresnak merkaturatu ziren eta *Prospezioni Archeologiche* zeritzon aldizkari espezializatua jarri zen martxan (Clark 1996: 17). Aldizkari honek eragin nabarmena izan zuen eta bertan idatzi zuten jakintza-arlo honen hastapenetan aritutako ikerlari nagusiek (Gaffney 2008). Denborarekin maiztasuna galdu eta 1986. urtean desagertu zen. .

Uhin elektromagnetikoak erabiltzen dituzten sistema geofisikoak beranduago hasi ziren erabiltzen. Georradarra 70ko hamarkadan asmatu zen eta, Conyers eta Goodman-ek azaltzen dutenez, arkeologiarako lehen aplikazioa 1975. urtean aurkeztu zuten Roger S. Vickers eta Lambert T. Dolphin-ek, Mexiko Berriko Chaco Canyon aztarnategiko emaitzak hizpide (Conyers eta Goodman 1997). Hala

ere, prozesatzeko metodologia berriek bultzada nabarmena eman zioten 90ko hamarkadan (Campana eta Piro 2009), bereziki *time-slice* teknikarekin oinplanoak egiteko modua aurkeztean (Goodman et al. 1995), eta gaur egun zabaldua dago arkeologiaren munduan. Indukzio elektromagnetikoan oinarritutako sistemak 60ko hamarkadan garatu arren, ez dute besteek adinako erabilerarik izan (Hesse 2010), nahiz eta tresneria berriei esker azken urtetako zenbait publikazioen oinarrian egon diren (ikusi, adibidez, De Smedt et al. 2013).

90ko hamarkadan teknika guztiek eboluzio azkarra izan zuten eta inoiz baino miaketa gehiago burutu zen (Gaffney 2008). Lurrazpiko egituren irudiak azkar eta interpretatzen erraza den moduan sortzeko gaitasunak legitimitatea eman diete (Conyers 2013: 6), eta jende gehiagok aintzat hartzea ekarri du. Hamarkada horren bukaeran datuak biltzeko metodologia oso eraginkorra zen eta eguneko hektarea bat baino gehiago miatzeko ahalmena zegoen (Gaffney 2008).

Azken urteetan sentzore bat baino gehiago erabiltzen duten gailuak garatu dira, eta bereizmen altuko irudiak lortzea eskuragarria da (ikusi, adibidez, Dabas et al. 2000; De Smedt et al. 2014; Gaffney et al. 2012; Garcia-Garcia et al. 2016b; Novo et al. 2012; Trinks et al. 2010). GPS sistemei esker, gainera, horien posizioa zehazki ezagutu daiteke eta, ondorioz, emaitzak munduan kokatu. Gaur egun ibilgailuez garraiatutako eta sentzore askoko gailuak erabiltzean, koadrikulak erabili beharrean GPS sistemak erabiltzen dira. Hala ere kasu batzuetan arazoak egon daitezke, GPS seinalea galduz gero datuen posizioa ere galtzen delako.

Europar geofisika arkeologikoan espezializaturiko gune nagusiak Italian, Frantzia, Erresuma Batuan, Austrian eta Alemanian garatu izan dira. Unibertsitate eta entitate publikoek gain, geofisika arkeologikora bideratutako enpresak ere badira, eta kasu batzuetan ikerketa eta zerbitzua uztartzen dituzte.

1994. urtean sortu zen *Archaeological Prospection* aldizkaria, arkeologiara bideraturiko geofisikaren jakintza-arloan erreferentziazkoa dena. *Journal of Applied Geophysics*, *Archaeometry*, *Journal of Archaeological Science*, *Geoarchaeology* eta *Near Surface Geophysics* aldizkarietan ere aurki daitezke honekin loturiko artikulak. Hauez gain jakintza arlo hau bereziki lantzen dituzten liburuak publikatu izan dira (Aspinall et al. 2008b; Bevan 1998; Campana eta Piro 2009; Clark 1996; Conyers 2013; Conyers eta Goodman 1997; Gater eta Gaffney 2003; Goodman eta Piro 2013; Hesse 1978; Sala et al. 2012; Schmidt 2013a; Scollar et al. 1990). Baita ere teknika hauek egoki erabiltzeko gidaliburuak ere (English Heritage 2008; Schmidt 2013b; Schmidt et al. 2015).

Bestalde, 2003an sortu zen *International Society of Archaeological Prospection* elkarteak, arlo honetan aritzen garenok biltzen gaituena. Egun elkarteak antolatu arren, ordurako jakintza-arlo honetako nazioarteko konferentziak antolatzen ziren (Aspinall et al. 2008a), eta ezinbesteko topaguneak dira esperientziak elkartrukatzeko. Honez gain, elkarteak ikerlarien arteko elkarlan sare bezala funtzionatzen du, interpretazio edota baliagarritasun zalantzak komunitateari galdetu eta erantzuna jasotzeko aukera eskaintzen duelako, eta ohikoak dira jakintza-arloaren nondik norakoaren inguruko hausnarketa-eztabaidak.

1.3. Geofisika arkeologikoa Euskal Herrian

Euskal Herriak ez ditu Europa iparraldean garaturiko aurrerapen horiek bizi izan, eta arkeologiara bideraturiko geofisika gutxi erabili izan da oro har. Hala ere, aipatzekoa da 1985. urtean teknika hauen inguruko espezio monografikoa erakutsi zela Arabako Arkeologi Museo Probintzian (Kultura Ondarearen Zentroa. Eusko Jaurlaritzak 1985). Orain arte burututako miaketan artean jaso ahal izan direnak 1.1. eta 1.2. tauletan bildu dira. Bertan agertzen diren informazioen iturria Aranzadiana aldizkaria, Arkeoikuska aldizkaria, BIBAT-Arabako Arkeologia Museoa, Bizkaiko Arkeologi Museoko Artxiboa, Gipuzkoako Foru Aldundiko Arkeologia Artxiboa eta Nafarroako Vianako Printzipea erakundeko Arkeologia Atala izan dira. Hala ere, ez dagoenez horien erregistro berezirik, gehiago izatea gerta daiteke.

Urtea	Egilea	Non	Ikerketa eremua
1985	?	La Hoya (Laguardia, Araba)	RES
1989	J.M. González de Durana	La Hoya (Laguardia, Araba)	RES: 3 ha
1992	Carlos Olaetxea	Buruntza mendiko Herri harresitua	RES: 60x22 m ²
1985-1993	?	Intxur herri harresitua (Albiztur-Tolosa, Gipuzkoa)	RES
1993		Iraurgiko San Martin Ermita (Azkoitia, Gipuzkoa)	RES
1993	MATH, Arqueofísica Consultores	Kosmoagako Kastroa (Gernika-Lumo, Bizkaia)	RES: 4920 m ²
1993	EHU/UPV	La Lastra dolmena (Salcedo, Lantaron, Araba)	
1993	Arqueorradar	Sepulcro de Tres Montes (Bardeak, Nafarroa)	GPR: 90 m ²
1993-1994	Agustín Ezkurra EHU/UPV	Aldaieta-Espikulatxeko Lehen Erdi Aroko Finkamendua (Langara-Ganboa, Araba)	
1994	J.M. González de Durana	Iruñea-Veleia aztarnategia (Araba)	150 m ²
1994	?	Kalparmuño gunea, Urbia. (Oñati, Gipuzkoa)	
1994	?	San Martin de Iraurgi ermita (Azkoitia, Gipuzkoa)	
1994	MATH, Arqueofísica Consultores	San Martin Finaga ermita (Basauri, Bizkaia)	MAG: 5679 m ² RES: 900 m ²
1995	IGT International Geophysical Technology	BRETXA Azoka (Donostia, Gipuzkoa)	GPR
1995	?	Gastiburuko Santutegi Protohistorikoa (Arrazu, Bizkaia)	RES
1995	MATH, Arqueofísica Consultores	San Martin Finagako Nekropolia (Basauri, Bizkaia)	MAG: 5679 m ² RES: 900 m ²
1998	?	Artziniegako hiribildua (Araba)	GPR
1998-1999	IGT International Geophysical Technology	Altamira de Busturia (Bizkaia)	SISMIKOA: 29 profil
2001	MATH, Arqueofísica Consultores	San Bartolome de Miota eta San Adrian de Argiñeta (Elorrio, Bizkaia)	RES: 871 m ² tomo profil 1
2003	Arqueorradar	El Cortes Inglés egiteko orubea (Iruñea, Nafarroa)	GPR
2005	EHU/UPV	Aldatxarreko koba (Mendaro, Gipuzkoa)	GPR: profil solteak
2006	Helmut Becker	Los Cascajos (Los Arcos, Nafarroa)	MAG
2007	SOT Prospección Arqueológica	Elerdia aztarnategia (Gares, Nafarroa)	MAG: 2700 m ²

1.1. taula: Euskal Herrian burututako miaketa geofisikoak.

Aplikazioa mugatua izate horretan faktore ezberdinek eragin dute ziurrenik, besteen artean sistema hauen garapenean egondako aurrerapausoen ezagutza zabaldu ez izanak. Ildo honetan profesionalki lanean dihardun dudak urteetan arkeologoengandik jasotako informazioen arabera, teknika hauen hastapenetan egindako saiakera batzuen emaitzak ez ziren guztiz gogobetegarriak izan, eta horrek

Urtea	Egilea	Non	Ikerketa eremua
2007	SOT Prospección Arqueològica	Santa Criz aztarnategi erromatarreko foro ingurua (Eslaba, Nafarroa)	MAG: 5100 m ² ; GPR: 1400 m ²
2007	SOT Prospección Arqueològica	Santa Criz aztarnategi erromatarreko nekropoli ingurua (Eslaba, Nafarroa)	MAG: 1,5 ha
2008	Helmut Becker	Arellanoko Villa erromatarra (Arellano, Nafarroa)	MAG
2008	SOT Prospección Arqueològica	Igartza Monumentu Multzoa (Beasain, Gipuzkoa)	GPR: 1100 m ²
2008	SOT Prospección Arqueològica	Munoaundi herri harresitua (Azpeitia-Azkoitia, Gipuzkoa)	MAG: 800 m ² GPR 200 m ²
2008	SOT Prospección Arqueològica	Santa Lucia muinoa (Iruñea, Nafarroa)	MAG: 2,7 ha GPR: 2,7 ha
2008	SOT Prospección Arqueològica	Santa Lucia muinoa (Tafalla, Nafarroa)	GPR: 1464 m ²
2008	SOT Prospección Arqueològica	Santa Maria la Real (Zarautz, Gipuzkoa)	GPR: 1306 m ²
2008	Helmut Becker	Soltxate aztarnategia (Iruñea, Nafarroa)	MAG
2008	CONDOR Georradar	Tenerias Kalea (Balmaseda, Bizkaia)	GPR profilak
2008	Francisco García (UPV)	Praileaitz (Deba, Gipuzkoa)	GPR
2009	SOT Prospección Arqueològica	Amaiurreko Gaztelua (Amaiur, Baztan, Nafarroa)	GPR: 258 m ²
2009	Francisco García (UPV)	Meñakotz-Zabaletzeko areatzak (Barrika, Bizkaia)	GPR: 1600 m ²
2010	?	Irikaitz (Zestoa, Gipuzkoa)	GPR
2010	SOT Prospección Arqueològica	Irulegiko gaztelua eta burdin aroko aztarnategia (Lakidain, Nafarroa)	MAG: 2700 m ² ; RES 1700 m ² ; GPR: 2100 m ²
2010	SOT Prospección Arqueològica	San Gregorio Larunbe (Iza, Nafarroa)	MAG: 3000 m ² GPR_ profilak
2011	Aditu S.L.	Eskalmendiko tumulua (Durana, Araba)	MAG: 1 ha
2011	Aditu S.L.	Aldaia (Arrazua-Ubarrundia, Araba)	MAG: 2,5 ha
2011	Aditu S.L.	Elexazar (Amurrio, Araba)	MAG: 900 m ²
2011	SOT Prospección Arqueològica	Iruñea-Veleia aztarnategia (Araba)	1500 m ²
2011	Aditu S.L.	Kutzemendiko Kastroan (Mendiola, Araba)	MAG: 3,5 ha
2011	Aditu S.L.	La Hoya (Laguardia, Araba)	MAG: 2,9 ha
2011	?	Labastidako Gaztelua (Araba)	GPR
2011	Aditu S.L.	Monteredondoko tumulua (Zuia, Araba)	MAG: 2700 m ²
2011	Aditu S.L.	Urisolo (Zigoitia, Araba)	MAG: 2500 m ²
2011	CONDOR Georradar	Zumalakarregi Gotorlekua (Andoain, Gipuzkoa)	GPR
2013		La Zepa gune paleometalurgikoa (Legutio, Araba)	MAG
2013	SOT Prospección Arqueològica	Zaragoiti Gaztelua (Bermeo, Bizkaia)	RES: 1900 m ² GPR: 360 m ²
2014	SOT Prospección Arqueològica	Ablitaseko Villa erromatarra (Ablitas, Nafarroa)	MAG: 6109 m ² GPR: 4064 m ²
2014	Aranzadi Z. E.	Burdin minerala prozesatzeko labeak (Galdakao, Bizkaia)	MAG: rastrea
2014	Aranzadi Z. E.	Mendizabala (Gasteiz, Araba)	MAG: 1800 m ² GPR: 1800 m ²
2014	Aranzadi Z. E.	Ondarre (Aralar, Gipuzkoa)	MAG: 1140 m ² GPR: 320 m ²
2014	SOT Prospección Arqueològica	Udarriaga baserria, (Ugao, Bizkaia)	MAG: 926 m ² GPR: 1096 m ²
2014	Aditu S.L.	Zamartzeko Santa Maria (Uharte-Arakil, Nafarroa)	RES
2015	SOT Prospección Arqueològica	Amaiurreko Gaztelua (Amaiur, Baztan, Nafarroa)	GPR: 535 m ²
2015	SOT Prospección Arqueològica	Las Eretas (Berbinzana, Nafarroa)	MAG: 8621 m ² GPR: 1947 m ²
2015		Otxandioko Plaza Nagusia (Bizkaia)	GPR
2016	Aranzadi Z. E./SOT Prospección	San Kristobal ermita (Igorre, Bizkaia)	GPR: 230 m ²
	EHU/UPV	La Lastra dolmena (Salcedo, Lantaron, Araba)	GPR?
	Antxoka Martínez	Santa Ageda (Delika, Araba)	EMI:detektorea

1.2. taula: Euskal Herrian burututako miaketa geofisikoak (jarraipena).

ez zituen ildo honetatik jarraitzera bultzatu. Teknologia, baina, asko aurreratu da; ordenagailuen garapenari esker prozesatzeko ahalmena biderkatu egin da, eta miaketen bereizmena handitu ahal izan da. Honela, eremu handiak bereizmen altuan mia daitezke orain, eta horrek teknika hauen potentzialtasuna nabari areagotu du. Aplikazio arkeologikoetara bideraturiko tresnak zein softwareak ere agertuz joan dira erabilera handituz joan den heinean, eta behar espezifikoetara hobe moldatzen dira.

Euskal Herriko unibertsitateetan arkeologiara bideraturiko geofisika ez da oraino ikerketa ildo kontsolidatua, eta metodologia hauek ez daude arkeologoen formakuntzan txertatuta. Azken urteetan aipamen teorikoak egiten hasi diren arren, esperientzia berebizikoa da teknika hauen aplikazio egokirako. Zaila da, beraz, testuinguru honetan arkeologo berriek tresna hau beraien ikerketetan txertatzea.

1.4. Ikerketaren helburua eta aplikaturiko metodologia

Ikerketa honen helburua arkeologiara bideraturiko geofisikaren sistemen metodologian eta emaitzen interpretazioan sakontzea da. Horretarako aztarnategiak sistema geofisiko ezberdinak erabiliz miatuko dira, bakoitzarekin lorturiko emaitzak alderatzeko. Zundaketa txikien bidez anomalia geofisiko interesgarriak dauden lekuetako estratigrafia aztertuko da, eta gune jakinetan miaketa-zuloak ere induskatuko dira. Horiekin emaitza geofisikoetan oinarritutako interpretazioak baieztatzen diren ala ez aztertzeako datuak lortu nahi dira, anomalia geosifikoaren sorreran eragin duten faktoreen ezagutzan sakontzeko. Honela, teknika hauen aplikagarritasuna hobetzen lagunduko duten ondorioak eratorriko dira eta, printzipioz miatutako aztarnategietara mugatuko diren arren, antzeko aztarnategietarako adibide gisa balioko dute.

Erabilitako metodologia zehatza aztarnategi bakoitzera egokitu da baina beti mantendu da irizpide berdina.

Miaketa guztiak koadrikula georeferentziatuak erabiliz burutu dira, datuen kokapen zehatza ezagutu ahal izateko. Horretarako GPS diferentzialak erabili dira, izan miaketa aurretik egurrezko hesolak kokatzeko, edo miaketa ondoren erabilitako enreferentzia hartzeko. Lan hori Eukene Alonso, Andoitz Antzibar eta Haizea Arrazolaren laguntzaz burutu da Nafarroako aztarnategietan, eta Mugarri S.L. enpresako Xabier Garaikoetxeak egin du Munoaundin. Kontrakoa esan ezean ETRS89-UTM30N (EPSG kodea: 25830) enreferentzia sistema erabili da, eta altuerak EGM08-REDNAP geoidearekiko neurtu dira.

Datu geofisikoak GIS proiektu batean txertatu dira, sistema ezberdinekin buruturiko miaketak alderatu ahal izateko. Geofisikan oinarritutako interpretazioak bektore-formatuan egin dira, modu horretan etorkizunean beste GIS proiektuetan edo gisa honetako artxiboak erabiltzen dituzten softwareetan txertatzea ahalbidetzeko. Erabilitako softwarea *Quantum GIS* dohaineko software librea da (www.qgis.org/en/site), eta erabilitako bertsioa haiek berriro ahala aldatu da.

GIS proiektuan txertatu dira ere eskuragarri zeuden beste datu espazialak. Ortofotoak, aireko argazki zaharrak, mapa geologikoak, katastroko informazioa, muga administratiboen datuak eta LiDAR datuak GeoEuskadi (www.geo.euskadi.eus), SITNA (www.sitna.navarra.es), *Instituto Geográfico*

Nacional (www.ign.es) edo Euskalgeo (www.euskalgeo.eus) webguneetan eskuratu dira, eta horiena da copyrighta.

Auritz-Aurizberri aztarnategian *MOLA*ko Peter Rauxloh-ek drone bidez hartutako altuera datuak ere erabili dira. Horiekin zein LiDAR datuekin itzal mapak sortu izan dira, aztarnategien eskalako topografia aldaketak ikusteko egokiagoa delako. Nafarroako aztarnategietan, tesia hasi aurretik burututako miaketa-zuloen ortofoto eta planoak, GIS proiektura txertatu direnak, Eujen Alonsok burutu ditu. Munoaundi aztarnategiko plano topografikoa Mugarri S.L. enpresak egin du eta hori oinarritzat hartuaz Sonia San Josek txertatu dizkio indusketa-guneak.

Miaketa geofisikoak burutzeko hiru sistema erabili dira, gradiometro magnetikoa, georradarra eta sistema elektrikoa. Horiez gain, zundaketa geoarkeologikoak egiteko zunda-makina zein suszeptibilitate magnetikoa neurtzeko aparailua ere erabili dira. Kasu guztietan sistema magnetikoa erabili da lehen fasean. Horren emaitzetan oinarrituz zehaztu dira interes-guneak eta diseinatu da kasu bakoitzean jarraituriko metodologia. Ahal izan den heinean eskura zeuden sistema guztiak aplikatu dira, baina berebiziko garrantzia eman zaio indusiko ziren guneetan behintzat hiru sistema geofisikoak aplikatzeari. Pausu bakoitzean lorturiko emaitzetan oinarrituz eta sorturiko galderei erreparatuz diseinatu dira hurrengo pausuak. Honela, indusketa eremuak erabakitzeke aurreko informazio guztia izan da kontuan. Fase guztietan ikuspuntu arkeologikoa aintzat hartu da, eta interes geofisikoa eta arkeologikoa uztartuko zituzten guneak lehenetsi dira.

Artzi eta Auritz-Aurizberri aztarnategietako indusketak *MOLA*k erabiltzen duen metodologia aplikatuz indusi dira (Museum of London Archaeology Service 1994). 2016. urteko kanpainetan, ateratako egituren kokapena estazio total bat erabiliz neurtu da, era horretan GIS proiektuan txertatzeko pausu gutxiago burutu behar izan dugularik.

Kasu guztietan ondarea historikoa kudeatzen duten entitateek zehaztutako prozedura jarraitu da miaketa edota indusketa baimenak lortzeko, eta dagokien txosten arkeologikoak burutu dira.

1.5. Tesiaren antolaketa

Tesia kronologikoki antolatu da, hau da, ikerketak egin diren ordenean azaldu dira, horrela emandako pausuak hobe ulertaraziko direlakoan.

Sarrera kapitulu honen ostean, 2. kapituluan erabilitako sistema geofisikoen oinarri teorikoak azaldu dira, testu osoan zehar behin eta berriro aipatuko diren kontzeptuak eta oinarriak finkatzeko. Ondoren, 3. kapituluan, ikerketan miatutako aztarnategien aurkezpena kokatu da, miaketak hasi aurretik zegoen ezagutza eta horiek bultzatu dituen motibazioa azaltzeko. Izan ere, horren arabera erabaki dira miatu beharreko guneak.

Miaketa magnetikoa izan da kasu guztietan lehenengo aplikatu den sistema, eta horregatik da lehenengo kokatu dena, 4. kapituluan hain zuzen. Aztarnategiaren lehen irudi geofisikoa egiteko oso sistema egokia da, baliabide gutxiago behar duelako eta aztarna mota asko detektatzeko gai delako. Hori izan da, gainera, aztarnategi batzuetan aplikatutako sistema bakarra.

Miaketa magnetikoan oinarrituz kokatu ziren Auritz-Aurizberri aztarnategian burututako zundaketa geoarkeologikoak. Horietariko batzuk egindako interpretazioa baieztatu edo ezeztatu dute, eta horren arabera galdera berriak mahaigaineratu. Aztarnategi honetan burututako miaketa sistema-anitzek zundaketetan ikusitakoa kontuan hartzen zutenez, garrantzitsua iritzi da zundaketak lehenago azaltzea, eta 5. kapituluan daude.

Egindako miaketa sistema-anitzak, beraz, 6. kapituluan daude. Horietan Auritz-Aurizberri eta Artziko aztarnategian egindako miaketak azaldu dira, miaketa magnetikoaren emaitzekin alderatuz.

Hurrengo kapituluan, 7.ean, egindako indusketen emaitza arkeologikoak eta geofisikan oinarritutako interpretazioekiko alderaketa aurkeztu dira. Hemen txertatu dira, halaber, indusketa bitartean egindako suszeptibilitate magnetikoen neurketen azalpena eta etorkizunean analitikak egin ahal izateko burututako zundaketa geoarkeologiko berrien azalpena.

Amaitzeko, azkeneko kapituluan bildu dira ikerketa honetatik eratorritako ondorioak eta etorkizuneko erronkak.

2. kapitulua

Sistema Geofisikoen oinarri teorikoa

Atal honetan sistema geofisiko batzuen oinarri teorikoak bildu dira. Helburua hurrengo kapituluetan aipatuko diren sistemen ezaugarri nagusiak azaltzea da, ikerketaren marko teoriko gisa balio dezan. Kapitulua lau bloketan banatuta dago. Sarrera bezala sistema geofisiko guztiei aplikagarriak zaizkien kontzeptuak bildu dira. Ondoren ikerketa honetan erabili diren hiru sistemen garapen teorikoa bloke banatan antolatu da, sistema magnetikoa, georradarra eta sistema elektrikoarenak hurrenez hurren.

Bibliografian arkeologiara bideraturiko erreferentziazko liburu ugari aurki daitekeen arren ingelesez idatzita daude oro har (Aspinall et al. 2008b; Bevan 1998; Campana eta Piro 2009; Clark 1996; Conyers eta Goodman 1997; Gater eta Gaffney 2003; Goodman eta Piro 2013; English Heritage 2008; Sala et al. 2012; Scollar et al. 1990; Schmidt 2013a; Schmidt et al. 2015). Atal honen bigarren helburua irakurle euskaldunei zuzenduriko laburpen teorikoa sortzea izan da, gai honetan interesa duten arkeologoek eskuliburu gisa erabili ahal dezaten. Sistema bakoitzaren azalpena bloke independentetan banatu da, alde batetik oinarri fisikoen azalpena eta bestetik arkeologiaren erabilgarritasuna.

2.1. Prospekzio geofisikoa arkeologian: ezaugarri orokorrak

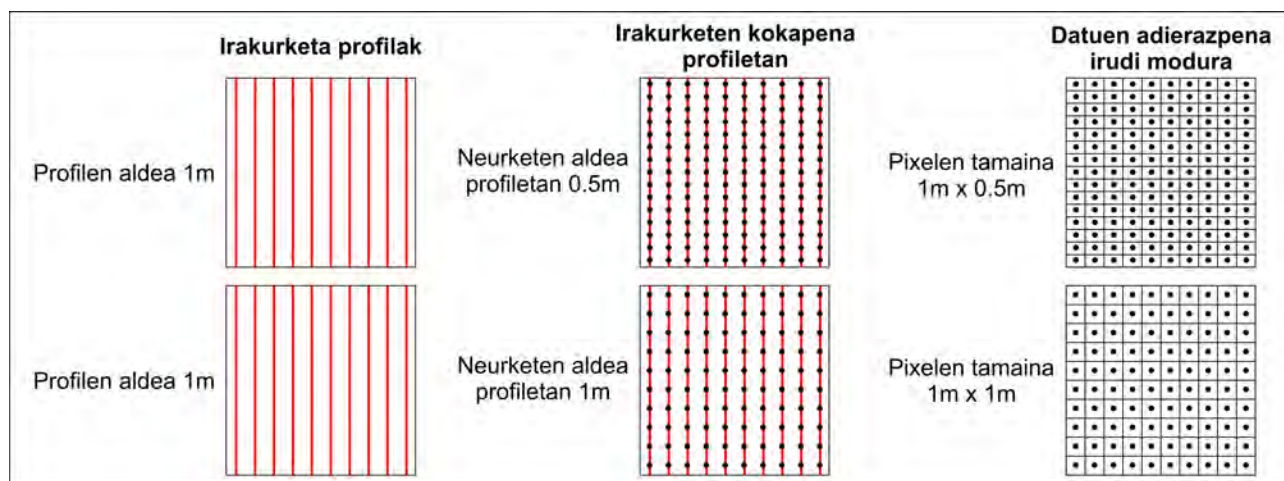
Prospekzio geofisikoa teknika multzoa da, eskuragarri ez diren guneetako informazioa lortzeko aukera ematen duena modu ez-suntsitzaille batean. Gainazaletik lurrazpiko propietate fisiko-kimikoak neurtzen dira, eta modu honetan bere osaera deskribatzeko balio duten mapak sortzen dira. Definizio moduan esan daiteke prospekzio geofisikoa lurrazpikoa deskribatzeaz arduratzen den fisika aplikatuko adar bat dela, bertan dauden objektuak inguruarekiko propietate fisikoren batean darakutsaten kontrastea erabiliz detektatzen dituen, horretarako lurrazaletik egindako neurketak erabiliz (Orellana 1982).

Neurturiko propietatearen arabera sistema ezberdinak sailkatzen dira. Bakoitzak bere ezaugarriak dituen arren, badira guztientzako baliagarriak diren kontzeptu batzuk. Atal honetan oinarritzko kontzeptu horiek azalduko dira, hurrengoetan erabili diren sistemen oinarrietan sakonduko delarik.

Neurtutako propietateak espazioan kokatzen

Irudiak sortu ahal izateko beharrezkoa da egindako neurketak espazioan kokatzea. Horretarako koadrikula bat erabili daiteke, edota sistema batzuetan GPSa erabiltzeko aukera dago.

Neurturiko zenbakizko datu bakoitzari bera ordezkatzeko duen azalera bat ematen zaio, pixela deitzen dena (2.1. irudia). Neurtutako balio tarteari kolore eskala bat esleitzean neurturiko propietatearen aldaerak deskribatzen dituen irudia sortzen da. Pixela da informazio unitate txikiena, eta bere tamainak irudiaren bereizmena zehazten du. Datu-prozesuaren baitan pixelaren tamaina digitalki txikitu daitekeen arren (interpolazioa eginez), miaketa geofisikoaren benetako bereizmena jasotako datu dentsitateak finkatzen du.

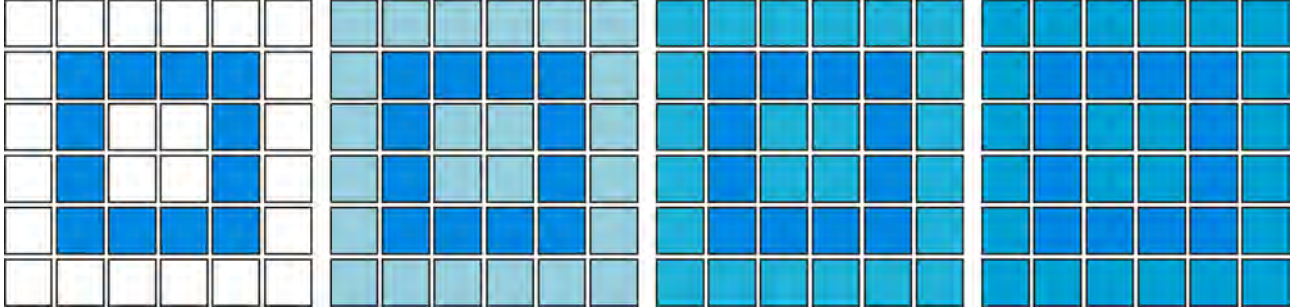


2.1. irudia: Neurketa diskretuetatik irudi digitala sortzeko prozesua. Pixelaren tamaina datu dentsitatearekin dago lotuta; eremu berean zenbat eta datu gehiago izan, orduan eta pixel txikiagoak lortuko dira.

Kontrastearen garrantzia geofisikan

Kontrastea, detektatu nahi dugun elementuak duen balioa eta inguruneak duenaren arteko aldea da, eta beharrezkoa da elementua detektatu ahal izateko. Elementu baten kontrastea neurtzen ari garen propietatearen arabera da, eta horregatik sistema batek erraz detektatzen duena beste sistema batentzat ikustezina izatea gerta daiteke. 2.2. irudian, adibidez, prospekzio sistemak karratuen

tamaina neurtuko balu ez guke ezer ezberdinduko. Aldiz, kolorean oinarritutako prospekzio sistema erabilia laukizuzen bat ikusiko guke. Zenbat eta handiagoa izan elementuaren kontrastea, orduan eta errazagoa izango da detektatzea. Honekin lotuta dago *signal/noise* edo *seinalea/zarata* erlazioaren kontzeptua: detektagarria izateko zarata mailak seinalea baino txikiagoa izan behar du, gainontzekoan ezingo baitugu ezberdindu.

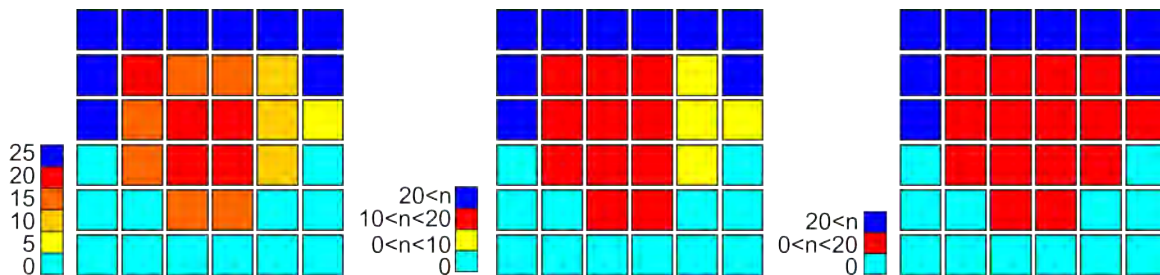


2.2. irudia: Kontrastearen garrantzia geofisikan. Koloreekin gertatzen den bezala, zenbat eta handiagoa izan ikusi nahi dugunaren eta ingurunearen arteko kontrastea, orduan eta errazagoa da bereiztea.

Bereizmena

Elhuyar hiztegiaren arabera, bereizmena "sistema batek (ordenagailu-pantailak, instrumentu optikoez eta abarrek) irudi baten puntuak bereizteko eta irudikatze duen doitasuna" da. Geofisikara aplikatuta bi atal nagusi ezberdindu behar dira: ondoz-ondoko bi objektuen artean ezberdintzeko gaitasuna eta lorturiko irudien bereizmena. Lehenak erabilitako sistema geofisikoaren naturarekin, hau da, neurtutako parametroarekin zein hori neurtzeko metodologiarekin du zerikusia eta ez da atal honetan aztertuko. Bigarrena, berriz, orokorra da sistema guztiendako eta bi iturri ezberdin ditu.

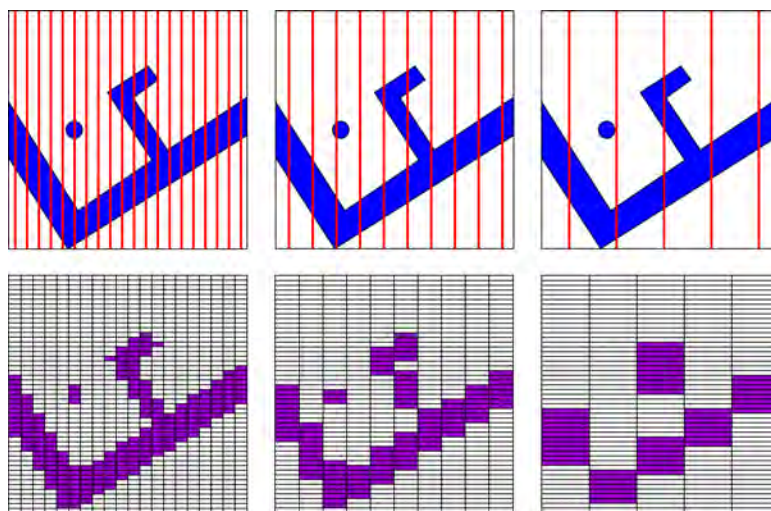
Erabilitako gailu partikularrak duen zehaztasunak, neurtzen diren balioetan egon daitezkeen aldaeren neurria mugatuko du, adibidez baskula batean gramoak edo miligramoak izan ahalko litzakeena. Kontraste baxuko egoeratan faktore hau determinatzailea izan daiteke (ikusi 2.3. irudia).



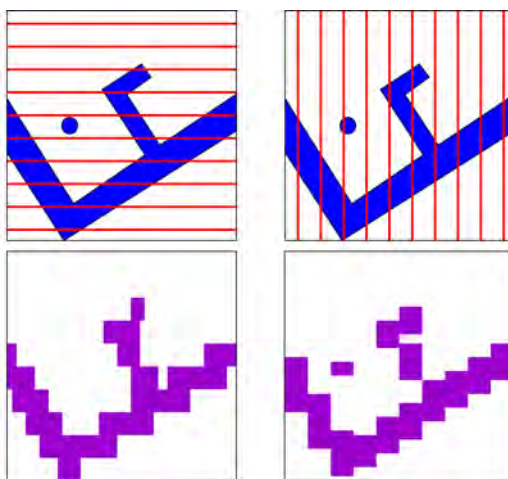
2.3. irudia: Erabilitako sistemaren zehaztasunaren eragina. Adibide honetan gailuaren bereizmena 5 unitatekoa denean, gorria eta horiaren artean dauden aldaerak ezberdinduko ditu (ezkerreko irudia). Gailuaren bereizmena 10 unitatekoa bada, berriz, gorria eta horia bereiziko ditu, baina tartekoak batera ala bestera eramango ditu (erdiko irudia). Gailuaren bereizmena 20 unitatekoa denean ez du horia eta gorriaren artean bereiziko.

Bereizmen espaziala datu dentsitatearekin dago lotuta eta datu bakoitzak adierazten duen gainazala definitzen du, pixelaren tamaina hain zuzen. Normalean neurketa geofisikoak lerro edo profil paraleloetan egiten dira, lerro bakoitzean neurketa dentsitate bat definitzen delarik. Lerroen arteko distantzia lerro bakoitzeko neurketen arteko aldea baino handiagoa izan ohi denez, lehenak mugatzen du detektatuko dela ziurta daitezkeen objektu minimoaren tamaina (2.4. irudia). Gainera, lerroen aldea

eta neurketen artekoa berdina ez direnean, irakurketa norabideak amaierako irudian eragin dezake (2.5. irudia).



2.4. irudia: Lerroen arteko aldeak objektu batzuek ez detektatzea eragin dezake, pixelaren tamainan eragiteaz gain.



2.5. irudia: Irakurketa norabideak amaierako irudian eragin dezake pixelak karratuak ez direnean.

Geofisikoki adierazgarria vs arkeologikoki adierazgarria

Begi bistakoa den arren, batzuetan komeni da buruan edukitzea sistema geofisikoez ez dituztela *egitura arkeologikoak* irudikatzen, *propietate fisikoak* baizik. Beste modu batera esanda, kontraste geofisikoa ez dago garrantzia arkeologikoarekin lotuta; gerta daiteke (eta gertatzen da) mapa geofisikoetan ikuspuntu arkeologikotik begiratuta oso garrantzitsuak diren elementuak ez agertzea. Alderantziz ere, interes arkeologikorik ez duten egiturak kontraste geofisiko nabaria izan dezakete, interpretazioan nahasmena sortuz edota egitura arkeologikoez sorturiko anomalia xumeagoak estaliaz.

Arrazoi honengatik kontraste geofisiko eza ezin da izan egitura arkeologikorik ez dagoela baieztatzeke argumentu bakarra, detektatu ez diren egiturak egotea guztiz litekeena baita. Era berean, kontraste berdina erakusten duten anomaliak elementu berdinek sortu dituztela baieztatzea ezinezkoa da, testuinguruaren arabera hori onartzea aukera naturala izan daitekeen arren.

Prospekzio sistema-anitzen interesa

Sistema bakoitzak parametro bati erreparatzen dionez, eta egituren kontrastea parametro batetik bestera aldatzen denez, sistema bakoitzak elementu ezberdinak irudikatuko ditu. Horrez gain, izaera ezberdineko bi elementuk propietate amankomunen bat izan dezakete, eta hori bada irudiak sortzeko neurturikoa ez da ezberdintzerik izango.

Eremu bera sistema batez baino gehiagoz miatuz gero lortzen den informazioa osagarria da, eta kontrastatzeko aukerari esker emaitzak fidagarriagoak dira. Askotan hori ez egitearen arrazoi bakarrenetarikoa denbora eta baliabide falta da, eta kasu batzuetan sistema bat lehenesteko argumentuak egon daitezke (Hesse 1999). Sistema ezberdinekin lorturiko datuak beraien artean integratzeko teknikak ere badaude, era honetan irudi berriak sortzeko aukera dagoelarik (ikusi adibidez Piro et al. 2000; Kvamme 2006; Schmidt 2001).

Datu-prozesua

Prozesu ezberdinen helburua datuetan dagoen informazioa irakurterrazagoa egitea da. Bildutako datuak zaratatsuak badira zarata horren eragina txikiagotzea lor daiteke, baina ez da inoiz datuen kalitatea hobetuko. Georradarraren kasurako idatzirik dauden arren, Cassidyk proposaturiko 4 giltzak beste sistematarara ere orokortu daitezke (Cassidy 2009a):

Ez Konplikatu Bildutako datu gehienetarako oinarrizko prozesuak aplikatzea nahikoa da emaitza egokiak lortzeko. Prozedura aurreratuak baliagarriak izan daitezke egoera konkretuetan, baina datuak zaratatsuegiak badira, baliteke datu berriak biltzeak merezi izatea.

Zentzuz jokatu Prozesu sofistikatuegiak erabiltzean artefaktuak sortzeko arriskua handiagotzen da. Landutako datuek jatorrizko datu gordinetan ikusten ez dena erakusten badute, nola jakin erreala dela?

Ulertu erabiltzen ari zaren tresna Aplikaturiko prozesuak datuetan duen eragina ulertzeak artefaktuak identifikatzen laguntzen du.

Pausuak jarraitu Aplikaturiko prozesuen arteko koherentzia mantendu eta behar izatekotan ordena errespetatu.

Datu geofisikoen lanketa hiru pausutan bana daiteke (Schmidt 2004; Schmidt 2013b: 131): datuen hobetzea, datu-prozesua eta irudien prozesua. Lehen pausuan prozesu minimoa egiten da datuen itxura hobetzeko, baina ez da aldaketa handirik egiten. Datu-bilketan egiten diren erroreak ezabatzea, koadrikula edo lerro ezberdinetako datuen homogeneizazioa eta kasu batzuetan beste prozesu batzuk (pikoen ezabatzea edo interpolazioa, adibidez) sartuko lirateke hemen. Bigarren pausuan anomaliak azaleratzeko filtroak aplikatzen dira, horietan datuak aldatu egiten direlarik (adibidez *hi-pass* filtroa aplikatzea). Azken pausuan lorturiko irudien tratamendua egiten da, kontrastea aldatuaz adibidez.

Prozesu hauek hiru datu-multzo sortzen dituzte, (1) datu gordinak (inolako prozesurik gabekoak), (2) hobetutako datuak (lehen pausuaren emaitzakoak) eta (3) prozesaturiko datuak. Kontuan izan behar da prozesuak artefaktuak sartu ahal dituela, eta horregatik, hobekuntza besterik aplikatu ez zaion datu multzoetan anomalia baten zantzurik ikusten ez bada, hau ez litzateke kontuan izan beharko, nahiz eta prozesatutako datuetan agertu (Schmidt 2013a: 132).

Sistema batzuen kasuan badago laugarren pausu bat ere, inbertsioa deritzona (Schmidt et al. 2015: 100). Honetan prozedura matematikoak erabiliz neurtutako anomalia geofisikoak sortu dituzten egituren modelizazioa egiten da, egitura horien forma edota propietate fisikoak ezagutze bidera. Pausu hau ohikoa da perfil elektrikoak erabiltzean, geruza ezberdinen sakonera eta erresistibitatea ezagutzeko (ikusi adibidez Schmidt 2013a: 93).

Datuen interpretazioa

Lurzoruaren egoera ezaguna bada, hau da, bertan dauden egituren forma eta kokapena ezaguna badira, eta horien zein inguruan dagoenaren parametro fisikoak ezagunak badira, sistema jakin batekin neurtuko den anomalia kalkulatzeko posiblea da. Horri norabide zuzeneko arazoa deituko genioke (*forward problem* ingelesez).

Alderantzizkoa, baina, ez da betetzen. Hau da, neurturiko balioak ezagututa, beste inolako baldintzarik ezarri gabe, neurketa horiek sortzen dituzten lurrazpiko egituren forma eta kokapena, zein horien eta inguruaren parametro fisikoak ezagutzea ez da posible. Horri alderantzizko problema deituko genioke (*inverse problem* ingelesez).

Beste era batera esanda, modeloa ezagututa neurketa kalkula daiteke, baina neurketak bakarrik ezagututa ezin da modeloa kalkulatu. Honek berebiziko garrantzia du geofisikan. Izan ere, neurturiko balioak azalduko lituzketen konfigurazioak infinituak dira, eta beraz ikusitako anomaliak azalduko lituzketen mila interpretazio dago. Horregatik da hain zaila geofisikan oinarrituta interpretazio arkeologikoan asmatzea. Interpretazioak norberaren esperientzian oinarritzen dira, irakurri duenean eta bereziki bizi izan duenean. Inoiz egitura bati esleituriko anomaliaren antzeko beste bat detektatzean, antzeko egiturari esleitzen diogu.

2.2. Sistema Magnetikoa

Lurraren eremu magnetikoaren balioak eskala-lokalean dituen aldaketak neurtzean datza. Puntu batean neurtzen den eremu magnetikoa iturri ezberdinek sorturiko banakako eremuen batura da. Hori dela eta, lurrazpiko materialen osaera magnetikoak lurrazalean neurtzen den balioan eragiten du, kontraste magnetikoa sortuz.

Anomalien jatorrian induzitutako magnetizazioa (kanpoko eremu baten eraginpean sortutakoa) edo magnetizazio iraunkorra egon daiteke. Induzitutako magnetizazioa kanpo eremu baten presentzian sortzen da bakarrik, eta bere neurria materialaren suszeptibilitate magnetikoaren balioaren menpekoa da. Arkeologian interesgarriak suertatu daitezkeen egitura asko propietate honi esker detektatu ohi dira. Bestalde, prozesu ezberdinek magnetizazio iraunkorra, hau da, kanpoko eremuarekiko independente dena, sor dezakete. Arkeologian bereziki interesgarria da magnetizazio termoiraukorraren deritzana, suarekin loturiko giza ekintzak detektatzeko aukera ematen duelako.

Hiri-guneetan egon ohi den kontaminazio elektromagnetikoaren eraginez ezin da ingurune hauetan erabili. Bestela, oso sistema azkarra denez eremu handiak erraz azter daitezke eta gehien erabiltzen den sistemetariko bat da.

Magnetometria aparailuek (magnetometroak, gradiometroak) puntu batean eremu magnetikoak duen balioa neurtzen dute. Magnetometroak eremuaren intentsitatea neurtzen duen bitartean, gradiometroak –distantzia jakin batera kokaturiko bi sentsorez osatua dagoenak– bi sentsoreen neurketaren diferentzia ematen du (pseudo-gradientea). Gradiometroaren sentsoreak bata bestearen bertikalean kokatuz eremu geomagnetikoaren gradiente bertikala neurtzen da. Magnitude hau sensibleagoa da azaleko anomalia magnetikoekiko eremu-intentsitate magnitudea baino, eta horregatik arkeologian oso erabilia da.

2.2.1. Oinarrizko Fisika

Magnetismoarekin loturiko fisika zabala da eta atal honen helburua ez da horretan sakontzea, prospekzio magnetikoaren aplikazioak ulertzeko beharrezkoa diren kontzeptuak mahaigaineratzea baizik.

2.2.1.1. Eremu magnetikoa

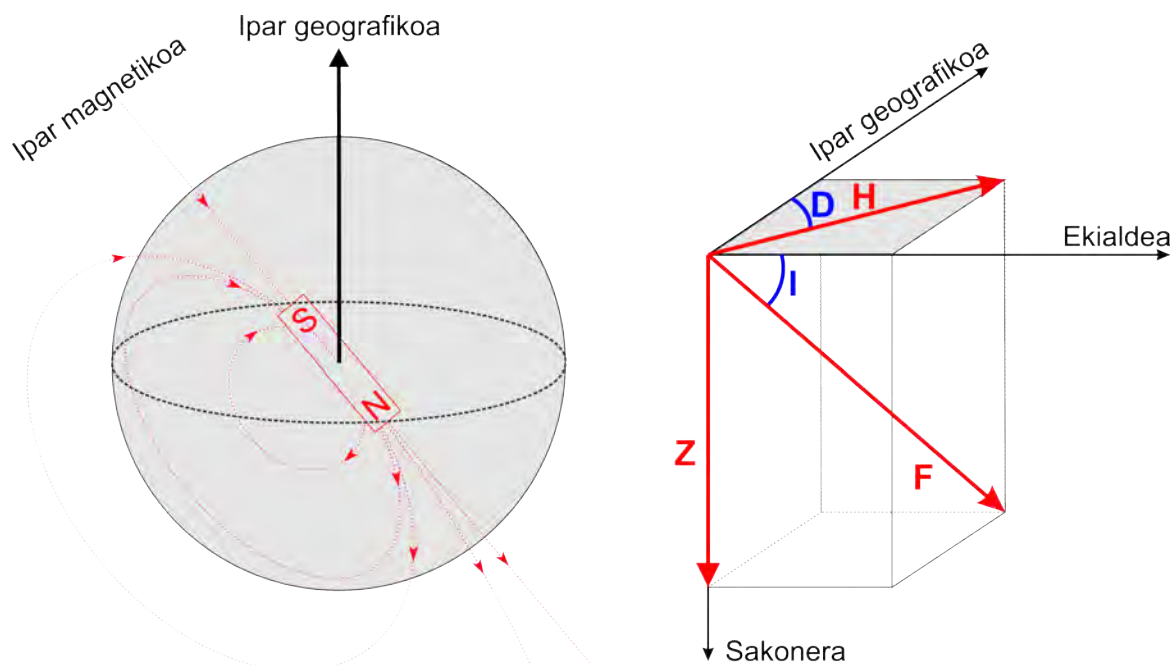
Eremu magnetikoa bektore bat da, hau da, puntu bakoitzean intentsitate, norabide eta noranzko bat ditu. Iman iraunkorrek edo mugimenduan dauden karga elektrikoek sortzen dute eta zenbat eta iturritik urrunago egon, orduan eta txikiagoa izanen da eremu magnetikoaren intentsitatea. Monopolo magnetikorik ez da existitzen naturan, hau da, imanek beti dute polo positibo eta polo negatiboa. Puntu batean iturri ezberdineko eremu magnetikoak daudenean, neurturiko eremua guztien arteko batura bektoriala da. Horregatik, intentsitate bereko bi eremu kontrajarriak daudenean elkar ezeztatzen dute.

Magnetizaturiko elementu bat kanpo eremu baten eraginpean aurkitzen bada beraien arteko interakzioa sortuko da eta elementuak bere momentu magnetikoa kanpo eremuarekiko lerratzerantz bultzatzen duen tortsio indarra pairatuko du. Hau da, beste loturarik ez badago momentu magnetiko guztiak kanpo eremuarekiko lerratuko dira eta beraien magnetizazioa batu egingo da.

2.2.1.2. Lurraren Eremu magnetikoa

Lurra berezko eremu magnetikoa duen planeta da, eta horri eskerrak espaziotik eta bereziki eguzkitik datorren erradiazioaz babestua dago. Besteak beste iparrorratzaren funtzionamendua eta aurorak fenomeno honen ondorio dira. Eremuaren iturria lurraren kanpo-nukleoko magmaren mugimenduak eta lurrazalean dauden material ferromagnetikoak dira. Horien ondorioz sortzen den eremua konplexuagoa den arren, lurraren zentroan kokaturiko dipolo magnetiko batek sortuko lukeenaren antzekoa dela onartzen da oinarrizko eredutzat. Eredu honetan oinarrituz gainazaleko edozein puntutan lurraren eremu magnetikoa zein izango den aurreikusi daiteke, bere intentsitatea 30,000 nT eta 60,000 nT bitartean dagoelarik (Aspinall et al. 2008b: 1. kapitulua). Dipoloaren ardatza aldakorra da denboran zehar (paleomagnetismoa honetan oinarritzen da datazioak egiteko) eta beraz ez da lurraren errotazio ardatzarekiko paraleloa. Gaur egun polo magnetiko negatiboa ipar-poloaren mendebaldean kokaturik dago, urtetik urtera mendebaldeko desplazatzen ari delarik.

Lurraren eremu magnetikoa gainazaleko puntu bakoitzean irudikatzeko hiru parametro erabiltzen dira: intentsitatea, deklinazioa eta inklinazioa edo makurrera (2.6. irudia). Deklinazioak eremuaren



2.6. irudia: Ezkerrean, lurraren erdigunean kokaturiko dipolo magnetikoak sorturiko eremua. Ohartu iparralde magnetikoa deitu arren imanaren hego-poloari dagokiola, eta horregatik batzuetan hego magnetikoa ere deitzen zaio. Hemen geofisika arkeologikoan erreferentzia den Aspinall et al. 2008b liburuko irudia erabili da oinarritzat. Eskuinean, lurrazaleko puntu batean eremu magnetikoaren bektorea (F), osagai horizontala (H), osagai bertikala (Z), inklinazioa (I) eta deklinazioa (D). [www.hiru.eus webgunearen Lurra](http://www.hiru.eus/webgunearen/Lurra) artikulutik moldatua.

osagai horizontalak ipar geografikoarekiko duen desbideraketa neurtzen du. Hau da, iparrorratzak markatzen duen norabidea eta ipar geografikoaren norabidearen arteko aldea da. Inklinazioak, berriz, eremuak plano horizontalarekiko sortzen duen angelua neurtzen du, latitudearen arabera aldatzen dena. Hego-polo magnetikoan eremuak behera apuntatzen duenez inklinazioa -90° takoa da, ipar-polo magnetikoan $+90$ gradukoa eta ekuatore magnetikoan 0 gradukoa. Aurrerago ikusiko dugunez honek eragina du prospekzio magnetikoan detektatzen diren anomalien forman. Euskal Herriko erdigunean eta WWM2015 (<http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#igrfwmm>) modeloa erabilita hauek lirarteke lurraren eremu magnetikoaren ezaugarriak (2.1. taula).

Kokapen geografikoa	Eremu magnetikoa
Latitudea: $42^\circ 52' 58.82''$ N	Intentsitatea: 45,784.7 nT
Longitudea: $1^\circ 56' 7.77''$ W	Deklinazioa: $33' 58''$ W
Altuera: 1236m	Inklinazioa: $58^\circ 7' 21''$

2.1. taula: Lurraren eremu magnetikoaren ezaugarriak Euskal Herriko erdigunea kontsideratzen den puntuan WWM2015 modeloa erabilita. Iturria: *National Geophysical Data Center, US*.

2.2.1.3. Induzituriko magnetizazioa

Eremu magnetiko baten presentzian dauden materialak magnetizatu egiten dira, hau da, induzitutako magnetizazioa sortzen da beraien baitan. Suszeptibilitate magnetikoak sustantzia batek kanpo eremu baten eraginpean magnetizatzeke duen gaitasuna neurtzen du. Beste era batean esanda, bereganatutako magnetizazioa aplikaturiko eremu unitateko. Suszeptibilitate magnetikoa bi eratara

ager daiteke, bolumen espezifikorako suszeptibilitate magnetikoa (2.1 ekuazioa) edota masa espezifikoko suszeptibilitatea (2.2 ekuazioa).

$$\vec{M} = \chi \cdot \vec{H} \quad (2.1)$$

$$\chi_m = \frac{\chi}{\rho} \quad (2.2)$$

non χ bolumen espezifikorako suszeptibilitate magnetikoa, \vec{M} magnetizazioa, \vec{H} aplikaturiko eremu magnetikoa, χ_m masa espezifikorako suszeptibilitate magnetikoa eta ρ dentsitatea diren.

Suszeptibilitateak iragazkortasun magnetikoa deritzon propietatea definitzen du (2.3 ekuazioa). Azken honek materialaren gainean aplikaturiko kanpo eremua (\vec{H}) eta neurtzen den eremu magnetikoaren (\vec{B}) arteko erlazioa ematen du.

$$\vec{B} = \mu \vec{H} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M}) = \mu_0(1 + \chi)\vec{H} \quad (2.3)$$

non μ materialaren iragazkortasun magnetikoa, μ_0 hutsaren iragazkortasun magnetikoa, \vec{M} magnetizazioa eta χ suszeptibilitate magnetikoa diren.

Propietate hau sustantzia osatzen duten atomo eta molekulen konfigurazio elektronikoaren menpekkoa da, horren arabera hiru sustantzia mota definitzen direlarik: diamagnetikoak, paramagnetikoak eta ferromagnetikoak.

Sustantzia diamagnetiko eta paramagnetikoetan kanpo eremua desagertzean magnetizazioa desagertu egiten da. Sustantzia ferromagnetikoetan, aldiz, ez da hala gertatzen. Material hauetan atomoen momentu magnetikoen arteko elkarrekintzari esker domeinu magnetiko deritzan eskualdeak sortzen dira. Horietan, atomoen momentuak norabide berean lerrotzen dira baina domeinu bakoitzak norabide ezberdina izan dezake. Kanpo eremu baten eraginpean domeinuen paretak mugitu egiten dira kanpo eremuarekiko lerrotutako domeinu handiagoak sortuz, ondorioz magnetizazio garrantzitsua erakusten dutelarik. Histeresi deritzan fenomenoaren baitan kanpo eremua desagertzean sustantziak hondar-magnetizazioa edo erremanentzia mantentzen du, horri esker oroimen magnetikoa gorde dezaketelarik. Diamagnetismoa eta paramagnetismoa oso fenomeno ahulak dira ferromagnetismoarekin alderatuz. Horregatik mineral ferromagnetikoak dira arkeologiarako prospekzio magnetikoan interesgarriak direnak, bereziki, naturan agertzen direnak (2.2. taula).

Minerala	Suszeptibilitatea ($10^{-8} \text{m}^3 \text{Kg}^{-1}$)	Curie T (°C)
Hematite ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$)	60	675
Magnetita (Fe_3O_4)	56000	575
Maghemita ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$)	30000	575-675
Goetita ($\alpha\text{-FeOOH}$)	26-280	120

2.2. taula: Arkeologian eragina duten mineral ferromagnetiko nagusien ezaugarriak. (Aspinall et al. 2008b; Evans eta Heller 2003; Hunt et al. 1995).

Arkeologiara zuzendutako prospekzio magnetikoaren arrakastaren giltzetariko bat gainazaleko lurra jatorrizko substratuak baino suszeptibilitate magnetiko handiagoa izatean datza. Fenomeno hau Le Borgne-ren fenomeno bezala ezagutzen da, lehen aldiz behatu zuenaren omenez, eta leku batzuetan besteetan baino nabariagoa den arren fenomeno orokorra da (Le Borgne 1955). Horretaz gain, ikerketa ugarik sedimentu arkeologikoak mineral magnetikoetan aberatsagoak direla mahaigaineratu dute, ondorioz suszeptibilitate altuagoa erakutsiaz (Fassbinder 2015; Fassbinder eta Stanjekt 1993; Linford 2004; Linford eta Canti 2001; Tite eta Mullins 1971; Weston 2002). Suszeptibilitate hazkundera mineral ferromagnetikoen kontzentrazio altuagoan oinarritzen da, prozesu naturalek zein giza ekintzek bultzatzen dutena. Historikoki suarekin loturikoari garrantzia gehiago eman zaion arren mineral ferromagnetikoen sorrera konplexua da eta beste bideak ere kontuan izan behar dira (Fassbinder eta Stanjekt 1993).

Le Borgnek erredukzio-oxidazio prozesuak jarri zituen jatorrian. Oxigenorik gabeko baldintzatan zoruan dagoen hematitearen erredukzioz magnetita sortzen da. Oxidazio baldintzak berreskuratzean magnetitaren oxidazioz maghemita sortzen da, hematitearen konposizio bera izan arren kristalizazio ezberdina duena. Modu honetan, suszeptibilitate baxuko hematitea suszeptibilitate altuko maghemitan transformatu ahal da, magnetita erdibideko fasea duela (Le Borgne 1955). Prozesua gertatzeko bi bide proposatu zituen, errekuntza eta materia organikoaren usteltzea (hartzidura mekanismoa deitu izan zaiona nahiz eta ez den zertan metanorik sortu, Aspinall et al. 2008b: 25). Bi egoera hauek sedimentu arkeologikoen suszeptibilitatean eragiten dute, suaren erabilera eta gai organikoen barreiatzea giza ekintzarekin zuzenki lotua dagoelako. Hala ere, autore batzuen arabera (Fassbinder 2015; Fassbinder eta Stanjekt 1993), ez da enpirikoki behatu hematiteak maghemitaren aitzindarizat jotzekin duela, eta maghemitaren sorrera konplexuagoa dela aldarrikatzen dute. Dena den, oro har giza ekintzak sedimentuen suszeptibilitate magnetikoa areagotzen duela esan daiteke (Aspinall et al. 2008b: 1. eta 6. kapituluak; Clark 1996; Tite eta Mullins 1971).

Sedimentu arkeologikoetan zeramika zatiak, metalezko elementuak edota errautsa egon ohi da eta suszeptibilitate altuko materialak izanik sedimentuen magnetizazioan eragiten dute (Aspinall et al. 2008b: 1. kapitulua). Zakarrentzi bezala erabilitako siloak, adibidez, suszeptibilitate altuko sedimentuz beterik egon daitezke arrazoi honegatik.

Bestalde, bakterio batzuk magnetita sortzeko ahalmena dutela egiaztatu da, beraien gorputzetan gordetzen dutelarik (Fassbinder et al. 1990). Heriotzaren ostean, sorturiko kristalak zoruan geratzen dira sedimentuen propietate magnetikoetan eraginez. Fenomeno honi esker su zantzurik ez zuten egurrezko posteen arrastoak detektatu ahal dira prospekzio magnetikoan (Fassbinder eta Stanjekt 1993). Beste bakterio espezie batzuk, berriz, beraien prozesu metabolikoen baitan ingurumen baldintzak aldatzen dituzte mineral magnetikoen prezipitazioa eraginez (Evans eta Heller 2003: 9. kapitulua). Linford-en arabera (Linford 2004), hilobietan detektaturiko suszeptibilitate hazkundera gai organikoek erakarritako mikrobioen ekintzan izango luke iturri nagusia.

Bukatzeko, zoruen formakuntzan inolako bakterioen eraginik gabe magnetita aleak sor daitezke (Maher eta Taylor 1988). Fenomeno hau ere erredox zikloekin loturik dago, hezetasun eta aireztapen baldintzetan eragiten duten klima aldakorretan eman daitekeelarik (Evans eta Heller 2003: 5. kapitulua).

2.2.1.4. Hondar-magnetismoa edo Magnetizazio erremantea

Lehen aipatu bezala sustantzia ferromagnetikoez oroitzen magnetikoa gordetzeko ahalmena dute. Kanpo eremua desagertzean mantentzen duten magnetizazioari hondar-magnetizazio edo erremantentzia deritza. Lau dira arkeologiara bideraturiko prospekzioetan eragin dezaketen hondar-magnetismoa bereganatzeko bideak (Fassbinder 2015):

Beroarekin loturiko hondar-magnetizazioa edo magnetizazio termoiraunkorra

Temperaturak eragina du propietate magnetikoetan. Material diamagnetiko eta paramagnetikoetan temperaturak sortzen duen mugimenduak momentu magnetikoen lerratzea ekiditen du eta ondorioz suszeptibilitate magnetikoa txikiagotu. Material ferromagnetikoetan, aldiz, domeinuen arteko paretetan bildutako energia magnetikoari esker magnetizazioa mantendu egiten da, temperatura jakin bat gainditu arte: Curie temperatura. Orduan domeinuak desagertu egiten dira eta materialak paramagnetiko moduan jokatzen du. Hoztean domeinuak berriz agertzen dira baina hozte prozesua kanpo eremu baten eraginpean gertatuz gero, adibidez lurrarena, horietako asko lerraturik geratuko dira, beroarekin loturiko hondar-magnetizazioa gordez.

Hondar-magnetizazio detritikoa

Sedimentuan dauden partikulek, metatzen direnean eta kontsolidatu baino lehen, baliteke mugitzeko erraztasuna edukitzea (adibidez uretan esekita daudelako). Horrela bada, bertan dauden mineral magnetikoez lurraren eremuarekiko lerratze joera izango dute, eta metakina kontsolidatzean norabide hori nagusituko da. Era honetan sortzen den magnetismoari detritikoa deritza, eta beroaren bidez lorturikoa baino ahulagoa izan ohi den arren kasu batzuetan detektagarria da.

Hondar-magnetizazio kimikoa

Mineral ferromagnetikoen aleen tamainak portaera magnetikoa baldintzatzen du. Diametro kritikoa deritzonaren azpitik fluktuazio termikoez eragin handia dute eta magnetizazioa desagertu egin daiteke, sustantziak (super)paramagnetiko bezala jokatzen duelarik. Hortik gora haziz gero, berriz, magnetizazioa iraunkorra dela kontsidera daiteke (Evans eta Heller 2003: 2. kapitulua; Fassbinder 2015). Ingurumen baldintzen aldaketek mineralen sorrera edo alterazioa dakarte. Aleak paramagnetiko portaera duten bitartean lurraren eremuarekiko lerratuko dira, eta diametro kritikotik gora haztean norabide hori nagusituko da hondar-magnetismoa bereganatuaz (Evans eta Heller 2003: 5. kapitulua).

Tximistak sortutako Hondar-magnetizazioa

Tximistak eragindako bat-bateko deskarga elektrikoak hondar-magnetizazio isotermikoa deritzana sor dezake, prospekzio magnetikoan detektatu ahal dena. Era honetan sorturiko anomaliak izar formakoak edo linealak izan daitezke, eta beraien polaritatea ez da eremu geomagnetikoaren menpekoa (Jones eta Maki 2005). Intentsitatea oso bortitza izan daiteke (Fassbinder 2015) baina badira ahulagoak ere, magnetizazio mota honek denborarekin desagertzera jotzen duela iradokiz (Jones eta Maki 2005).

2.2.2. Tresneria

Prospekzio magnetikoan parametro ezberdina neurtzen duten sistemak aurki daitezke. Bakoitzak erabiltzen duen fisikaren arabera, ezaugarri eta sentsibilitate ezberdina dute. Horien azalpen landua erreferentzia liburuetan aurki daiteke (Aspinall et al. 2008b: 29-56; Clark 1996: 66-71; Scollar et al. 1990: 450-470).

Erabili daitezkeen sistemak bi klasetan bana daitezke, eremuaren intentsitatea neurtzen dutenak (eskalarrak) edo norabide konkretu bateko osagaia neurtzen dutenak (bektorialak). Lehenengoan artean kokatzen dira Protoi magnetometroak, *Overhauser* magnetometroak eta *optikoki ponpatutako* magnetometroak. Bigarren taldean *fluxgate* magnetometroak eta *SQUID* magnetometroak aurkitzen dira.

Hortaz gain, ohikoa da prospekzio bakoitzean bi sentsore erabiltzea lur azpitik ez datozen seinaleak ezabatzeko (adibidez egunean zehar eguzkiaren eraginez sortzen den aldaketa). Aukera bat sentsore bat leku konkretu batean finko mantentzea da, bestearekin miaketa eremuaren zeharreko puntuak hartzen diren bitartean. Prospekzioa amaitutakoan finko mantenduriko sentsoreak neurtutako aldaketak erabiliz bestearekin harturiko datuak zuzen daitezke. Metodologia honi metodo diferentziala deritzo.

Oso erabilia den beste sistema gradiometroa da. Bi sentsoreak distantzia finko batean mantenduz puntu bakoitzean bien arteko neurketen aldea gordetzen da. Arkeologian gradiometro bertikala erabiltzen da batik bat, sentsoreen arteko alde tipikoa 0,5 m eta 1 m bitartekoa delarik (Aspinall et al. 2008b: 33). Izan ere, urruneko anomalia-iturrien eragina oso antzekoa denez bi sentsoreetan, hauek ezabatu egiten dira eta gainazaleko anomalia-iturriak nabariarazi. Zenbat eta gertuago egon orduan eta bortitzagoa da eragina, baina bide batez interesgarria izan daitekeen anomalia arkeologikoaren zati bat ere ezabatzen da.

2.2.3. Anomalia magnetikoen ezaugarriak

Anomalia magnetikoak lurraren eremuarekiko desbideraketak dira, eta lurraren eremu magnetikoari beste eremu magnetikoren bat eranstea sortzen dira. Hau da, lurraren eremu magnetikoaren balioa egitura anomaloek modulatzten dute, eta orientazio erlatiboaren arabera neurturiko balioa handiagoa edo txikiagoa izango da. Hala ere egitura arkeologikoek sortzen duten eremua oso txikia da lurrarenarekin alderatuta, beraz aldaerak oso txikiak dira (10 nT vs 50000 nT, Aspinall et al. 2008b: 3. kapitulua).

Anomaliaren jatorrian suszeptibilitate kontrastea badago induzituriko anomaliak sortuko dira, lurraren eremuaren araberako orientaziodunak. Erremanentzian oinarrituriko anomaliak ere ager daitezke, horien polaritatea hondar-magnetismoaren sorreraren araberakoa izango delarik. Kasu askotan egitura batek bi jatorrietako magnetizazioa erakutsi dezake, magnetizazio osoa bien arteko batura bektoriala izango delarik. Haien arteko erlazioa Königsberger koefizienteak ematen du, $Q = M_r/M_i$ (non M_r hondar-magnetismoa eta M_i induzitua diren). Koefiziente honek kasu batzuetan anomalia sortu duen prozesuari buruzko informazioa eman dezake (Aspinall et al. 2008b: 3. kapitulua; Jones eta Maki 2005; Scollar et al. 1990: 8. kapitulua).

Anomalia magnetikoen ezaugarri nagusiak ulertzea ezinbestekoa da horiek interpretatu ahal izateko. Izan ere, aurrerago azalduko den bezala, eremu magnetikoaren izaera dela eta anomalia magnetikoak konplexuak dira eta ez dute zertan egituraren forma eta itxura islatu. Horretarako adibide errazena hartu ohi da abiapuntutzat, dipolo magnetikoa hain zuzen.

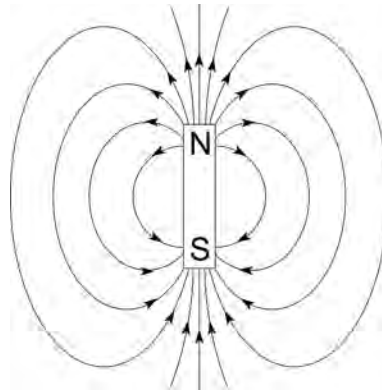
Dipolo magnetikoa haga formako imana da, baina bere luzera behatzailearekiko distantziarekin alderatuz arbuigarria den kasuan. Dipoloaren momentu magnetikoak hagaren norabidea du. Dipoloak sortzen duen eremuaren adierazpen matematikotik (2.4-2.6 ekuazioak) ondoriozta daiteke eremuaren indarra momentu magnetikoarekiko proportzionala dela baina azkar txikitzen dela iturriarekiko distantzia handitu ahala. Sorturiko eremuaren indar-lerroak 2.7. irudian ikus daitezke.

$$B_{rad} = \mu_0 \cdot m \cdot \frac{2\cos\theta}{r^3} \quad (2.4)$$

$$B_{tan} = \mu_0 \cdot m \cdot \frac{\sin\theta}{r^3} \quad (2.5)$$

$$B = \mu_0 \cdot m \cdot \frac{\sqrt{1 + 3\cos^2\theta}}{r^3} \quad (2.6)$$

non θ eta r momentu magnetikoaren eta behatzailearen arteko angelua eta distantzia, μ_0 hutsaren iragazkortasun magnetikoa eta m momentu magnetikoaren balioa diren.



2.7. irudia: Dipolo magnetikoak sorturiko eremuaren indar-lerroak.

Prospekzio magnetikoan, neurtutako eremu magnetikoa lurrarena eta anomaliarenaren arteko batura bektoriala da. Hala ere neurtutako propietatea erabilitako neurgailuaren araberakoa izanen da. Intentsitatea neurtzen duen sentore bakunak (protoi magnetometroa, adibidez) lurraren eremua eta anomalia neurtuko ditu. Horietako bi aldi berean erabilia eremu osoaren anomalia deritzona kalkulatu daiteke (*total field anomaly*). Bektore magnetometro bat erabiliz gero, *fluxgate* edo *SQUID* bat adibidez, eremuaren osagai bakarria (normalean bertikala) neurtzen da. Bektore gradiometro batek, erabat deuseztatzen du lurraren eremu magnetikoaren eragina eta anomaliaren osagai bakarria neurtzen du.

Anomalia suszeptibilitate kontrasteak sortua bada, momentu magnetikoaren orientazioa eremu geomagnetikoarena izango da eta, ondorioz, horizontalarekiko sortzen duen angelua inklinazioaren berdina. Neurgailua ipar-polo magnetikoaren norabidean mugituz gero, m momentuko dipolo batek

neurgailuarekiko z sakoneran dagoenak sortzen duen anomaliaren adierazpen matematikoa kalkula daiteke (ikusi 2.7, 2.8 eta 2.9 ekuazioak. Telford et al. 1990: 3. kapitulua; Scollar et al. 1990: 8. kapitulua).

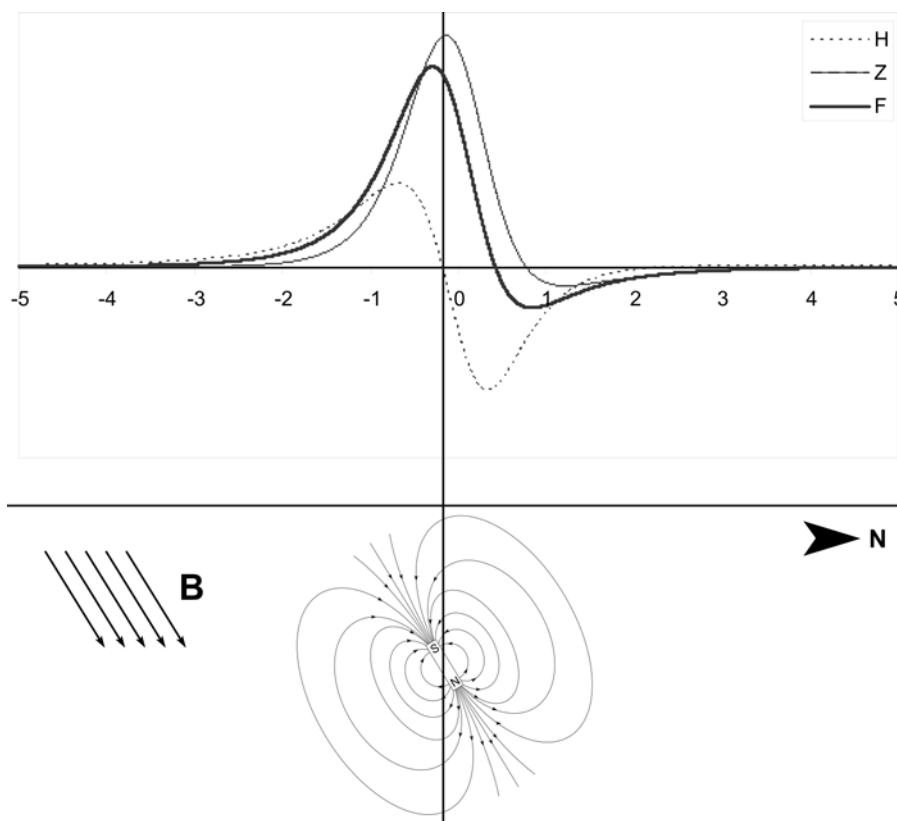
$$F = m \cdot \frac{(\cos^2 I - 1)x^2 - 6xz \sin I \cos I + (3 \sin^2 I - 1)z^2}{r^5} \quad (2.7)$$

$$Z = m \cdot \frac{(2z^2 - x^2) \sin I - 3xz \cos I}{r^5} \quad (2.8)$$

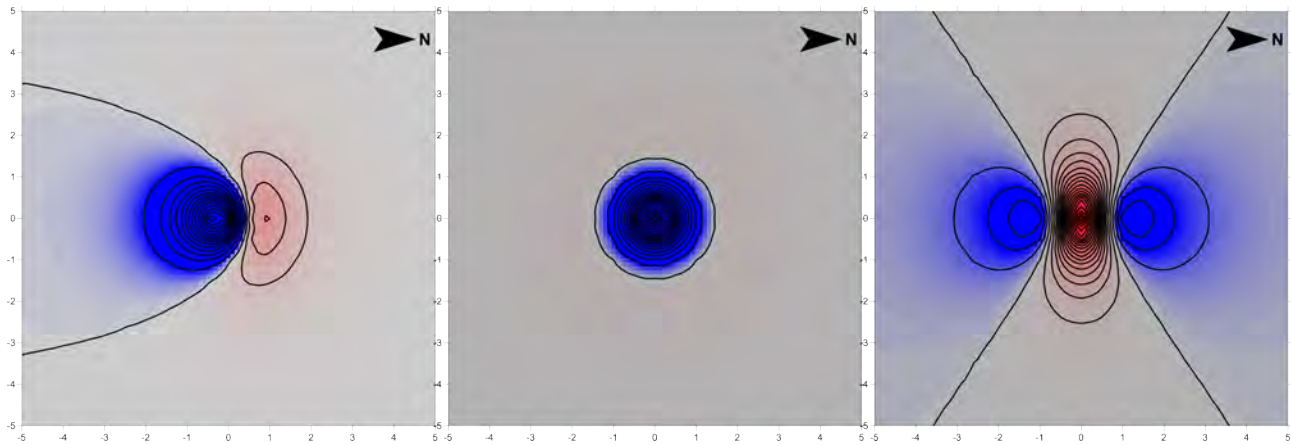
$$H = m \cdot \frac{(2x^2 - z^2) \cos I - 3xz \sin I}{r^5} \quad (2.9)$$

non I inklinazioa, x objektuarekiko distantzia horizontala eta $r = \sqrt{x^2 + z^2}$ distantzia osoa diren, eta F , Z eta H anomaliaren intentsitatea, osagai bertikala eta osagai horizontala hurrenez-hurren.

2.8. irudian ikus daiteke dipoloak sorturiko anomaliaren irudia. Bertan ikus daiteke anomaliak tontor positiboa erakusten duela, baina hau ez dago dipoloaren bertikalean kokatua, hegoalderantz desplazatua baizik. Bestalde, tontorraren iparraldean intentsitate txikiagoko minimo negatiboa erakusten du. Anomaliaren zabalera jatorrian dagoen dipoloaren dimentsioa baino handiagoa da. Plantan begiratuta, tontor positiboa balio negatiboz inguratuta dago, iparraldean indartsuagoa dena baina anomalia guztiz inguratzen duena. Forma hau dipoloak sorturiko anomaliaren ezaugarrietariko bat da, eta aurrerago ikusiko denez zenbait egitura identifikatzeko baliagarria. Hala ere anomaliaren forma inklinazioaren arabera aldatzen da, nahiz eta osagai bertikalak maximo eta minimoen presentzia mantentzen duen beti (2.9. irudia).

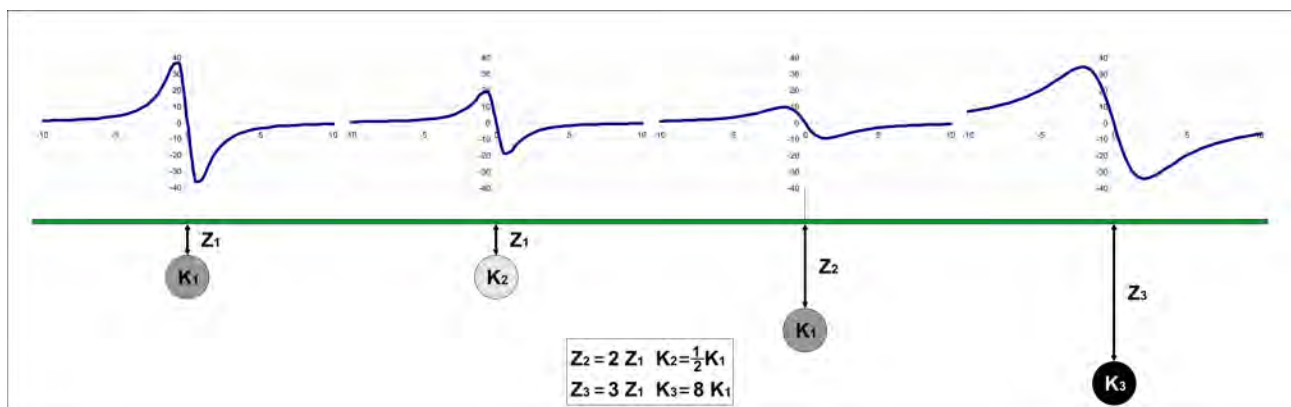


2.8. irudia: $x=0$ puntuan eta $z= 1$ m-ko sakoneran kokaturiko dipolo magnetikoak sorturiko anomalia, ipar magnetikoaren norabidean zehar.



2.9. irudia: Ipar magnetikoarekiko orientatuta dagoen dipolo magnetikoak sorturiko anomalia. Ezkerrean, Inklinazioa 58° takoa (Euskal Herrian). Erdian, ipar polo magnetikoan eta eskuinean ekuatore magnetikoan.

Bestalde, interesgarria da sakonerarekin anomaliaren forma nola aldatzen den ikustea. Alde batetik iturria urrunago dagoenez intentsitatea baxuagoa da baina, bestalde, anomalia zabalagoa ere bada. Horri eskerrak anomalia iturriaren sakoneraren zeharkako informazioa jaso daiteke, oro har anomalia zorrotzak gainazaleko elementuek eta zabalak, aldiz, sakonera handiagokoez sortzen dituztela esaten delarik (2.10. irudia).



2.10. irudia: Anomalia magnetikoaren aldaketak kontrastea eta sakoneraren arabera. Sakonera berdinean kontraste ezberdineko bi dipolo jartzean, anomaliaren zabalera mantentzen den arren intentsitatea aldatzen dela ikusten da. Intentsitate ezberdineko bi dipolo sakonera ezberdinetan kokatzean, intentsitate maximoa antzekoa izan arren anomaliaren zabalera ezberdina dela ikusten da. Aspinall et al. 2008b publikaziotik moldatuta.

Behaketa hauetatik ondoriozta daiteke magnetometroekin neurtutako datuen irudiek ez dutela egituraren errealitate fisikoa islatzen, eta anomalia bakoitzak maximo eta minimo bat dituela. Horretaz gain egitura arkeologikoak dipolo bakarra baino konplexutasun handiagokoak dira, eta ondorioz anomalia ezberdinen gainezarmena neurtzen da. Gorputz konplexu batek sorturiko anomalia kalkulatzeko forma tridimentsionala behar haina dipolo erabiliz ordezkutzen da, ondoren dipolo guztien sorturiko eremuen batura bektoriala kalkulaturaz .

2.2.4. Datu-prozesua

Datu magnetikoen prozesua hiru zatitan bana daiteke: datuen berrezarkuntza, datu-prozesua eta irudien hobetzea (Aspinall et al. 2008b: 116).

Lehen taldean datuen kokapenarekin eta erabilitako sistemarekin loturiko arazoak konpontzen dira. Profil paraleloetan bildutako datuetan ohikoa da emaitzetan profil bakoitzari dagokion lerroak ikustea, batzuetan sistemaren kalibrazioagatik eta bestetan erabiltzailearen erruz. Antzekoa gertatzen da datuak koadrikula ezberdinetan biltzen direnean, beraien artean kontraste ezberdina egon ohi delarik. *Zero-Mean line* eta *Zero-Mean grid* deritzoten prozedurek lerroen eta koadrikularen kontrasteak homogeneizatzen dituzte hurrenez-hurren (Aspinall et al. 2008b: 117-124).

Neurketa magnetikoak sarri denboran oinarrituz egiten dira; hau da, profila hasterakoan sistema martxan jarri eta erabiltzailea abiadura konstantez abiatzen da bukaeraraino. Erabiltzailea atzeratu edo aurreratu egiten bada harturiko neurketa ez dagokio zehazki sistemak eman dion kokalekuari, eta irudiak desitxuratuta agertzen dira. Siga-sagan egindako neurketetan bereziki agerikoa izaten da efektu hau, lerroek zerra antzeko itxura hartzen dutelako. *Destagger* deritzon prozeduraren bidez errorea zuzendu daiteke neurri batean (Aspinall et al. 2008b: 124-126).

Datu-prozesu atalaren helburua zarataren eraginez itzalean geratzen diren anomaliak azpimarratzea da, horretarako datuak aldatzen dituzten algoritmoak erabiltzen direlarik (Aspinall et al. 2008b: 126). Metalezko objektu puntualek sortzen duten tontor isolatuen eragina txikiagotzeko *de-spiking* algoritmoak erabiltzen dira. Eskala handiko anomaliak kentzeko (geologiarekin lotuta esaterako) tamaina txikiko anomaliak azpimarratzen dituzten *Hi-pass* filtroak erabiltzen dira. Filtro talde honetan norabide konkretu bateko anomaliak indartzeko aukerak ere badaude. Datuen *bariantza* irudikatzea baliagarria da portaera magnetiko ezberdineko guneak definitzeko (Aspinall et al. 2008b: 126-129). Kasu batzuetan datu-prozesu aurreratuagoak aplikatzea baliagarriak izan daitezke (ikusi adibidez Aspinall et al. 2008b: 130; Büyüsarac et al. 2008; Desvignes et al. 1999; Eder-Hinterleitner et al. 1996).

Irudi magnetikoen hobetzea interpolazioa eta itxura leunagoa ematen dioten *Low-pass* filtroak aplikatuta egiten da oro har (Aspinall et al. 2008b: 132-134). Hala ere badira beste prozedura aurreratuagoak ere (Scollar et al. 1986).

2.2.5. Aplikazio tipikoak Arkeologian

Arkeologiarako prospekzio magnetikoa bi ardatzetan oinarritzen da. Alde batetik, gainazaleko lurrek oro har eta sedimentu arkeologikoez bereziki, jatorrizko substratuak baino suszeptibilitate magnetiko handiagoa izateak egitura arkeologiko askok kontraste magnetikoa aurkeztea eragiten du. Bestetik, suarekin loturiko egiturak bereziki ongi detektatzen dira beroarekin loturiko hondar-magnetismoari esker.

2.2.5.1. Lubanarro, silo eta eraikinen barnealdeak

Aurreko ataletan azaldu bezala gainazaleko sedimentuek jatorrizko substratuak baino suszeptibilitate magnetiko altuagoa izan ohi dute. Hori dela eta, substratuan ebakitako egiturak denboraren poderioz gainazaleko sedimentuz betetzen badira, kontraste magnetikoa erakutsiko dute. Hau izan ohi da asentamenduen inguruan eraikitzen diren lubanarroak detektatzearen arrazoia (adibidez Gaffney et al. 2012 edo Neubauer eta Eder-Hinterleitner 1997a). Horretaz gain, betekinak errautsak barneratzen baditu fenomeno hau indartu egiten da, errautsak magnetizazio altua erakutsi ohi duelako (Linford

eta Canti 2001). Hori dela eta, asentamenduen erdialdetik gertuago dauden lubanarroetan kontrastea nabariagoa izan ohi da (Aspinall et al. 2008b: 6. kapitulua). Siloak zakarrontzi bezala erabiliak izan badira, lurraz gain errauts eta gai organikoz beteak dira. Ondorioz, sistema magnetikoak ondo detektatu ohi ditu (adibidez, Marshall 1999; Sala et al. 2013: fig. 5; Sala et al. 2016). Antzera, eraikinen barnealdeek sedimentu arkeologikoak pilatu ohi dituztenez kontraste positiboko gune bezala agertu ohi dira (adibidez, Garcia et al. 2010).

2.2.5.2. Paretak

Betiere kasuan kasuko egoera aztertu behar bada ere, askotan harrizko egiturek kontraste negatiboa sortzen dute inguruko sedimentuarekiko. Zenbat eta aberatsagoa izan ingurunearen suszeptibilitatea, orduan eta errazagoa izango da propietate magnetikorik ez duten materialez egindako paretak (kareharria, adibidez) detektatzea. Okupazio maila bakarra den kasuetan, gainezarmen ezak eraikinen deskribapen zehatza emateko aukera eman dezake (adibidez Benech 2007). Okupazio segida egoten bada, prospekzio magnetikoak ez du maila ezberdinen artean ezberdintzeko aukerarik ematen ez bada anomaliaren zabalera eta intentsitateagatik eta, ondorioz, eraikinen oinplanoen interpretazioa zaila izan daiteke (Aspinall et al. 2008b: 6. kapitulua). Bestalde, behera etorritako edo eraitsitako eraikinetan material magnetiko asko egonez gero (adibidez teilak) paretan seinalea maskaraturik geratzea ere posiblea da (Neubauer eta Eder-Hinterleitner 1997b).

Paretak eraikitze erabilitako materiala ez bada magnetikoki homogenea, adibidez eraikuntza material ezberdinen berrerabilpenaren ondorioz, sortuko duten irudia puntuz puntu aldatuko da, eta horrek egitura bezala identifikatzea zailduko du. Bestalde, kasu batzuetan paretak inguruarekiko kontraste positiboa erakusten dute (adibidez Herbich 2009). Adohea edo pezoa erabiltzen den kasu askotan, paretak inguruko harearekiko erakusten duten kontrastea pezoak bereganaturiko hondar-magnetismo isotermikoari esker da (Aspinall et al. 2008b: 6. kapitulua).

Adreiluz edo magnetismo altuko beste materialekin eraikitako paretak ez dute zertan kontraste nabaririk sortu. Izan ere, nahiz eta adreilu bakoitzak egostean hondar-magnetizazioa bereganatu, pareta sortzean ausazko norabidetan egongo dira, beraien artean ezeztatuaz (Bevan 1994). Aldiz, adreiluzko pareta batek sua pairatuz gero, baliteke hondar-magnetizazio berria bereganatzea. Kasu horretan adreilu guztiek norabide berberetako izango luketenez kontraste altuko anomalia bezala agertuko litzateke (Aspinall et al. 2008b: 21; Bevan 2002).

2.2.5.3. Lur mugimenduak

Oro har, egin eta berehala bertatik ateratako lur berberaz beteriko zuloek (hilobiak edo zundaketak, adibidez) ez dute kontraste magnetiko nabaririk sortuko. Hala ere, sedimentuak hondar-magnetismo detritikoa balu, lurra mugitzeak ordenamendua apurtuko luke eta ondorioz posiblea da anomalia magnetiko negatiboa sortzea (Clark 1996: 96).

2.2.5.4. Labeak, sutondoak eta industria guneak

Suarekin loturiko elementuak dira prospekzio magnetikoak bereziki ongi detektatzen dituen egiturak, beroarekin loturiko hondar-magnetismoari esker. Hondar-magnetismo indartsua dutenez eta bere lekutik mugitu gabe dirautenez, lurraren eremuaren arabera orientaturiko dipoloaren anomalia sortzen

dute. Horregatik, ezaugarrietariko bat kontraste positibodun gunearen iparraldean duten halo edo txapela negatiboa da. Kontuan izan behar da orientazioa azken beroketan lurraren eremuak zuen norabidearen araberkoa dela, eta beraz, horri esker, egitura datatzeko aukera egon daitekeela (Crew 2002).

Sorturiko anomaliaren intentsitatea faktore ezberdinen menpe dago, hala nola bizi-denbora edo erabilitako erregaia (Linford eta Canti 2001). Beheko suetan lurreko buztina da erretzen dena, baina labeetan egitura guztia kristaldu daiteke. Horregatik bigarrenek anomalia intentsuagoak sortzeko ahalmena dute. Industria eremuetan labeek sortzen dituzten anomalia indartsuek beste egiturak estali ditzakete (Aspinall et al. 2008b: 155). Hiri guneetan ere, sutondoan kokapena identifikatzea ez da beti erraza izaten beste anomalien gainezarmena dela eta.

2.2.6. Zarata iturriak

Prospekzio magnetikoan interes arkeologikodun anomalien intentsitatea txikia da interesik gabeko iturri batzuek sorturikoen aldean, eta ondorioz eragin handia izan dezakete emaitzen kalitatean. Zarata-iturri ezberdinen deskribapen landua *Magnetometry for Archaeologists* liburuan aurki daiteke (Aspinall et al. 2008b: 76-84). Beste sistemetan bezala, zarataren eragina bilatzen ari diren egiturek sorturiko kontrastearen araberkoa da, garrantzia zarata eta seinale mailen arteko aldeak duelarik (*signal/noise ratio* deritzana).

Arazo nagusietariko bat prospekzio eremuan edota inguruan egon daitezkeen burdindun elementuak dira, hala nola hesiak, tentsio altuko kableen posteak, hodiak, panelak, . . . Elementu hauek beraien tamainarekiko oso handia den eremuan eragiten duen anomalia sor dezakete, bertan dauden beste anomaliak maskaratuaz. Hau kontuan izanda argi dago hiriguneetan ez dagoela sistema hau erabiltzerik. Ingurune periurbanoetan, barreiatariko zabor metalikoa ere oztopo izan daiteke, ausazko norabidetan sorturiko anomalia indartsuak sor ditzakeelako. Zenbait aztarnategitan barreiatariko material arkeologikoak, teilak edota zeramikak adibidez, antzerako efektua sor dezake (Neubauer eta Eder-Hinterleitner 1997b).

Jatorri arkeologikoa ez duten lur mugimenduek, adibidez nekazaritza ustiapenarekin lotuta egiten diren nibelazioek, arkeologia geruzaren sakoneran mailan aldaketak sor ditzakete, kontrastean eraginez. Beste egitura batzuk, adibidez egun berdindutako irrigazio kanalek, forma koherentedun anomaliak sor ditzakete eta egitura arkeologiko bezala interpretatzeko arriskua dago.

Elementu geologikoen ere desira ez diren anomaliak sor ditzakete. Zenbait ingurunetan mineral magnetikoen azaleratzeak eman daitezke. Erosio bidez sortutako ubideek anomalia negatiboak sor ditzakete betetzeke badaude, edota positiboa suszeptibilitate magnetiko altuagoko materialez berdindu badira. Iraganeko ubideek anomalia garrantzitsuak sor ditzakete, kasu batzuetan interesgarriak suertatu daitezkeenak (Aspinall et al. 2008b: 81). Erreka batzuen terrazetan prospekzio magnetikorako baldintza zailak ematen dira, legarretan burdin konkrezioak ematen badira horien aldaerek anomalia arkeologikoen baino intentsitate altuagoa izan dezaketelako (Clark 1996: 92).

Kasu batzuetan lurzoruen propietate magnetikoak espazio tarte laburrean asko alda daitezke egitura arkeologikoak detektatzeko gaitasunean eraginez (Fassbinder 2015). Aztarnategi berberaren baitan egitura arkeologiko berdinek kontraste aldaketa erakutsi dezakete (Aspinall et al. 2008b: 28).

Bukatzeko, eguzkiaren irradiazioaren eraginez egunean zeharreko aldaketa nabari da lurrazalean neurtzen den eremu magnetikoan. Eragina aldakorra da eguzkiaren jardueraren menpekua baita. Ondorioz, ezin da aurreikusi eta bere eragina zuzentzeko beharrezkoa da bi sentsore erabiltzea. Gradiometriari oinarritutako sentsoreek ez dute eragin hau pairatzen.

2.3. Georradarra

Georradarra gainazaletik igorritako uhin elektromagnetikoen islapenean oinarritzen da. Islatutako energiaren bidez lurrazpiko etenuneak irudikatzen dira, etenuneak propietate elektromagnetiko ezberdina duten objektuak edo gainazalak izan daitezkeelarik. Antenak maiztasun jakin bateko pultsuak igortzen ditu lurzorura, kono itxuran zabaltzen doan izpi baten forman. Uhina lurzoruan hedatu heinean zenbait aldaketa pairatzen ditu, aurkitutakoaren arabera errefraktatuz, islatuz eta indargabetuaz doalarik, elektromagnetismo orokorrak azaldutako legeen arabera. Bereziki, uhina lurperatutako egitura, objektu edota geruza geologikoetan isla daiteke. Islatutako energia gainazalera bueltatzen da eta antena hargailuak jasotzen du, joan-etorria egiteko behar duen denboraren arabera bilduaz.

Uhinaren abiadura hedatze-ingurunearen ezaugarri elektriko eta magnetikoen araberakoa da, eta praktikan permitibitate dielektrikoa da funtsezko ezaugarria. Pultsuak abiadura ezberdineko bi gune zeharkatzen dituenean (egitura arkeologiko bat eta ingurunea, adibidez), uhina bien arteko mugan islatzen da, oihartzun bat sortuz. Zenbat eta ezberdinagoak izan objektuaren eta ingurunearen permitibitate dielektrikoaren balioak, orduan eta handiagoa da gainazalera islatutako energia kopurua.

Prozesu hori profil bakoitzeko puntu guztietan errepikatzen da: pultsu bat igortzen da eta denboraren funtzioan puntu horretan jasotako energia erregistratzen da. Islapen horiek uhinak aurkitutako ezjarraitasunen berri ematen dute (2.11. irudia). Oihartzuna jasotzeko denbora objektuaren sakoneraren araberakoa denez, dimentsio bertikalari buruzko informazioa lortzen da. Horixe da, hain zuzen, teknika horren abantailarik garrantzitsuenetako bat.

Profil bakoitzeko informazioa radargrama batean txertatzen da, eta honek jasotako energia irudikatzen du sistemak aurrera egiten duen heinean (ardatz horizontala) eta denborak aurrera egiten duen heinean (ardatz bertikala). Radargrama bakoitza profilaren azpiko lurzorua sekziotzat har daiteke, baina irudikatutako lurzoruko puntu bakoitzetik jasotako oihartzunen energia izanik.

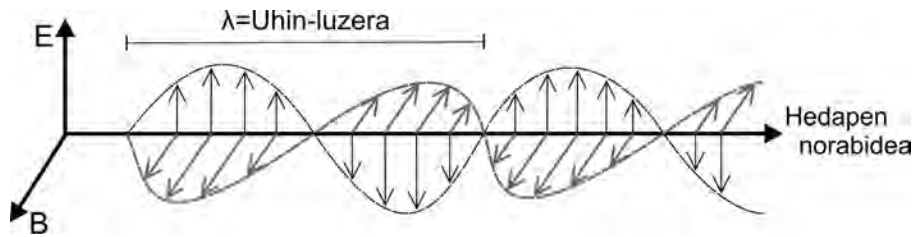
Barneratze-sakonera zenbait parametroren menpe dago, garrantzitsuenak lurzorua eroankortasuna eta antenaren maiztasuna direlarik. Kontutan hartzekoa da hezetasunak eroankortasunean eragin ohi duenez, barneratze-sakonera lurzorua hezetasun baldintzen arabera aldatuko dela. Barneratze-sakonera eragiteaz gain, maiztasunak mugatzen du gertu dauden bi egituren arteko bereizte-gaitasuna. Maiztasuna zenbat eta handiagoa izan orduan eta txikiagoa da uhinaren irismena, nahiz eta bereizmen handiagoa lortzen den.

Georradar bidezko prospekzioetan oso ohikoa da ikerketa eremu guztia profil asko erabiliz mizatzea, eta ondoren, horiek ordenagailu bidez landuaz, datuak sakonera ezberdinei dagozkien mapetan irudikatzea. Honi *time-slicing* (denboran-sailkatze) teknika deritza eta era honetan

elikatzen dute eta, bietariko bat desagertuko balitz, uhin elektromagnetikoak hedatzeari utziko lioke osorik desagertuz (Conyers 2013: 24).

Uhin elektromagnetikoak maiztasunaren arabera sailkatzen dira, Hertz (Hz) unitatetan neurtzen dena. Georradar aplikazioetan 10 MHz eta 1000-2000 MHz bitarteko uhinak erabili ohi dira (Cassidy 2009b; Conyers 2013: 26; Davis eta Annan 1989), irrati uhinen espektroaren tarte batean kokatzen direnak. Hala ere arkeologian erabilienak 200 MHz eta 1000 MHz bitartekoak dira eta maiztasun konkretua helburu eta ingurunearen baldintzen arabera finkatzen da (Neubauer et al. 2002).

Uhin-luzerak fasean dauden bi punturen arteko distantzia minimoa ematen du (2.12. irudia). Maiztasuna eta uhin-luzera hedatze abiaduraren bidez lotuta daude (2.10 ekuazioa).



2.12. irudia: Uhin elektromagnetikoaren osagai elektriko eta magnetikoak.

$$v = \lambda \cdot \nu \quad (2.10)$$

non v uhinaren hedatze abiadura, λ uhin-luzera eta ν maiztasuna diren.

Erlazio honen bidez maiztasun jakin bateko uhinak abiadura ezaguneko ingurune batean hedatzean izango duen uhin-luzera kalkula daiteke. Honek uhinari eragingo dien objektuen tamaina baldintzatzen du. Azalpen xume batean, esan daiteke uhin luzera baino askoz txikiagoak diren objektuekin ez dela elkarrekintzarik sortzen eta askoz handiagoak diren objektuak etenune jarraituak bezala ikusten dituela uhinak. Antzeko tamainako objektuekin, berriz, fenomeno konplexuagoak gerta daitezke. Autore batzuen arabera, detektatu daitekeen objektu minimoa uhin-luzeraren % 40ko tamainakoa da (Conyers 2013: 62).

Argia ingurune materialetan zein hutsean heda daiteke, bere abiadura ingurunearen propietate elektromagnetikoen arabera delarik.

2.3.1.2. Permitibitate elektrikoa (ϵ)

Permitibitateak material batek energia elektromagnetikoa karga elektriko moduan metatu eta ondoren askatzeko duen gaitasuna neurtzen du. Beste era batean esanda, eremu elektriko baten eraginpean jartzean materialean sortzen den polarizazioa neurtzen du. Sarritan hutsean duen balioarekiko (8.8542×10^{-12} F/m) normalizatzen da; horrenbestez, permitibitate erlatiboa edota konstante dielektrikoa deritzon zenbaki adimentsionala erabiltzeko ohitura dago (2.11 ekuazioa).

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (2.11)$$

non ε_r konstante dielektrikoa, ε materialaren permitibitate elektrikoa eta ε_0 hutsaren permitibitate elektrikoa diren.

Permitibitatea zenbaki konplexu modura adierazten da, non zati errealak energia metatzeko gaitasuna eta zati irudikariak prozesuan galdutako energia adierazten duten (Cassidy 2009b: 45).

Material dielektrikoak eremu elektromagnetikoaren eraginpean jartzean, kargak zertxobait desplazatzen dira materialaren polarizazioa sortuz (Cassidy 2009b: 45; Neal 2004). Permitibitatearen osagai errealak polarizazio maila neurtzen du (ε'). Era horretan energia biltzen dute kondentsadore bat bailitzan, eta eremua desagertzean berriz askatuaz. Pilatu eta askatutako energiak desplazamenduan kargak pairatzen duten azelerazioarekin loturik dago, eta era berean azelerazioan dauden kargak uhin elektromagnetikoa sortzen dute. Askatzen duten energia ez dagoenez uhin erasotzailearekiko fasean, hedatzen den uhinaren geldotzea eragiten du. Honek azaltzen du materialaren permitibitatea eta uhinaren hedapen abiaduraren arteko lotura (Cassidy 2009b: 46).

Bestalde, kargen mugimenduak energiaren zati bat bero bezala galtzea dakar, disipatutako energiak maiztasun horretarako permitibitate elektrikoaren balio irrealak (ε'') finkatzen duelarik (Cassidy 2009b: 45; Neal 2004). Hau ez da dielektriko perfektuetan gertatzen, baizik eta polarizatzen diren kargak mugitu eta interaktuatzeko gaitasuna dutenean, uraren molekula dipolarrekin gertatzen den legez (Cassidy 2009b: 46).

Permitibitatearen bi osagaiak maiztasunaren menpekoak dira (Cassidy 2009b: 46; Neal 2004). Material gehienetan maiztasuna hazi ahala metatutako energia txikitu eta galerak handitu egiten dira, eta galera maximoa *erlaxazio-maiztasuna* deritzon maiztasunean lortzen da. Parte hartzen duen fenomenoaren arabera erlaxazio puntu ezberdinak igarotzen dira (Cassidy 2009b: 48-54). Permitibitatea, ondorioz, era honetan idatzi daiteke, $\varepsilon = \varepsilon' + j\varepsilon''$, non lehen zatia karga-metaketaekin eta bigarrena energia-galerarekin lotzen diren (j hizkiak zenbaki irudikaria adierazten du, $j = \sqrt{-1}$). Material dielektriko perfektuetan bigarren osagaia nulua litzateke eta uhinak indargabetu gabe egingen luke aurrera.

2.3.1.3. Eroankortasuna (σ)

Eroankortasuna material batean zehar eremu elektrikoaren eraginpean karga libreak mugitzeko gaitasuna da, hau da, korrante elektrikoa garraiatzeko gaitasuna. Mugimenduan dauden kargak beste molekula edo partikulekin talka egiten dute eta ondorioz energia elektromagnetikoa bero moduan galtzen da.

Kargak uhinaren aldaketa jarraitzeko gaitasuna dutenean korrante elektrikoa fasean egonen da eta eroankortasuna zenbaki erreal hutsez adieraz daiteke. Maiztasun altuagoetan kargen mugimendua atzeratu egin daiteke fasez kanpo dagoen korrantea sortuz, eroankortasunaren osagai irudikariaren bidez adierazten dena. Atzerapen honek energia metatzen du polarizazioaren antzeko efektuan, bi osagaiak ezin direlarik neurketa esperimentaletan bereizi (Cassidy 2009b: 59). Hala ere georradar maiztasunetan osagai hau arbuiatzeko ohitura dago energia-galerarekin alderatuaz duen eragin eskasagatik (Cassidy 2009b: 55).

2.3.1.4. Iratzkortasun magnetikoa (μ)

Iragazkortasun magnetikoak material batean aplikaturiko kanpo eremua eta neurturiko eremuaren arteko arazoa ematen du eta horren arabera material motak sailkatzen dira (ikus 2.2.1.3. atala). Permittibitate dielektrikoaren pare, indukzio magnetikoan metatutako energia eta galdutakoa adierazten ditu eta, beste behin, lehena osagai erreala eta bigarrena irudikari bezala adierazten dira (Cassidy 2009b: 56).

Georradarraren funtzionamenduan onartua dago iragazkortasunaren eragina arbuigarria dela permittibitatea edota eroankortasunaren aldean (Davis eta Annan 1989; Cassidy 2009b: 56; Conyers 2013; Van Dam et al. 2002b). Hala ere, material ferromagnetikoetan aberatsak diren lurretan energiagalera nabaria neurtu izan dute autore batzuk laborategian (Neal 2004). Beste autore batzuen lanak, berriz, burdin oxidoen eraginez iragazkortasun ezberdinetako geruzak aurkitu arren, aldaera hori uhin elektromagnetikoan eragiteko lain ez dela erakutsi dute (Van Dam et al. 2002a). Ikerketa berdinen arabera, ura metatzeko duten erraztasunagatik eragiten dute burdin oxido geruzek georradar seinalean, eta ez uhinaren hiru parametroetan (μ , σ , ε) zuzenean eragiten dutelako. Dena dela, lurzoruan aurkitzen diren material gehienetan osagai ferromagnetikoen proportzioa txikia da eta, ondorioz, hutsaren iragazkortasunaren balioa ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ NA}^{-2}$) erabiltzea onargarria da (Cassidy 2009b: 56).

2.3.1.5. Uhin elektromagnetikoak pairatzen dituen prozesuak

Uhin elektromagnetikoen adibiderik errazena paraleloki polarizaturiko eta maiztasun bakarreko uhina da. Naturan ageri diren uhin konplexuagoak oinarritzko uhinaren konbinazio modura azal daitezkeenez (Reitz et al. 1996: 422-423), hori da prozesuak azaltzeko erabiliko dena.

Abiadura

Uhinaren hedapen abiadura zeharkatzen ari den materialaren propietate elektromagnetikoen baldintzatzen dute 2.12 adierazpenean ikusten den bezala (Cassidy 2009b; Neal 2004).

$$v = \frac{c}{\sqrt{\mu_r \varepsilon_r \frac{1 + \sqrt{1 + (\frac{\sigma}{\omega \varepsilon})^2}}{2}}}} \quad (2.12)$$

Trantsizio maiztasunetik behera ($\omega_t = \sigma/\varepsilon$) uhinak difusio portaera duela esaten da eta abiadurak $1/\sqrt{\omega}$ menpekotasuna du. Hala ere georradarrak trantsizio maiztasunetik gorako baldintzatan egiten du lan oro har. Kasu horretan abiadura maiztasunarekiko independentea dela kontsidera daiteke eta 2.13 ekuazioko hurbilketa onartzen da (Annan 2009; Cassidy 2009b). Are gehiago, iragazkortasun magnetikoaren eragina arbuizatuz askotan erabiltzen da permittibitatean soilik oinarritutako 2.14 adierazpena (Davis eta Annan 1989; Goodman eta Piro 2013: 13; Neal 2004).

$$v = \frac{c}{\sqrt{\mu_r \cdot \varepsilon_r}} \quad (2.13)$$

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}} \quad (2.14)$$

Islapena

Hedatuz doan heinean uhinak propietate elektromagnetikoen aldaketa ematen den etenunea aurkitzen badu, energiaren zati bat islatu egiten da. Islatutako energiaren portzentaia, inpedantzia (Z) deritzon parametroaren zein intzidentzia angeluaren (θ) menpekoa da (2.15 ekuazioa eta 2.13. irudia, Annan 2009).

$$R = \frac{Z_2 \cos \theta_1 - Z_1 \cos \theta_2}{Z_2 \cos \theta_1 + Z_1 \cos \theta_2} \quad (2.15)$$

Inpedantzia hiru propietate elektromagnetiko nagusien eratorria da (2.16, Cassidy 2009b; Goodman eta Piro 2013: 15).

$$Z = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma + j\omega\varepsilon}} \quad (2.16)$$

non j zenbaki irudikaria, ω maiztasun angularra, μ iragazkortasuna, σ eroankortasuna eta ε permitibitatea diren.

Energia galera gutxiko materialetan, hau da, eroankortasun baxuko inguruetan, islapen faktorea permitibitatearen menpekoa besterik ez dela onar daiteke (2.17a ekuazioa), eta $\theta_1 = 90^\circ = \theta_2$ eraso perpendikularrerako 2.17b ekuaziora sinplifikatu daiteke. Baldintza horietan 2.14 ekuazioa ere betetzen denez, abiaduraren menpeko 2.17c adierazpena ere erabil daiteke (Conyers 2013: 51; Davis eta Annan 1989; Goodman eta Piro 2013: 15; Neal 2004).

$$R = \frac{\sqrt{\varepsilon_2} \cos \theta_1 - \sqrt{\varepsilon_1} \cos \theta_2}{\sqrt{\varepsilon_2} \cos \theta_1 + \sqrt{\varepsilon_1} \cos \theta_2} \quad (2.17a)$$

$$R = \frac{\sqrt{\varepsilon_2} - \sqrt{\varepsilon_1}}{\sqrt{\varepsilon_2} + \sqrt{\varepsilon_1}} \quad (2.17b)$$

$$R = \frac{\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2}}{\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2}} \quad (2.17c)$$

Adierazpen hauetatik erraz ondorioztatzen da islatutako energiak bi inguruneen arteko kontrastearen menpektasuna duela, eta ez ingurune horien propietate zehatzena. Hau da, georradarrak kontrasteak neurtzen ditu, etenuneak, eta ez materialen propietateak zuzenean (Goodman eta Piro 2013: 16; Van Dam et al. 2002b).

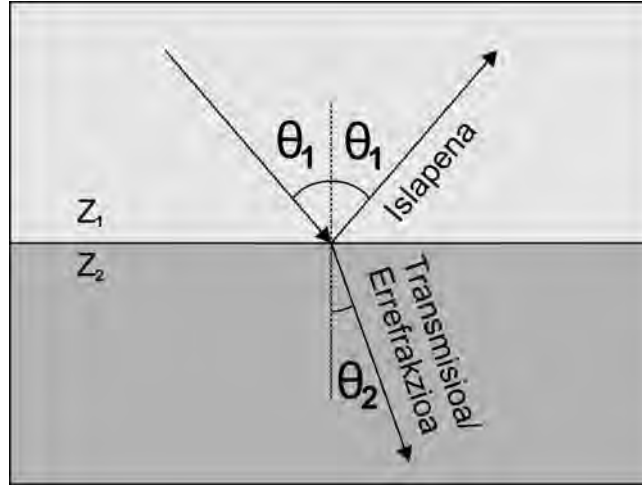
Horretaz gain, bigarren ingurunearen permitibitatea baxuagoa bada islapen faktorea negatiboa izan daiteke. Honek islatutako uhinaren fase aldaketa egongo dela esan nahi du, kasu batzuetan islapena eragin duenari buruzko informazioa biltzeko datu interesgarria izan daitekeelarik (ikusi 2.3.3.1. atala).

Transmisioa

Etenuneetan uhina islatzeaz gain, energiaren zati bat bigarren ingurunera transmititzen da. Transmisio koefizientearen 2.18 adierazpenetik ondoriozta daiteke bigarren inguruaren inpedantzia nulua bada, ez dela inolako energiarik transmitituko. Hori da metalezko elementuen kasua ($\sigma \gg \omega\varepsilon$),

eta horregatik georradarrak ezin ditu zeharkatu (Goodman eta Piro 2013: 16; Conyers 2013: 57).

$$T = \frac{2Z_2 \cos \theta_1}{Z_2 \cos \theta_1 + Z_1 \cos \theta_2} \quad (2.18)$$



2.13. irudia: Z_1 eta Z_2 impediantziadun inguruneak banatzen dituen etenunean izpi erasotzailea, islatua eta errefraktatua.

Errefrakzioa eta dispertsioa

Errefrakzioak bi inguruneren artean pasatzean argiak egiten duen norabide aldaketa neurtzen du (horregatik ikusten dugu okertuta erdia airean - erdia uretan dagoen makila bat). Fenomeno honi errefrakzioa deritza eta okertze angelua Snell-en legeak (2.19 ekuazioa) adierazten du (Reitz et al. 1996: 453).

$$v_2 \sin \theta_1 = v_1 \sin \theta_2 \quad (2.19)$$

non v uhinaren abiadura eta θ gainazalaren bektore normalarekiko angelua diren.

Errefrakzio fenomeno delatua eta, lurzorura igorritako georradar izpia zabaldu edo enfokatu egingo da aurkitzen dituen etenunetan, eta horrek argiztatuko den eremuaren azalera eragingo du (Goodman eta Piro 2013: 19).

Bestalde, ingurune batean errefrakzio indizea maiztasunaren arabera denean, maiztasun bat baino gehiago barneratzen dituen uhina dispertsatu egiten dela esaten da, osagai bakoitza norabide ezberdinean okertzen delako (horri eskerrak ikusten da ortzadarra argi zuriak prisma bat zeharkatzean). Georradarrak erabiltzen duen maiztasun-tartean, galera gutxiko baldintzak bete ohi direnez, dispertsioaren efektua txikia da, nahiz eta neurri batean gertatzen den.

Interferentzia

Maiztasun bereko bi uhin gainezartzen direnean interferentzia ematen dela esaten da, eta ondoriozko uhina guztien batura izanen da. Beraien artean fasean badaude anplitudeak batu egingo dira, eta kontra-fasean badaude, aldiz, ezeztatu.

Indargabetzea

Uhina hedatu ahala bere anplitudea txikiagotu egiten da pairatzen duen energia-galera dela medio. Indargabetze faktorearen 2.20 adierazpenak maiztasunaren eta materialaren menpekotasuna erakusten du (Cassidy 2009b).

$$\alpha = \omega \sqrt{\mu \varepsilon} \sqrt{\frac{1}{2} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega \varepsilon} \right)^2} - 1 \right]} \quad (2.20)$$

non α indargabetze faktorea, σ eroankortasuna, μ iragazkortasun magnetikoa eta ε permitibitate elektrikoa diren.

Adierazpen horren arabera zenbat eta maiztasun altuagoa izan, orduan eta azkarrago indargabetuko da uhina. Honek eragin zuzena dauka antena jakin bat edo beste aukeratzeko orduan. Hala ere, galera gutxiko baldintzatan indargabetzearen maiztasunarekiko menpekotasuna arbuigarria da eta era honetan sinplifikatu daiteke (2.21 ekuazioa), non eroankortasunaren eragin nagusia argi ikusten den (Neal 2004).

$$\alpha = \frac{\sigma}{2} \cdot \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \quad (2.21)$$

2.3.2. Tresneria

Georradar sistemak 3 elementu nagusiz osaturik daude: kontrol-unitatea, antena igorlea eta antena hartzailea. Kontrol-unitatean definitzen dira datu-bilketaren parametroak (ikusi 2.3.2.1. atala), eta berak kontrolatzen du pulsu elektromagnetikoaren sorrera zein jasotako islapenen gordetzea. Antena igorleak pultsua sortu eta lurrera bideratzen du, eta antena hartzaileak islapenak detektatzen ditu (sistema bistatikoa). Sistema monostatikoetan antena bakarrak egiten du igorle eta hartzailearen papera. Sistema bistatikoetan miaketa metodologia gehiago egiteko aukera dagoen arren (ikusi Davis eta Annan 1989), bien arteko distantzia finkoa mantenduz erabili ohi dira oro har. Egun oso ohikoa da elkarren ondoan jarritako antena multzoa erabiltzea, era horretan sistemaren pasada bakoitzean profil ugari neurtzeko aukera dagoelarik (ikusi adibidez Novo et al. 2012; Trinks et al. 2010).

Sistema komertzialetan antenak era ezberdinetan antolatuta egon daitezke baina denak lurrazalaren gainean edo gertu kokatu ohi dira. Seinalea lurzorura ongi bideratu ahal izateko garrantzitsua da energia eta gainazalaren artean akoplamendu egokia ematea. Izan ere, antenak gainazalarekiko oso urrun badaude igorritako energiaren zati garrantzitsu bat aire-lur interfazean islatuko da eta, ondorioz, energia gutxi barneratuko da zoruan (Conyers 2013: 32). Askotan sistema osoa karro batean muntatuta eramaten da, eta oso ohikoa da odometro bat erabiltzea profilaren distantzia kontrolatzeko.

2.3.2.1. Georradar miaketaren parametroak eta radargramen sorrera

Kontrol unitatek pultsua sortu, eta jasotako islapenak joan-etorri denboraren arabera sailkatuta gordetzen ditu. Puntu jakin batean denboraren arabera jasotako energiaren distribuzioari *traza* deritzo, eta puntu horren bertikalean dauden etenuneen berri ematen du. Profil bakoitzean jasotako traza guztiek osatzen dute *radargrama*, profil horren azpiko lurzoruaren ebaketa bat bezala uler daitekeelarik. Georradar profiletan eskala bertikala joan-etorriaren denborak neurtzen du, baina gutxi gorabeherako sakonerara bihur daiteke uhinaren hedatze abiadura ezaguna bada. Georradar sistemak profila laua dela suposatzen du beti. Horregatik, profilak lauk ez direnean kota berdinean dauden elementuak

sakonera ezberdinetan agertuko dira, eta interpretazio egokia egin ahal izateko beharrezkoa da *zuzenketa topografikoa* deritzana egitea.

Sistema askok pultsuak oso azkar sortu eta igorri baditzakete ere, digitalizazioa egiten duten gailuek ez dute abiadura horretan grabatzeko gaitasunik, eta beraz ezin dituzte igorritako pultsu bakoitzaren islapenak bereizi (Conyers 2013: 32). Horregatik sistema gehienek jasotako energiaren batez bestekoa egiten dute, denbora *sample* edo *lagin*etan banatuz. Horiek dira traza bakoitzaren informazio-unitateak, eta bereizmen bertikalean eragin badezakete ere normalean ez da arazorik izaten (Conyers 2013: 32).

Traza bakoitza sortzeko islapenak jasotzen pasatzen duen denbora tarteari *denbora-leiho*a deritzo. Parametro hau erabilitako antena zein ingurunearen baldintzen arabera finkatzen da. Izan ere, momentu batetik aurrera energia agortuta dago eta ez da zarata besterik jasotzen, baina denbora-leiho laburregia bada, baliteke sakonera handiagotik datorren informazioa biltzeko aukera galtzea (Conyers 2013: 92).

2.3.2.2. Georradar antenen ezaugarriak

Georradar miaketan antenek garrantzia berezia dute prozesuaren zati garrantzitsuena beraien esku dagoelako. Georradar fabrikatzaileek sistema bakoitzarekin lan egin dezaketen antena multzoa izaten dute, modu honetan proiektu bakoitzari hobe doakiona aukeratu ahal izateko. Antenen ezaugarri nagusia maiztasuna da, 2.3.1.5. atalean ikusi bezala materia eta uhinaren arteko interakzioan eragin zuzena duelako. Horrela, bereizmena maiztasunarekin batera hazten da, uhin-luzera txikiagoa duen uhinak objektu txikiagoekin elkarrekiten baitu. Baina aldi berean indargabetzea azkarragoa izango denez, maiztasun altuetako energia sakonera txikiagoetara heltzen da, eta detektatu nahi diren objektuetara ez iristeko arriskua dago (ikusi Conyers 2013: 70).

Georradar sistema idealean pultsu garbi bat sortuko litzateke, maiztasun jakin batekoa, eta antenak energia guztia lurrera era homogeanoan bideratuko luke. Errealitatean gauzak konplexuagoak dira eta zarata iturri ezberdinak daude. Hasteko, normalean sortzen den pultsua zaratatsua da eta ez da maiztasun bakarrekoa izaten. Arkeologian erabilienak diren dipolo antenek bi zortzireneko banda zabaleran igorri ohi dute, hau da, ν maiztasunean igorri beharrean, $\nu_{min} = \nu/2$ eta $\nu_{max} = 2\nu$ tartean (Conyers 2013: 42). Gainera, energia distribuzioa ez da kanpai formakoa izaten, baizik eta maiztasun nagusiaren inguruko forma asimetriko eta tontorduna (Conyers 2013: 43).

Energia kono itxurako izpian igortzen dute antenek (linternek igorritako argiaren antzera). Dispersioa dela eta, honek distantziarekin zabaltzeko joera du, nahiz eta etenuneetan errefrakzioaren eraginez konoa zabaldu edo enfokatu egiten den (Goodman eta Piro 2013: 18). Kono horren sekzioari *oinatza* deitzen zaio eta argiztatuko den azalera definitzen du. Antena errealetan oinatza ez da homogenea eta energia ez da era berdinean banatzen argiztaturiko azalera (Annan 2009; Goodman eta Piro 2013: 21).

Bestalde, antenaren kaxak babestu egiten dira lurzorura besterik igorri ez dezaten, horretarako beste aldeetan ezkutuak jartzen zaizkielarik. Hori ongi egiten ez bada, gainazalean edo airean dauden elementuek ere radar energia jaso eta islatuko dute, eta radargraman agertuko dira interpretazioan nahasmena sortuz (Conyers 2013: 46). Maiztasun altuko energia errazago mugatzen da, eta horregatik ohikoagoa da babestutako antenak 100 MHz baino maiztasun altuagoak izatea (Annan 2009).

Elektronikarekin zerikusia duten faktore hauek guztiak zarata iturriak dira, eta antena partikularren arabera aldatu egiten dira.

Bestalde, antenak igorritako energiak eremu elektromagnetiko bortitza sortzen du antenaren inguruan. Eremu horren eraginpean ematen da antena eta lurzorua arteko akoplamendua deritzana, eta teknikoki hor ez da uhinaren hedapenik sortzen (Conyers 2013: 83). Eremu horren zabalera uhin-luzeraren arabera da, zenbat eta maiztasun handiagoa orduan eta txikiagoa delarik. Eremu horren barruan geratzen diren objektuak ikustea zaila da eta hobe izan ohi da maiztasun altuagoko antena erabiltzea, nahiz eta kasu batzuetan posiblea den eremu horretako informazioa jasotzea (Conyers 2013: 84).

2.3.3. Georradar anomalien ezaugarriak

Georradarraren abantailetariko bat hiru dimentsiotako datu multzoa lortzean datza. Izan ere, uhinaren joan-etorri denbora neurtzen da eta hori sakoneran bihur daiteke abiadura ezagutu edo estimatuz gero. Aldi berean horrek sortzen duen konplexutasuna da sistemaren zailtasunetariko bat, alde batetik datu asko biltzen delako, baina baita ere datu horietan faktore askok eskuartzen dutelako. Conyers-en arabera georradar datuen interpretazioan eragiten duten faktoreak ondo ulertzeko pedologia, geomorfologia, fisika eta kimika, arkeologia, biologia eta ingeniariak elektronikoa izan behar dira kontuan (Conyers 2012: 17).

2.3.1.5. atalean materiaren eta uhinaren arteko interakzio motak azaldu dira. Atal honetan, aplikazio praktikoetan horiek duten eragina laburtzea da helburua.

2.3.3.1. Islapen motak

Uhina lurzoruan hedatzen den heinean, aurkitzen dituen arroka edo sedimentuetako propietate elektriko edo magnetikoen aldaketek islapenak sortzen dituzte. Etenuneetan islatutako energiaren anplitudea propietate aldearen neurrikoa denez, garrantzitsua da aldaketa espazio labur batean izatea. Aldaketa gradualki ematen bada, puntu batetik besterako aldaketa txikia izango da eta ondorioz anplitude txikiko islapen ugari gertatuko dira (Conyers 2013: 51).

Etenuneak aldaketa litologiko edo dentsitate-aldaketa ematen den interfaze stratigrafikoak izan daitezke (Davis eta Annan 1989; Conyers 2013: 27; Neal 2004), sedimentu eta arroka artekoak edota arroka barneko frakturak, adibidez. Antzeko efektua gertatuko da radar energiak egitura arkeologiko eta ingurunearen arteko interfazea zeharkatzean.

Lurrazpiko espazio hutsek radar seinalea gogor islatzen dute, propietate aldaketa handia eragiten dutelako. Horregatik, ehorzketa, zulo, zein tunel edo hodiekin radar seinalea islatu ohi dute (Conyers 2012: 171). Materiatik airera pasatzean uhinaren abiadura handitu egiten denez, 2.17 adierazpeneko islapen faktorea negatiboa da eta ondorioz uhinaren fase aldaketa emango da (Goodman eta Piro 2013: 16). Fenomeno honek hutsuneak beste egituretatik bereizteko tresna bat ematen du (Conyers 2012: 134; GSSI 2006: 17).

Islapenak eragiten dituen faktore garrantzitsuenetarikoa hezetasun mailaren aldaketa da (Conyers 2013: 27; Neal 2004). Uraren permitibitate erlatiboaren balioa oso altua da zoruan egoten diren materialekin alderatuta, eta horrek aldaketa nabaria sortzen du (Davis eta Annan 1989). Askotan

2.3.3.2. Uhinaren hedapena lurzoruan. Barneratze-sakonera

Barneratze-sakonera georradar energiaren islapen neurgarriak jaso diren sakonera maximo bezala definitu daiteke. Beste modu batera esanda, noraino ikusten ari garen. Indargabetzearen eraginez sakoneko egituretatik jasotako islapenen anplitudea txikiagoa da, energia gutxiago iritsi delako bertara eta bueltako bidean ere energiaren zati bat galduko delako. Beti dago sakonera maximo bat, lekuan lekukoa, zeinaren azpitik ezin den seinalerik jaso (Conyers 2013: 52).

Barneratze-sakonera indargabetzearekin zuzenean lotuta dago (Conyers 2012: 95) eta, ondorioz, uhinaren maiztasuna eta zeharkatzen duen ingurunearen propietate fisikoen arabera da (Conyers 2013: 53; Goodman eta Piro 2013: 20; Neal 2004). 2.3.1.5. atalean ikusi bezala maiztasun altuak lehenago indargabetzen dira, ondorioz barneratze-sakonera txikiagoa izaten dutelarik. Inguruneari dagokionez eroankortasuna da gehien eragiten duen faktorea; zenbat eta ingurua eroankorragoa izan, orduan eta lehenago xahutuko da energia (Conyers 2013: 53).

Georradarraren erabileran onartua izan da buztin hezeek ez dituztela baldintza egokiak ematen eroankortasuna dela eta radar energia berehala indargabetzen delako, eta ingurune lehorretan, berriz, kontrakoa gertatzen dela (Conyers 2013: 53). Hala ere, badira kontrakoa erakusten duten adibideak (Conyers 2012: 98). Izan ere, konposizioaren arabera buztinak erresistiboak izan daitezke (Conyers 2012: 101), edota basamortuko lurrek, nahiz eta lehor egon, zirrikituetan eroankorrak diren gatzak meta ditzakete (Conyers 2013: 53).

Garrantzitsuena eroankortasun elektrikoa da, nahiz eta aurretiaz determinatzen zaila den (Conyers 2013: 55). Horregatik, kontuan izan behar da eroankortasun altuko inguruetan barneratze-sakonera txikia izango dela, erabiltzen den maiztasuna edozein delarik ere (Conyers 2013: 57).

2.3.3.3. Bereizmenean eragiten duten faktoreak

Georradar datuak hiru dimentsiotakoak izanda, bereizmen bertikala zein horizontala hartu behar dira kontuan. Uhin luzera da bereizmena finkatzen duen faktore nagusia, eta autore batzuen arabera detektatu daitekeen objektu txikiaren tamaina uhin-luzeraren % 40koa da (Conyers 2013: 62). Hala ere, maiztasun jakin bateko uhinak lurzoruan izango duen uhin-luzera kalkulatzea oso zaila da, beste gauzen arten hedatze abiaduraren mendekoa delako (ikusi 2.10 adierazpena). Hori dela eta, zeharkatzen duen ingurunearen konstante dielektrikoaren arabera uhin luzera aldatu egingen da (Conyers 2013: 63), nahiz eta zenbat eta maiztasun altuagoa orduan eta uhin-luzera txikiagoa erlazioa beti beteko den.

Profilen arteko aldeak ere eragin nabaria du lortzen diren datuen bereizmenean, igorritako izpiak kono itxura izan arren, energia gehiena erdigunean igortzen delako (Conyers 2013: 71; Neubauer et al. 2002). Objektu baten gainetik pasa garela ziurtatzeko profilen arteko aldeak objektuaren tamainakoa edo txikiagoa izan behar du. Horregatik, profilak zenbat eta gertuago egon, orduan eta bereizmen altuagoko irudiak lortuko dira.

Radar izpiaren oinatzak ere eragiten du bereizmenean. Izan ere, objektua oinatz baina askoz txikiagoa bada, iristen den energiaren zati txiki bat besterik ez du islatuko, eta zaila izango da detektatzea (Conyers 2013: 65). Maiztasun altuagoko antenek oinatz txikiagoa dutenez, objektu txikiagoak detektatzeko ahalmena dute. Maiztasun baxuagotan, eremu handiago batek hartzen du parte

islapen bakoitzean eta emaitza eremuaren batezbesteko bat bezala da. Horrela bereizmen baxuagoa lortzen da baina aldi berean irudi sinpleagoa (Conyers 2013: 69), kasu batzuetan interesgarriak ez diren irregulartasunak ekiditea lortu daitekeelarik. Bestalde, izpiaren dispertsioa dela eta sakonera handiagotan oinatza zabalagoa izango denez, bereizmena sakonerarekin txikiagotzen dela ondoriozta daiteke.

Bereizmen bertikala bata bestearen gainean dauden bi etenuneen artean bereizteko ahalmena da. Hori posible izateko beraien arteko distantzia bertikala uhin-luzera batekoa izan behar da gutxienez (Davis eta Annan 1989), bestela bakoitzetik datorren islapenen gainezarpenak ez duelako seinalea identifikagarria eginen (Conyers 2013: 67).

Ground-Penetrating Radar for Archaeology liburuan objektuaren tamainaren arabera erabili beharko liratekeen maiztasunen arau orokorrak aurki litezke (Conyers 2013: 65). Horretan oinarrituz, 1 metro bitarteko objektuak eta estratigrafia detektatzeko 400-900 megahertzeko antenak erabili beharko lirateke. 1-3 metro bitarteko objektuetarako, berriz, 500 MHz-200 MHz bitarteko antenak egokiak dira. Kontuan izan behar da ere 500 MHz maiztasunetik gorako energia 2 metro baino gehiago barneratzea arraroa dela, ez bada eroankortasun oso txikiko baldintzatan. Maiztasun altuagoko antenak (900 MHz-2 GHz) eraikinen pareten barnealdea aztertzeke edota ingeniari-tzian erabili ohi dira, oso barneratze txikia izan arren bereizmen altua dutelako (ikusitako adibidez Binda et al. 1998 edo Sala et al. 2011).

Bestalde, bereizmenarekin zuzenean loturik egon ez arren, interesgarria da kontuan hartzea egitura baten formak detektatua ez izatea eragin dezakeela. Snell-en legeari jarraituz, izpi erasotzailea eta islatutakoak etenunearekin sortzen duten angelua berdina denez, antenarekiko okertua dagoen lurrazpiko egitura batean islatzean uhina antenara ez bueltatzea gerta daiteke, era horretan ez delarik profiletan agertuko (Conyers 2013: 72). Forma ezberdineko egituratan izpien jokaera oso ondo azaldu dute *GPR Remote Sensing in Archaeology* liburuko 2.8. atalean (Goodman eta Piro 2013: 28-36).

2.3.4. Datu-prozesua

Georradar datuen prozesua bi fasetan bana daiteke. Alde batetik, profil bakoitzari aplikatu dakioken prozesu multzoa dago. Bestetik, profil guztiak datu-bloke batean integratuz *amplitude-mapak* sor daitezke, informazioaren adierazpen intuitiboago bat lortuz. Hauetan, *time slice* edo *denboran-sailkatze* deritzon teknika erabiliz, miaketa azalera osoan sakonera tarte bati dagozkion islapenak irudikatzen dira. Betiere neurturiko joan-etorri denbora sakonerara bihurtzeko uhinaren hedatze abiadura erabili behar da. Bestalde, lortutako irudien hobetze teknikak daude, kontrastearekin jolastea adibidez.

2.3.4.1. Abiaduraren estimazioa

Sakonera kalkulatzeko nahikoa da 2.22 ekuazioa erabiltzea, baina aztarnategi batean miaketaren momentuko baldintzetan abiadura zein izango den alde aurretik ezagutzea ez da ohikoa izaten. Horregatik, abiadura estimatzeko modu ezberdinak erabili ohi dira: behaketa zuzena, *erdigune amankomunaren teknika* bezala itzuli daitekeena (*Common midpoint*, CMP) edo hiperbolen analisisa (Cassidy 2009a: 158). Edozein sistema erabilita ere, kontuan izan behar da luraren konposizioa heterogeneoa dela eta horregatik puntu batetik bestera eta sakonera ezberdinetan abiadura aldatu egingo dela (Conyers 2013: 109; Teixidó et al. 2013). Horregatik, ahal den neurrian abiaduraren

kalkulua ez da puntu bakarrera mugatu behar, nahiz eta ondoren datu multzo osoaren bihurketa egiteko batezbesteko abiadura bat erabiltzea nahikoa izan ohi den (Conyers 2013: 127).

$$d = \frac{1}{2} v t \quad (2.22)$$

Uhinaren distantzia eta joan-etorri denboraren arteko erlazioa, non d sakonera, v abiadura eta t joan-etorri denbora diren.

Behaketa zuzena. Sakonera ezagunera dauden objektuen islapena radargrametan identifikatu ostean, dagokion denbora atera daiteke. Bi datu horiek ezagututa 2.22 ekuazioa erabiliz kalkulatzen da abiadura.

Erdigune amankomunaren teknika edo *Common midpoint* (CMP). Honetarako bi antena erabili beharra dago. Erdigune finko bat mantenduaz neurketa ezberdinak egiten dira antenak beraien artean aldentzen doazen heinean. Etenune ezberdinek sorturiko islapena horietako radargrama bakoitzean identifika badaiteke, eta antenen arteko distantzia ezaguna bada, geruza bakoitzari dagokion abiadura kalkula daiteke (ikus Conyers 2013: 115-116 argibide gehiagorako).

Hiperbolan analisia. Objektu puntualek sortzen duten hiperbolaren itxura uhinak zeharkatutako materialaren batezbesteko abiaduraren arabera aldatzen da (Conyers 2013: 126). Zenbat eta azkarragoa izan, orduan eta zabalagoa da hiperbola. Georradar datuak lantzeko erabiltzen diren programek hiperbola idealak radargrametan ikusten direneta egokitzen dituzte, eta hortik abiadura kalkulatzen dute (Goodman 2016: 202-206).

Hiru sistemen artean behaketa zuzena da zehaztasun handiena ematen duena, nahiz eta beti ez den posible sakonera ezaguneko objektuen islapena edukitzea. Beste bi teknikekin estimaturiko abiaduraren errorea %10 edo okerragoa izan ohi da (Cassidy 2009a: 159). Radargrametan hiperbola argiak dauden kasuetan horien analisia oso baliagarria da eremu zabaletan puntu ezberdinetako batezbesteko abiadurak kalkulatzeko. Erabiltzen den sistema edozein dela ere, ezinbestekoa da abiadura kalkulatzeko erabiltzen diren datuak eta zuzenduko direnak garai berdinekoak izatea, georradar abiadura aldatu egiten baita ingurune baldintzen arabera (Conyers 2013: 127-128). Bestalde, radargrametan behatutako denboran errore txikiagoa egon dadin *zero denbora* deritzona lehenagotik doitzea beharrezkoa da (ikus Yelf eta Yelf 2006).

2.3.4.2. Banakako profilen prozesua

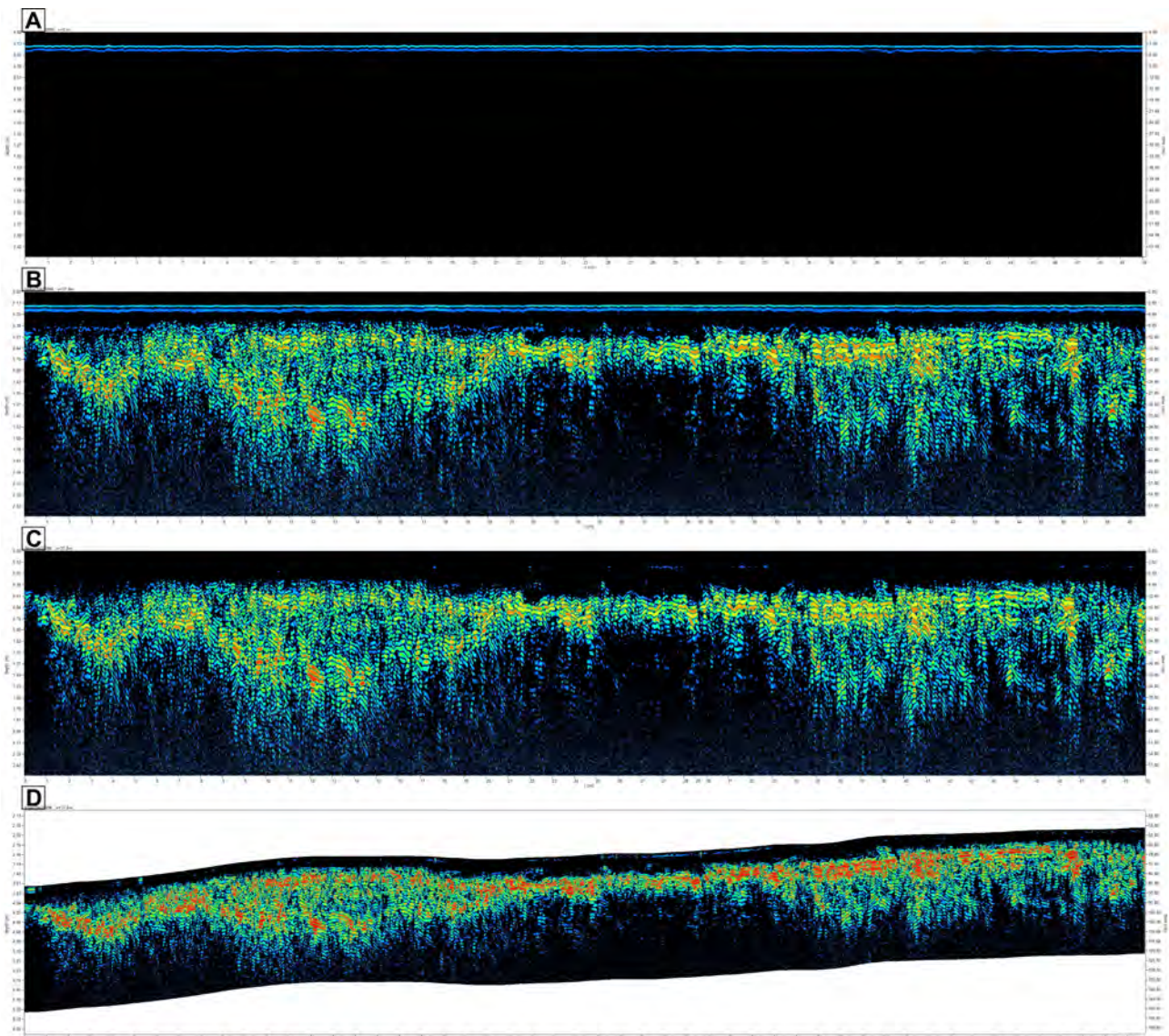
Profil bakoitzean zaraten eragina txikiagotu eta interesa duten seinaleak indartzeko filtro mota ezberdinak aplika daitezke. Helburua amaierako irudien itxura hobetzea den arren, filtro bakoitza aplikatzearen arrazoia ezagutzea gomendatzen da, interpretatzerako orduan irudietan izan dezakeen eragina kontuan eduki ahal izateko (Conyers 2012: 41).

Erabilitako georradar sistemaren arabera oinarritzko sekuentzia aldatu daiteke, batzuk filtro batzuekin gordetzen baitute jatorrizko seinalea. Filtro ohikoenak 2.3. taulan bildu dira, eta horien azalpenak

bibliografian aurki daitezke (Cassidy 2009a; Conyers 2013: 129-148). Profil batean duten eragina 2.15. irudian ikus daiteke.

Helburua	Filtroa
Seinalearen desbiderakuntza elektronikoa zuzendu	<i>Dewow</i> filtroa
Radar energiak sakonerarekin duen indargabetzea orekatu	Ganantzia filtroa
Lehen pultsuaren denbora orekatu	<i>Time-zero</i> zuzenketa
Sistemaren zaratek sorturiko banda horizontalak ezabatu	<i>Background</i> filtroa
Seinaletik maiztasun tarte batzuk ezabatu	Maiztasun filtroak: <i>Low-pass/ High-pass</i>
Hiperbolen adarrak jatorrizko puntura eraman	Migrazio filtroa
Anplitude txikien ikusgarritasuna handitu	Hilbert filtroa
Profilak miaketa eremuaren topografiara egokitu	Zuzenketa topografikoa

2.3. taula: Profilen gainean aplikatu ahal diren filtro batzuen eragina. Iturriak: Cassidy 2009a; Conyers 2013: 130.



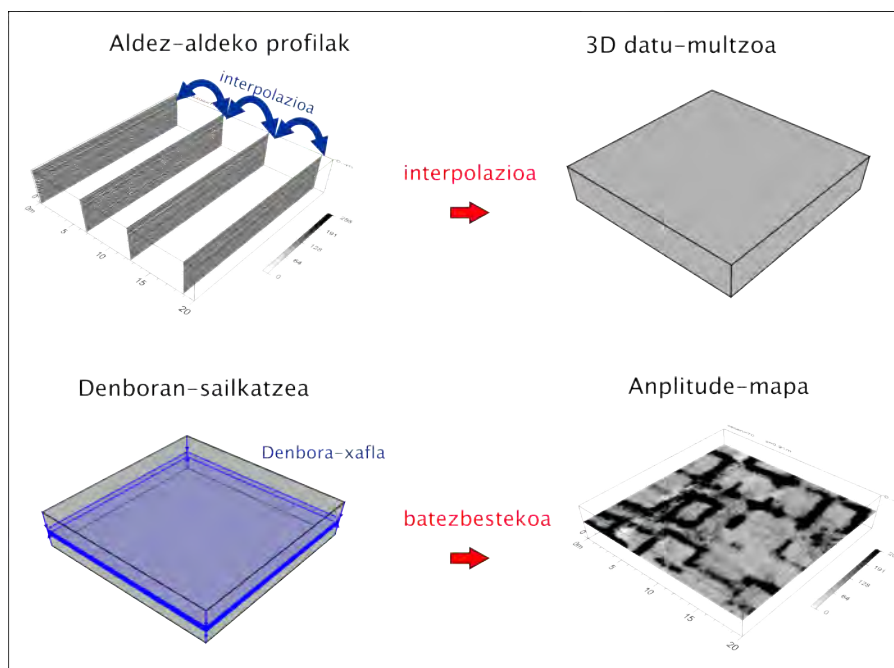
2.15. irudia: 2.3. taulan aipatutako prozesu batzuen eragina radargrama batean. A: Datu gordinak. B: Ganantzia eta Dewow filtroak aplikatu ostean. C: Background filtroa aplikatuta, gainazaleko banda jarraituak ezabatu dira. D: Radargrama berbera profilaren topografiara egokitu ostean.

Taulan azaltzen diren filtroen artean topografia zuzenketak eta migrazioak abiaduraren menpekotasuna dute, eta beharrezkoa da aplikatu baino lehen abiadura kalkulatzeko. Migrazioak objektu puntualen hiperbolak jatorrira kolapsatzeko balio du, horien adarrek sortzen duten distortsioa txikiagotzen duelarik. Hiperbolak indartsuak badira pausu hau beharrezkoa da anplitude-mapak sortu baino lehen (Conyers 2013: 139), bestelakoan adarrak objektua baino sakonera handiagoko mapatan agertuko baitira.

Topografia zuzenketaren bidez profilak gainazalaren topografiara egokitzen dira. Izan ere, georradar sistemak beti interpretatzen du eremua laua dela eta, zuzendu ezean, egiturak ez dagokien sakoneran agertuko dira, edota deformaturik azalduko dira irudietan. Topografia zuzenketaren oinarriak ezagutzeko bibliografiara jo daiteke (Goodman et al. 2006). Zuzenketa aplikatu ahal izateko beharrezkoa da miaketa eremuaren topografia ezagutzea.

2.3.4.3. Time Slice edo Denboran-sailkatze teknika

Teknika hau 90ko hamarkadan proposatu zuten Dean Goodman eta bere lankideek (Goodman et al. 1995). Honi esker radargramak baino askozaz intuitiboagoa den irudiak lortzen dira, eta beste metodologiez lortutako planoekin alderatzen errazak gainera. Ideiaren muina alde-alde jarritako profil guztien informazio bertikala zatika irudikatzean datza, sakonera ezberdinei dagozkien oinplanoak lortzeko (ikusi 2.16. irudia). Horietan radar energiaren islapena da irudikatzen dena.



2.16. irudia: Time Slice edo denboran-sailkatze teknika. Radargramatik abiatuta anplitude-mapak sortzeko era erakusten duen eskema. Sala et al. 2012 publikazioan argitaratutakoaren moldaketa.

Lehenengo eta behin ikertutako azalera guztia barneratuko duen 3D datu multzoa sortu behar da, egindako profil guztiak integratuz (2.16. irudia). Datuen arteko hutsuneak betetzeko (bai profilen artean zein profilen gaineko irakurketen artean) interpolazio matematikoa burutzen da. Datu blokea sortua delarik dimentsio bertikalean nahi haina zatitan bana daiteke, *time slice* edo *denbora-xafla* deritzon unitateak sortuz. Horietako bakoitzak miaketa eremu osoan baina denbora tarte batean

jasotako islapenak barneratzen ditu. Puntu bakoitzean tarte horri dagokion batezbestekoa eginez anplitude-mapak sortzen dira.

Anplitude-mapak sortzeko denbora tarte egokiena datuen analisia eginez erabaki daiteke (ikusi adibidez Tamba 2012). Hala ere, gehienetan profilen informazioan oinarrituz eta saiakera ezberdinen emaitza aztertuz erabaki ohi da. Zenbat eta lodiagoak izan denbora-xaflak, orduan eta nabariagoa izanen da batezbestekoaren eragina, eta islapen ahulagoak ikusten zailagoak.

2.3.5. Aplikazio tipikoak arkeologian

2.3.5.1. Paretak

Georradarraren aplikazio nagusienetakoa da lurzoruan dauden eraikinen deskribapena. Georradar bidez lorturiko irudiek lurzoruko egituren morfologia ongi erakusten dutenez, eta gainera hiru dimentsiotako informazioa lortzen denez, eraikinen oinplanoak zehaztasun handiz deskribatzeko aukera ematen du (ikusi adibidez *El Pueyo de Belchite* atala, Sala et al. 2016). Arrazoi berdina dela eta, egungo eraikin baten aurreko faseen aztarnak aztertzeko teknika baliagarria da, eraikin erlijiosoen eboluzioa ikertzeko erabili ohi delarik (ikusi adibidez Castelló d'Empúrieseko Santa Maria Basilika (Sala et al. 2012) edo Figueraseko Sant Pere eliza (Sala et al. 2016). Eliza barnealdeek gainera, baldintza egokiak eskaini ohi dituzte (lurzoru laua eta leuna, zarata elektromagnetiko gutxi).

Paretak ongi bereizten dira normalean, bereziki harrizkoak edota beste material islakorretakoak badira (Conyers 2012: 155). Pezo edo adobezko paretak detektatzea zailagoa izan daiteke, bereziki inguruko sedimentu berberaz osaturik badaude. Pareta hauek oso homogeneoak badira ez dute radar energia islatuko, eta anplitude baxuko anomalia bezala ager daitezke (Conyers 2012: 158). Adobezko paretak desegitean material hori inguruan barreiatzen da eta islapen altuko geruza sor dezake (Sala et al. 2013). Adreiluzko paretak hezetasuna barneratzeko gaitasuna dute. Horregatik, pareta zein ingurua urez saturatuta badaude georradar seinalea ez islatzea gerta daiteke (Neubauer et al. 2009).

Paretak perpendikularki zeharkatzen badira radargraman hiperbola itxurako anomalia sortu ohi dute. Profila eta pareta norabide berberean badaude, berriz, paretak horizonte jarraitua erakutsiko du radargraman eta zailagoa izango da ongi interpretatzea. Gainera, datu-prozesuak irakurketa norabidean dauden seinalean eragiten duenez bereziki, ahal den neurrian profilak paretan norabide berdinean egitea ekidin behar da.

Bestalde, eraikinak behera etorri badira eta paretak nahas-masa horretan txertaturik badaude, baliteke eremu guztia islakorra agertzea eta paretak ezberdintzeko zailtasunak izatea. Kasu batzuetan, paretak eroritako materialen azpian jarraitzen badute (adibidez lurrazpiko oinarriek), posiblea da sakonera konkretu batean eraikinen oinplanoa deskribatu ahal izateko adina informazio biltzea (adibidez, Bienes Calvo et al. 2015).

2.3.5.2. Zoruak eta estratigrafia

Conyers-en arabera zoruak dira lurperatutako elementu arkitektonikoetan identifikatzen errazanak (Conyers 2012: 153). Trinkotutako buztin edo lurrak, harlauzek, adreilu edota beste materialez osaturiko zoruak anomalia lauak sortzen dituzte profiletan, eta anplitude mapetan zoruaren forma ikus

daiteke. Hala ere, islapenaren intentsitatea kontrastearen arabera denez, zoruak ez dira beti erraz detektatzen. Batzuetan beheko sua egin izan den gunean beroak azpiko lurra egosten eta gogortzen du. Ere horrek ura metatzeko gaitasuna eskuratzen duenez, radar energia ongi isla dezake (Conyers 2012: 154).

Gerta daiteke profiletan zoruak guztiz horizontalki ez agertzea, adibidez gainazala eta zoruaren arteko materialetan uhinaren abiadura-aldaketak ematen direlako (Conyers 2012: 153). Bestalde, miaketa eremua maldan badago zuzenketa topografikoa egin behar da zorua laua den ala ez argitu ahal izateko.

Estratigrafia geruza ezberdinak radar energia islatzeko gai direnean profiletan agertzen dira. Modu honetan sedimentu ezberdinez osaturiko unitate stratigrafikoak bereizi daitezke, nahiz eta batzuetan horien arteko kontrastea ez izan deskribapen egoki baterako behar adinakoa. Izan ere, bi unitate stratigrafikoren arteko ezberdintasuna barneratze dituzten materialetan edota kolore aldaketa sotiletan egon daiteke, eta ez dute zertan propietate elektromagnetikoen aldaketaren pareko izan.

2.3.5.3. Ehorzketak eta lur mugimenduak

Ehorzketak modu askotakoak izan daitezke eta detektatzeko gaitasuna horren arabera aldatuko da. Gorpuzkinak berak radar energia islatzea ez da erraza, ez dutelako ingurunearekiko kontrasterik sortzen ustelduta eta higatuta daudenean (Conyers 2012: 152). Aldiz, baldintza berezietan edota guztiz deskonposatu gabe dagoenean, baliteke gorpuzkina eta inguruaren artean kontrastea ematea (Conyers 2012: 144-145). Hala ere, ehorzketa osatzen duten elementuetatik 3 dira georradar bidez detektatu ohi direnak: mugitutako lurra eta jatorrikoaren arteko kontaktua, hilkutxa edota espazio hutsa, eta batzuetan ehorzketarekin loturiko objektuak (Conyers 2006).

Gorputzaren eremuan hilkutxa edo beste espazio hutsik mantendu bada, honek islapena sortuko du (Conyers 2012: 133). Askotan hori izaten da eliza barneetan dauden ehorzketen kasua, eta oso ongi detektatu ohi dira (adibidez Sala et al. 2007). Materialaren arabera kutzak berak sor dezake islapena, adibidez harrizkoa edo metalezkoa bada. Bestalde, kutxa apurtuz doan heinean eremua sedimentuz betetzen joan daiteke eta hori detektagarria izatea, edota bertan behera eroritako kutxa zein geratzen diren arrastoak sorturiko geruza fina detektatzea (Conyers 2012: 137). Bestalde, inolako arrastorik geratu ez arren, zuloa berriz tapatzerako orduan lurra askeago eta homogeenago geratzen da, lehenagotik izan zezakeen stratigrafia galduaz. Georradar profiletan stratigrafia galera hori bereiztea posiblea da (Conyers 2006).

Animaliek eragindako lur mugimenduek, zuhaitzen sustraiek, harriek edota beste egiturek ehorzketen antzeko itxura izan dezakete profiletan. Honela, ehorzketak beste egituretatik bereizteko giltzatariko bat tamaina da, banakako kasuetan bereziki, non dimentsioak mugaturik dauden (Conyers 2006). Beraz, ehorzketak ongi identifikatzeko anplitude mapetan duten forma eta banakako profiletan erakusten duten itxura konbinatzea beharrezkoa izan daiteke.

Ehorzketak ez diren lur mugimenduetan ere (estaliriko miaketa-zuloak, adibidez) stratigrafia galera izan daiteke horiek detektatzeko giltza. Betelanaren lurra homogeenoa bada islapen baxuko gune bezala agertuko da, baina material heterogeneoz bete bada (obra materialez edo harriz, adibidez) baliteke islakorra izatea.

2.3.5.4. Lubanarro eta siloak

Aurreko kasuan bezala, egitura hauen detektagarritasuna faktore ezberdinen menpe dago. Arrokan moztuta badaude, adibidez, betelana eta ebaketaren arteko etenuneak radar energia islatzeko moduko kontrastea sor dezake. Kasu horretan profiletan sekzioaren forma ikusterik egongo litzateke. Bestalde, lur mugimenduetan gertatzen den bezala, kasu batzuetan betelana eta inguruaren arteko kontrasteari esker detekta daitezke. Kasu hauetan, baliteke profiletan ikusgaitza izan arren anplitude-mapak sortzean egitura hauek nabarmentzea (ikus adibidez Verdonck et al. 2009).

2.3.5.5. Arkitektura elementuak

Georradarra lurrazpiko egiturak ikertzeko erabili daitekeen bezala, paretan barnealdea aztertzeke ere baliagarria da. Antenak paretan zehar garraiatuz hauen lodiera zein barneko egiturari buruzko informazioa lor daiteke. Hutsune edota hausturak, metalezko armadurak eta beste egiturak zein hezetan guneak georradar bidez detekta daitezke, eta metodologia lagungarria izan daiteke eraikinen zaharberitze prozesuetan (ikus adibidez Binda et al. 1998; Sala et al. 2016: *San Pau gune Historikoa* atala; Sala et al. 2011). Zenbait ikerketa taldek egurrezko habeen barneko ezaugarriak ere ikertzen ditu georradarra erabiliz (adibidez Martínez-Sala et al. 2013).

2.3.6. Zarata iturriak

Georradar seinalearen konplexutasuna dela eta zarata iturriak asko dira. Alde batetik, sistemaren elektronikarekin loturiko zarata dago, seinalearen kalitatean eragiten duena (ikus 2.3.2.2. atala). Bestalde, erabilitako maiztasuna telekomunikaziorako erabiltzen diren maiztasun tartearen barruan dagoenez kokaleku batzuetan interferentzia handia gerta daiteke, lurzorutik datorren energia maskaratzerraino heldu daitekeena. Horregatik telekomunikazio antena, portu, aireportu edota eraikuntza militarren gertutasuna aztertu beharreako da proiektua diseinatzerako orduan (Conyers 2013: 79). Arrazoi berberetatik telefono mugikorak antenetatik gertu ez erabiltzea gomendagarria da.

Antena eta lurraren arteko akoplamendu falta da zarata iturri nagusienetarikoa. Izan ere, energia ez bada ondo barneratzen seinalean aldaketak ematen dira profil berdineko puntu batetik bestera, eta horiek islapenek baino garrantzia gehiago izan dezakete. Akoplamendua gainazaleko material mota aldatzean gerta daiteke, ondorioz barneratze-sakonera gune batetik bestera ezberdina izatea eraginez (ikus adibidez Conyers 2013: 75, 3.23 irudia). Bestalde, lurrazala leuna ez bada antena eta lurraren arteko orientazioa aldatu egiten da, akoplamenduan aldaketa sortuz. Arazoa puntuala bada radargraman etenune bat bezala islatuko da (ikus adibidez Conyers 2013: 76, 3.24 irudia). Miaketa eremu osoa bada irregularra dena, seinalearen aldaketek izan dezaketen garrantzia hain da handia, non lurrazpiko egituretan islapenak ezagutezinak bihurtu daitezkeen (Sala et al. 2010). Horregatik berebiziko garrantzia du miaketaren momentuan gainazalaren egoerak, eta zenbait kasutan merezi du momentu egokiaren zain egotea (nekazaritza lurretan bereziki) edota lurrazala egokitzeko lanak egitea.

Batzuetan zarata interesatzen ez zaizkigun objektuek sortzen dute. Adibidez, metalezko armaduren edota hoditeriaren azpian dagoenaren irudia lortzea zaila izan daiteke, hauek sortzen dituzten hiperbolen adarrak direla eta. Hau oso heterogeneoak diren betelanetan ere gerta daiteke, hiperbola

asko sortuko baitira. Migrazioa deritzon prozesuaren bidez hiperbolen adarren eragina txikiagotzen den arren (ikus 2.3.4.2. atala), beti izango da egongo ez balira baino emaitza zaratatsuagoa. Bestalde, armadurek sortzen duten gainazala zeharkatzea gaitza izan daiteke, eta maiztasun egokia erabili behar da horretarako (ikus adibidez Conyers 2013: 86, 3.31 irudia).

2.4. Sistema Elektrikoa

Kasu honetan lurzorua deskribatzeko erabiltzen den propietate fisikoa erresistibitate elektrikoa da, hots, lurzorua korrante elektrikoaren garraioa oztopatzeko duen gaitasuna. Gaitasun hau material eroale kopuruarekin zuzenki lotuta dago.

Teknika hau lurzoruan korrante elektrikoa txertatu eta lurrean sortzen den potentzial-diferentzia neurtzean datza. Horretarako lau elektrodo erabiltzen dira, bi korrantea txertatzeko eta beste bi potentzial-diferentzia neurtzeko. Elektrodo horien kokapenaren arabera geometria ezberdineko dispositiboak sortzen dira, eta horrek eragina du neurketaren balioan. Oro har, elektrodoen arteko distantzia zenbat eta handiagoa izan, orduan eta handiagoa da neurketan parte hartzen duen lur bolumena, eta beraz ikerketa-sakonera handiagoa da. Tamaina txikiko elementuak detektatzeko gaitasuna, aldiz, galdu egiten da zenbat eta lur bolumen handiagoa miatu. Modu honetan, elektrodoen arteko distantzia handitzean ikerketa-sakonera handitzen den arren, bereizmena txikiagoa izanen da.

Sistema elektrikoa bi modalitatetan erabili ohi da arkeologian: (1) eremu batean elektrodoen arteko distantzia finkatuta sakonera bati dagokion mapa sortzeko eta (2) lerro baten azpiko sekzioa aztertzeko. Azken hau egitura handiak aztertzeko erabili ohi da batik bat, lubanarroak adibidez.

Erresistentzia elektrikoan eragin handia du ingurugiroko hezetasunak, eta horregatik urtaroen arabera egitura berdinak kontraste ezberdina erakutsi dezake. Sistema elektrikoa egitura arkeologiko ugari detektatzeko gai da, hala nola lubanarroak, siloak, arrokan ebakitako lurperatzeak, eta harrizko edo adreiluzko paretak.

Prospekzio elektrikoa teknika zaharrenetarikoa da eta kanpo eraginekiko egonkorra denez fidagarrienetarikoa ere bada. Arazorik larriena neurketarako behar den denbora da, elektrodoak desplazatu beharrak asko luzatzen baitu eta eguneko ikertutako azalera beste teknikekin iker daitekeena baino askoz txikiagoa da.

2.4.1. Oinarrizko Fisika

2.4.1.1. Korrante elektrikoa, eremu elektrikoa eta potentzial-diferentzia

Karga elektrikoak mugimenduan daudenean sortzen da korrantea, sistema baten sekzio jakin batetik denbora unitateko pasatzen den karga kopurua bezala definitzen dena (Reitz et al. 1996: 162).

$$I = \frac{dQ(t)}{dt} \quad (2.23)$$

non I korrante elektrikoa eta $Q(t)$ t denboran sekzioa zeharkatzen duen karga kopurua diren.

Korrante elektrikoa garraiatzen duten kargak mota ezberdinetakoak dira. Metaletan, adibidez, elektroio askeek garraiatu ohi dute korrantea. Likidoetan, aldiz, bertan disolbaturiko ioiak izaten dira mugitzen

direnak. Aurrerago azalduko den bezala, lurzoru edo arrokatu korrante elektrikoa metatutako uretan disolbaturik dauden elektrolitoei esker garraiatzen da. Hau da, ioiak dira karga garraiatzen dutenak eta arroak euren poroetan duten urari esker dira eroaleak. Karga mota ezberdinak daudenean, ioi ezberdinak adibidez, bakoitzak bere ekarpena ematen dio korronteari.

Eroale baten muturren artean potentzial-diferentzia bat badago, eremu elektrikoa dela eta, karga elektrikoen gainean indar bat sortzen da eta honek kargak desplazatzera bultzatuko ditu. Korrante elektrikoa sortuko da. Potentzial-diferentzia eta eremu elektrikoa erabat lotuta daude 2.24 ekuazioaren bidez. Bertan adierazten denez, potentzial elektrikoaren aldaketak eremu elektrikoa sortzen du norabide horretan. Eremu elektrikoak bere eraginpean dagoen q kargaren gainean sortzen duen indarra 2.25 ekuazioak adierazitakoa da.

$$\vec{E} = -\vec{\nabla} V \quad (2.24)$$

non \vec{E} eremu elektrikoa, V potentzial elektrikoa eta $\vec{\nabla}$ gradiente matematikoaren ikurra diren.

$$\vec{F} = q\vec{E} \quad (2.25)$$

non \vec{F} indarra, \vec{E} eremu elektrikoa eta q karga elektrikoaren balioa diren.

Kargen mugimenduak potentzial-diferentzia txikiagotzera jotzen du, eta horregatik karga positiboak eta negatiboak aurkako noranzkoan mugitzen dira. Halere, biek sortzen dute noranzko berdinean doan korrantea, zeinari konbentzios karga positiboen norabidea ematen zaion (Reitz et al. 1996: 163). Kargak desplazatu heinean potentzial-diferentzia txikiagotu egiten da korrantea desagertu arte eta, horregatik, zirkuitu elektriko bat martxan mantentzeko beharrezkoa da energia iturri bat, pila bat edo generadore bat adibidez.

2.4.1.2. Erresistentzia eta erresistibitatea

Potentzial-diferentzia jakin baterako eroalean sortuko den korrantea, eroale horrek korronteari aurre egiteko duen gaitasunaren arabera da, hau da, erresistentzia elektrikoaren arabera. Beste modu batera esanda, erresistentzia elektrikoa eroale batek korrantearen garraioa oztopatzeko duen gaitasuna da. Matematikoki magnitude horien arteko harremana 2.26 ekuazioekin adierazten da. Intentsitatea anperetan (I) neurtzen da, potentzial-diferentzia voltetan (V) eta erresistentzia ohmetan (R).

$$(a) \quad I = \frac{V}{R} \quad (b) \quad R = \frac{V}{I} \quad (c) \quad V = R \cdot I \quad (2.26)$$

non I korrante elektrikoa, V potentzial-diferentzia eta R erresistentzia diren.

2.26 ekuazioetan argi geratzen ez den arren, erresistentzia elektrikoa ez da balio konstante bat eta faktore ezberdinen menpe dago, horien artean tenperatura. Gainera, erresistentziaren balioa aplikaturiko potentzial-diferentziaren menpekora ere bada oro har. Material eroale batzuetan, metaletan bereziki, Ohmen legea deritzona betetzen da eta erresistentzia konstantea kontsidera daiteke tenperatura jakin batean, baina ezin da lege hori material guztietara orokortu.

Horrez gain, erresistentzia elektrikoa propietate makroskopikoa da eta neurtu den laginaren masa eta formaren menpekora da. Horren orde erresistibitatea deritzon parametroa erabiltzen da, erresistentzia espezifiko izanik material ezberdinen arteko alderaketa egitea ahalbidetzen duena. Moduren batean,

erresistibitatea eta erresistentziaren arteko harremana ulertzeko dentsitatea eta masaren analogia erabiltzen dute autore batzuk (ikusi adibidez Schmidt 2013a: 13). Material ezberdinak alderatzeko orduan masa ez da erabilgarria, neurturiko material kantitatearen arabera delako, eta dentsitatea erabili behar da. Gauza bera gertatzen da erresistibitatearekin.

Metalezko zilindro batean erresistentziaren eta erresistibitatearen arteko erlazioa 2.27 ekuazioak ematen du. Bertatik ondoriozta daitekeenez erresistibitatea Ohm metroan ($\Omega \cdot m$) neurtzen da. Erlazio horrek barneratzen duenaren arabera, zenbat eta luzeagoa izan korronteak zeharkatutako bidea, orduan eta handiagoa izango da aurkituriko erresistentzia. Aldi berean, zenbat eta zabalagoa izan bidea (sekzioa) orduan eta errazago pasako da korrontea, eta ondorioz txikiagoa izango da erresistentzia. Beste geometria batzuetan erresistentzia eta erresistibitatearen arteko erlazioa konplexuagoa den arren, zilindro metalikoaren adibidea baliagarria da kontzeptu orokorra barneratzeko.

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S} \quad (2.27)$$

non R erresistentzia, L zilindroaren luzera, S zilindroaren sekzioa eta ρ erresistibitatea diren.

Bestalde, korrontea pasatzeko zailtasuna erabili beharrean erraztasuna erabiliz gero, eroankortasunaren kontzeptua sortzen da. Erresistibitatea eroankortasunaren alderantzizkoa da eta bien arteko erlazioa 2.28 ekuazioak adierazitako da. Eroankortasuna, beraz, korronte elektrikoak material jakin bat zeharkatzeko aurkitzen duen erraztasun bezala defini daiteke (Orellana 1982: 39). Nazioarteko sisteman siemens metroko (S/m) unitatean neurtzen da.

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \quad (2.28)$$

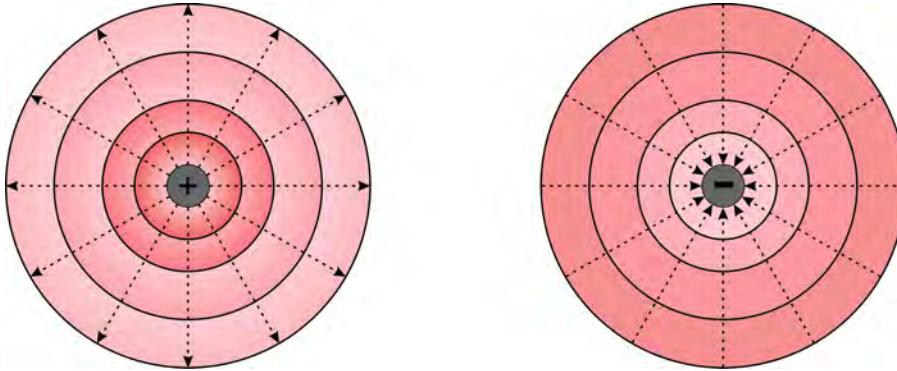
non ρ erresistibitatea eta σ eroankortasuna diren.

2.4.1.3. Eremu lerroak eta gainazal ekipotentzialak

Eremu lerroa eremu elektrikoaren egitura irudikatzen laguntzeko Faradayk asmatutako kontzeptua da, eremu elektrikoaren adierazpen grafikoa egitea ahalbidetzen duena. Definizioz, puntu bakoitzean dagoen eremu elektrikoak lerroarekiko tangentea den norabidea du (Reitz et al. 1996: 33), eta eremu lerroen dentsitatea eremuaren intentsitatearen adierazle da. Eremu elektrikoak karga positiboetan jaio eta karga negatiboetan hiltzen denez, eremu lerroak karga elektrikoetan sortu edo amaitu egiten dira.

Horrekin loturik dago gainazal ekipotentzialen kontzeptua. Gainazal hauek potentzial elektriko berdineko puntuak lotzen dituzte, eta eremu lerroen elkarzut dira definizioz (ikusi 2.24 ekuazioa). Kontzeptu hauek ulerterrazago egiteko topografiaren analogia erabiltzen dute autore batzuk (ikusi adibidez Schmidt 2013a: 14-20). Mapa topografiko batean altuera berdineko puntuak lotzen dituzten lerroek bezala, gainazal edo lerro ekipotentzialek potentzial elektriko berdineko puntuak lotzen dituzte. Mapa topografikoei behatuta urak egingo duen bidea marrazterik badago, beti malda (behera) makurrena hartuko duelako, eta hori topografia lerroekiko elkarzuta den lerroa da. Era berean, karga elektrikoek potentzial-diferentzia maximoa duen bidea hartuko dute, eta beraz eremu lerroak lerro ekipotentzialekiko elkarzut dira.

Karga isolatuetan eremu lerroak erradialak dira eta gainazal ekipotenzialak esferikoak. Karga positiboetan eremu lerroak sortu egiten dira eta potentzia elektrikoa txikiagoa da zenbat eta kargatik urrunago egon. Karga negatiboetan, aldiz, eremu lerroak bertan amaitu egiten dira eta potentzial elektrikoa txikiagoa da kargatik gertu (ikusi 2.17. irudia).



2.17. irudia: Eremu lerroak (marratxodun lerroez adierazita) eta gainazal ekipotenzialak karga elektriko isolatuen inguruan. Gainazal ekipotenzialen koloreak potentzial elektrikoaren balioa irudikatzen du, zenbat eta ilunagoa orduan eta handiagoa izanik.

2.4.1.4. Arroken erresistibitate elektrikoa

Erresistibitate elektrikoaren balioa hamarnaka magnitude-ordenetako tarte zabal batean aldatzen da material edo inguru ezberdinak kontuan izanda. Horren arrazoa mekanismo eta parametro askoren menpeko propietatea izatean datza (Orellana 1982: 40). Korronea garraiatzeko mekanismo eta erraztasunaren arabera materialak eroaleak edo erdieroaleak (biek korrone elektronikoa dute) edo elektrolitoak izan daitezke (korrone ionikoa dute). Azken hauek solidoak (dielektrikoak), likidoak edo gasak izan daitezke.

Lurzoruaren konposizioa oso heterogeneoa izan ohi da eta arroak mineral ezberdinen kontzentrazio aldakorrez osatuta daude, eta lekuan lekuko ezpurutasun klase eta graduak aurki daitezke. Naturan ohikoenak diren mineralak dielektrikoak dira oro har (kaltzita, kuartzoa, feldepatok, mikak, silikatoak) eta erresistibitate altuak dituzte ($\rho > 10^7 \Omega m$). Badira ere erdieroaleak diren mineralak (kalkopirita, magnetita, pirita, galena, ilmenita, kuprita; $10^{-6} \Omega m < \rho < 10^3 \Omega m$). Hala ere, hauek ez dira oro har bakarturik ageri baizik eta dielektrikoa den matrizeetan, mea metalikoetan izan ezik (Orellana 1982: 40-49).

Ondorioz, mineral-osaerari soilik behatuz gero arroka gehienak (eta horien higaduratik sorturiko sedimentuak) isolatzaileak direla esan behar da. Arrokek, baina, poroak izan ohi dituzte eta horietan ura egon ohi da, disolbaturik dituen ioiei esker elektrolito moduan aritzen dena. Horrela, arroka eroale ionikotzat jo daitezke, eta beraien erresistibitatea kasuan kasuko asko aldatzen da (Orellana 1982: 55). Lau dira arroka baten erresistibitatean eragiten duten faktore nagusiak (Marescot 2007):

- Elektrolitoaren kalitatea (gazitasuna): elektrolitoaren erresistibitatea ioi kopurua eta hauen mugikortasunaren menpekoa da, eta azken hau ioi mota bakoitzaren arabera da. Horregatik, disolbaturiko gatzen kontzentrazioa berdina izanagatik elektrolitoaren erresistibitatea dituen ioien arabera aldatuko da.

- Arrokaren porositatea eta permeabilitatea: Metatu daitekeen elektrolito kopurua porositatearen araberakoa da, baina mugikortasuna zuloen arteko loturen araberakoa. Izan ere, ioien ibilbidea moztu egiten da poroak konektatuta ez badaude, eta korrontearen jarioan eragiten du. Horregatik *porositate eraginkorra* edo *efektiboa* definitzen da, lotura duten poroak soilik kontuan hartzen dituen.
- Asetasun-maila: Poroak izateaz gain hauetan ura egon behar da korrontea garraiatuko bada. Asetasun-mailak poroen bolumen osoarekiko urak betetzen duen bolumena neurtzen du.
- Temperatura: Fluidoaren biskositatea txikiagotu egiten den neurrian ioien mugikortasuna handiagotu egiten da, eta ondorioz tenperaturaren hazkundeak erresistibitatearen txikitzea dakar. Poroetan dagoen ura izoztuko balitz, berriz, erresistibitatea izugarri handiagotuko litzateke ioien mugikortasuna guztiz eragotziko bailitzateke.

2.4.1.5. Korronte lerroak lurzoruan

Kobrezko hari batean korrontea konfinatuta dago, eta korronte-lerroek hariaren bidea jarraitzen dute. Lurrak, aldiz, ez du korrontearen bidea mugatzen eta honek errazena zaion ibilbidea jarraitzen du. Hori dela eta, korrontea ez da gainazalera mugatzen baizik eta lurzoruan barne barreiatzen da eta sakonera garrantzitsura hel daiteke (Clark 1996: 28). Lurra hiru dimentsiotako ingurunea denez korrontea ere hiru dimentsiotan barreiatuko da, betiere ibilbiderik errazena aukeratuz. Horregatik, jarraituko duen ibilbidea aurkituko duen erresistentziaren araberakoa da, eta ezin da zehaztu inguruaren erresistibitatearen distribuzioa ezagutu gabe.

Ingurune homogeanoan puntu batean korrontea txertatuz gero, norabide guztietan berdin barreiatuko da. Horregatik, korronte-lerroak erradialak eta gainazal ekipotentzialak esferaerdi-formakoak izango dira (ikus 2.18. irudia). Zenbat eta iturritik urrunago egon, orduan eta txikiagoa izango da eremu elektrikoa. Matematikoki eremua 2.29 ekuazioan adierazitakoa da, distantziaren karratuaren alderantzizko proportzioan txikitzen delarik. Bestalde, potentzial elektrikoa 2.30 ekuazioak adierazten du (Reitz et al. 1996: 107-108).

$$E = \frac{I\rho}{2\pi r^2} \quad (2.29)$$

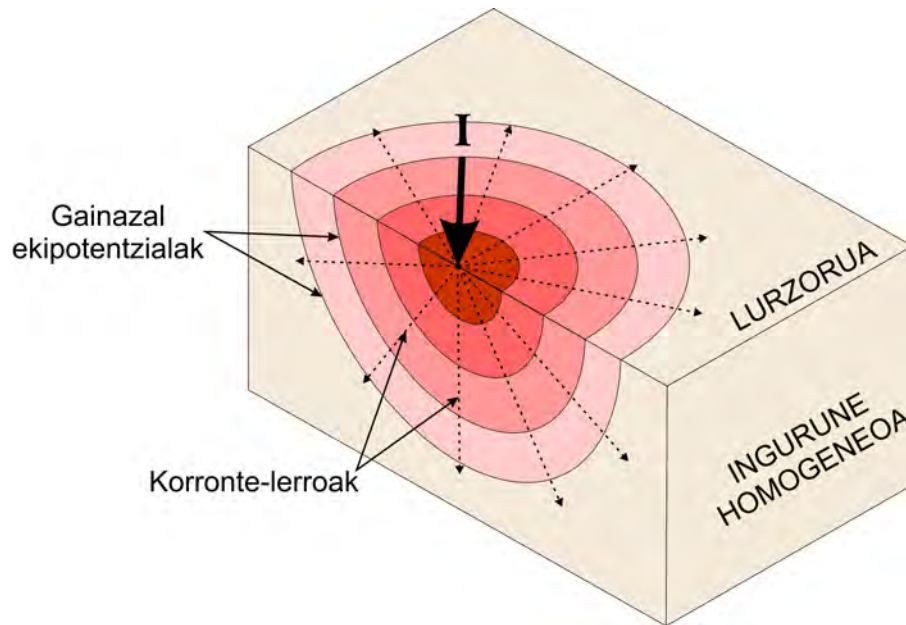
$$V = \frac{I\rho}{2\pi r} \quad (2.30)$$

non I korronte elektrikoaren intentsitatea, ρ erresistibitatea eta r korronte-iturria eta puntuaren arteko distantzia diren.

Potentzial elektrikoa magnitude batukorra denez, iturri asko dagoenean iturri bakoitzaren batuketa aljebraikoa egin behar da, eta ondorioz puntu jakin batean dagoen potentzial elektrikoa 2.31 ekuazioak adierazitakoa da.

$$V = \frac{\rho}{2\pi} \sum \frac{I_i}{r_i} \quad (2.31)$$

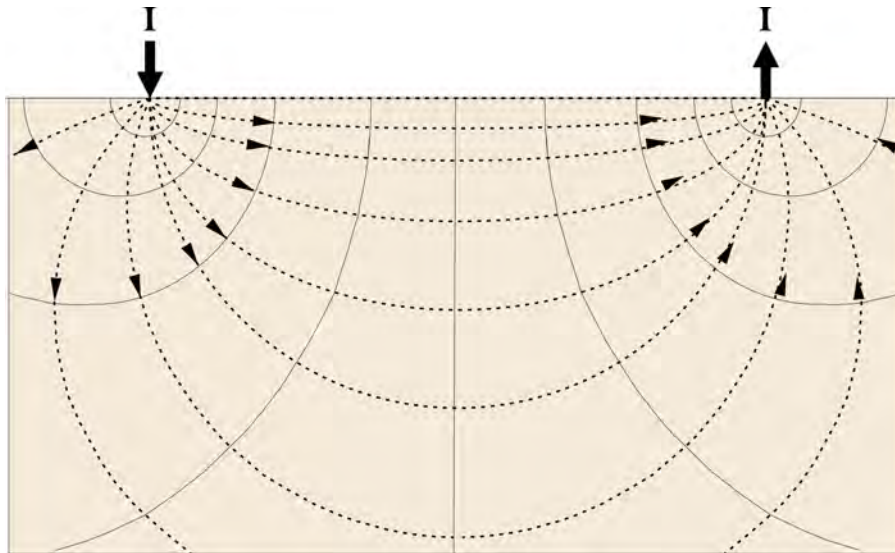
non I_i i. iturririk sartu edo ateratzen den korronte elektrikoaren intentsitatea, ρ erresistibitatea eta r_i i. korronte-iturria eta puntuaren arteko distantzia diren. Σ ikurrak batuketa adierazten du.



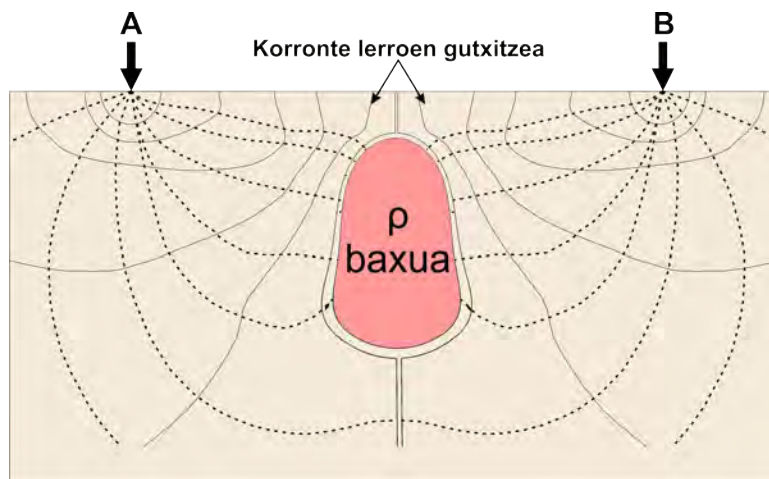
2.18. irudia: Korrante-lerroen (marratxodun lerroez adierazita) eta gainazal ekipotenzialen distribuzio tridimentsionala ingurune homogeneoan. Gainazal ekipotenzialen koloreak potentzial-diferentziaren galera irudikatzen du, zenbat eta ilunagoa orduan eta potentzial altuagoa izanik. Marescot 2007 publikaziotik moldatuta.

Neurketa elektrikoetan oso ohikoa da korrantea txertatzeko bi elektrodo erabiltzea (ikusi 2.4.2. atala). Kasu horretan elektrodo bakoitzaren inguruko korrante lerroak eta gainazal ekipotenzialak berdintsu mantentzen diren arren, zenbat eta gehiago urrundu orduan eta gehiago deformatzen dira, eta korrante lerroen dentsitatea txikitu egiten da sakonera handituz doan heinean (ikusi 2.19. irudia, Schmidt 2013a: 37). Korranteak sakonera mugarik ez duen arren, elektrodoetatik txertatutako korrantearen erdia, elektrodoen arteko distantziaren erdiak markatzen duen sakonera maximoa baino azalergo gelditzen da (Clark 1996: 29). Aurrerago ikusiko dugunez, elektrodoen distantzia handitzea ikerketa-sakonera handitzeko baldintzetariko bat da ondorioz. Hala ere, korrante dentsitatea ez da inoiz desagertzen baizik eta txikiagotuz doa sakonera handitu heinean. Horregatik, sakonera handian dagoen egitura batek neurketaren balioan eragin dezake, korrante dentsitate baxuan eragiteko adinako erresistibitate kontrastea badu (Schmidt 2013a: 35).

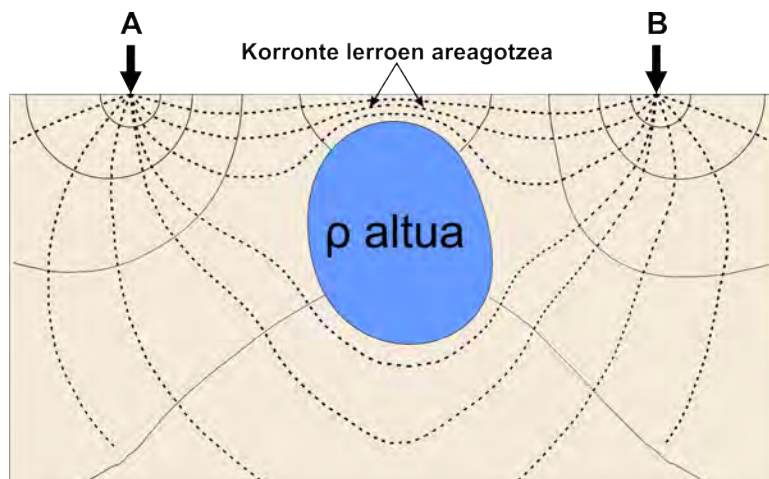
Ingurunea homogeneoa ez bada, 2.19. irudiko korrante lerroak aldatu egingo dira, eta hori da miaketa elektrikoak lurrazpiko elementuak detektatzea ahalbidetuko duena. Korrante elektrikoak ibilbiderik errazena bilatzen du, eta horregatik erresistibitate baxuko guneek korrante lerroak erakartzen dituzte. Erresistentzia altuko guneek, aldiz, korrante lerroak uxatzen dituzte. Horrek eragina du gainazaletik gertu dauden korrante lerroen dentsitatean, eta, ondorioz, gainazalean neurtuko litzatekeen potentzial diferentzian (Clark 1996: 37; Schmidt 2013a: 53-54). Izan ere, eroaleak gainazaletik gertuago pasatzekoak ziren korrante lerroak erakartzen ditu eta, beraz, dentsitatea jaistean potentzial diferentzia txikiagoa neurtuko da (ikusi 2.20. irudia). Erresistibitate altuko guneak korrante lerroak uxatzean, berriz, hauek gainazalean pilatzen dira eta potentzial diferentzia handiagotu egiten da (ikusi 2.21. irudia).



2.19. irudia: Bi elektrodo erabiliz ingurune homogeneoan sortzen diren korrante-lerroak (marratxodun lerroez adierazita) eta lerro ekipotentzialak (lerro arruntez adierazita). Schmidt 2013a publikaziotik moldatuta.



2.20. irudia: Ingurune homogeneoan erresistibitate baxuagoko gunea dagoenean sortzen diren korrante-lerroak (marratxodun lerroez adierazita) eta lerro ekipotentzialak. Schmidt 2013a publikaziotik moldatuta.



2.21. irudia: Ingurune homogeneoan erresistibitate altuagoko gunea dagoenean sortzen diren korrante-lerroak (marratxodun lerroez adierazita) eta lerro ekipotentzialak. Schmidt 2013a publikaziotik moldatuta.

2.4.1.6. Kontaktu elektrikoa eta polarizazioa

Lehenago aipatu bezala, neurketa elektrikoak egiteko elektrodoak txertatzen dira lurzoruan. Elektrodo hauek neurketan eragin dezaketen bi fenomeno pairatzen dituzte, polarizazioa eta kontaktuko erresistentzia hain zuzen.

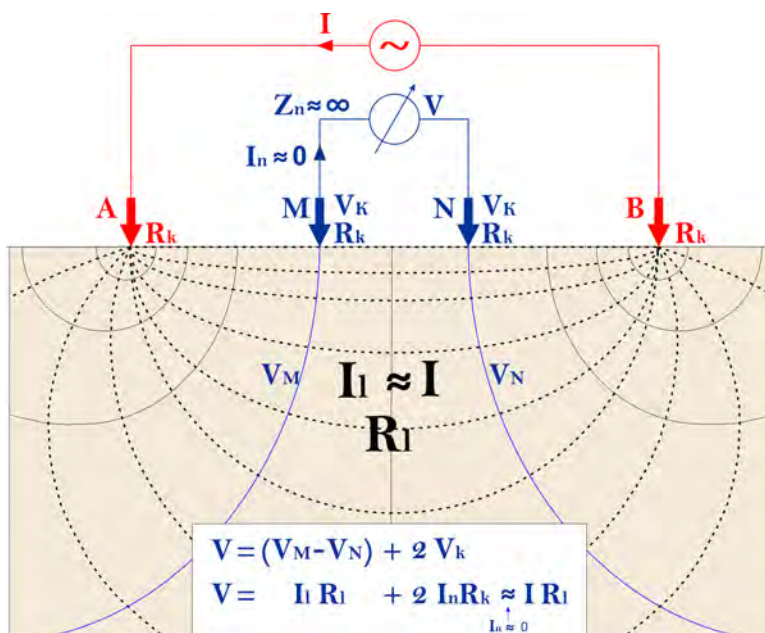
Polarizazio fenomenoak korrante alternoa erabiltzen konpontzen da. Izan ere, korrante zuzena erabilita ioi negatiboak elektrodo positiborantz erakarriak dira, eta ioi positiboak elektrodo negatibora. Era horretan elektrodo bakoitzaren inguruan aurkako kargadun ioiak pilatuz doaz. Hauek korrontearentzat langa modura jokatzen dutenez, denbora pasa ahala neurtzen den erresistibitatea handiagoa da (Clark 1996: 29). Korrante alternoak behin eta berriz norabidez aldatzen duenez, ioien metaketa eragozten du.

Kontaktuko erresistentzia elektrodoa eta lurraren artean dagoen kontaktu mugatuak sortarazten du (Clark 1996: 28; Schmidt 2013a: 109). Korronteak elektrodetik zorura pasatzean espazio hutsak gainditu behar izaten ditu, eta gainera zoruaren erresistibitatea handia izan ohi da metalarenaren aldean. Horrek guztiak elektrodoaren inguruan dagoen erresistentzia barneragoko zoruan egongo dena baino altuagoa izatea dakar. Neurketa egitean kontaktuko erresistentzia eta lurzorua erresistentziak hartzen dute parte eta, lehen askoz ere garrantzitsuagoa denez, neurketaren erabilgarritasuna deuseztatzen du (Schmidt 2013a: 109). Hori ekiditeko lau elektrodo erabiltzen da neurketa bakoitzean, bi korrante txertatzeko (A eta B) eta bi potentzial diferentzia neurtzeko (M eta N). Potentzial diferentzia neurtzeko erabiltzen den voltimetroak oso inpedantzia altua badu ($Z \sim \infty$), bertatik pasako den intentsitatea oso txikia eta ondorioz arbuigarria izanen da ($I_n \approx 0$). Modu honetan potentzial diferentzia neurtzeko erabilitako M eta N elektrodoen kontaktu-erresistentziak ez du eragingo, intentsitatea arbuigarria izanda bertan sortzen den potentzial erorketa oso txikia izango delako ($V_k \approx 0$, gogoratu 2.26(c) ekuazioa). Modu honetan voltimetroak neurtuko duen balioan lurzorua erresistentziak soilik eragiten du eta kontaktu-erresistentziaren eragina minimizatzen da (ikusi 2.22. irudia).

2.4.1.7. Neurketa elektrikoak eta erresistibitatearen kalkulua

Aurreko atalean azaldu bezala, neurketa bakoitzean lau elektrodo erabili ohi da. Elektrodo horien arteko konfigurazioa ezberdina izan daiteke, eta horrek neurketan eragiten du (Schmidt 2013a: 38). Izan ere, 2.30 ekuazioaren arabera iturria eta neurketa-puntuaren arteko distantziak potentzial elektrikoaren balioan eragiten du, eta hori elektrodoen konfigurazioarekin aldatuko da. Korrantea txertatzeko bi elektrodo erabiltzen denean, 2.31 ekuazioaren arabera bakoitzaren ekarpena izan behar da kontuan. Bietan korrontearen intentsitatea berdina den arren, elektrodo batetik sartu eta bestetik irteten denez, intentsitateak zeinu ezberdina izanen du. Horrela, A eta B ingurune homogeen batean korrantea txertatzen duten elektrodoak izanik, M eta N elektrodoen posizioan sortuko den potentzial elektrikoa 2.32 ekuazioek adierazten dute.

$$(a) V_M = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) \quad (b) V_N = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \quad (2.32)$$



2.22. irudia: Neurketarako lau elektrodo erabilia sortzen den zirkuitu elektrikoaren irudikapena. Korrante-lerroak (marratzodun lerroez adierazita) eta lerro ekipotenzialak ingurune homogeneoari dagozkie. M eta N elektrodoetatik pasatzen diren lerro ekipotenzialak urdinez margotu dira. k , n eta l azpiindizeek kontaktua, neurketa eta lurra adierazten dute hurrenez-hurren. Schmidt 2013a publikaziotik moldatuta.

non I lurrean txertatutako korrante elektrikoaren intentsitatea (positiboa A elektrodoan sartzean eta negatiboa B elektrodoan ateratzean), ρ erresistibitatea eta \overline{xy} x korrante-iturria eta y puntuaren arteko distantzia diren.

Ondorioz, 2.33 ekuazioak adierazten du neurtuko den potentzial diferentzia. Adierazpen horretatik erresistibitatea askatuta 2.34 ekuazioa lortzen da, eta txertaturiko korrante intentsitatea eta neurturiko potentzial diferentzia erabiliz ingurune homogeneoaren erresistibitatea kalkulatzeko ahalbidetzen du. Bertan agertzen den K faktoreari *dispositiboaren faktore geometrikoa* deritzo (Scollar et al. 1990: 138, Schmidt 2013a: 51), eta elektrodoen arteko konfigurazioaren menpeko faktore bakarra da (2.35 ekuazioa).

$$\Delta V = V_M - V_N = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right) \quad (2.33)$$

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.34)$$

non

$$K = 2\pi \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)^{-1} \quad (2.35)$$

Bestalde, 2.26 erabiliz neurketa bakoitzean korranteak aurkituriko erresistentzia ere kalkulatu daiteke (2.36 ekuazioa). Bertan ikus daitekeenez txertatutako korrantearen intentsitatea eta neurturiko potentzial diferentzia ezagutzea aski da erresistentzia kalkulatzeko. Erresistibitatea ezagutu nahi izanez gero, aldiz, neurketa bakoitzean erabilitako faktore geometrikoa ezagutu behar da.

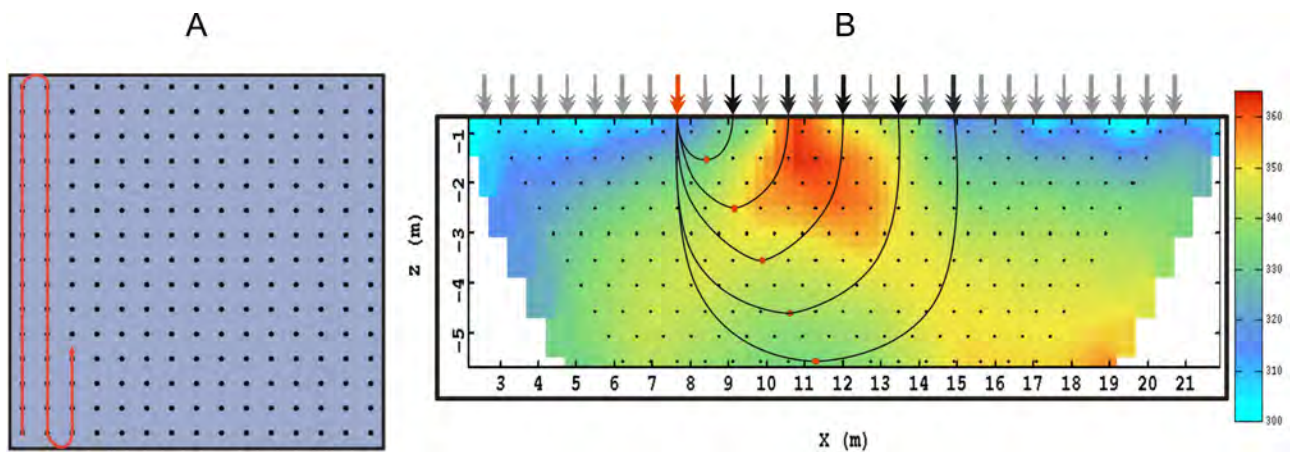
$$R = \frac{\Delta V}{I} = \frac{\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right) \quad (2.36)$$

2.4.2. Tresneria

2.4.2.1. Kartografia vs. tomografia

Miaketa elektrikoa egiteko bi teknika nagusitzen dira arkeologian (2.23. irudia). Batean eremu baten azterketarako mapa elektrikoa burutzen da. Bestean, aldiz, lerro baten estratigrafia aztertzekeo sekzio elektrikoa burutzen da. Lehen kasuan elektrodoak eremuan koadrikula bateko puntuetan zehar mugitzen dira beraien arteko konfigurazioa berdin mantenduz. Teknika horri kartografia elektrikoa edo kalikata elektrikoa deitzen zaio batzuetan (Orellana 1982: 395) eta gutxi gorabehera konstantea den sakonera batean dauden erresistibitate aldaketa horizontalak detektatzea du helburu. Aztarnategi batean dauden eraikinen planta ikertu nahi bada, adibidez, metodologia hau erabiliko da.

Bigarren kasuan, elektrodo asko kokatzen dira lerro batean, eta horien arteko konbinazio ezberdinei esker neurketa ugari burutzen dira bakoitzean lau elektrodo erabiliz. Teknika honi profil elektrikoa edota tomografia elektrikoa deritzo eta lerroaren azpiko sekzio bertikalean dauden erresistibitate aldaketa bertikalak aztertzea du helburu. Metodologia hau tamaina handiko elementu linealak aztertzekeo erabiltzen da nagusiki, sakonera handira heltzeko aukera ematen duelako baina bereizmena urria delako (adibidez lubanarroak).



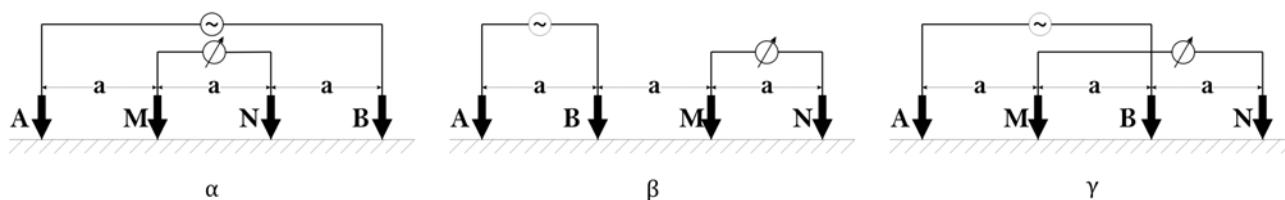
2.23. irudia: A. Kartografia elektrikoaren eskema. Eremu bateko puntu bakoitzean neurketa bat hartzen da elektrodoen konfigurazio berdina erabiliz. Modu honetan, sakonera bati dagokion mapa elektrikoa lortzen da. B. Tomografia elektrikoaren eskema. Lerro batean jarritako elektrodoen arteko konbinazio ezberdina erabilita sakonera ezberdinetako neurketak lortzen dira. Modu honetan, lerroaren azpiko sekzio elektrikoa lortzen da.

2.4.2.2. Dispositibo erabilienak

Neurketa bakoitzean erabili daitekeen elektrodoen konfigurazio kopurua mugaezina da, eta atal honetan dispositibo nagusiak aipatuko dira soilik.

Wenner konfigurazioan elektrodo guztiak lerro batean eta distantzia berdinerako kokatuta daude. Elektrodoen ordenaren arabera hiru azpi-sailkapen egiten da, α , β , eta γ (ikus 2.24. irudia). Kasu horretan faktore geometrikoa $K = 2\pi a$ da eta erresistibitatearen adierazpena 2.37 ekuazioarena.

$$\rho = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (2.37)$$



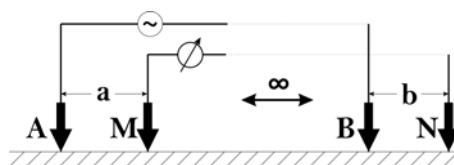
2.24. irudia: Wenner dispositiboaren hiru konfigurazioen eskema. A eta B elektrodoek korrontea txertatzen dute, eta M eta N elektrodoek potentzial diferentzia neurtu.

non I lurrean txertatutako korronte elektrikoaren intentsitatea, ρ erresistibitatea, ΔV M eta N elektrodoen artean neurturiko potentzial diferentzia eta a elektrodoen arteko aldea diren.

Arkeologian oso erabilia den konfigurazioa *polo-polo* deritzona da (ingeleraz *twin-probe* ere deitzen zaiona). Ikerketa honetan erabili den *Geoscan Research* etxearen *RM 15* sistemak, adibidez, konfigurazio hau erabiltzen du (2.25. irudia). Kasu horretan korronteko eta neurketarako elektrodo bana geldi uzten dira miaketa eremutik urrun, eta beste biak koadrikularen posizio ezberdinetan zehar mugitzen dira neurketak egiteko. Elektrodo mugikorren arteko distantzia, a , finko mantentzen da eta oso txikia da elektrodo mugikor eta elektrodo finkoen arteko distantziarekin alderatuz. Modu honetan, \overline{AB} eta \overline{MN} distantziak infinituak direla kontsidera daiteke $\overline{AM} = a$ eta $\overline{BN} = b$ distantzien aldean, eta 2.34 ekuazioa sinplifikatu egiten da. Polo-polo dispositiboaren faktore geometrikoa kalkulatu 2.38 ekuazioa lortzen da.

$$\rho = 2\pi \frac{ab}{a+b} \frac{\Delta V}{I} \quad (2.38)$$

non I lurrean txertatutako korronte elektrikoaren intentsitatea, ρ erresistibitatea, ΔV M eta N elektrodoen artean neurturiko potentzial diferentzia, a elektrodo mugikorren arteko aldea eta b infinituko elektrodoen arteko aldea diren.



2.25. irudia: Polo-polo dispositiboaren eskema. A eta B elektrodoek korrontea txertatzen dute, eta M eta N elektrodoek potentzial diferentzia neurtu.

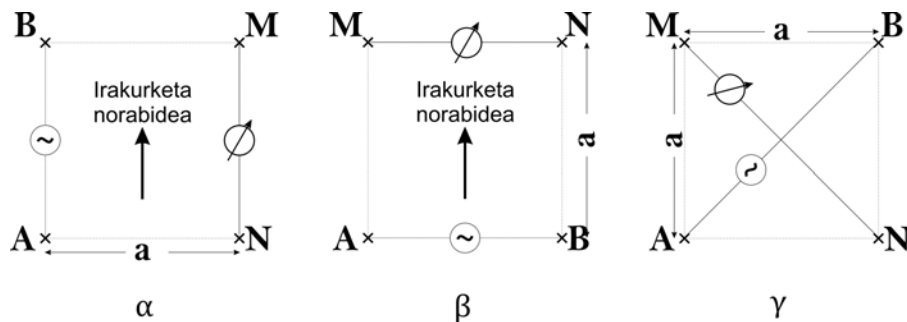
Konfigurazio hau erabiltzean kontuan izan behar da infinituko elektrodoak behar adinako distantziara jarri behar direla. Distantzia minimoa elektrodo mugikorren arteko distantziaren araberakoa da, eta 30 aldiz handiagoa izan behar duela onartzen da (Clark 1996: 44; Geoscan Research 2009: 9; Schmidt 2013a: 119). Hau da, 0,5 metroko aldea erabiltzean distantzia minimoa $0,5 \times 30 = 15$ metrokoa izan beharko da. Elektrodoen distantzia aski ez denean, lurzorua homogeneoa izan arren neurturiko erresistentzia ezberdina izango da koadrikularen puntu bakoitzean, faktore geometrikoa ezberdina izango delako (Schmidt 2013a: 119). Bestalde, infinituko elektrodoen arteko distantziak ere eragiten du neurketan. Elektrodo mugikorrak finko mantenduta, eta infinitukoak beraien artean aldentzean, neurturiko erresistentzia txikiagoa da. Baina posizioa aldatzean balioa zenbat aldatuko den ez da koadrikula guztian zehar berdina, baizik eta faktore baten menpekoa. Horregatik, infinituko

elektrodoen arteko aldeak kontrastean ere eragiten du (Schmidt 2013a: 121). Hau kontuan izanda egokiena infinituko elektrodoak miaketa guztian geldi uztea dela ondorioztatzea erraza den arren, eremu handietan kableen luzera mugatuak ezinezko egin izan ohi du. Aldaketa horrek eragin txikiagoa izateko prozedura ezberdinak aplikatu daitezke.

Autore batzuk (Clark 1996; Gater eta Gaffney 2003; Geoscan Research 2009) proposatzen dutena koadrikula batetik bestera pasa aurretik, elektrodo mugikorrek puntu batean finko mantendu eta neurtzen duten balioa apuntatzen da. Ondoren infinituko elektrodoak kokapen berrira eramaten dira eta horien arteko distantzia neurketa berbera eman arte mugitzen da. Prozedura honekin offseta mantendu egiten da baina kontrasteari eragiten dio. Horregatik, beste autore batzuk defendatzen dute hobe dela kontrastea mantendu eta ez hainbeste offseta, eta horregatik ondoz-ondoko koadrikuletan hobe dela infinituko elektrodoen arteko distantzia mantentzea (Schmidt 2013a: 136).

Elektrodoak lerro batean ordeztatu batean jartzean *dispositibo karratuak* lortzen dira. *Geoscan Research* etxearen *MSP40* gurpildun sistemak, adibidez, konfigurazio hau erabiltzen du. *Geocarta* enpresak garaturiko *ARP* sistemak trapezoidean antolatutako elektrodo sistema erabiltzen du. Bi korrante elektrodo baina hiru potentzial elektrodo bikote erabilita hiru datu multzo lortzen dira miaketa bakoitzean (Dabas 2009). Abantailatariko bat elektrodo guztiak batera mugitzean kablerik erabiltzeko beharrik ez izatea da.

Korrante eta potentzial elektrodoen kokapenaren arabera konfigurazio ezberdinak daude (ikus 2.26. irudia). α eta β konfiguraziotan aldatzen dena irakurketa norabidea duten orientazioa da. Ingurune homogean neurturiko potentzial diferentzia berdina den arren heterogeneitateak daudenean ez dute berdina neurtzen (Schmidt 2013a: 47). Konfigurazio bakoitzak norabide jakin bateko egiturak hobeto detektatzen dituzenez, α eta β konfigurazioak aldi berean erabiltzea aholkatzen da, anomalia nagusiak detektatzeko (Schmidt et al. 2015: 70). Dispositibo karratuaren α konfigurazioan ingurune homogean dagoen erresistibitatea 2.39 ekuazioan adierazi da, non I lurrean txertatutako korrante elektrikoaren intentsitatea, ρ erresistibitatea, ΔV M eta N elektrodoen artean neurturiko potentzial diferentzia eta a karratuaren aldea diren.



2.26. irudia: Dispositibo karratuaren eskema, α , β eta γ konfigurazioak dituen. A eta B elektrodoek korrantea txertatzen dute, eta M eta N elektrodoek potentzial diferentzia neurtu.

$$\rho = \frac{\sqrt{2} a \pi \Delta V}{1 - \sqrt{2} I} \quad (2.39)$$

2.4.2.3. Dispositiboen aukeraketa

Miaketa batean egokiena den dispositiboa erabakitzerako orduan bost dira kontuan izan beharreko parametroak A. Schmidt-en arabera (Schmidt 2013a: 114-115): sortzen diren anomalien intentsitatea, bereizmen horizontala, bereizmen bertikala, interpretatzeko erraztasuna eta erabiltzeko erraztasuna. Izan ere, dispositibo bakoitzak bere ezaugarri propioak ditu eta kasu batzuetan egokiago suerta daiteke.

Bestalde, dispositiboaren arabera korronea era ezberdinean barreiatuko denez lurzoruan, ikerketa-sakonera dispositiboaren arabera bada (Gaffney et al. 2002). Polo-polo dispositiboak, adibidez, wenner dispositiboak baino ikerketa-sakonera handiagoa du (Marescot 2007: 38), baina intentsitate baxuagoko anomaliak sortzen ditu (Schmidt 2013a: 114). Aldiz, wenner dispositiboak egitura baino zabalagoa izan ohi den anomalia sortzen du, polo-polo dispositiboan ez delarik hori gertatzen. Kasu batzuetan sortzen diren anomaliak ez dira egituraren formara egokitzen, adibidez gainazaletik gertu dauden objektu txikiak maximo-minimo-maximo anomalia sor dezakete (ikusi adibidez Schmidt 2013a: 3.11 eta 3.12 irudiak).

2.4.3. Anomalia elektrikoen ezaugarriak

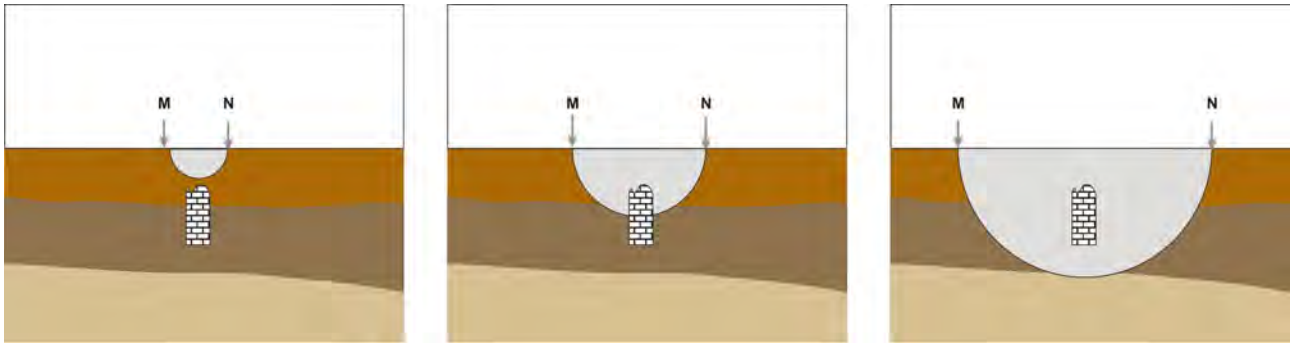
2.4.3.1. Itxurazko erresistibitatea

Lurzorua ez da inguru homogenea eta erresistibitate balio ezberdinak ditu sakonera zein posizio ezberdinetan. Horrek parametro ezagunetan oinarrituz (txertaturiko korronearen intentsitatea eta neurturiko potentzial-diferentzia) erresistibitate distribuzioa kalkulatzeko ezinezko egiten du, horretarako behar adina informaziorik ez dugulako (Schmidt 2013a: 50). Inguru homogeenari dagozkion adierazpen matematikoak inguru heterogeneoan egindako neurketei aplikatzean lortzen den erresistibitatearen balioari *itxurazko erresistibitatea* deritzen (ingelesez *apparent resistivity*). Kontzeptu hau oso erabilia da miaketa elektrikoan eta hori da neurketa esperimentalak adierazteko aldagai erabiliena, eta interpretaziorako oinarritzat hartzen dena (Orellana 1982: 112). Itxurazko erresistibitatea lurzoru homogeen batek eduki beharreko erresistibitatearen balioa da, egindako neurketaren emaitza errepikatu dadin. Ingurune homogeen baterako baliagarriak diren 2.4.2.2. ataleko ekuazioak, beraz, baliagarriak dira itxurazko erresistibitatea kalkulatzeko. Hala ere, lortzen den balio hori ez da lurrazpiko erresistibitateen batz besteko bat, baizik eta fikziozko balio bat.

2.4.3.2. Ikerketa-sakonera eta bereizmena

Dispositibo guztietarako, zenbat eta handiagoa izan elektrodoen arteko distantzia (a deitu izan zaiona 2.4.2.2. atalean), orduan eta sakonagoa izango da ikerketa-sakonera. Hala ere, arestian aipatu bezala, korronea ez denez guztiz desagertzen oso sakon dagoen egitura batek neurturiko erresistentzian eragingo du, erresistibitate kontraste altua badu (Schmidt 2013a: 79).

Hala ere, ikerketa-sakonera handitzean neurketan parte hartzen duen lur bolumena handiagoa denez, egitura txikiak detektatzeko gaitasuna galdu egiten da. Izan ere, egitura txikiak bolumen osoari egingo dion ekarpena arbuigarria izanen da, ez bada oso kontraste nabaria duelako behintzat (ikusi 2.27. irudia).



2.27. irudia: Elektrodoen arteko distantziaren arabera ikertzen den lur bolumena. Ikerketa-sakonera handitu egiten da, baina elementu txikiak detektatzeko gaitasuna galdu.

2.4.3.3. Anomalia elektrikoaren forma

Ingurune heterogeneoan sortuko diren anomalia elektrikoaren adierazpen matematikoa lortzea oso konplexua da. Gorputz sinpleei dagozkien batzuk bibliografian aurkitu daitezke (Orellana 1982: 405-416; Scollar et al. 1990: 316), eta erabilitako dispositiboaren geometria kontuan izanda sortuko duten anomalia teorikoa kalkulatzeko erabili. Adierazpen horiek ez dira hemen adierazi testu honen helburutik at daudelakoan, eta kontuan hartu beharreko zenbait ideia azpimarratuko da soilik. Horretarako, esferaren adibidea erabiliko da *Earth Resistance for Archaeologists* liburuan oinarrituz (Schmidt 2013a: 57-66).

Demagun r erradioko esfera z sakoneran aurkitzen dela, eta neurketak egiteko erabilitako elektrodoen arteko aldea a dela. Sortuko duen anomaliaren forman eragiten duten parametro nagusiak *sakonera efektiboa* ($Z = z/r$) eta elektrodoen arteko *distantzia efektiboa* ($A = a/r$) dira. Horrez gain, erabilitako elektrodoen dispositiboak ere eragiten du.

Elektrodoen distantzia mantenduaz sakonera efektiboa handitzean anomaliaren intentsitatea txikiagotu egiten da. Hala ere, anomaliaren forma ere aldatu egiten da eta, kasu batzuetan, egitura bakarrak tontor bat baino gehiago sor dezake. Sakonera finko baterako distantzia efektiboa aldatzeak ere anomaliaren forman eragiten du, eta kasu batzuetan objektu isolatzaileek erresistibitate baxuko tontorrek sortzea ere gerta daiteke. Bestalde, sakonera eta distantzia efektiboa aldatzeak duen eragina dispositiboaren arabera da eta, baldintza berdinetan, dispositibo bakoitzarekin neurturiko anomalia ezberdina da.

Wenner eta polo-polo dispositiboaren joera aztertuz bi ondorio atera daitezke (aldaketa kurbak Schmidt 2013a: 57-66 publikazioan ikus daitezke). Alde batetik, elektrodoen arteko distantzia bilatzen den egituraren tamaina baino txikiagoa izatea komeni dela. Bestetik, kasu horietan polo-polo dispositiboak sortzen duen anomalia wenner dispositiboak sortzen duena baino sinpleagoa dela.

2.4.4. Datu-prozesua

Sistema magnetikoan gertatzen den antzera, datu-prozesua hiru zatitan bana daiteke: datuen berrezarkuntza edo hobetzea, datu-prozesua eta irudien hobetzea (Schmidt 2013a: 131). Profilen kasuan bereziki, inbertsioa erabiltzea ohikoa den arren atal hori testu honen helburuetatik haratago dago eta ez da landuko.

Lehen atalean datuen homogeneousazioa burutzen da batik bat. Elektrodoen azpian erresistentzia altuko objektu bat badago, harria adibidez, irakurketan eragin dezake behar baino erresistentzia altuagoa neurtuaz. Balio altuko tontor isolatu horiek *despike* deritzon prozeduraren bidez ezabatzen dira. Modu honetan irudia lisoagoa agertzen da eta errazagoa da bai kontrastea doitzea zein beste anomalia linealei arreta jartzea (Schmidt 2013a: 141). Hala ere, tontor asko ageri den kasuetan egokiagoa izan daiteke datuak berriz ere hartzea (Schmidt et al. 2015: 104).

Miaketa luzeetan baliteke ingurugiro baldintzak aldatzea eta horrek lurzoruaren hezetasun mailan gorabeherak sortzea. Horrek erresistibitate balioan eragin dezake eta gertatzen da ondoz-ondoko koadrikulen artean alde nabaria egotea. Hori zuzentzeko *Edge matching* deritzen prozesuak erabili daitezke, alde amankomunen arteko balioak alderatuaz bi koadrikulen arteko aldea minimizatzen dutenak. Aldaketak ez badira oso bortitzak miaketa magnetikoan ere erabiltzen den *Zero-Mean grid* prozedura erabiltzea aski izan daiteke (Schmidt et al. 2015: 104). Hala ere ingurugiro baldintzen aldaketek kontrastean ere eragiten dutenez, alde handiagoa dagoenean prozedura horiek ez dira baliagarriak izaten eta histograma ekualizatu beharko zen (Schmidt 2013a: 140). Dena den, puntako kasutan efektu honen eragina ezin ezabatzea ere gerta daiteke (Schmidt et al. 2015: 104).

Bestalde, erabilitako dispositiboaren arabera irakurketa lerroen artean kontraste aldaketak ager daitezke, siga-saga moduan irakurtzean dispositiboaren geometria aldatu egiten delako (Schmidt 2013a: 141). Horren eragina *Zero-Mean line* prozeduraren bidez minimiza daiteke.

Miaketa elektrikoan filtrorik erabilienetarikoa *hi-pass* eta *low-pass* filtroak dira, tamaina txikiko edo handiko anomaliak nabarmentzeko hurrenez hurren. Egitura geologiko handiengatik edo hezetasun aldaerengatik ematen diren kontraste aldaketak arruntak dira miaketa elektrikoan eta arkeologia egiturek baino eskala handiagoan eragin ohi dute (Schmidt et al. 2015: 107). *Hi-pass* filtroak hondoaren aldaerak ezabatzen ditu eta modu honetan egitura txikiak nabarmentzen dira. Hala ere sarri sortzen dira artefaktuak eta anomaliak estuago dirudite (Schmidt 2013a: 147). *Low-pass* filtroak, aldiz, anomalia batzuk hobe definitzeko balio izan dezakeen arren difuminatze efektua ere eragiten du. Batzuetan tamaina txikiko anomaliak nabarmentzeko prozesu konbinatua egiten da: lehen pausu bezala datuei *low-pass* motako filtroa aplikatzen zaie (honetarako *Wallis filter* erabiltzen da batzuetan, ikusi Schmidt 2013a: 7. kapituluko adibideak). Jatorrizko datuen eta honela filtraturikoen arteko kenketa egitean tamaina txikiko anomaliak nabarmentzea lor daiteke (Schmidt 2013a: 170).

Irudi elektrikoak hobetzeko interpolazioa ere erabiltzen da, datu bereizmena artifizialki handitzea izan arren irudi leunagoa sor dezakeelako ezaugarri espazialak mantenduz (Schmidt 2013a: 153).

2.4.5. Aplikazio tipikoak Arkeologian

Sistema elektrikoak hezetasun mailarekiko menpetasun handia du eta hori da neurketa eragiten duen faktore nagusienetarikoa (Gaffney et al. 2002). Horren arabera, inguruak baino hezetasun baxuagoa duten egiturek erresistentzia altuko anomaliak sortuko dituzte, eta alderantziz. Hala ere, egituraren konposizioa eta formak, erabilitako elektrodoen disposizioak eta eguraldi aldaketek erresistentziaren detekzioan eragiten dutenez, kasu batzuetan interpretazioa konplexua izan daiteke (Clark 1996: 37).

2.4.5.1. Paretak, zoruak eta bideak

Sedimentu finagoan txertatutako harrizko paretak inguruak baino erresistibitate altuagoa izan ohi dutenez, erresistentzia altuko anomalia bezala agertu ohi dira. Adreiluzko paretak baina, ura xurgatzen dute eta ur eta gatz bezala egon daitezke. Hala ere inguruak baino erresistibitate altuagoa izaten dute normalean, baina kasu batzuetan erresistentzia baxuko anomalia sortzea gerta daiteke (Schmidt 2013a: 24).

Zoru gogorrek (baldosa, zementua edo *signinuma*, adibidez) ur gutxi metatu ohi dute eta erresistentzia altua izateko joera dute (ikus adibidez Neubauer eta Eder-Hinterleitner 1997b). Era berean, eraispena dagoenean, harri kopurua nabarmena bada erresistentzia altuko anomalia sortzeko joera izanen du.

Bideek ere egitura erresistibo gisa jokatu dute harriz edota gisa horretako materialez eginda badaude. Egitura luzeak diren heinean, tomografiaren bidez ikertzea interesgarria izan daiteke (ikus adibidez Tsokas et al. 2009).

Kasu batzuetan esperotakoaren aurkako kontrastea sortzea ere posiblea da. Adibidez, egitura lurrazaletik oso gertu badago eta korronteak ez badu gainetik pasatzeko tokirik, korronte lerroak paretaren azpitik pasatzeko joera izanen dute. Ondorioz, erresistibitate altua izan arren paretak erresistentzia baxuko anomalia sortuko luke (Scollar et al. 1990: 350). Bestalde, paretak bere gainean dagoen lurrian ura metatzea eragiten badu eta inguruko sedimentuak ura ondo iragazten badu, erresistentzia baxuko gune bezala detektatzea gertatu izan da (Schmidt 2013a: 25).

2.4.5.2. Lubanarro eta siloak

Arroka naturalean ebakitako egiturak hezetasun gehiago metatzeko joera dute, eta ondorioz erresistentzia baxuko anomaliak sortzen dituzte. Hori horrela gertatu ohi da kareharrian, legar geruzan edo erreka terrazetako hondarretan ebakitako egituretan, finagoa den edota buztin gehiago duen materialez bete direnean (Scollar et al. 1990: 359). Hala ere, lehorre luzeetan edota euri asko egin duen momentutan honelako egituren kontrastea desagertzea posiblea da, edo erresistentzia altuko anomalia bezala agertzea (Schmidt 2013a: 24-25).

Lubanarroak tamaina handiko egitura linealak izan ohi direnez, tomografia elektrikoekin aztertzea egokia izan ohi da. Elektrodoen lerroa lubanarroaren ibilbidearekiko elkarzut kokatuz, honen sekzioa aztertzeko aukera ematen du (ikus adibidez Nowaczinski et al. 2012).

Silo, putzu edo mota honetako egiturak miaketa elektrikoarekin ere detektatzea posible da, tamaina batetik aurrera bederen. Hala ere, askotan miaketa magnetikoan sortzen duten kontrastea nabariagoa denez, egokiagoa izan ohi da teknika hori erabiltzea (Scollar et al. 1990: 361).

2.4.5.3. Hutsuneak

Hutsa isolatzailea da eta ez du korrontea pasatzen uzten, eta ondorioz erresistentzia altuko anomaliak sor ditzake. Ehorzketak, adibidez, errazago detektatuko dira hutsa mantendu badute, sedimentuz bete badira baino. Hala ere, horiek detektatzeko gaitasuna duten tamaina, sakonera, eta dispositiboaren arabera izanen da (Scollar et al. 1990: 365). Beteta daudenean, hezetasun gehiago mantentzen badute erresistentzia baxuko anomalia gisa detektatuko dira.

Karsten testuinguruko zuloak bilatzeko teknika hau baliagarria izan daiteke, bereziki tomografia elektrikoa, sakonera handia ikertzea ahalbidetzen dutelako. Hala ere, beteta daudenean detektatzeko ahalmena betekinaren arabera izango da eta ez da beti hain erraz interpretatzen.

2.4.5.4. Sedimentuen potentzia

Kasu batzuetan arroka naturaleraino dagoen sakonera aztertzea interesgarria da. Hori gertatzen da, adibidez, historiaurreko aztarnategi batzuetan balizko okupazio eremuak bilatzeko orduan. Karaitzak erresistibitate altua izan ohi duenez, erresistentzia altuko anomaliak sortzen ditu eta horri esker detektatu ohi da. Kasu honetan ere, tomografia elektrikoa da erabili ohi den metodologia, helburua ez baita egitura txikiak deskribatzea baizik eta sakoneran dagoen distribuzioa aztertzea.

2.4.6. Zarata iturriak

Miaketa elektrikoaren arazoetariko bat elektrodoak txertatzean ematen diren kontaktu arazoak dira. Izan ere, lurraren erresistibitatea oso altua bada edo elektrodoaren ondoan isolatzailea den objektu bat badago (harria adibidez), irakurketan eragiten du intentsitate altuko tontorrak sortuz (Schmidt 2013a: 140). Miaketa eremuan horrelako irakurketa faltsu asko badago, datuen kalitatean eta interpretatzeko erraztasunean eragingo du.

Lurrean korrante parasitoak egoten dira, hau da, miaketarekin zerikusirik ez duten korrante elektrikoak. Horiek jatorri naturalekoak (korrante telurikoak) edo artifizialekoak (instalazio elektrikoak, trenbideak,...) izan daitezke (Orellana 1982: 271). Miaketan korrante alternoa erabiltzeak korrante zuzeneko parasitoen eragina ezabatzen laguntzen du (Clark 1996: 29). Elektrodoen polarizazioa ekiditearekin batera, korrante alternoa erabiltzearen beste abantailetariko bat da hau.

Bestalde, lurzorua laua ez denean korrante lerroen distribuzioa aldatu egiten da eta lur azpian dagoenarekin zerikusirik ez duten anomaliak ager daitezke. Korrante lerroak depresioetan areagotu egiten dira eta horregatik erresistibitate altuagoko gune bezala jokatzen dute. Tontorretan, berriz, korrante lerroak espazio handiagoan banatzen dira eta horregatik eroale bezala jokatzen dute (Orellana 1982: 416; Scollar et al. 1990: 349).

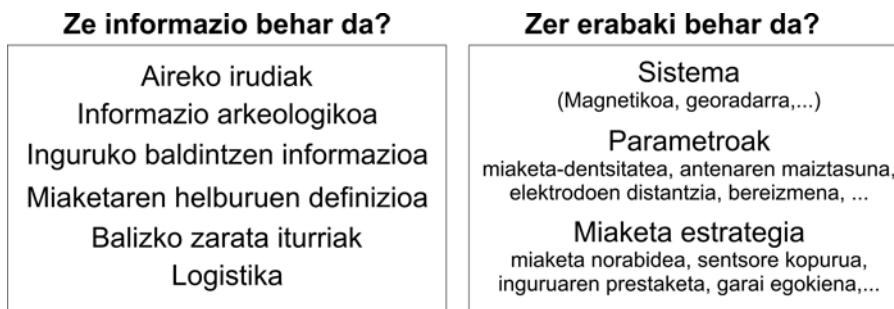
Eguraldi aldaketek ere eragin handia dute neurketa elektrikoetan. Arkeologiarako aplikazioak ikustean azaldu bezala, egituren kontrastean eragin dezake, batzuetan indartuz eta bestetan ezabatuz. Izan ere, egitura batek ura metatzeko joera badu eta horri eskerrak kontraste elektrikoa sortzen bada, hezetasun maila bat egotea beharrezkoa izango da detektatu ahal izateko. Baina euri asko egiten badu, baliteke inguruko lurra ere urez asetzea, eta ondorioz kontrastea ezabatzea. Muturreko egoerek, hau da, lehorte edo eurite luzeek, kontraste baxua sortu ohi dute oro har (Schmidt 2013a: 125).

Bukatzeko, miaketa eremuan egon daitezkeen geologia aldaketek ere neurketetan eragingo dute, normalean hondoaren batazbesteko balioaren aldaketa bezala agertuz (Schmidt 2013a: 147). Izan ere, geologia eta topografiaren arabera arkeologiarekin zerikusirik ez duten eskala handiko aldaketak eman daitezke hezetasun mailan, eta egitura arkeologikoek sorturiko anomaliak ezkutatuta agertu. Tendentzia horiek *Hi-pass* filtroak erabilia zuzendu ohi dira 2.4.4. atalean azaldu bezala.

2.5. Oinarri teorikoen ondorioak

Aurreko atalek nabaria bezain garrantzitsua den ondorio batera garamatzate: kasu guztietarako baliagarria den sistemarik ez dago. Izan ere, bakoitzak bere abantaila eta muga propioak ditu, eta lekuan lekuko baldintzen menpekotasuna bortitza da. Egoera bakoitzean egokiagoak izan daitezkeen sistemen katalogazioa egiteko saiakera ezberdinak aurki daitezke bibliografian (ikus, adibidez, English Heritage 2008). Hala ere, hainbeste dira kontuan hartu beharreko faktoreak, non ezinezkoa den guztiak barneratuko duen gidarik sortzea, eta kasuan kasuko azterketa egitea ezinbestekoa da. Beste modura esanda, sistema aproposenaren aukeraketa ez da automatikoa.

Horrela, miaketa proiektu baten lehen pausua informazioa biltzea da (2.28. irudia). Ahal den heinean informazio arkeologikoa, inguruko baldintzen gaineko informazioa, miaketaren helburuen definizioa, balizko zarata iturrien balorazioa eta logistikaren inguruko informazioa bildu behar dira. Horiek erabilia, erabiliko diren miaketa sistema, parametroak eta estrategia definitu behar dira. Beharrezkoa denean, horrek guztiak definituko du proiektuaren aurrekontua.



2.28. irudia: Miaketa geofisiko baten antolaketarako behar den informazioa eta hartu beharreko erabakiak.

Gauzak horrela, sistema geofisiko baten baliagarritasuna aztertuta ondorio orokorrak ateratzea zaila dela argi dago. Hala ere, aztarnategi arkeologikoekin gertatzen den bezala, marko geografiko bakoitzak bere ezaugarri propioak ditu eta errazagoa da inguruko lekuetako esperientziak erabilgarri suertatzea.

3. kapitulua

Aztarnategien aurkezpena

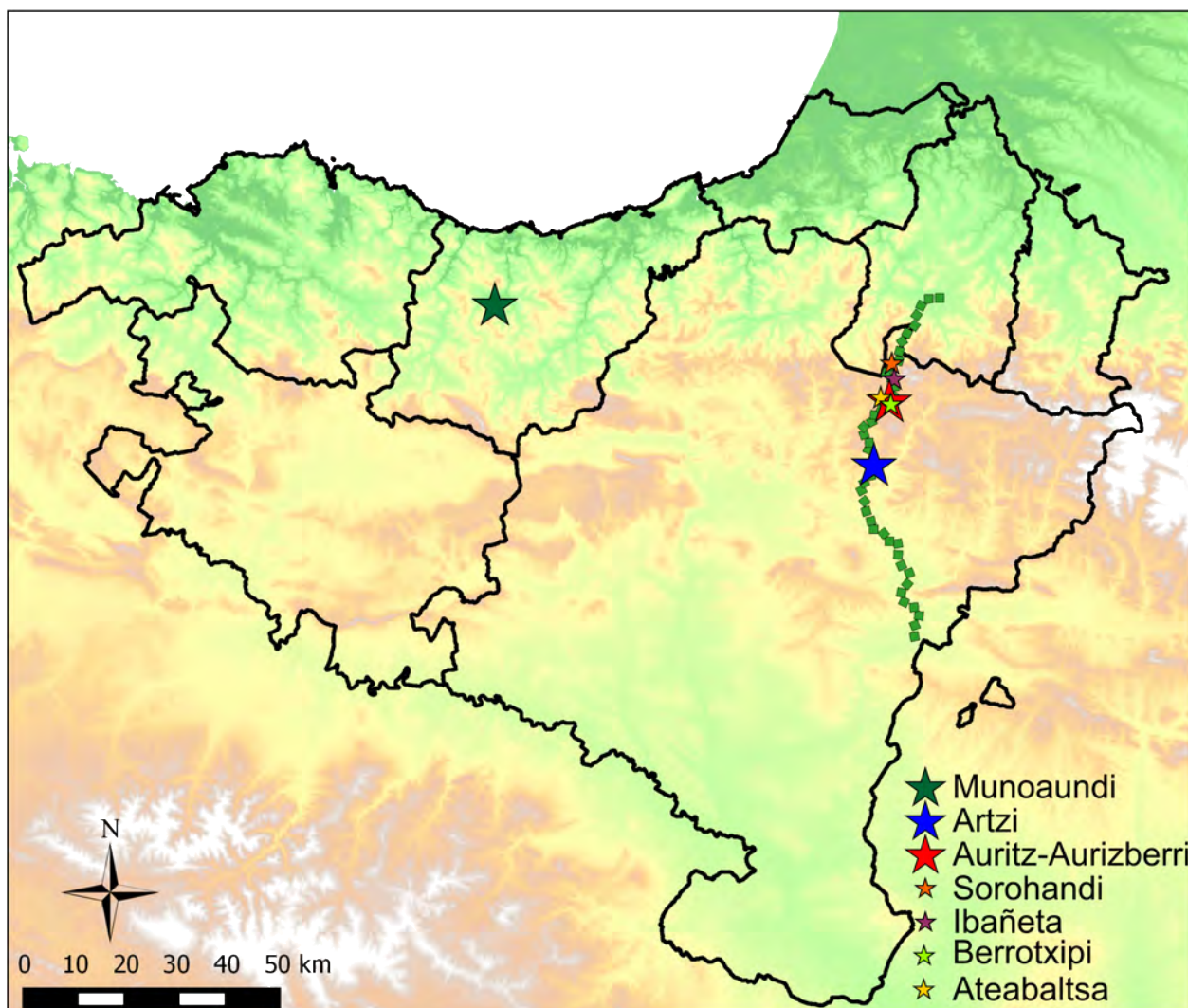
Aztarnategi arkeologiko ezberdinak erabili dira ikerketa honetan eta atal honen helburua horien aurkezpena egitea da. Aztarnategien artean Auritz-Aurizberriko aztarnategi erromatarra izan da ikerketaren muina eta ardatza. Izan ere, zabalera handiko aztarnategia da, eta eskaini dituen emaitza zein baldintzak egokiak izan dira ikerketaren arlo ezberdinak lantzeko. Aldi berean, Artziko aztarnategi erromatarrean ere miaketa sistema-anitzak burutu dira eta, horietan oinarrituz, indusketa arkeologikoak. Bi aztarnategi horietan ikerketaren erabakigunearen parte izateak erraztu egin du bai miaketa geofisikoen egitea, bai ondorengo indusketak horren beharretara bideratzea. Horregatik dira ondorio nagusiak eratorri dituzten proiektuak.

Munoaundi herri harresituan eta Pirinioetako beste aztarnategi txiki batzuetan ere burutu dira miaketak. Horietan sistema magnetikoa besterik ez da erabili, eta ez denez horretan oinarritutako indusketarik egin, ezin izan da alderaketarik burutu. Hala ere, hurrengo kapituluan ikusiko den bezala, miaketa magnetikoaren baliagarritasuna aztertzeko adibide egokiak izan dira.

3.1. Sarrera

Ikerketarako erabilitako aztarnategi ia guztiak erromatar garaikoak dira, eta Pirinioak zeharkatzen dituen galtzadarekin lotuta daude (ikus 3.1. irudia). Horren arrazoi nagusia tesi proiektu hau Aranzadi Zientzia Elkartean erromatar garaiko galtzadak ikertzen dituen taldearen baitan txertatu izana da. Honi esker, oraino ezezagunak ziren aztarnategietan ikerketa arkeologikoari bultzada nabaria egin zaio, sistema geofisikoen metodologia aztertzeko datuak biltzearekin batera. Horren adibide dira Auritz-Aurizberriko edota Artziko aztarnategiak, ikerketaren muina izan direnak. Horietan lehena da datu gehien eman dituen, besteen artean miatutako azalera zabalak (18 ha inguru) emaitzen aldaera asko ahalbidetu dituelako. Horregatik, hau izan da ikerketa-mota guztiak aplikatu zaizkion aztarnategi bakarra: miaketa magnetikoa, georradarra, elektrikoa, zundaketa geoarkeologikoak, suszeptibilitate magnetikoaren neurketak eta indusketa arkeologikoak.

Munoaundi herri harresitua, berriz, kontraste aztarnategi bezala erabili nahi izan da. Alde batetik garai ezberdinekoa delako, Burdin Arokoa hain zuzen, eta bestetik ingurugiro baldintzak oso ezberdinak direlako. Tamalez, miaketa magnetikoaren ostean ezin izan da beste sistemarik aplikatu.

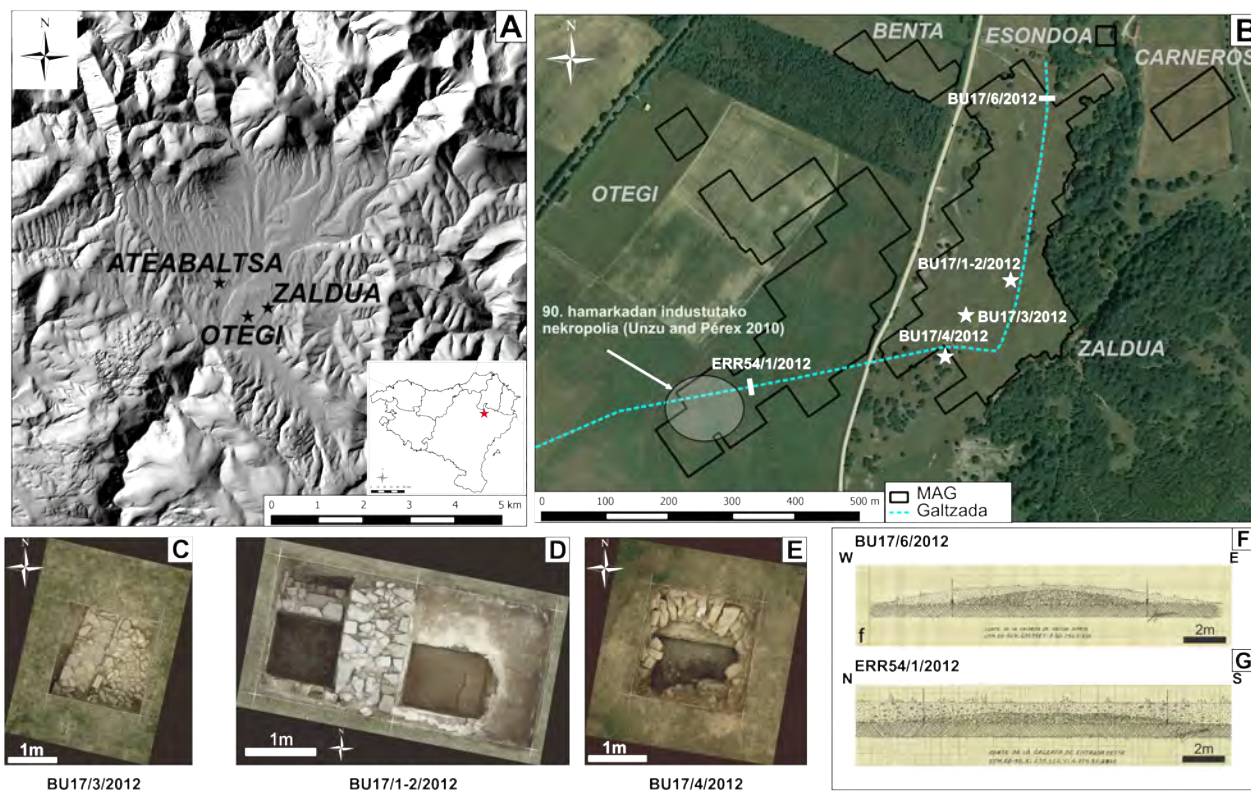


3.1. irudia: Ikerketan erabilitako aztarnategien kokapena Euskal Herriko erliebe mapan (iturria: Euskalgeo). Pirinioak zeharkatzen dituen erromatar garaiko galtzada ere adierazi da (iturria: Aranzadi Zientzia Elkarte).

3.2. Auritz-Aurizberriko aztarnategi erromatarra (Nafarroa)

Aztarnategia Nafarroako ipar-ekialdean kokatzen da, Pirinioen gailurren eta hegoaldeko bailaren artean dagoen goi-lautada batean, 890 metro inguruko garaieran (3.2. irudia, A atala). Klima epela da eta urte guztian zehar egiten du euria, neguan elurra ere bota ohi duelarik.

Eskualdea interesgarria da arkeologiaren ikuspuntutik. Izan ere, Pirinioak zeharkatzeko garai guztietan erabili den igarobide natural batean dago (Blot 1979). Inguru honetan erromatar garaiko arrastoak daudela XX. mendearen hasieratik aipatuta dago. Altadillen arabera 1878. urtean erromatar bidea materiala berrerabiltzeko desmuntatu zen, eta Iturissa *mansioa* Aurizberri iparraldean kokatua zegoela aipatzen du (Altadill 1922). Mansio hau iturri klasikoetan aipatuta dago (Ptolomeoren *Geografia*; Antoninoren *Ibilbidea*; Ravenako *Kosmografia*) eta bere kokapen zehatzari buruz luze aritu izan da literaturan (adibidez, Altadill 1922; Peréx eta Unzu 1990; Canto 1997). Hala ere, ez da momentuz mansioaren kokalekua finkatuko duen arrasto eztabaiaezinik aurkitu.



3.2. irudia: Auritz-Aurizberriko aztarnategi erromatarren kokapena eta testuingurua. A. Aztarnategiko Zaldúa eta Otegi guneen kokapena, zein Ateabaltsa aztarnategiarena LiDAR datuekin sorturiko itzal-maparen gainean. Txikian, kokapena Euskal Herriko mapan. B. 2012. urtean egindako miaketa-zuloak, 90ko hamarkadan induskatutako nekropoliaren gunea, erromatar galtzadaren ibilbidea eta miaketa magnetikoen eremuak 2013. urteko aireko argazkiaren gainean. C., D. eta E. BU17/3/2012, BU17/1-2/2012 eta BU17/4/2012 miaketa-zuloen emaitzen ortofotoak hurrenez-hurren. F. eta G. Erromatar galtzadaren ebaketa aztertzeke egindako BU17/6/2012 eta ERR54/1/2012 miaketa zuloen emaitza hurrenez-hurren. LiDAR datuak eta aireko argazkiaren iturria: ©Instituto Geográfico Nacional. Ortofotoak: Eujen Alonso. Galtzadaren ebaketaren marrazkiak: Juan Mari Mtz. Txoperena.

80ko hamarkadan Juan Mari Mtz. Txoperenak goldatu berritako lursailetan bildutako materialek aurkikuntza berriak egiteko bidea ireki zuten. 1985. urtean erromatar garaiko zeramika eta metalezko objektuak aurkitu zituen Ateabaltsa deituriko gunean (3.2. irudia, A atala) eta Nafarroako arkeologia arduradunak jakinaren gainean jarri zituen. M. J. Peréx eta M. Unzu zuzendutako hiru kanpainatan

nekropolia eta kontserbazio urriko asentamenduaren zati bat indusi ziren. Materialetan oinarrituz, bi gunek horiek K. a. I. eta II. mende bitartekoak zirela ondorioztatu zuten (Peréx eta Unzu 1998).

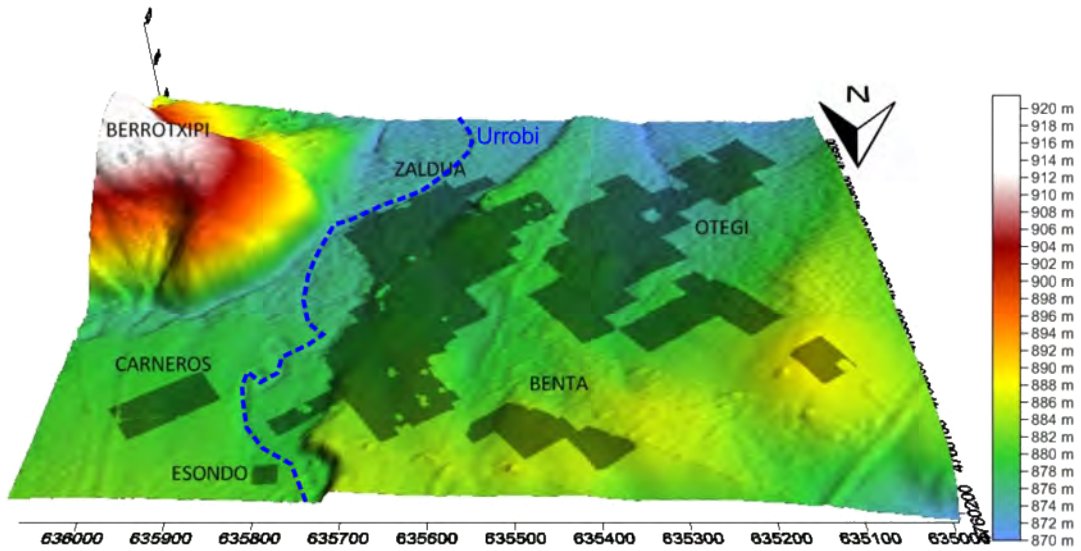
Urte batzuk beranduago, Txoperenak erromatar garaiko zeramika gehiago aurkitu zuen Otegi gunean (3.2. irudia), Ateabaltsatik 900 metrora kokatutako lursailean. Indusketek beste nekropoli bat eman zuten aditzera, bi mausoleogatik izan ezik, aurrekoaren ezaugarri berdinak dituen (Unzu eta Peréx 2010). Horrekin batean harriz estalitako eremu bat ere aurkitu zen, garaian azalpenik eman ez zitzaiona baina ikerketa honi esker orain galtzadari esleia dakiokena. Nekropoliak garai berekoak izanik, biak Ateabaltsan partzialki indusitako asentamenduari esleitu zitzaizkion, Iturissa bezala identifikatu zutena.

Ez da beste arkeologia lanik burutu inguru honetan, harik eta 2008. urtean Aranzadi Zientzia Elkarteak erromatar garaiko galtzada ikertzeko proiektua hasi zuen arte. Ikerketa honek Pirinioak Orreaga ingurutik zeharkatzen dituen ibilbidea du ardatz, eta aurkikuntza berriei esker orain arteko ibilbidean aldaerak proposatzeko aukera eman du (ikus Agirre-Mauleon et al. 2011; Agirre-Mauleon et al. 2014). Galtzadarekin loturiko arrastoez gain, landa-lanek okupazio gunek identifikatu dituzte, besteen artean Auritz-Aurizberriko aztarnategia (ikus Agirre-Mauleon et al. 2012a; Agirre-Mauleon et al. 2013). 2011 eta 2012 urteetan miaketa-zuloak burutu ziren eta Zalduako gunean uste baino dimentsio handiagoko erromatar garaiko eraikuntza arrastoak aurkitu ziren (Agirre-Mauleon et al. 2012b, 3.2. irudia). Aztarna hauek lehenago induskatutako bigarren nekropolitik gertu daude, eta bi kokapenak galtzadaren bidez lotuta.

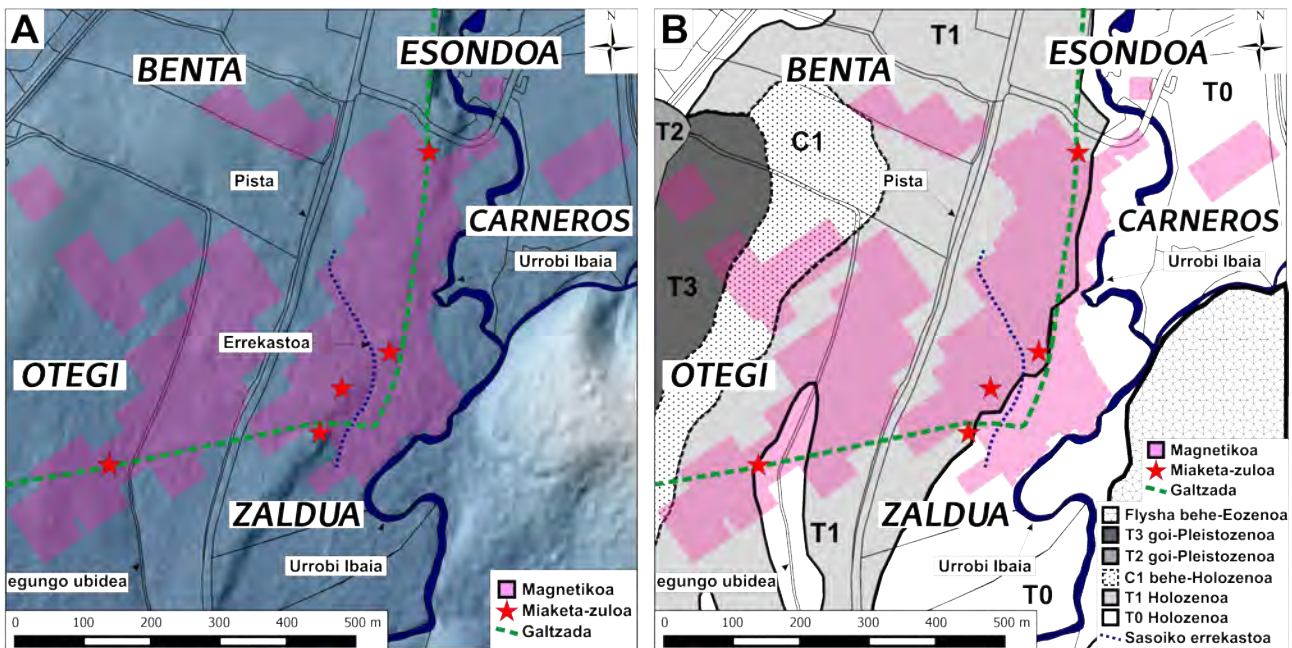
2012. urtera arte bildutako informazioek Zaldua gunean zabalera eta garrantzia handiko aztarnategia zegoela ematen zuten aditzera, okupazio eremuaren mugak ezagutzen ez ziren arren. Testuinguru horretan ikerketaren lantaldeak estrategia irautili eta geofisikari lehentasuna ematea erabaki zuen, ohiko lur indusketak bigarren maila batean jarritz. Era honetan aztarnategia ahalik eta gehien ezagutu nahi zen indusketa gehiago egin aurretik. Gainera, miaketa geofisikoak burutzeko aztarnategi aproposa da eta, aurkituriko aztarnen potentzia arkeologikoa ikusita, kontraste egokia sortuko zutela espero zen. Hurrengo urtetik aurrera ikerketaren partaide izanik, geofisika hasieratik txertatu da eta, helburu nagusia ikerketa arkeologikoa izan arren, egindako interbentzio batzuk tesi proiektu honetara bideratzea oso lagungarria suertatu da.

Aztarnategia Urrobi ibaiaren terrazetan dago, eta ibaiak ekialdeko muga bezala jokatzen du. Terraza ezberdinen topografia aldaketak nabariak dira eremuan, eta terrazetan ere ekialdera jaisten den malda leuna dago (3.3. irudia eta 3.4. irudia, A). Urrobi arroaren deskribapen geomorfologiko zehatza ezagutzen ez den arren, Nafarroako mapa geologikoan oinarrituz kuarternarioko buztin, lohi eta legar deposituek osatzen dutela esan daiteke (3.4. irudia, B).

Zaldua deritzon gunea gaur egun Arrobi Elkartearena den lursail handiago baten parte da. Lursail horren historia dokumentazioan bilduta dago eta horri eskerrak ez dela inoiz laborantzako lur bezala erabili jakin daiteke (hemen aurkeztu den informazioa Josepe Irigarayk emandako laburpen batean oinarritu da. Informazio gehiago Andrés-Gallego 1998; Irigaray 2016 eta Ostolaza 1978 publikazioetan aurki daiteke). Baliteke horren arrazoia lurraren erabilerarako zeuden baldintzetan egotea. Izan ere, Orreagako Ospitalearena zen garaitik Auritz-Burgueteko biztanleek larre bezala erabiltzeko eskubidea izan dute urteko hilabete batzuetan, eta horrek landatzeko epea laburra izatea dakar.



3.3. irudia: Auritz-Aurizberriko aztarnategi erromatarraren topografia, LiDAR datuetan oinarrituta (LiDAR datuen jatorria, ©Instituto Geográfico Nacional).



3.4. irudia: Auritz-Aurizberriko aztarnategi erromatarraren testuingurua. Erromatar galtzadaren ibilbidea, 2012an indusitako miaketa-zuloen kokapena, gaur egungo lursail-zatiketa eta miaketa magnetikoan ikertutako gunek adierazi dira. A. LiDAR datuekin sorturiko erliebe maparen gainean. B. Unitate geologikoen gainean (T: Urrobi ibaiaren terrazak; C: kolubioia. Nafarroako mapa geologikoan oinarritutako interpretazioa). LiDAR datuen iturria: ©Instituto Geográfico Nacional. Mapa geologikoaren eta lursail banaketaren iturria: SITNA. Galtzadaren ibilbidearen iturria: Aranzadi Zientzia Elkartea.

Zaldua gunean 2012an egindako miaketa-zuloetan potentzia arkeologikoa 2 metro ingurukoa zela ikusi zen, eta pentsatzekoa da laborantzarako erabili ez izanagatik gune honetan kontserbazioa altua izatea.

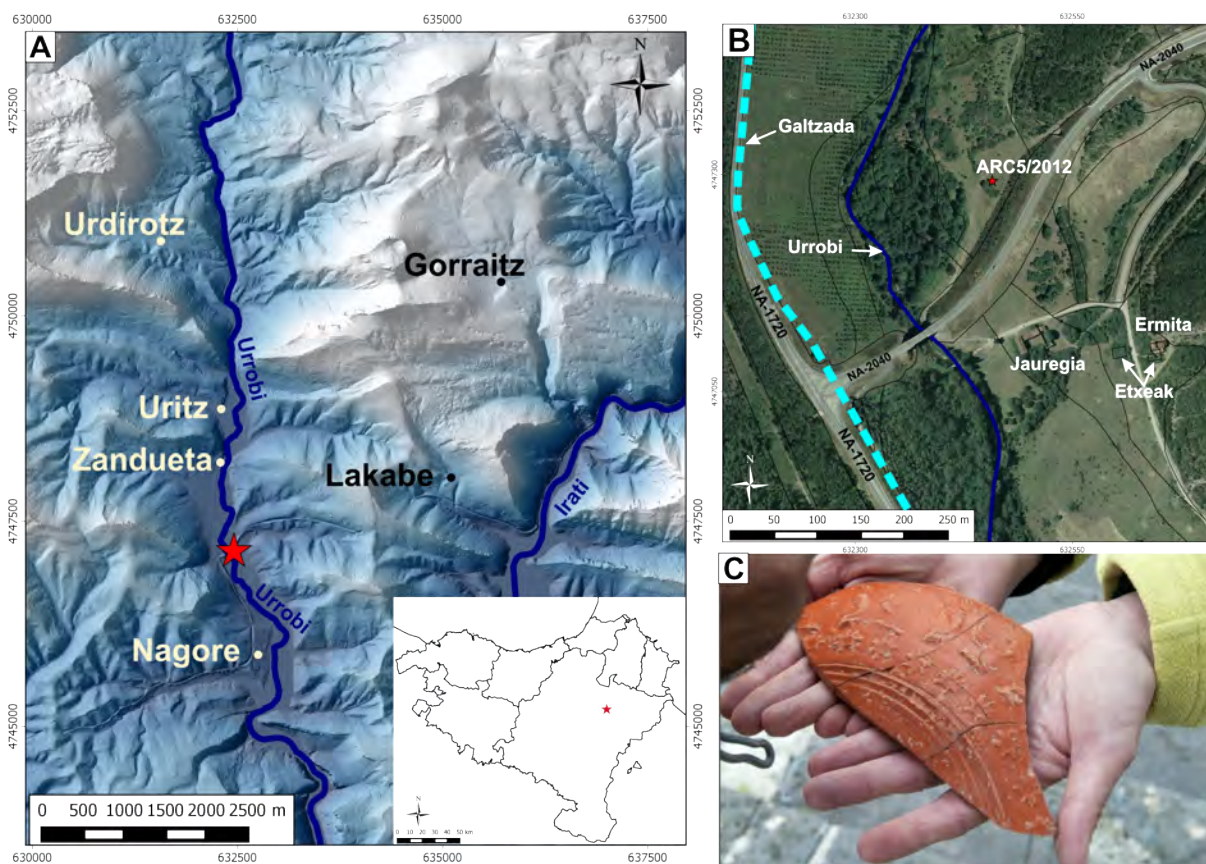
Otegi deritzon lursaila, berriz, Erroibarko lur komunala da eta laborantza lur bezala erabilia izan da. Aireko irudietan ikus daiteke nola garai ezberdinetan sailen antolaketa ezberdina izan duen (3.5. irudia). Nekropoliaren indusketan arrastoak oso deseginda zeudela ikusi zuten, eta laborantza lanek honetan eragin izana oso litekeena da.



3.5. irudia: Otegi guneko aireko irudien segida. Beltzez sistema magnetikoarekin miatutako eremuak adierazi dira. A. 2013. urteko ortofotoa. B. 2012. urteko ortofotoa. C. 1998-2000. urteetako ortofotoa, non gunea zeharkatzen duen ubidearen kokapena nabarmentzen den. D. 1984. urtean egindako zeharkako argazkia georreferentziatua. E. 1956-1957. urteetan egindako *hegaldi amerikarrean* egindako zeharkako argazkia georreferentziatua. Argazkien iturria: ©*Instituto Geográfico Nacional*.

3.3. Artziko aztarnategi erromatarra (Nafarroa)

Aztarnategi hau Artziko Ama Birjina parajearen kokatzen da, Nagore eta Zandueta herrien artean, Urrobi ibaiaren ekialdeko ertzean (3.6. irudia, A). Kokaleku honetan Artzi deitutako jaurerria zegoen garai batean, nahiz eta gaur egun jauregia, eliza erromanikoa eta beste etxe baten arrastoak besterik ez dauden zutik. Jaurerriaren lehen aipamena XII. mendekoa da, eta 1960ko hamarkadan geratu zen biztanlerik gabe (Joxe Etxegoienek emandako informazioa).

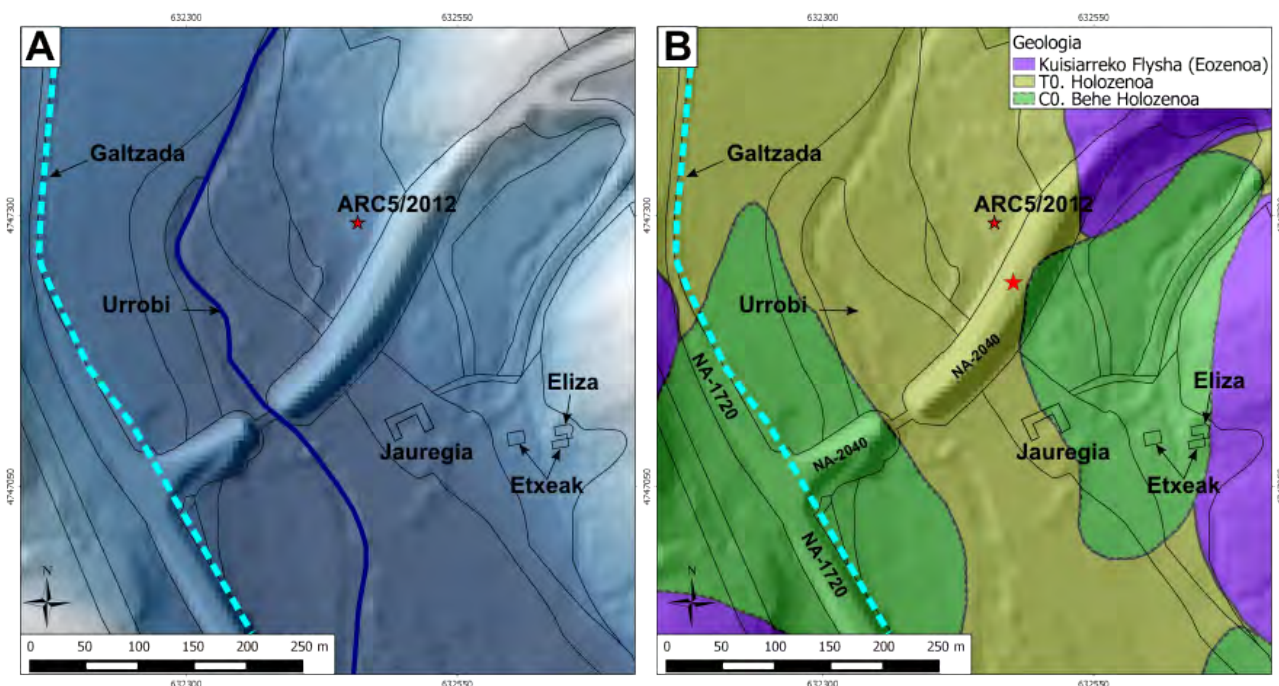


3.6. irudia: A. Artzi jaurerriaren kokapena (izan gorria) LiDAR datuekin sorturiko erliebe maparen gainean. B. Artzi aztarnategiaren testuinguru arkeologikoa 2013ko aireko argazkiaren gainean. Erromatar galtzadaren ibilbidea, Urrobi ibaiaren ibilgua, jaurerriarekin loturiko eraikinak, gaur egungo lursail-zatiketa eta ARC5 miaketa-zuloaren kokapena adierazi dira. C. ARC5 miaketa-zuloan agerturiko *sigillata* motako zeramika pieza dekoratua. Argazkia: Rafa Zubiria. LiDAR datuen eta ortofotoaren iturria: ©*Instituto Geográfico Nacional*. Lursail-zatiketaren iturria: SITNA. Galtzadaren ibilbidearen iturria: Aranzadi Zientzia Elkarte.

Itoizko urtegiaren eraikuntza proiektuaren baitan NA2040 errepidea eraiki zen paraje honen gainetik, eta Jauregia eta eliza hegoaldean suertatu ziren (3.6. irudia, B). Eraikuntza lan horien karira aurkitu zituen Juan Mari Mtz. Txoperenak erromatar garaiko zeramikak mugitutako lurreen. Egungo informazioen arabera erromatar garaiko galtzada ibaiaren mendebaldeko ertzetik igarotzen da eta Nagoretik datorren errepide zaharraren ibilbidearekin bat egingo luke. Testuinguru honetan, Auritz-Aurizberriko ikerketaren marko berdinean, miaketa-zuloak burutu zituen Aranzado Zientzia Elkarteak 2012. urtean. ARC5 deritzonean, saihebidetaren iparraldean kokatutako 2 m x 2 metroko eremuan, erromatar garaiko zeramika, metal eta beira zatiak aurkitu ziren, nahiz eta ez zen inolako paretarik ikusi (Agirre-Mauleon et al. 2012b, 3.6. irudia C).

Aurkitutako materiala kontuan izanda, inguru honetan erromatar garaiko asentamendua dagoela pentsatzea zilegi da. Ikerketa arkeologikoaren puntu honetan, baina, ez ziren balizko asentamenduaren zabalera eta ezaugarriak ezagutzen. Horregatik, miaketa geofisiko bidez ikertzeko aztarnategi egokia zen.

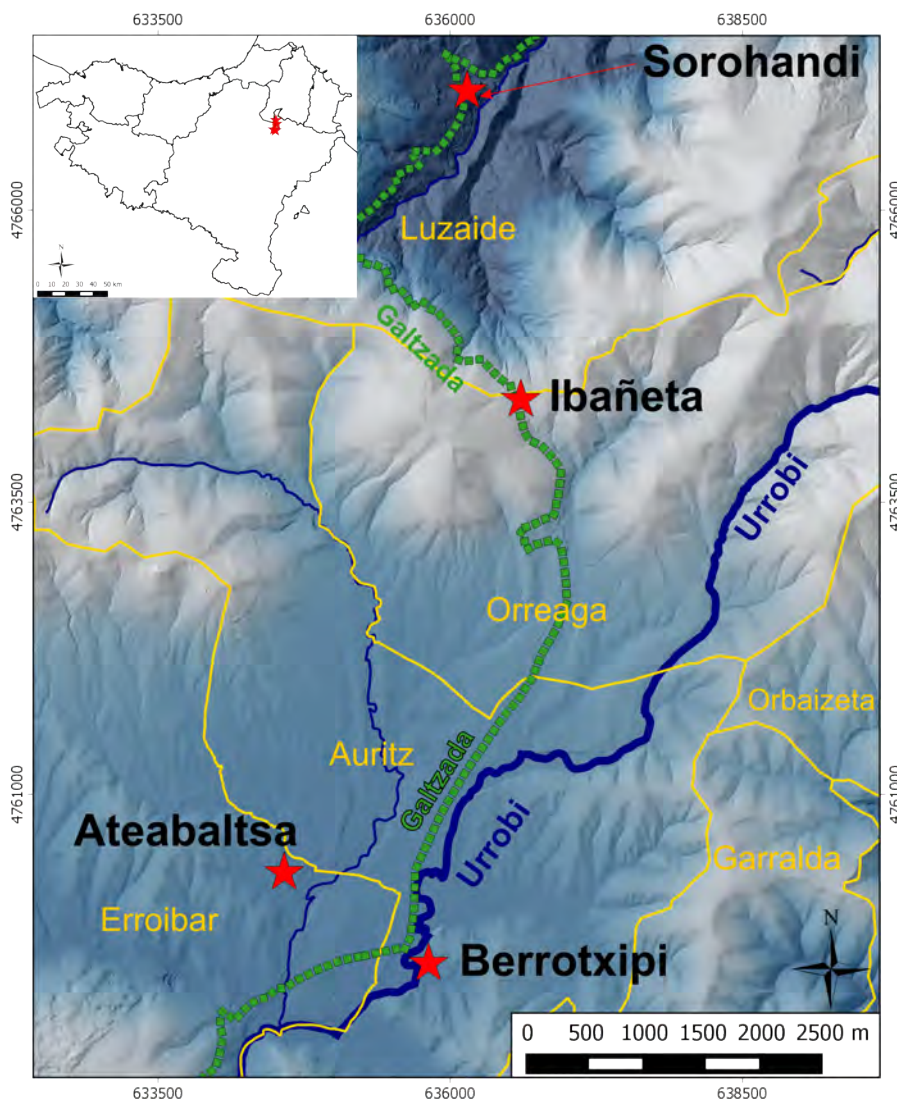
Jauregiaren lurrak larretarako erabiltzen dira gaur egun eta gainazala egokia da miaketarako, baina badira ere sasiak harturiko eremu zabalak, ezin direnak dauden bezala miatu. Eremua laua edo malda leunekoa da oro har (3.7. irudia, A). Aztarnategiaren zati nagusia Urrobi ibaiaren terrazan kokatuta dago non, Nafarroako mapa geologikoaren arabera, legarrak, hondarrak eta lohiak nagusitzen diren (3.7. irudia, B).



3.7. irudia: Artzi aztarnategiaren testuingurua. A. LiDAR datuekin sortutako erliebe maparen gainean. B. Unitate geologikoak adierazten dituen maparen gainean (T0 Urrobi ibaiaren egungo terraza da eta C0 Flysharen higaduratik sorturiko kolubioia. Nafar Gobernuaren mapa geologikoan oinarritutako interpretazioa). Bi irudietan erromatar galtzadaren ibilbidea, Urrobi ibaiaren ibilgua, jaurerriekin loturiko eraikinak, gaur egungo lursail-zatiketa eta ARC5 miaketa-zuloaren kokapena adierazi dira. LiDAR datuen iturria: ©*Instituto Geográfico Nacional*. Mapa geologikoaren eta lursail banaketaren iturria: SITNA. Galtzadaren ibilbidearen iturria: Aranzadi Zientzia Elkarteak.

3.4. Neurri txikiagoko beste aztarnategiak Pirinioetan (Nafarroa)

Auritz-Aurizberriko eta Artziko aztarnategiak aurkitu ziren bezala, erromatar garaiko galtzada ikertzen duen proiektuaren baitan beste aztarnategi edo interes-guneak ere aurkitu dira. Horietako batzuetan miaketa magnetikoak burutu dira, nahiz eta, hurrengo atalean azalduko den bezala, emaitzak ez diren bereziki argigarriak izan. Aztarnategi horien kokapena 3.8. irudian ikus daiteke, non galtzadarekin duten lotura nabaria den.

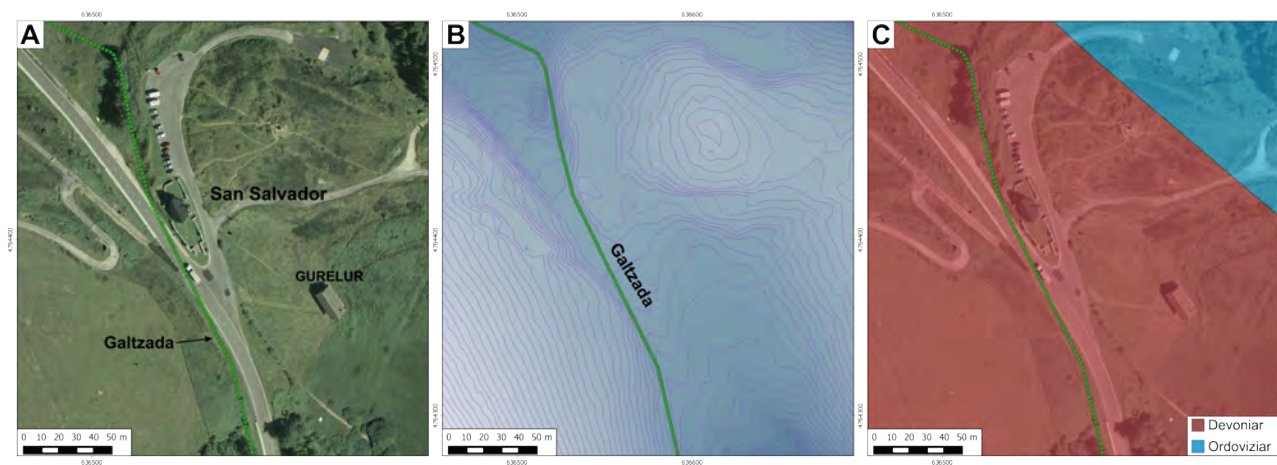


3.8. irudia: Pirinioetan miaturiko aztarnategiak eta erromatar galtzadaren ibilbidea LiDAR datuekin sorturiko erliebe maparen gainean. LiDAR datuen iturria: ©*Instituto Geográfico Nacional*. Udalerrien mugen iturria: Euskalgeo. Galtzadaren ibilbidearen iturria: Aranzadi Zientzia Elkarte.

3.4.1. Ibañeta

Orreagako monasterioa 1127. urtean sortu zuen Iruñeako apezpikua zen Antso Larrosak eta Ibañetako lepoan erromesentzako ospitalea eta eliza bat eraiki ziren. Urte batzuk beranduago ospitalea egungo kokapenera aldatu zen (Gran Enciclopedia de Navarra 1990). Gaur egun Ibañetan San Salvador ermita dago, beste eraikin berri batzuekin batera. Lepoa 1060 metroko garaieran dago eta eremua laua da oro har. Geologiari dagokionez, Kintoa-Aldude mendigune paleozoikoan kokatuta dago (3.9. irudia).

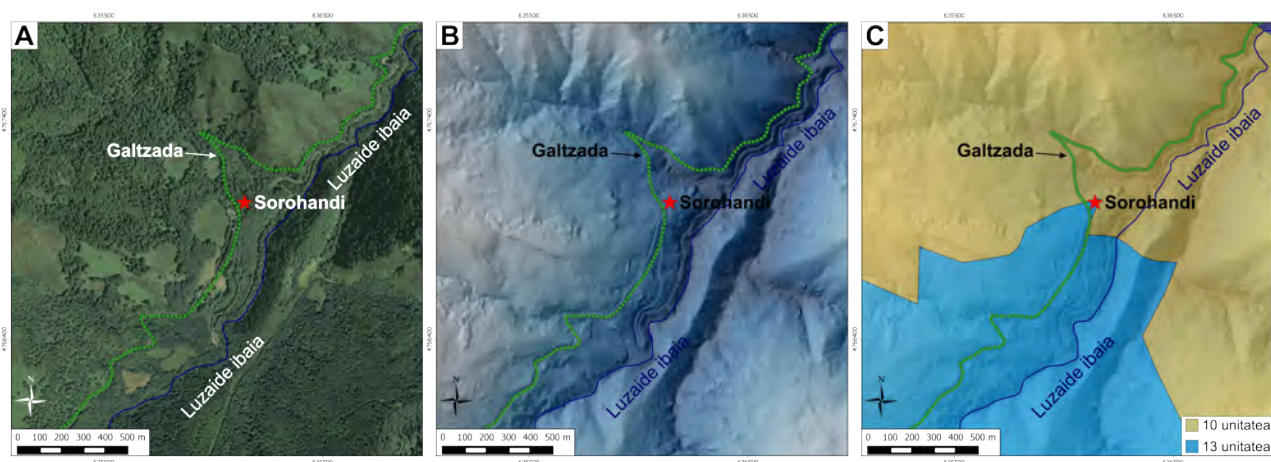
Ingurua oso aldatua egon arren Pirinioen pasabide bezala erabilia izan da mendeetan, eta beraz arkeologiaren ikuspuntutik interesgarria da. 1951. urtean ermitaren inguruan egindako indusketetan, adibidez, erromatar garaiko zeramika eta eguzkiari eskainitako ara bat aurkitu ziren (Jimeno Jurío 1973; Jusué Simonena et al. 2010).



3.9. irudia: Ibañetako lepoaren kokapena eta galtzadaren ibilbidea. A. 2013ko aireko argazkiaren gainean. B. LiDAR datuekin sorturiko erliebe maparen gainean (sestra-kurben arteko aldea 1 m). C. Nafarroako mapa geologikoan agertzen diren unitateen gainean. Biak eskisto bezala deskribatuta daude; Devoniar adinekoa hareharriekin, eta ordoviziar adinekoa unitatea eskisto beltz bezala. LiDAR datuen iturria: ©*Instituto Geográfico Nacional*. Mapa geologikoaren iturria: SITNA. Galtzadaren ibilbidearen iturria: Aranzadi Zientzia Elkartea.

3.4.2. Sorohandi

Sorohandi Luzaide-Valcarlos udalerrian kokatua dago, Ardatza mendiaren hego-ekialdeko magalean. Kantauriar isurialdean dago eta prezipitazio askoko zonaldea da, neguan elurretan egon ohi dena, bereziki gailurretan. Landaredia itxia du eta basoak nagusitzen dira. Kintoa-Aldude mendigune Paleozoikoaren barnean dago, non Nafarroako mapa geologikoaren arabera eskisto eta kuartzitak nagusitzen diren. Aztarnategia 660 metroko garaieran aurkitzen da, Luzaide ibaiaren sakanean, erromatar galtzadaren ibilbidetik gertu dagoen soilgune lau batean (3.10. irudia).

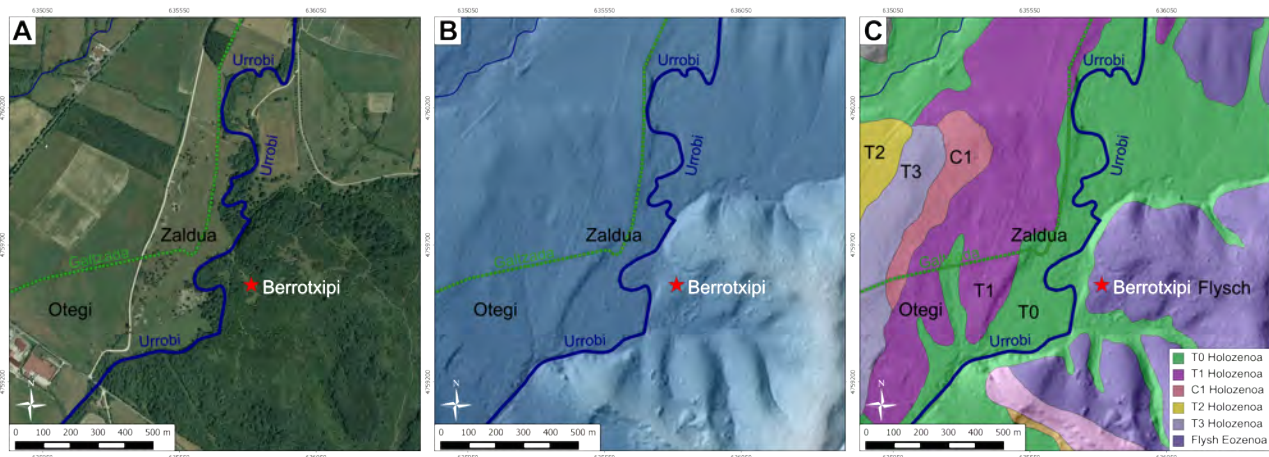


3.10. irudia: Sorohandi aztarnategiaren kokapena eta galtzadaren ibilbidea. A. 2013ko aireko argazkiaren gainean. B. LiDAR datuekin sorturiko erliebe maparen gainean. C. Nafarroako mapa geologikoan agertzen diren unitateen gainean. Bi unitateak ordoviziar adinekoak dira. 10 unitatea eskisto eta kuartziten txandakapen bezala deskribatua dago eta 13 unitatea eskisto beltz bezala. LiDAR datuen iturria: ©*Instituto Geográfico Nacional*. Mapa geologikoaren iturria: SITNA. Galtzadaren ibilbidearen iturria: Aranzadi Zientzia Elkartea.

Aztarnategia galtzadarekiko gertutasunagatik eta gunea aproposa zelakoan nabarmendu zuten galtzada ikertzen dihardutenek, eta interes-gune bezala identifikatu. 2013. urtean buruturiko VA-20/2/2013 miaketa-zuloan zortzi beheko su eta erromatar garaiko brontzeko fibula bat aurkitu ziren. Ez zen horiekin lotutako inolako eraikuntzarik aurkitu, nahiz eta iparraldeko mugan artzain-jarduerekin loturikoa izan daitekeen pareta bat agertu zen. Beheko suak gainazalarekiko 70-80 zentimetro inguruan agertu ziren, eta pareta, berriz, 30-35 zentimetro inguruan (indusketa-taldearen komunikazio pertsonala).

3.4.3. Berrotxipi

Gune hau Berrotxipi mendiaeren hegoaldeko magalean aurkitzen da, Zaldua gunetik gertu baina Urrobi errekaaren ekialdean. Nafarroako mapa geologikoaren arabera Cuisiar adineko flyscharen gainean kokatuta dago, Urrobi ibaiaren terrazak baino garaiera altuagoan (3.11. irudia). Inguru hau Zalduko asentamendua baino kota garaiagoan dagoenez, agian defentsarako egiturak edota beste garai bateko asentamenduak kokatzeko leku aproposa izan daitekeenaren ustea dago.

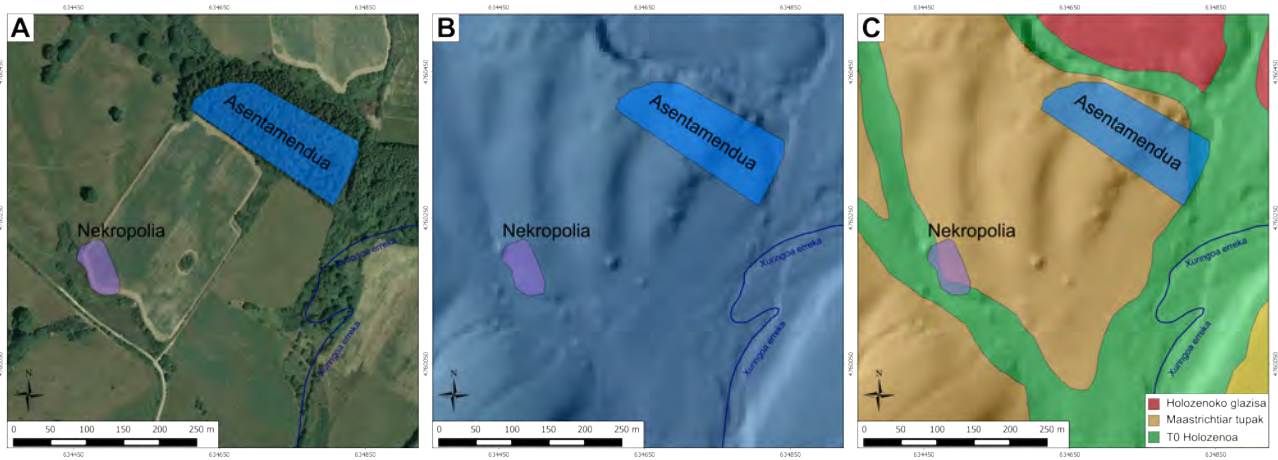


3.11. irudia: Berrotxipi gunearen kokapena. A. 2013ko aireko argazkiaren gainean. B. LiDAR datuekin sorturiko erliebe maparen gainean. C. Unitate geologikoen gainean (T: Urrobi ibaiaren terrazak; C: kolubioia. Nafarroako mapa geologikoan oinarritutako interpretazioa). LiDAR datuen iturria: ©*Instituto Geográfico Nacional*. Mapa geologikoaren iturria: SITNA. Galtzadaren ibilbidearen iturria: Aranzadi Zientzia Elkarte.

3.4.4. Ateabaltsa

Ateabaltsa aztarnategia 80ko hamarkadan aurkitutako erromatar garaiko asentamendua eta nekropolia dira. Nekropolia errausketa bidezkoa da, eta kontserbazio maila ezberdineko zenbait errauts-kutxa aurkitu ziren. Asentamenduan bi gela indusi ziren eta agertutako eraikuntza egituren kontserbazio-maila eskasa zen, harri ilara bat besterik ez zen agertu, nahiz eta 0,60 metroko zabalera izan (Peréx eta Unzu 1988). Material moduan tupak eta hareharri gorria erabili zutelak ikusi zen eta aurkituriko iltze kopuruagatik egurraren erabilera ohikoa izango zela ondorioztatu zen (Peréx eta Unzu 1988). Horrez gain, barnealde bezala interpretatutako gunetan errekontza arrastoak ikusi ziren (Peréx eta Unzu 1998). Hala ere, asentamenduaren zati nagusia pinudi batean dago eta ez zen kasik induskatu. Aurkitutako materialen arabera izaera militarreko asentamendua dela ondorioztatu zen, K.a. I. edo II. mendekoa.

Aztarnategia Urrobi ibaian isurtzen den Xuringoa errearen mendebaldean dago, Nafarroako mapa geologikoaren arabera Maastrichtiar garaiko tupen gainean. Eremua laua da oro har eta zati bat laborantza lur bezala erabiltzen den arren, asentamenduaren zati nagusia pinudi batean aurkitzen da (3.12. irudia). Hori ez da, beraz, sistema geofisikoak erabiltzeko egoerarik errazena.

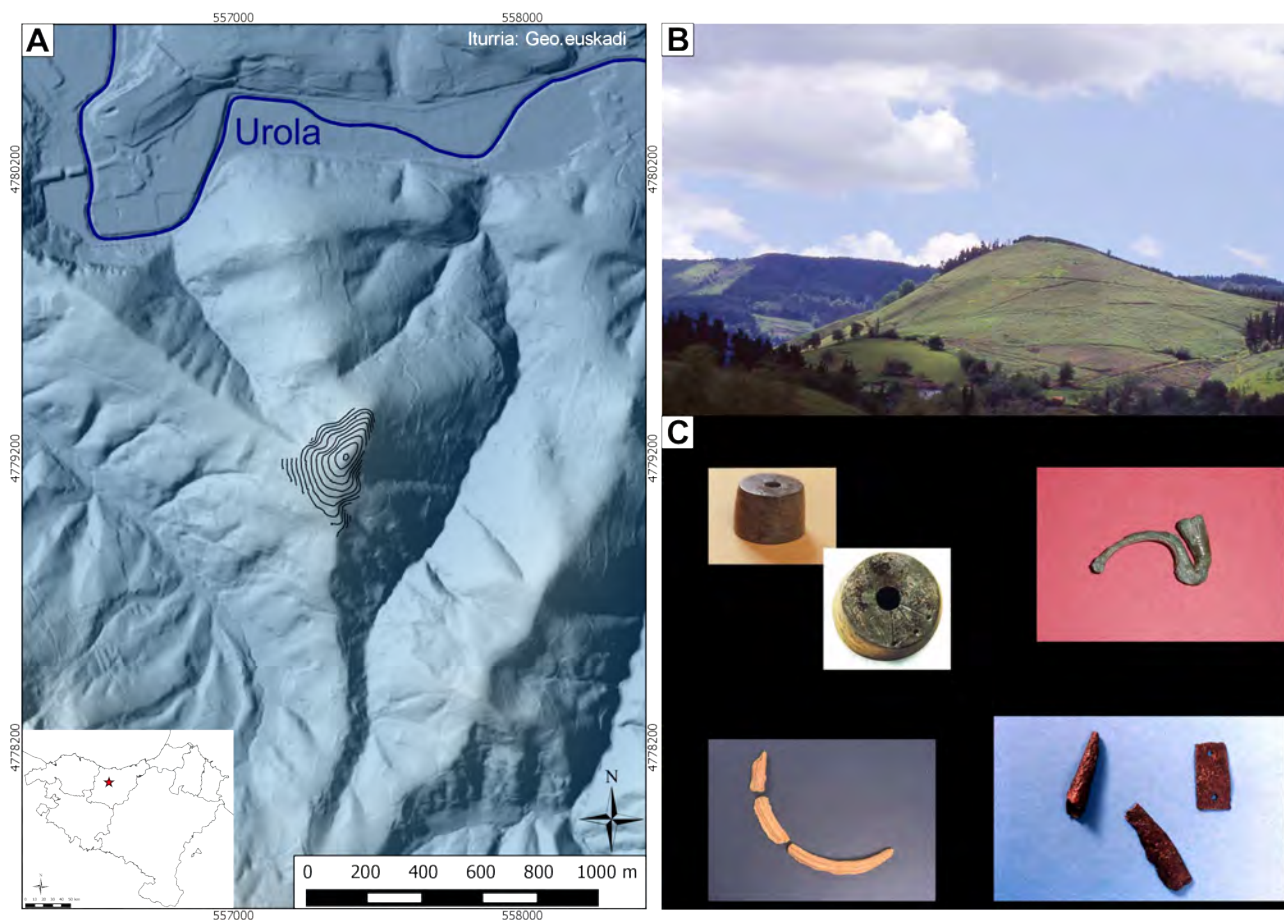


3.12. irudia: Ateabaltsa aztarnategiaren kokapena non, Peréx eta Unzu 1998 publikazioan oinarrituta, asentamenduaren eta nekropoliaren kokapena adierazi diren. A. 2013ko aireko argazkiaren gainean. B. LiDAR datuekin sorturiko erliebe maparen gainean. C. Nafarroako mapa geologikoan agertzen diren unitateen gainean. Ortofotorearen eta LiDAR datuen iturria: ©*Instituto Geográfico Nacional*. Mapa geologikoaren iturria: SITNA.

3.5. Munoaundi herri harresitua (Azkoitia-Azpeitia, Gipuzkoa)

Munoaundi Burdin Aroko herri harresitua da, Azkoitia eta Azpeitia udalerrien mugan kokatua, 385 metroko garaierako mendi-tontorrean. Kokalekua estrategikoa da eta Urola ibarraren zati bat menderatzen da bertatik (3.13. irudia, A). Asentamenduak mendiari buelta ematen dion harrizko harresia du, nahiz eta ekialdean jarraitzen duen ala ez ez den argitu. Izan ere, bertako aldapa bortitzak ez du beste defentsarik behar, baina I. Oruek egindako ikerketen arabera litekeena da ekialdean ere harresia egotea (San Jose et al. 2014). Harresiaren goian eta behean mendiari buelta ematen dioten bi terraza daude, ez oso zabalak, 10-15 metro ingurukoak. Hauek ez dira terraza geologiko naturalak, baizik gune lauak sortzeko egindako terraza artifizialak.

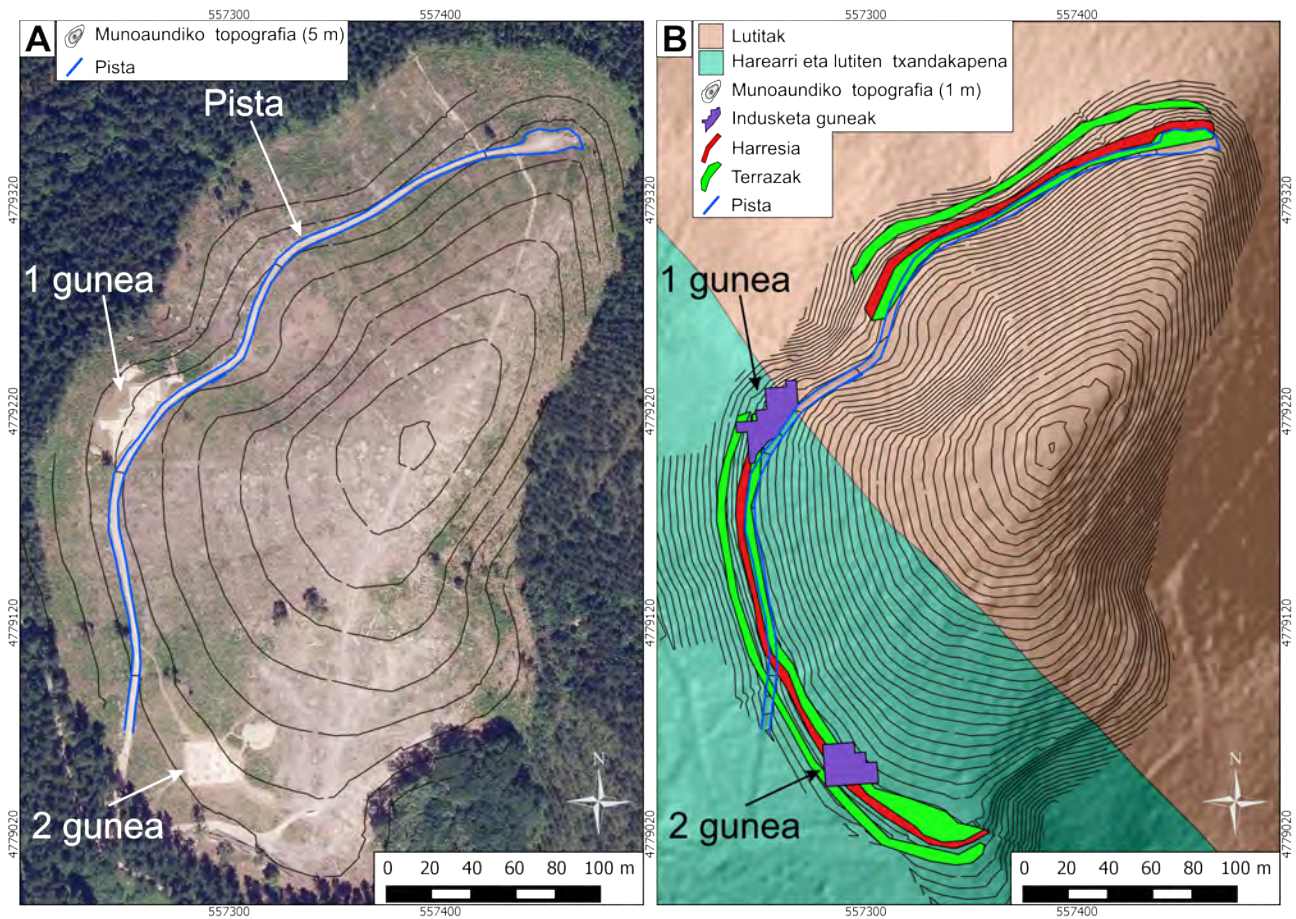
Aztarnategiaren kronologia baieztatu zuten lehen miaketa-zuloak 1995. urtean burutu ziren Amaia Olano, Gorka Alijostes eta Sonia San Joseren zuzendaritzapean, Brontze Aroaren amaierako eta Burdin Aroko aztarnategiak bilatzeko prospekzio sistematikoen kanpaina baten baitan. Urte hartan zeramika zatiak eta metalezko objektuak aurkitu ziren, horien artean brontzezko fibula bat (Olano 1995; 3.13. irudia, C). Hurrengo urteetan ikerketa puntualak burutu ziren Sonia San Joseren zuzendaritzapean aztarnategiaren estratigrafia eta harresiaren tipologia ezagutzeko helburuarekin (San Jose eta Olaetxea 1998; San Jose 2000). Urte batzuk aurrerago abiatu zen lehen indusketa-proiektu arkeologikoa bi helburu nagusirekin: (1) asentamenduan bizi izan ziren pertsonen bizimodua eta etxebizitzak ikertzea eta, (2) herriaren defentsa-sistema aztertzea bereziki sarrerak bilatuz. Proiektua Aranzadi Zientzia Elkarteko Historiaurreko Arkeologia saileko Sonia San Josek zuzendu du 2013 urte arte, eta gaur egun sail berdineko Antxoka Martinez Velascoren zuzendaritzapean dago. Gipuzkoako Foru Aldundiaren eta Azkoitia eta Azpeitiko udalen diru-laguntzarekin egiten da eta Iraurgi Lantzen enpresak sustatu du 2011. urte arte. Lehen kanpaina 2006. urtean burutu zen ordutik aurrera urtero egiten da boluntarioen laguntzaz.



3.13. irudia: A. Munoaundi aztarnategiaren kokapena Euskal Herriko mapan eta LiDAR datuekin sorturiko maparen gainean. B. Tontorraren argazkia. C. Aurkitutako material batzuk (brontzezko pisua eta fibula, zeramikazko ertza eta burdinazko objektuak. Iturriak: LiDAR datuetarako Eusko Jaurlaritza / Gobierno Vasco. geoEuskadi; EHko maparako: Euskalgeo; topografia lerroak Mugarri S.L.; argazkiak: S. San Jose.

Ikerketa honi esker herri harresituaren sarrera nagusia aurkitu da mendebaldean (3.14. irudiko 1 gunea), bi dorrek defendatuko luketena (San Jose 2007; San Jose 2008; San Jose 2009; San Jose et al. 2015). Egituren paretak bertako harriz eginak dira, inolako kareorerik erabili gabe, bata bestearen gainean jarrita (San Jose 2013). 2008an miaketa geofisikoa burutu zen dorre hauen eraispeneren azpian egiturarik agertzen zen ala ez argitzeko. Ondoren indusketetan aurkitutako egiturak planoetan agertzen ziren arren, georadar emaitzen interpretazioa ez zen berehalakoa. Paretan kontserbazio maila baxuak, hauen gaineko eraispeneren mailak eta aztertutako muinoen topografia arazoek eragin nabarmena izan zuten horretan (Garcia-Garcia et al. 2009). Egiturez gain zeramika zatiak, harrizko errota biribil baten zatia, kiskalitako haziak eta beste zenbait material ere bildu izan dira gune honetan. Honek datazioa burutzeko aukera eskaini du eta emaitzak K.a. IV. mende bukaerakoa dela adierazten du (2420 ± 80 BP).

2012. urtetik aurrera bigarren eremu bat zabaldu zen mendiaren hego-mendebaldean (3.14. irudiko 2 gunea), lehen urteetako miaketa-zuloek materialen kontzentrazio altua erakutsitako gunean (San Jose 2012). Harresia dokumentatzeaz gain, barnealdeko okupazio-mailekin lotutako egiturak ere agertu dira, errekontza-kubetak esaterako (San Jose 2013; San Jose et al. 2014). Materialei dagokienez, eguneroko bizitzarekin loturikoez gain, burdinazko lantza baten muturra eta zepak ere agertu dira.



3.14. irudia: Munoaundi aztarnategiaren testuingurua, San Jose et al. 2015 publikaziotik moldatua. A. Plano topografikoa sestra-kurben artean 5 metroko aldearekin, 2013. urteko aireko argazkiaren gainean. Pinudiaren ustiapenerako egindako pista eta indusketa guneak adierazi dira. B. Plano topografikoa (sestra-kurbak 1 metro) LiDAR datuekin sorturiko maparen gainean, non mapa geologikoa zehaztutako unitateak adierazi diren. Harresiaren eta identifikatutako terraza nagusien kokapena ere adierazi dira. Ikus daitekeenez, pista terrazetariko baten gainetik pasatzen da zati batean (1 gunearen hegoaldean). Ortofotoa, LiDAR datuen eta mapa geologikoaren iturria: Eusko Jaurlaritza / Gobierno Vasco. geoEuskadi. Plano topografikoaren iturria: Mugarri S.L.. Indusketa guneak, harresia eta terrazen kokapena: Sonia San Jose.

Aztarnategia Kantauri isurialdean dago eta bertan klima epela eta hezea da, urte guztian zehar euria ugaria delarik. Muinoa kretazikoko arroka detritikoez sortua da eta hego-mendebaldeko magala hareharri eta lutiten arteko txandakapen bezala deskribatuta dago mapa geologikoa (iturria: Eusko Jaurlaritza / Gobierno Vasco. geoEuskadi). Ipar-ekialdeko magalean, aldiz, lutitak nagusitzen dira (ikusi 3.14. irudia, B atala).

Aztarnategia aurkitu zenean guztia pinudi batean barneratuta zegoen eta ikuspegi orokorra izatea ekiditen zuen. Gaur egun pinudiaren ustiapen lanak amaituta daude, eta landarediak estaltzen du eremua. Hala ere, pinuak moztu egin zirenez, sustraiak eta enborren beheko zatiak ere bertan daude, eta beraz lurrazala ez da leuna. Horrez gain, terrazetan eta tontorreko gune txikian izan ezik eremua malkartsua da. Aztarnategira oinez edo 4 x 4 ibilgailuarekin besterik ezin da igo, eta goian ez dago txabola batzuek gaineko beste egiturarik, nahiz eta ustiapenerako egindako pistak eta beste bide batzuk badauden.

Honek guztiak ez du miaketa geofisikorako baldintza egokietan laguntzen, bereziki terrazetatik kanpo. Lurrazalaren irregularitasunak eta malkartsua izateak datuen zarata areagotzea dakar. Eraikuntzarako bertako materiala erabiltzeak eta eraipen maila altuek ere ez dute kontrastearen intentsitatea altua

izaten laguntzen, are gehiago okupazio-mailak gainazaletik metro ingurura daudenean. Hala ere, hau da Euskal Herriko Burdin Aroko herri harresitu askoren egoera, eta aztarnategia ikerketan sartzea interesgarria da baldintza hauekin lortzerik dagoena aztertzeko. Gainera, zepa ugari aurkitu izanak labeak egotea litekeena dela iradokitzen du, eta agian horiek detektatzeko adinako kontraste magnetikoa sortuko dute. Tamalez, hurrengo atalean ikusiko den bezala, egindako miaketak aztarnategiaren eremu txiki batera mugatu dira.

4. kapitulua

Miaketa magnetikoaren baliagarritasuna okupazio guneak aztertzeke

Miaketa magnetikoan datu bilketa azkar egiten denez, aztarnategien lehen miaketa burutzeko oso erabilia da. Hala ere, baldintza egokietan egitura arkeologiko oso ezberdinak detektatzeko gai den arren, zarata-iturri ezberdinek sistema honen erabilgarritasuna mugatzen dute. Atal honetan sistema hau erabiliz miaturiko aztarnategi ezberdinen emaitzak bildu dira, lehen miaketa baterako baliagarritasuna aztertzeke helburuarekin.

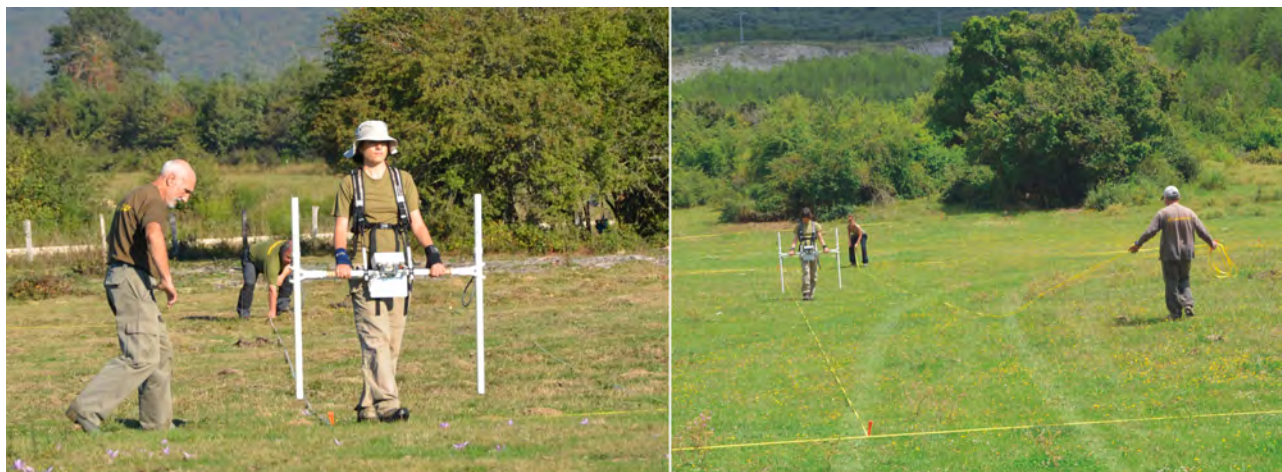
Miaturiko eremua eta baldintzak kasuan kasuko aldatu dira, aztarnategiaren testuinguru eta baliabideetara mugatu beharagatik. Ikusiko denez, emaitzak ere anitzak izan dira. Aztarnategi batzuetan oso erabilgarria suertatu da eta lorturiko definizio egokiak aztarnategiaren deskribapen sakona egiteko aukera eman du. Beste batzuetan, aldiz, faktore ezberdinen ondorioz ez du informazio arkeologikorik biltzeko balio izan. Kasu guztietan miaketa magnetikoa izan da ikerketaren abiapuntua eta, jarraipena egon denean, hurrengo ikerketan emaitza hauetan oinarrituz burutu dira.

Auritz-Aurizberriko aztarnategi erromatarrean burutu da miaketa magnetiko zabalena. Bertan lorturiko emaitza nagusiak foro zientifiko ezberdinetan aurkeztu dira (Garcia-Garcia et al. 2014; Garcia-Garcia et al. 2016a).

4.1. Sarrera

4.1.1. Metodologia eta tresneria

Erabilitako metodologia lekuan lekuko baldintzetara egokitu den arren, kasu guztietan tresneria berdina erabili da, *Bartington* etxearen *Grad-601-dual* gradiometroa, hain zuzen. *Fluxgate* erako gradiometroa da, metro bateko luzeradun eta 0,1 nanoteslako bereizmena duten bi sentsorez hornituta dagoena. Sistema pertsona batek garraiatu du motxila batekin zintzilik eramanda (ikus 4.1. irudia), eta neurketen kokapena ez da odometro bidez egin, baizik eta denboraren arabera. Hau da, profil bakoitzaren hasieran sekuentzia piztu ondoren sistemak denbora tarte definituetan burutzen ditu hurrengo neurketak, erabiltzaileak abiadura konstantez mugitu behar duelarik horiek distantzia konkretuetan burutu daitezten. Lerro bakoitzean neurketa-zinta bat erabiltzen da norabidea markatzeko eta, bide batez, abiadura konstantean joatea laguntzeko. Bildutako datuen bereizmena 0,5 metrokoa da lerroen artean, eta 0,25 metrokoa lerro bakoitzean. Neurketak siga-sagan egin dira, bukaerako irudiak lortzeko konbinatu diren 30 metrotako koadrikula independenteetan jasoaz (4.1. taula). Miaketa eremuen kokapen zehatza ezagutu ahal izateko, koadrikulen erreferentzia GPS diferentzial bat erabiliz jaso da, eta ETRS89-UTM30 koordenatu-sistema erabili da.



4.1. irudia: Miaketa magnetikoak burutzeko erabilitako *Bartington* etxearen *Grad-601-dual* gradiometroa. Eskuineko irudian ikus daiteke kokapenaren erreferentziarako erabilitako neurketa-zinten sistema. Argazkiak: Rafa Zubiria

Sistema Magnetikoa	
Tresneria	Bartington Grad-601 dual
Sensorea	Grad-01-1000L Fluxgate (1 m luze)
Sensore kopurua	2
Sensoreen arteko aldea	1 m
Kontrol unitatea (Data logger)	DL 601
Neurturiko propietatea	Pseudo-gradientea
Unitatea	nT
Neurketaren bereizmena	0,1 nT
Bereizmen espaziala	0,5 m (lerroen artean) eta 0,25 m (irakurketa-norabidean)
Irakurketa modua	Siga-sagan, odometrorik gabe (denboran).

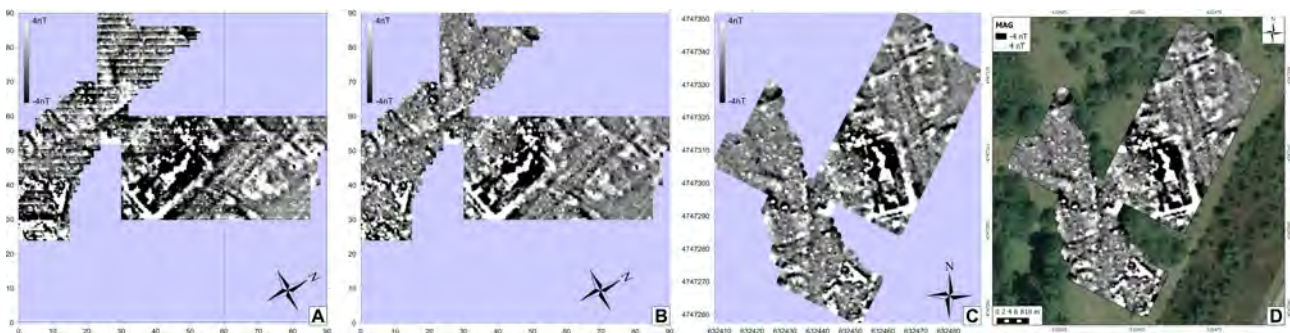
4.1. taula: Miaketa magnetikoak burutzeko erabilitako tresneriaren ezaugarriak.

4.1.2. Datu-prozesua

Datu magnetikoen prozesuak atal ezberdinak ditu. Lehenengo eta behin, datuak gradiometrotik ordenagailura pasa behar dira, irakurketa bakoitzari bere koadrikula independentean dagokion (x, y) kokapena esleituaz. Hori gradiometroarekin batera datorren softwarearekin egiten da. Hurrengo pausua koadrikula independenteak konbinatzea da datu guztiak batera prozesatu ahal izateko. Konbinazioa zein datu-prozesua datu geofisikoak lantzeko diseinatutako *Geoplot 3.0* softwarea erabiliz burutu da. Software honek datu magnetikoak lantzeko beharrezkoak diren oinarrizko prozesuak era errazean burutzeko aukera ematen du, behin bukatuta beste softwaretan erabiltzeko esportatzen delarik. Kasuan kasuko emaitzen arabera prozesua zertxobait aldatu daitekeen arren, honakoak dira jarraituriko pausuak oro har (ikusi 2.2.4. atala azalpen gehiagotarako):

- Datuen berkokatzea *destagger* filtroarekin.
- Metalezko elementuen eragina txikitzea *de-spiking* filtroarekin.
- Tresnaren kalibrazio erroreak zuzentzea *Zero Mean Line* eta *Zero Mean Grid* filtroak aplikatuz.
- Interpolazioa 0,25 metrotako pixel karratua edukitzeko.

Landutako datuak koordinatu-sistema lokalean daude oraindik eta beste datu espazialekin alderatu ahal izateko (aireko irudiak edo topografia, adibidez) beharrezkoa da UTM koordinatu-sistemara eramatea. Horretarako, GPS bidez kokaturiko puntuak erabiltzen dira, bi sistematan ezagunak direnez translazio eta errotazio parametroak kalkulatzeko aukera ematen baitute. Pausu hau *Surfer 9* softwarea erabiliz burutu da, lehenengo puntu bakoitzaren (x, y) kokapena aldatu eta ondoren datu gordin horiek pixel irudi bihurtzeko aukera ematen duelako. Prozesaturiko eta birkokaturiko datuak geografia-informazioko sistema edo GIS proiektu batean integratu dira interpretaziorako, eta *QGIS* software librea erabili da horretarako 4.2. irudia).



4.2. irudia: Datu magnetikoen prozesua irudikatzeko pausuak, Artziko aztarnategiko emaitzak adibidetzat hartuta. A: Datu gordinak 30 metrotako koadrikulak konbinatu ostean. B: Prozesaturiko datuak lekuko koordinatu-sisteman. C: Prozesaturiko datuak ETRS89-UTM30 koordinatu-sisteman. D: Datuak QGIS softwarean, 2012ko aireko argazkiaren gainean (Argazkiaren iturria SITNA).

4.1.3. Interpretazioa

Interpretazio magnetikorako anomaliak hiru taldetan banatu dira: linealak, zabalak eta fokalak. Lehen bi kasuetan kontraste magnetikoaren arabera banatu dira, positiboa ala negatiboa den zehaztuz. Izan ere, egitura arkeologiko konkretu bati esleitzerako orduan informazio garrantzitsua da hori. Bestalde,

anomalia fokal bipolarrak metalezko elementuei esleitu zaizkie ausazko orientaziokoak badira, eta errekuntza egiturei lurraren eremu magnetikorekiko lerratuta badaude. Kasu batzuetan ikur bereziak erabili dira, adibidez intentsitate altuko errekuntza batzuk "labe" bezala katalogatu dira, edota eraikin batzuetako kontraste altuko gelak markatu egin dira. Bestalde, Auritz-Aurizberriko aztarnategiko beharrei erantzunez bereziki, anomalia zabalak zenbait kategoriatan sailkatu dira (ikusi 4.3. irudia). Irudi jakin batzuetan beste kolore batzuk erabili direnean bertan zehaztu da erabilitako kodea.

ANOMALIA MAG FOKALAK	ANOMALIA MAG ZABALAK	ANOMALIA MAG LINEALAK
● ERREKUNTZA	□ ESPAZIO IREKIAK	— PARETAK
● LABEA	□ MATERIAL EZBERDINEKO PARETAK?	— KALEAK / PASABIDEAK
■ KONTRASTE ALTUKO GELA	□ ALTERAZIO HANDIKO GUNEA	— GALTZADAREN KANALIZAZIOAK
● BURDINA	□ GEOMETRIA DEFINIZIO TXARRA	— MODERNOA
▲ SILOA	□ GALTZADA	— GEOLOGIKOA
● FOKAL POS	□ P5 GUNEA	
	■ POSITIBOA	
	■ NEGATIBOA	
	■ ZALANTZAZKOA	

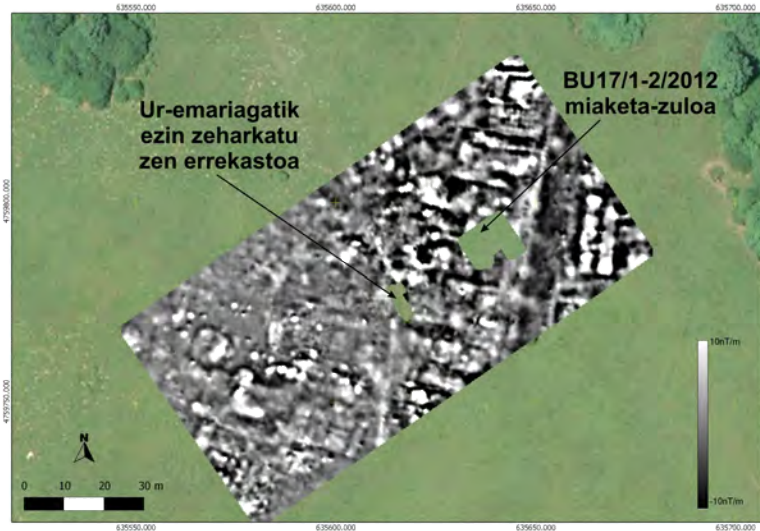
4.3. irudia: Datu magnetikoen interpretazioan erabilitako sailkapen eta ikurrak.

4.2. Auritz-Aurizberriko aztarnategi erromatarra

Aurreko kapituluan azaldu bezala, aztarnategi honetan erromatar garaiko arrasto esanguratsuak aurkitu ziren 2012. urteko indusketetan, eta miaketa geofisikoa aplikatzeko eremu aproposa da (ikusi 3.2. atala). Aztarnategiaren garrantziaz jabetuta, miaketen helburua aztarnategiaren mugak bilatzea eta ahal den neurrian aztarnategiko egituren deskribapena egitea izan da.

Miaketa geofisikoaren diseinuan hiru alderdi izan ziren kontuan hartuak: (1) miaketaren helburu arkeologikoak (mugatzea eta karakterizazioa), (2) inguruaren ezaugarriak (kutsadura moderno gutxiko landa-eremua) eta (3) baliabide ekonomikoak (diru-laguntza urriko proiektua, boluntariotzan oinarritua). Egokiena miaketa sistema-anitza egitea izan zitekeela uste zen, horien konbinazioak ematen duen informazioa bakoitzak bere aldetik ematen duena baino aberasgarriagoa baita (Boucher 1996; Clay 2001; Hesse 1999). Hala ere, aztarnategiaren eremu zabalak (garaiko estimazioan 15 ha ingurukoa) eta baliabide ekonomiko urriek sistema bat lehenestea beharrezko egin zuten. Sistema guztien artean magnetikoa aukeratu zen, egitura arkeologikoen sorta zabalaren aurrean ongi erantzun ohi duelako eta bidezko kostu eta denboraren barruan emaitza egokiak eman ohi dituelako (Fassbinder 2010). Gainera, oso erabilia izan da erromatar aztarnategietan (ikusi adibidez Neubauer eta Eder-Hinterleitner 1997b; Gaffney et al. 2000; Fassbinder 2010; Vermeulen et al. 2012). Horregatik lehen miaketa egiteko erabiltzea erabaki zen, ondoren interes-guneak identifikatu eta horietan beste sistema geofisikoa aplikatzeko. Hala ere, aztarnategi guztia miatu aurretik proba bat egin zen 2012. urte bukaeran, 60 m x 120 metroko eremu batean. Bertan galtzada eta pareta bezala interpretaturiko zenbait anomalia ikus zitezkeen (4.4. irudia). Kontrastea egokia zela ikusita, 2013. urteko udazkenerako programatu zen aztarnategi osoa miatzeko kanpaina.

Miaketa honen emaitza garrantzitsuenak *Archaeological Prospection* aldizkarian publikatu dira (Garcia-Garcia et al. 2016a) eta Europako Arkeologoen Elkarteak (*European Association of Archaeologists*) Istanbulen egindako 20. kongresuan aurkeztu ziren (Garcia-Garcia et al. 2014). Horiez gain miaketan erabilitako metodologia, lorturiko emaitzak eta egindako interpretazioak txosten arkeologiko batean bildu dira (Garcia Garcia et al. 2013).



4.4. irudia: Auritz-Aurizberriko aztarnategian 2012. urtean egindako miaketa magnetikoaren emaitza.

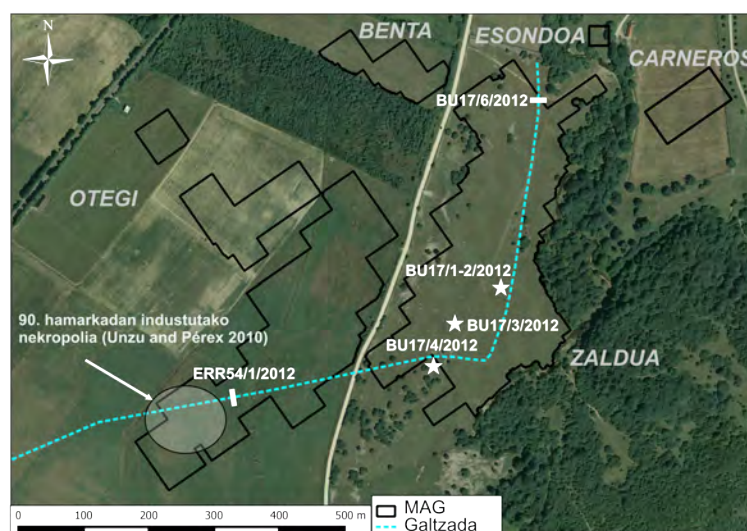
4.2.1. Ikertutako eremuak

Ikerketa-eremuak Aranzadi Zientzia Elkarteko ikertzaileek bildutako informazioaren arabera kokatu ziren. Miaketa magnetikoaren emaitza egunero ikuskatzen zen eta, horretan oinarrituz, hurrengo egunean miatuko ziren koadrikulak zehazten ziren. Kanpainak hamabi lanegun iraun zuen, eta 18,90 hektarea miatu zen guztira, 5 gunetan banatuta (ikusi 4.2. taula eta 4.5. irudia).

Gunea	Eremua	Gaizanala	Helburua
Zaldua	86.570,19m ²	Larrea. Laua, terrazen mailekin.	Asentamendua mugatu eta deskribatu
Otegi	84.611,81m ²	Larrea eta laborantza. Malda leuna.	Okupazio guneak mugatu
Benta	9.701,25m ²	Landaredi baxua. Malda.	Okupazioa aztertu
Carneros	8.155,31m ²	Landaredi baxua. Laua.	Okupazioa aztertu
Esondoa	900m ²	Larrea. Laua.	Okupazioa aztertu

4.2. taula: Auritz-Aurizberriko aztarnategi erromatarrean miatutako eremuen deskribapena.

Zaldua gunea Auritzen dago eta hemen egin ziren 2012ko miaketa-zulo gehienak, eta hau da okupazio-gune nagusi bezala identifikatuta dagoena (4.5. irudia). Lursail honetan ez da goldea erabili azken hamarkadetan bederen, eta ondorioz egituren kontserbazio-maila altua izango denaren ustea dago. Miaketa-zuloek bi metro baino gehiagoko potentzia arkeologikoa erakutsi izana bat dator uste honekin (Agirre-Mauleon et al. 2012b). Lursaila larre bezala erabiltzen da egun, eta sakabanatutako zuhaitz eta sasitza batzuez kanpo ez dago beste oztoporik. Lurrazala leuna da oro har, nahiz eta sator-pilak ikusten



4.5. irudia: Auritz-Aurizberriko aztarnategian 2013. urtean egindako miaketa magnetikoan ikertutako eremuak. Galtzadaren ibilbidea eta 2012. urtean irekitako miaketa-zuloen kokapena ere adierazi dira.

diren non-nahi. Urrobi ibaiaren terrazen arteko topografia saltoak daude, eta egitura arkeologikoen eraispenari esleituriko zenbait topografia aldaera ere ikus daitezke. Gune honetan 8,65 hektareako eremua miatu da asentamendua mugatzeko eta deskribatzeko helburuarekin.

Otegi gunea Aurizberrin dago, bi herriak banatzen dituen pistaren mendebaldean. Zalduatik datorren galtzadak zeharkatzen du eta 80ko hamarkadan indusitutako nekropolia bertan dago (ikusi 4.5. irudia). Gune honetan bada miaketan eragin dezaketzen zenbait interferentzi-iturri, hala nola argindar postea, telefonoarenak eta gunea ipar-hego norabidean zeharkatzen duen ubidea. Eremuan lekuan-lekuko topografia aldaketak ikus daitezke, batzuk linealak, eta miaketaren momentuan egitura arkeologikoen adierazgarri direnaren ustea zegoen. Ikerketak aurrera egin ahala, baina, ideia hori baztertu egin da eta, batzuk behintzat, geologiarekin loturik daudenaren ustea nagusitu da. Topografia aldaketa horiez gain badago ubiderantz egiten duen malda leuna, mendebaldeko lursailetan nabariagoa dena. Lursail hauek urtetan zehar goldatu dira, eta egituren kontserbazio-mailan eragina izan duela ikusi ahal izan zen indusketetan (Unzu eta Peréx 2010). Miaketaren helburua okupazioa mugatzea da, bereziki topografia aldaketa horien gaineko informazioa lortzea eta Zalduatik datorren galtzadaren ibilbide zehatza finkatzea.

Kanpaina bitartean beste hiru gune txiki miatzea erabaki zen, Esondoa, Carneros eta Benta deituak (ikusi 4.5. irudia). Horietan okupazio gunearen jarraipena edota aireko irudietan ikusten ziren markak (ingelesez *cropmark* deritzona) egiaztatzea zen. Kasu guztietan belarra edo landaredi baxua zegoen eta, Benta gunea izan ezik, eremua laua da. Benta guneak ekialdera jaisten den aldapa du.

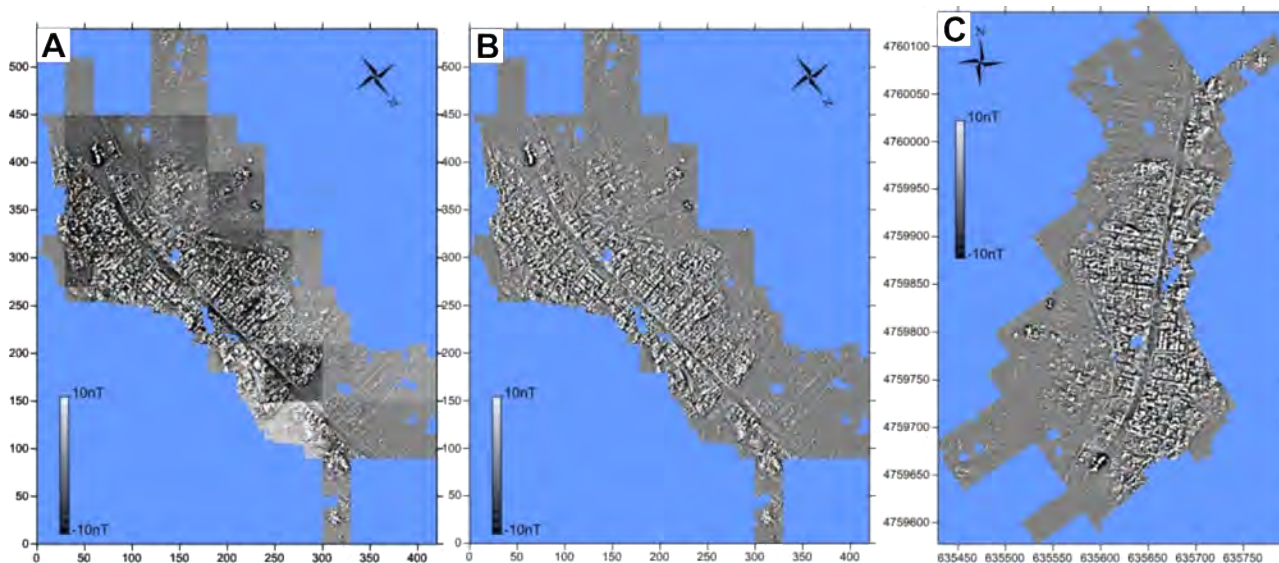
4.2.2. Datu-bilketa eta datu-prozesua

Datu-bilketa SOT Prospecció Arqueològica eta Aranzadi Zientzia Elkarteko kideen elkarlanean burutu zen. Bi lantalde antolatu ziren eta, bakoitzak gradiometro bat zuenez, koadrikulak independenteki miatzeko gaitasuna zuen. Erreferentzia modura egurrezko hesolak jarri ziren 60 m x 60 metroko koadrikularen erpinetan GPS diferentzial batekin. Horietan oinarrituz erraza izan zen datuak biltzeko erabilitako 30 m x 30 metroko koadrikulak proiektatzea.

Datuak oinarrizko prozesuen bidez landu dira. Lehenengo eta behin interferentzia modernoek erasandako gune txiki batzuk ezabatu dira (metalezko hesiak edota posteek eragindakoak, adibidez). Era berean, metalezko objektu puntualek sortzen duten tontor isolatuen eragina txikiagotzeko *de-spiking* filtroa aplikatu da eta posizio problemen eragina txikiagotzeko *destaggera*. Ondoren, datuak *Zero mean line* eta *Zero mean grid* algoritmoekin homogeneizatu dira. Amaitzeko, datuak georreferentziatu eta pixel karratua izateko interpolatu dira. Datu-bilketa eta datu-prozesuaren parametroak 4.3. taulan bildu dira eta Zalduko gunearen adibidea 4.6. irudian ikus daiteke.

MAG	
Kanpaina	2013ko urria
Azalera	Otegi gunearen barneko eremua
Gailua	Bartington Grad-601 dual
Sentsore kop.	2
Datu dentsitatea	0,5 m x 0,25 m
Irakurketa modua	Siga-sagan, denboran
Prozesua	<i>Destagger, Despiking</i>
	<i>Zero Mean line. Zero Mean Grid (0,25 stdv)</i>
	Interpolazioa 25 cmra

4.3. taula: Auritz-Aurizberriko aztarnategian burututako miaketa magnetikoaren parametroak.

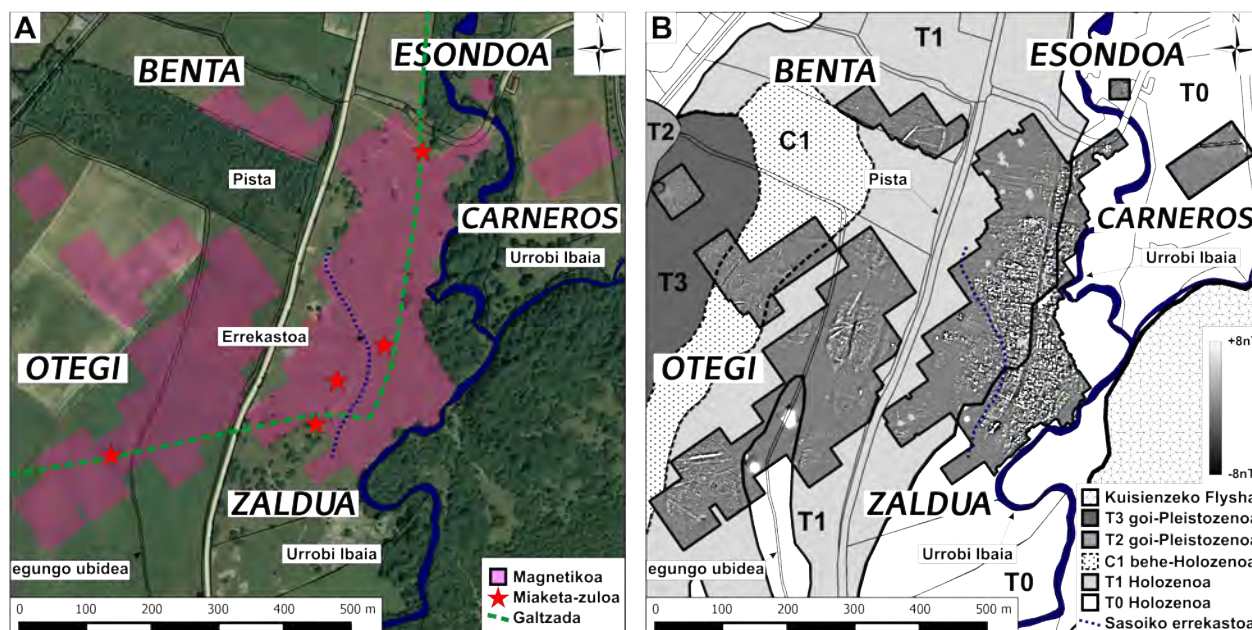


4.6. irudia: Jarraituriko datu-prozesua irudikatzen duen Zalduko guneko adibidea. A. Datu gordinak. B. Landutako datuak georreferentziatuta eta interpolazioa burutu aurretik. C. Prozesu osoaren osteko datuekin sorturiko mapa.

4.2.3. Emaitzak

Lorturiko irudietan okupazio gune nagusia Zalduan dagoena argi geratzen den arren, sistema magnetikoaren emaitza lekuan-lekuan asko aldatzen dela ikus daiteke (4.7. irudia). Zalduan ikusten diren kontraste negatibodun anomalia linealak pareta bezala interpretatuta hiriaren oinplanoaren gaineko informazioa lortu dela agerikoa da. Interpretazio hau bat dator 2012. urtean irekitako miaketa-zuloetan agerturiko paretekin, 4.9. irudiko handiagotutako laukian ikusten den bezala. Otegi gunean, berriz, ez da halako oinplanorik ageri, eta gune anomaloak ikusten diren arren, horien jatorria ez da

lehen begiratuan interpretatzen ahal. Aurrerako azalduko den bezala, Benta gunean Otegi gunean ikusitako anomalia baten jarraipena da anomaliarik esanguratsuen. Esondoa eta Carneros guneetan, berriz, ez da arkeologiari esleki dakioken inolako anomaliarik detektatu.



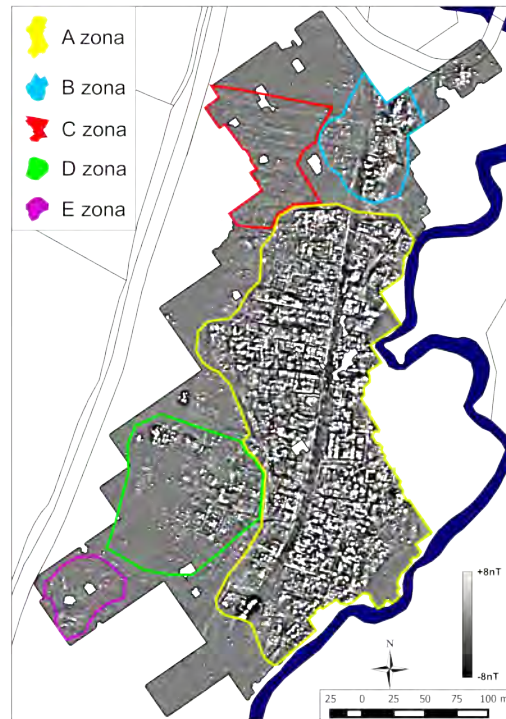
4.7. irudia: A. Auritz-Aurizberriko aztarnategian egindako miaketa magnetikoan ikertutako eremuak. Galtzadaren ibilbidea eta 2012. urtean irekitako miaketa-zuloen kokapena ere adierazi dira. B. Miaketa magnetikoaren emaitza (-8 nT beltzez, $+8$ nT txuriz) mapa geologikoko unitateen gainean. Ortofotoaren, mapa geologikoaren eta lursail-zatiketaren iturria: SITNA

4.2.3.1. Zaldua gunea

4.2.3.1.1. Deskribapen orokorra

Gune honen erdigunean anomalia-dentsitate altua erakusten duen eta 4,50 hektarea inguru dituen eremua erakutsi dute emaitzek (4.8. irudiko A gunea). Okupazio gune honen mugak zalantzazkoak dira; mendebaldean eta hegoaldean anomalien maiztasuna nabari txikiagotzen da eta intentsitate baxuagoa darakutsate, baina ez dago limite argirik. Ekialdean, errekek eta basoak sortzen duten muga naturala dela eta, miaketak moztuta geratu dira anomaliatan inolako etenik ikusi gabe, beraz egungo muga eta garai hartakoa bat ez datozela dirudi. Bestalde, ekialdean ikusten diren anomaliarik gabeko gune batzuk erreken uholdeek erazarrirako guneak izan daitezkeenaren ustea dago, eta, ondorioz, ez dute zertan aztarnategiaren muga adierazi (ikusi 4.9. irudia).

Anomalien etenune argi bakarria iparraldean agertzen da; okupazio gunean kontraste negatibodun anomalia batek inguratzen du bertan, eta honen iparraldean anomalia esanguratsurik gabeko gunea ikusten da (4.9. eta 4.10. irudiak, 1 zenbakia). Anomalia negatiboa eten egiten da galtzada gurutzatzen duen puntuan, eta gainera galtzada zabalxeagoa da puntu honetan. Honek hiriaren sarreretariko bat hemen egon daitekeenaren susmoa elikatzen du. Hala ere, muga egiten duen anomaliaren kontraste magnetikoa ez da aztarnategiko beste puntuetan pareta arrunt bezala identifikatutakoek sortutakoa baino intentsuagoa eta, beraz, harresi baten arrastoak sortutakoa dela esateko arrazoirik ez dago. Zaila da interpretazio definitiboa egitea beste informazio-iturririk gabe.



4.8. irudia: Zaldua guneko emaitza magnetikoa (-8 nT beltzez, +8 nT txuriz) non testuan aipatutako zona ezberdinak adierazi diren.

Galtzadak berak ez du kontraste esanguratsurik sortu eta detektatu den gunetan inguruko anomaliak definitzen duten espazioari esker izan da. Horregatik, inguruan anomaliarik ez dagoenean ez da ezberdintzen, okupazio-gune nagusiaren iparraldeko muga zein miaketa eremuaren hegomendebaldean gertatzen den bezala (4.9. eta 4.10. irudiak, 1 eta 15 zenbakien inguruan hurrenez-hurren). Hemendik ondoriozta daiteke galtzada eraikitze erabilitako materialak ez duela ingurunearekiko kontraste magnetiko nabaririk. Galtzadaren alde banatan, baina mendebaldean bereziki, kontraste magnetiko positibodun bi anomalia lineal ikus daitezke. Antzeko egitura batek zeharkatzen du galtzada alderik-alde iparraldeko mugatik gertu (4.9. eta 4.10. irudiak, 2 zenbakia). Baliteke urak bideratzeko egiturek sortuak izatea.

Okupazio-gune nagusiaren oinplanoa ez da erregularra eta galtzadaren ibilbidearen arabera antolatua dagoela ikus daiteke. Hau da, gainera, hirian ezberrik gabe identifikatzen den kale bakarra. Kontraste magnetiko positiboa erakusten duten gune lineal batzuk, edota beste anomaliak definitutako espazio huts lineal batzuk, bigarren mailako kale izatea litekeena da (4.9. eta 4.10. irudiak, 3 zenbakia). Hala ere, ez dira identifikatzen errazak, estuak direlako eta beste anomaliak gainezartzen zaizkielako. Horregatik, galtzadarekin gurutzatzen diren puntua da oro har interpretatu ahal izan den bakarra. Informazio partzial honetan oinarrituz, bigarren mailako kale hauek galtzadarekiko elkarzut direla dirudi, eta beraien arteko distantzia ez dela erregularra. Modu honetan, eraikinak ere galtzadaren ibilbidearekiko elkarzut dira, eta beraz hirigunea ez dago *insulae* erregularretan antolatua.

Hiri-sarea erregularra ez izatea eraikinen artean gune poligonalak sortzea dakar. Horietako batzuetan detektatutako kontraste magnetikoa homogenea da, eraikuntza egiturei esle dakioken anomaliarik gabea (4.9. eta 4.10. irudiak, 4 zenbakia). Horiek espazio irekiak izatea litekeena da.

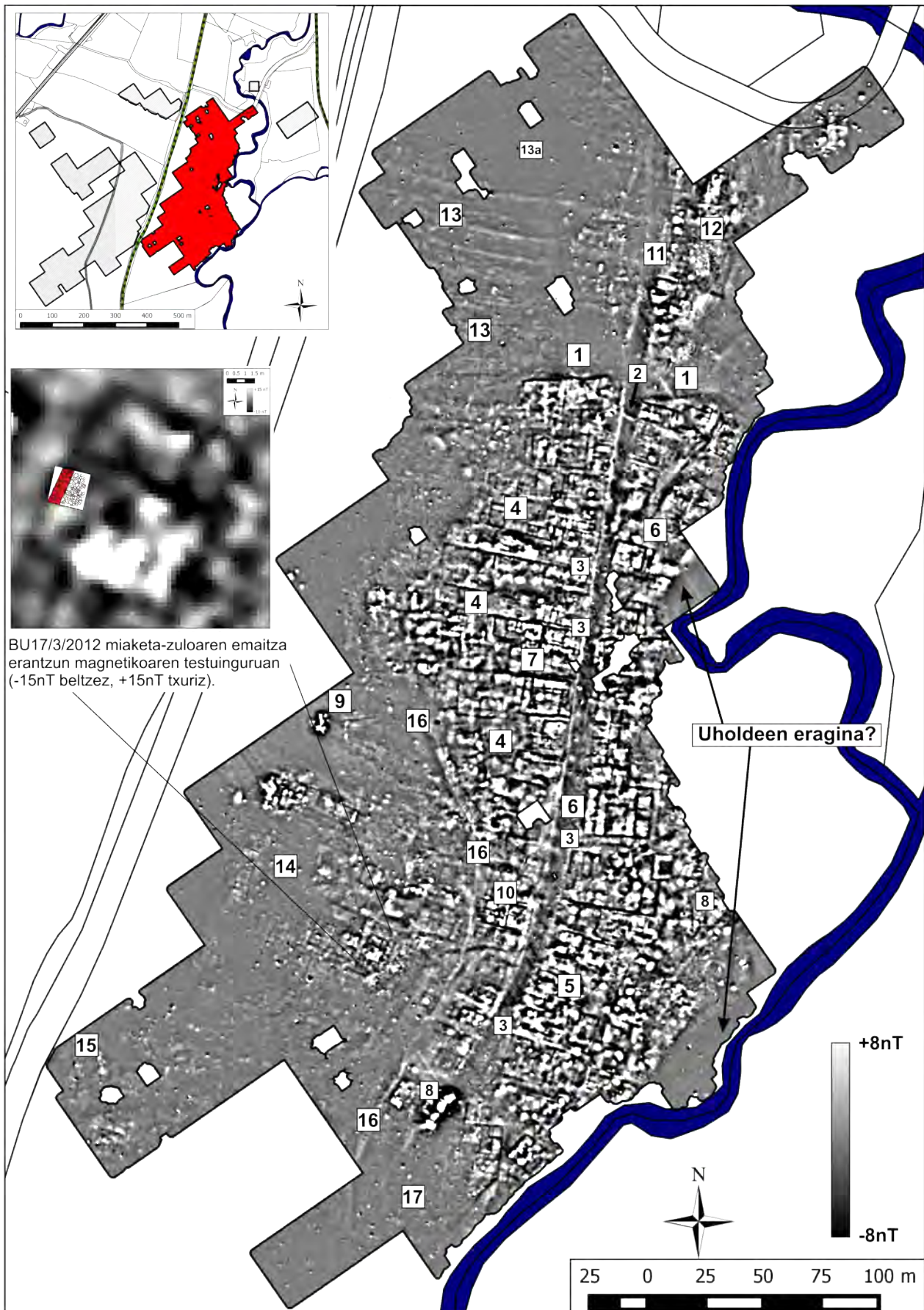
Bestalde, bi eraikuntza mota ezberdintzen da miaketa magnetikoaren emaitzetan. Alde batetik, gune batzuetan eraikinei esleia zaien anomaliak egon arren, ez da erraza horien deskribapena egitea. Hau gertatzen da, adibidez, okupazio-gune nagusiaren hego-ekialdean, non detektaturiko intentsitate altuko anomaliak jarduera industrialaren berri ematea litekeena den (4.9. eta 4.10. irudiak, 5 zenbakia). Beste kasu batzuetan, berriz, oinplano zabaleko eraikin independenteak diruditenak ikusten dira, horietako batzuetan erromatar garaiko barne-antolaketa tipikoa antzematen delarik (4.9. eta 4.10. irudiak, 6 zenbakia). Ezberdintasun honek hiritarren estatusarekin lotura izan dezakeela pentsatzekoa da. Bestalde, galtzadaren mendebaldean unitate berdinean eraikiak diruditen zonak ikusten dira. Izan ere, zerrenda luzeetan antolatuta daudela ikusten da (4.9. eta 4.10. irudiak, 7 zenbakia). Eraikinen inguruko azalpen sakonagoa 4.2.3.1.3. atalean aurki daiteke.

Eraikinen barrenaldeko gela batzuek kontraste magnetiko positibo nabaria dute. Horietan zoruen prestaketarako morteroa erabili izatea litekeena da (Neubauer eta Eder-Hinterleitner 1997b), baina baliteke suszeptibilitate magnetiko altuagodun sedimentu arkeologikoaren pilaketaren eraginez izatea. Izan ere, 2.2. atalean azaldu bezala, gizakion ekintzarekin loturiko prozesuek sedimentuen suszeptibilitatea areagotzen dute (Aspinall et al. 2008b). Interpretazio definitiboa egiteko beste sistema geofisikoen bidez edo indusketa bidez lorturiko informazioa beharrezkoa da. Bestalde, aipagarria da ez dela oro har eraikinen eta galtzadaren artean muga nabarmenik detektatu. Baliteke galtzadara begira dauden fatxadak arkupedunak izatea, baina miaketa magnetikoak ez du hori baieztatzeko adinako informaziorik luzatu.

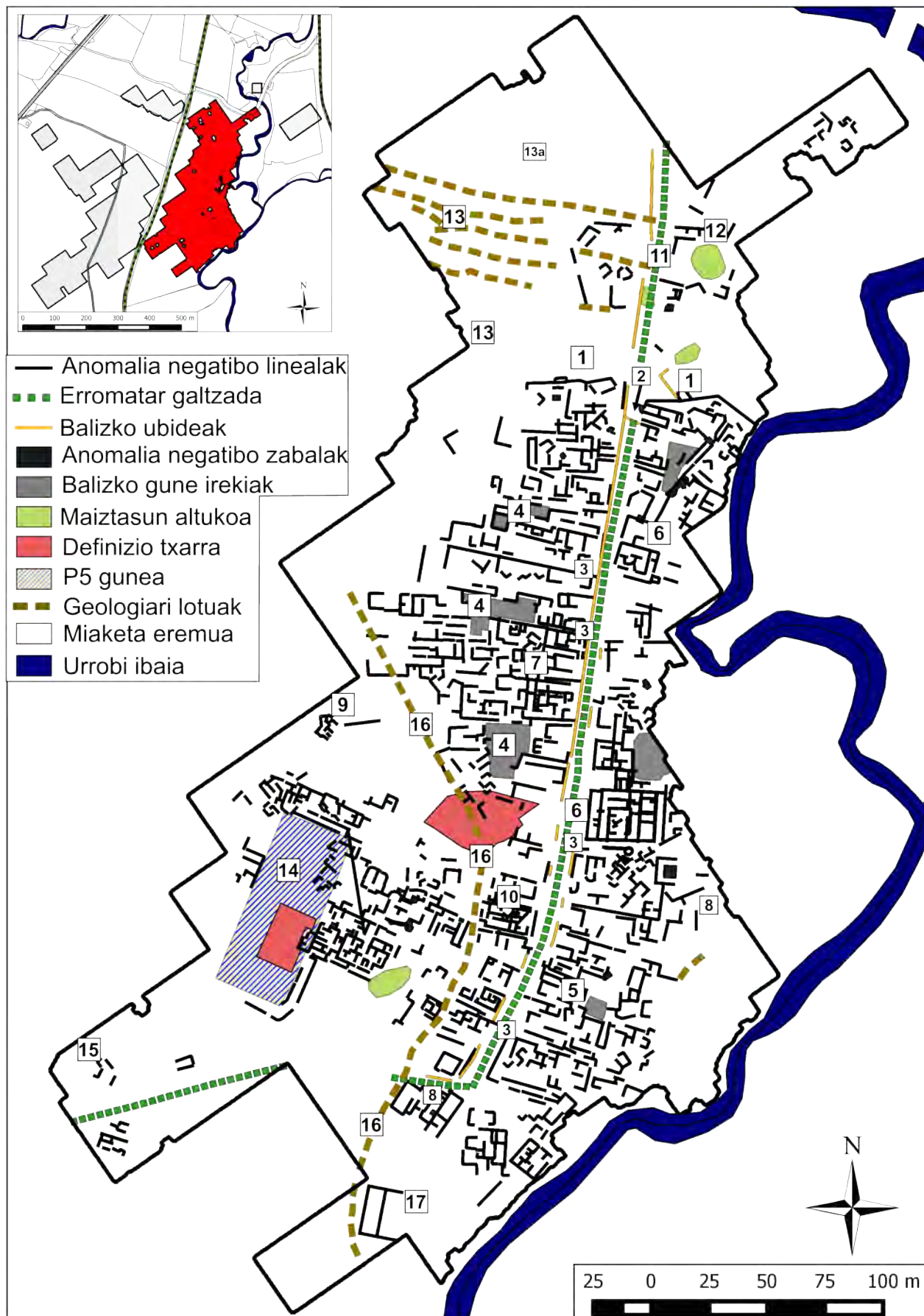
Okupazio-gune nagusiaren baitan errekontzei esleia dakiekeen anomalia ugari ageri diren arren, ez da ikusten suntsiketa bat iradokiko lukeen sute orokorturik. Alderantziz, horietariko asko eraikuntzen barruan agertzen dira, eta etxeko su bezala interpretatu dira. Badira erakusten duten ezaugarrietan oinarrituz labe edota sute bezala interpretatu direnak ere (4.9. eta 4.10. irudiak, 8 eta 9 zenbakiak, hurrenez-hurren). Era berean, zenbait eraikinek gainontzekoekiko ezberdina den traza magnetikoa erakutsi du, eta litekeena da erabilera konkretuetara bideratuak izatea (4.9. eta 4.10. irudiak, 10 zenbakia eta 4.13. irudiko E6 eraikina).

Lehen aipatu bezala, okupazio-gune nagusiak etenune argia erakusten du iparraldeko muga. Anomalia esanguratsurik gabeko gune bat ikus daiteke bertan, 13 m eta 15 metro bitarteko zerrenda bat osatzen duena, eta honen iparraldean bigarren okupazio-gunea (4.9. eta 4.10. irudiak, 11 zenbakia eta 4.8. irudiko B gunea). Anomalia ezak ez du arrastorik ez dagoela esan nahi, eta baliteke kontraste magnetikorik sortzen ez duten egiturak egotea. Horren adibide da galtzada bera, gune honetan ikusten ez den arren bertatik pasatzen dena ziurra baita. Landan bertan zerrenda honek topografiaren depresio oso xume batekin bat egiten duela ikus daiteke, eta baliteke iraganean urak hartutako eremua izatea. Hori horrela balitz, propietate magnetikoetan eragina izan lezake (Le Borgne 1955; Weston 2004).

Bigarren okupazio-gunean detektaturiko kontraste magnetikoa oso ezberdina da galtzadaren alde bakoitzean. Mendebaldean kontraste xumeko anomaliak detektatu dira, baina ezin izan da inolako egiturarik deskribatu. Kontraste positibodun anomalia linealak ere ikus daitezke. Ekialdean, berriz, kontraste magnetikoa indartsuagoa da eta errekontzarekin loturiko anomaliak ageri dira. Horrek eraikuntza egituren deskribapen egokia egitea eragotzi du, anomalien gainezarmena dela eta. Gune honetan maiztasun altuko alterazio gunea ikusten da, hau da, oso espazio txikian asko aldatzen den seinalea (4.9. eta 4.10. irudiak, 12 zenbakia). Baliteke material magnetikoen pilaketa baten ondorio



4.9. irudia: Zaldua guneko emaitza magnetikoa (-8 nT beltzez, +8 nT txuriz). Zenbakiak testuan zehar adierazitako erreferentzietan dagozkie. Handiagotuta erakutsi den gunean 2012ko BU17/3/2012 miaketa-zuloan agertutako paretak (gorriz) eta erantzun magnetikoaren arteko lotura erakutsi da. Paretaren ortoargazkia eta bektorizazioa: Eukene Alonso. Lursail-zatiketa iturria: SITNA. Irudi bera dokumentu honi erantsitako 1. planoan aurki daiteke.



4.10. irudia: Zaldua guneko emaitza magnetikoetan oinarritutako interpretazio-eskema. Zenbakiak testuan zehar adierazitako erreferentziei dagozkie. Lursail-zatiketaren iturria: SITNA.

izatea, teilak edota zepak adibidez. Okupazio-gune nagusiarekiko aparte egoteak eta intentsitate altuko anomaliak agertzeak industria-gune bezala erabilia izan zitekeela iradoki dute. Hala ere, iparraldeko haizea nagusitzen den gune batean ez dirudi oso zentzuzkoa denik, eta miaketan soilik oinarrituta ezin da horrelakorik baieztatu.

Miaketa eremuaren ipar-mendebaldean (4.8. irudiko C zona) kontraste magnetiko positibodun anomalia linealak ageri dira mendebalde-ekialde norabidean (4.9. eta 4.10. irudiak, 13 zenbakia). Horiek dira zona horretan detektaturiko anomalia esanguratsuenak eta behin-behinean behitzat ez zaizkie egitura arkeologikoei esleitu. Izan ere, errekan azaleratzen diren arroketan ikusten da geologia hausturen norabide nagusia hori dela, eta horrek geologiaren estratifikazioarekin loturiko fenomenoak izan daitekeela iradokitzen du. Beste aukera uraren ibilguak sorturiko higadura edo ekarpenen eragina izatea da, kontuan izanda Benta gunean antzeko anomaliak agertu direla eta maldaren norabidea bat letorkeela. C zonako hegoaldean kontraste magnetiko negatiboa duten lerroak agertzen dira, aurrekoen norabide berdinekoak baina elkarren artean gertuago daudenak. Bestalde, C zonaren iparraldean seinale magnetiko oso egonkorra detektatu dela ikusten da (4.9. eta 4.10. irudiak, 13a zenbakia). Bi okupazio-guneen arteko zerrendarekin gertatzen den bezala, litekeena da sasoiaren batean urak harturiko eremua izatea.

Miaketa eremuaren mendebaldean anomalien disposizio ezberdin bat ikus daiteke (4.8. irudiko D zona). Izan ere, beste lekuetan ez bezala, zonalde zabal batean detektaturiko anomaliak orientazio berdina erakusten dute. Are gehiago, anomalia horiek kontraste magnetiko egonkorreko eta 78 m x 32 metro inguruko laukizuzen baten inguruan daude antolatuta, P5 izendatu dena (4.9. eta 4.10. irudiak, 14 zenbakia). Laukizuzen hau okupazio-gunea baino garaiago dagoen eremuan kokatzen da eta bertatik galtzada ikusmenean dago. Zona honen deskribapen zehatzagoa egin da 4.2.3.1.4. atalean.

Miaketa eremuaren hego-mendebaldean ezin izan zen eremu zabala ikertu zuhaitzek sorturiko oztopoak direla eta. Hala ere ahal zen neurrian miatu zen, inguru horretan arrasto arkeologikoak zeudenaren berri bazegoelako (4.8. irudiko E zona). Izan ere, pistaren eraikuntzaren momentuan ubide bat kokatu zen hor, eta lan horiek egiteko zenbait pareta eta zoru moztu behar zela diote bertakoek. Ubidea emaitzetan agertzen da kontraste magnetiko negatibozko lerro bezala (4.9. eta 4.10. irudiak, 15 zenbakia). Emaitzek ez dute esperotako ikusgarritasuna erakutsi eta, eraikuntza egiturak badaudela agerikoa izan arren, hauek ez dute ongi deskribatzeko adinako definiziorik. Datu-bilketaren momentuan lurra ez zegoen leun, baizik eta ibilgailu pisutsu batek utzitako gurrupilen markak ikus zitezkeen. Baliteke datu kalitatean eragin izana eta horregatik izatea honelako definizio eskasa. Horregatik, zona honi buruz ondorioz atera baino lehen datuak berriz hartzea beharrezkoa litzateke.

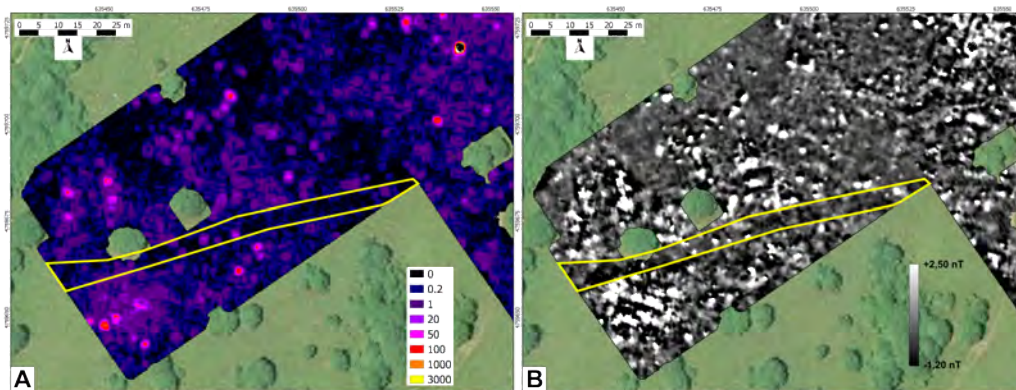
4.2.3.1.2. Galtzada

Miaketa magnetikoaren emaitzek aireko argazkietan eta landa-miaketan oinarrituta Aranzadiko ikerlariak ondorioztatutako ibilbidea baieztatu dute oro har, nahiz eta puntu batzuetan aldaketa txiki batzuk egon. Hala ere, lehenago aipatu bezala, galtzadak berak ez du kontraste magnetiko esanguratsurik sortu, eta inguruko egituren definituriko espazioari esker identifikatu da. Bi okupazio-guneen arteko zerrendan, adibidez, 2013ko aireko argazkietan ongi bereizten den arren, ez da miaketa magnetikoan ageri (4.11. irudia). Gauza bera gertatzen da hego-mendebaldean, non galtzadaren norabide aldaketa inguruko eraikinei esker identifikatzen den, baina Otegi gunerantz jotzen duelarik

bere arrastoa apenas ikusten den. Ibilbidea ezagututa antzematen da gune horretan kontraste magnetikoa egonkorra dena, baina ibilbidea ezezaguna balitz ez litzateke identifikatuko (4.12. irudia).



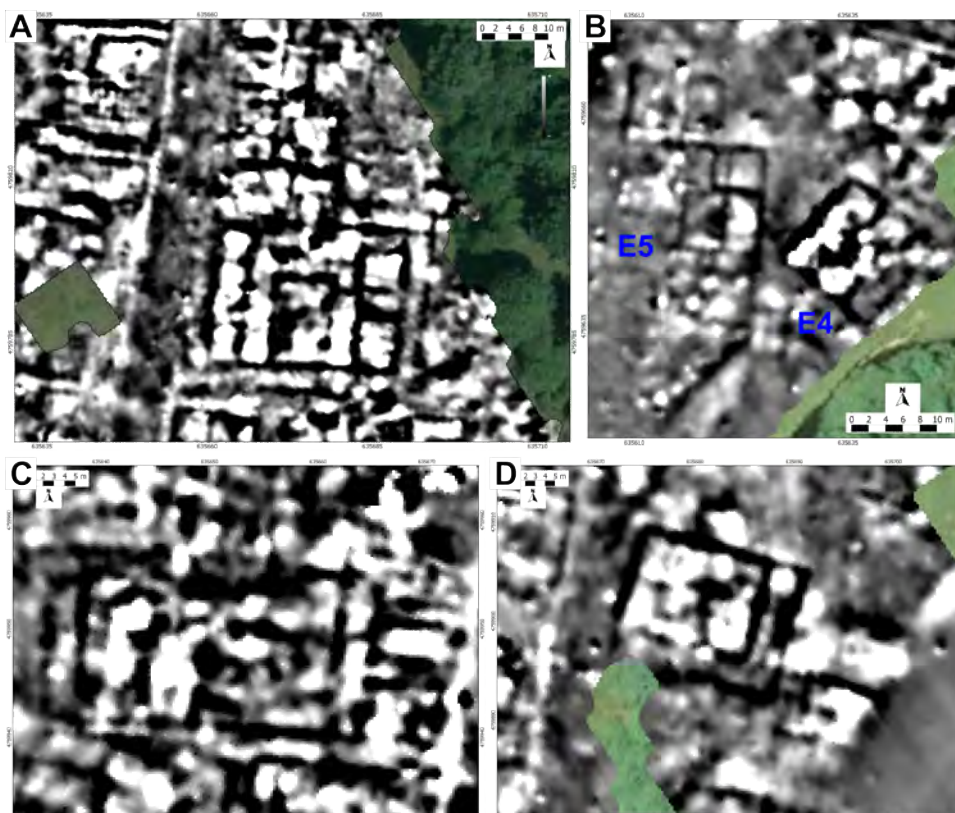
4.11. irudia: A. Zaldua guneko iparraldeko mapa magnetikoa, non ikusten ez den galtzadaren kokapena (geziz) eta galtzadari gainezartzen zaion anomalia (borobilaz) adierazi diren. B. Gune berebako 2013ko aireko argazkia, non galtzadaren ibilbidea nabaria den. Ortofotoaren iturria: ©*Instituto Geográfico Nacional*.



4.12. irudia: Galtzadaren ibilbidean Zaldua guneko hego-mendebaldean. A. Datu magnetikoekin sorturiko bariantza-mapa, non galtzada egonkortasun handiagoko gunearekin identifikatu den. B. Gune berebako mapa magnetikoa eta galtzadaren ibilbidea. Ortofotoaren iturria: ©*Instituto Geográfico Nacional*.

Lehen aipatu bezala galtzadaren alde banatan ubidea izan litezken kontraste positibodun anomalia linealak ageri dira. Galtzadaren zabalera horien artean neurtu da ahal izan denean, eta 6,5 m eta 9 metro bitartekoa dela ikusi da. Aldaera hau puntu batzuetan mugak identifikatzeko zailtasunengatik izan daiteke, lehen aipatu bezala ekialdeko anomalia lineala ez baita beti ikusten, eta eraikuntza gehienek ez dutelako galtzadara begiratzen duen fatxadan muga argirik. Beste puntu batzuetan galtzadari gainezartzen zaizkion anomaliak detektatu dira, garai berdinekoak diren ala ez jakiterik ez dagoen arren. Okupazio-gune nagusiaren iparraldeko mugan galtzada gutxika-gutxika zabaldu egiten

Unitate batzuk eraikin bakunari dagozkiola ikus daiteke, E1, E4, E5, E12 eta E15 unitateen kasuan esaterako. Horietan eraikinaren oinplanoa identifika daiteke, eta E1 unitatearen kasuan *domus* baten egitura karakteristikoa duela ikusten da, barne patio baten inguruan antolatutako eraikuntzak ikusten baitira (4.14. irudia).

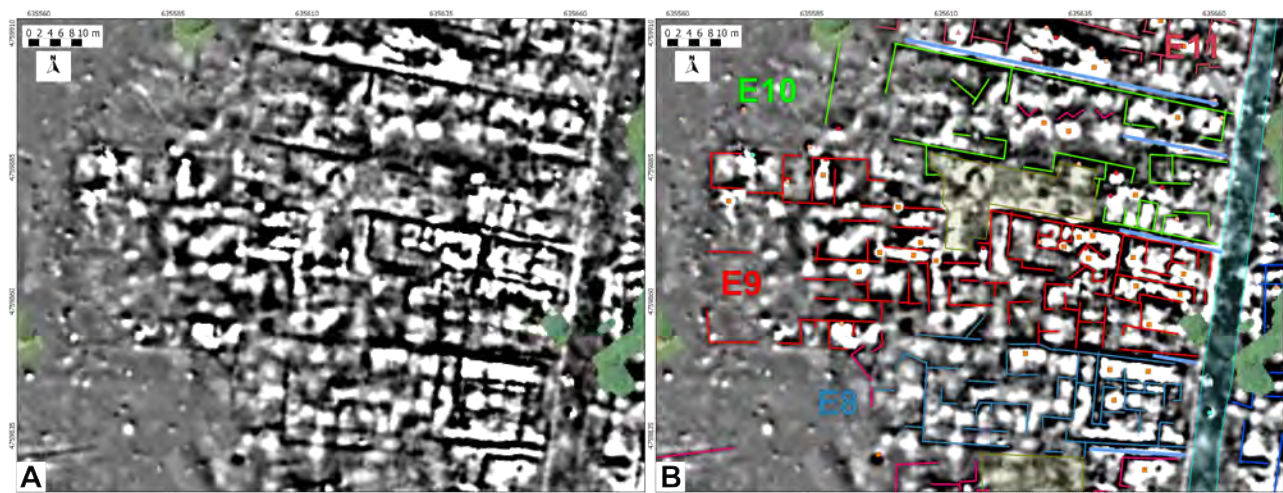


4.14. irudia: Eraikin ezberdinen xehetasuna mapa magnetikoan. A. E1 unitatea (-6 nT beltzez, 7,50 nT zuriz). B. E4 eta E5 unitateak (-7 nT beltzez, 9,50 nT zuriz). C. E12 unitatea (-4,50 nT beltzez, 6 nT zuriz). D. E15 unitatea (-9 nT beltzez, 11 nT zuriz).

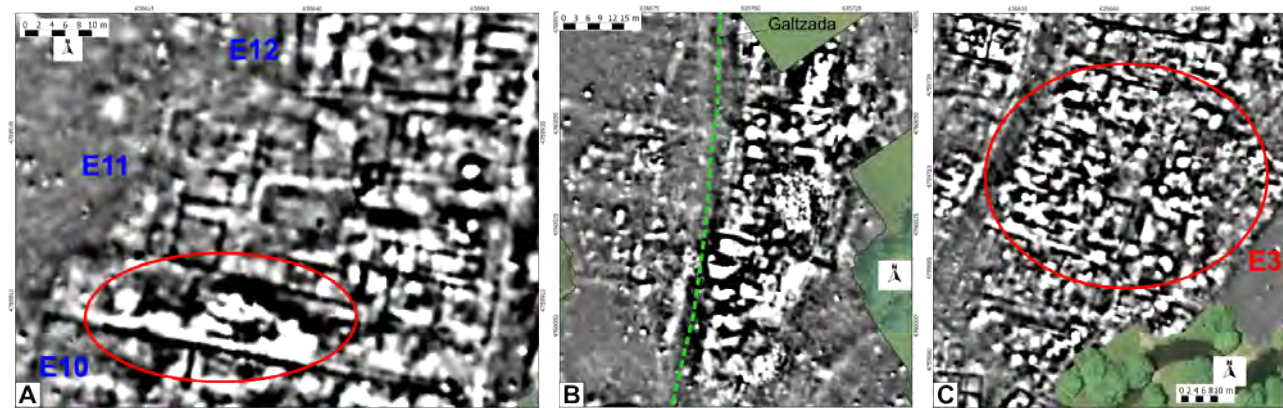
Beste gune batzuetan ez da eraikin isolaturik ezberdintzen, nahiz eta unitate bat antzeman daitekeen. Ipar-mendebaldean dauden E8, E9, E10 eta E11 unitateak, adibidez, mendebalde-ekialde norabidean orientatutako zerrendak dira. Bakoitzaren baitan anomalien orientazioa mantendu egiten da eta hori da unitate izaera ematen diona. Barne banaketaren definizioa, baina, ez da homoginoa eta, puntu batzuetan nabaria den bitartean, besteetan ez da antzematen. Oro har, galtzadatik gertuago dauden zatian kontrastea handiagoa eta egiturak definituagoak direla dirudi (4.15. irudia).

Badira ere oso definizio eskasa erakusten duten guneak. Kasu batzuetan errekuntzek edota traza magnetiko altuko elementuek sortutako anomaliak besteak ezkututzen dituzte, E10 eta E11 unitateen artean, bigarren okupazio-gunearen ekialdeko sektorean eta E3 eraikuntza unitatean bezala (4.16. irudia). Azken bietan agertu diren anomalia kopuruak horietan industrial-guneak egon litezkeena iradokitzen du. Beste kasu batzuetan arazoa ez da errekuntzak sortutako anomalien gainezarmena izan, eta definizio txarra lortu izanaren arrazoa ez da argitu, E7 unitatean esaterako (4.17. irudia, A). E13 unitatean, adibidez, kontraste positibodun anomalia ugari ageri da, horietariko asko linealak, eta ez da horien jatorria azaldu (4.17. irudia, B).

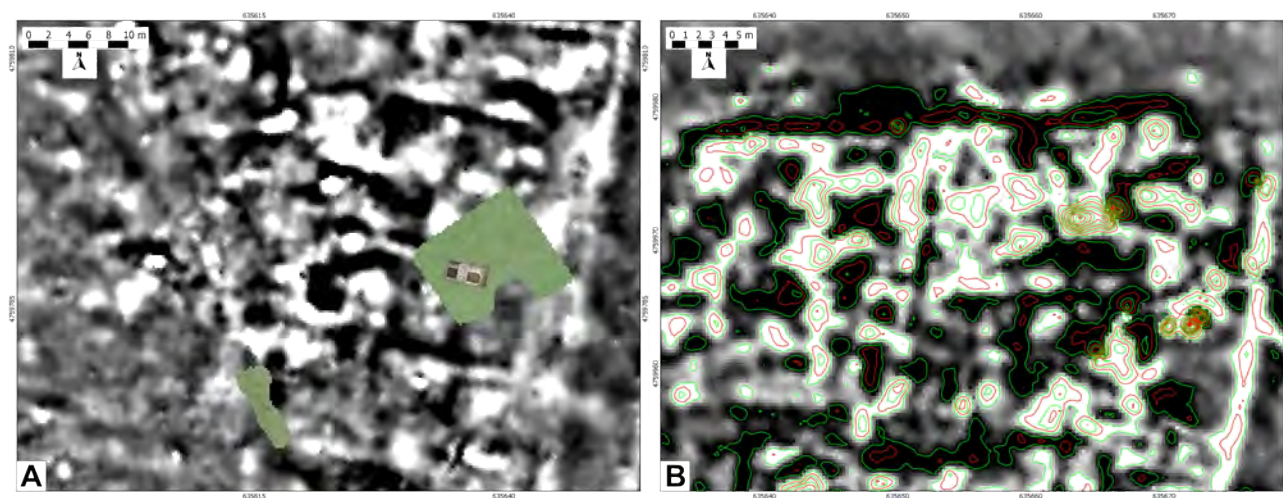
Aipamen berezia merezi du E20 izendaturiko eraikinak. Izan ere, eraikin honen kokapena aireko argazkiak aztertzean aurkitu zuten Aranzadi Zientzia Elkarteko ikerlariek, baina ez du kontraste



4.15. irudia: E8, E9 eta E10 eraikuntza-unitateak. A. Mapa magnetikoa (-8 nT beltzez, 9,50 nT zuriz). B. Irudi bera interpretazio-eskema gainean duelarik.



4.16. irudia: A. E10 eta E11 unitateak, erdian errektuntza edota traza magnetiko altuko materialaren barreiaketak sor lezaken anomalia ikusten delarik (-7 nT beltzez, 8 nT zuriz). B. Bigarren okupazio-gunearen xehetasuna, galtzadaren ekialdean dagoen sektorean errektuntzek sor lezaketan anomaliak ikusten direlarik (-4 nT beltzez, 6 nT zuriz). C. E3 unitatearen xehetasuna non balizko errektuntza guneez sorturiko anomalia ugari ikusten den (-8 nT beltzez, 9 nT zuriz).



4.17. irudia: A. E7 eraikuntza unitatearen xehetasuna, non paretak beste lekuetan baino okerrago ikusten diren (-8 nT beltzez, 9,50 nT zuriz). 2012an irekitako miaketa-zuloaren ortoargazkia ere agertzen da (Euken Alonso). B. E13 unitatearen xehetasuna non kontraste magnetiko positibodun anomalia ugari ikusten den (-4 nT beltzez, 6 nT zuriz).

magnetiko esanguratsurik sortu (4.18. irudia). Eraikinaren paretan bertan daudenaren zalantzarik ez dago, belarra zertxobait altxatuta miaketa-zuloetan ere ikusitako hareharri gorria agertzen delako, eta beraz kontraste magnetikorik ez duen egitura arkeologiko baten aurrean gaude. Gainera, beste lekuetan agertutako harri berdina izanik, ez dirudi material ezberdina erabiltzeagatik denik, inguruaren propietate magnetikoa ezberdina delako baizik. Gune hau urak hartzen du negu partean denbora luzez, eta baliteke kontrastegabeziaren arrazoia horrekin loturik egotea (Weston 2004).



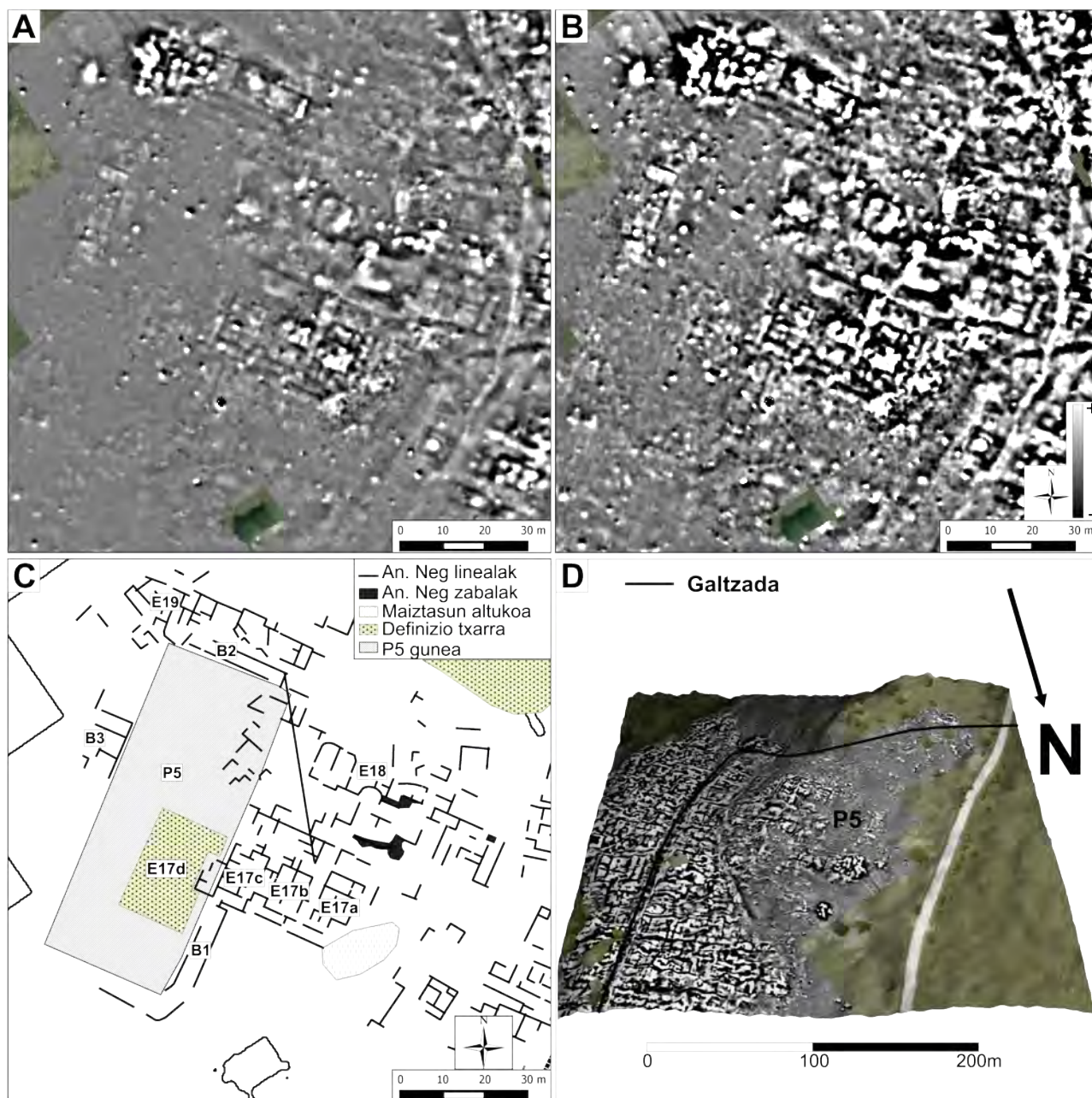
4.18. irudia: E20 eraikina. A. 2013ko aireko irudia non belarrean kolore ezberdina sumatzen den paretak dauden tokian. B. Irudi berbera paretan kokapena adierazita. C. Miaketa magnetikoaren emaitza gune berdinean kontraste bortitza aplikatuz (-1 nT beltzez, 1,30 nT zuriz). D. Irudi berbera paretan kokapena adierazita.

4.2.3.1.4. P5 gunea

Arestian aipatu bezala, miaketa gunearen hego-mendebaldean orientazio berdina erakusten duten anomaliak detektatu dira laukizuzen baten inguruan. Laukizuzenaren ekialdean E17 deritzon eraikuntza unitateak eta kontraste magnetiko negatibodun bi anomalia linealek mugatzen dute (4.19. irudia, B1). Bi lerro hauen artean 4 metroko distantzia dago eta bien artean banaketa lerro batzuk antzeman daitezkeen arren, ez da deskribapen egokia egiteko adinako definiziorik lortu. Deigarria da hego-ekialdeko erpina borobildua izatea, erromatar garaiko kanpamendu askotan hala izaten delako (ikusi, adibidez, Fassbinder 2010). Eraikuntza unitatea antzekoak diren hiru blokek osatzen dute (4.19. irudia, E17a, E17b eta E17c), eta horien inguruan pasabideak izan litezkeen espazioak ikusten dira. Hiru modulu hauen mendebaldean eta P5 gunearen barnealdean alterazio magnetikoa erakutsi duen arren inolako deskribapenik egin ezin zaion eremua dago, E17d deitu dena. Bestalde, BU17/3/2012 miaketa-zuloan agertutako 103 paretak bat egiten du E17a modulua mendebaldeko mugarekin, geofisika eta arkeologia emaitzak ongi uztartu direla erakutsiz (ikusi 4.9. irudian handitutako laukia). E17 unitatearen iparraldean kontraste altuagoko anomaliak erakutsi dituen gunea dago, baina horien mugak eta forma ez da hain argi definitu. Deigarria suertatzen da zirkunferentzierdia marrazten duen kontraste magnetiko positibodun gunea (4.19. irudia, E18), ez baita forma honetako besterik detektatu miaketa eremuan. Egitura honen iparraldean errekuntza prozesuei esleituriko anomaliak ikus daitezke.

P5 gunearen iparraldeko muga kontraste negatibo xumeko bi anomalia lineal paralelo detektatu dira (4.19. irudia, B2). Horien iparraldean eraikuntza egiturek sortuak diruditen anomalia linealak ageri dira, baina ezin da inolako oinplanorik deskribatu. Zerrenda honen mendebaldean detektatu den intentsitate altuak suarekin loturiko prozesua pairatu duela iradokitzen du (4.19. irudia, E19). Gunearen mendebaldeko mugari dagokionez, ez da era jarraituan definitu baina eraikuntza bat bederen

badagoela ikusten da (4.19. irudia, B3). Puntu honetan ezin da esan ea kontraste magnetikorik erakutsi ez duen egitura gehiagorik dagoen ala ez.



4.19. irudia: P5 gunearen xehetasuna. A. Mapa magnetikoa (-10 nT beltzez, 10 nT zuriz). B. Mapa magnetikoa (-3 nT beltzez, 3 nT zuriz). C. Miaketa magnetikoan oinarritutako interpretazio-eskema. Zenbakiak testuko aipamenei egiten diete erreferentzia. D. P5 gunearen testuinguru topografikoa, LiDAR datuekin eta ortofotoarekin sortua (iturria: ©Instituto Geográfico Nacional).

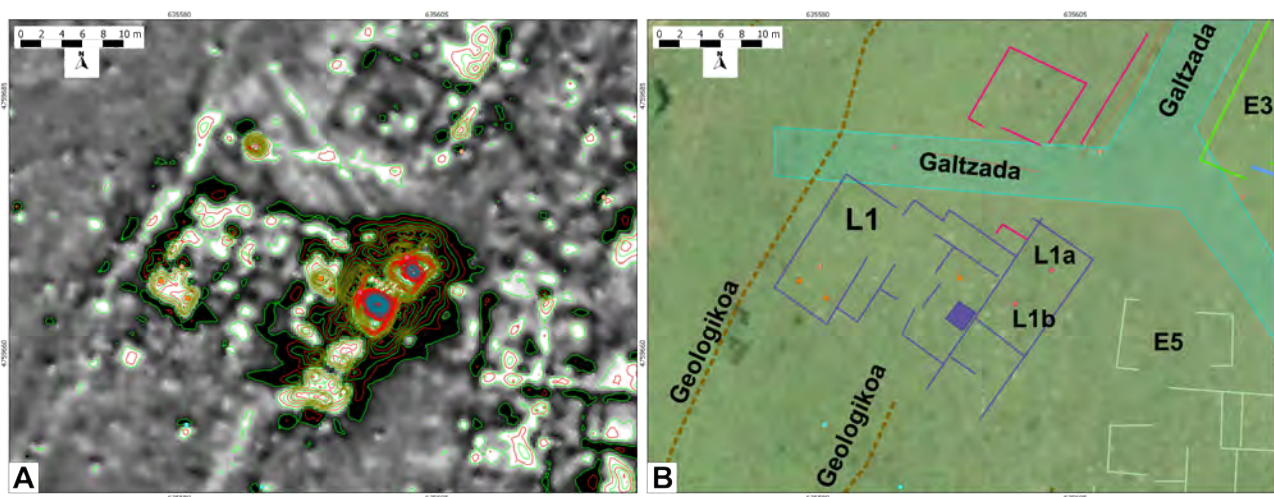
P5 gunearen ezaugarriak bereziak dira. Alde batetik horrelako eremu zabalean orientazio berdina mantentzea ez da ikerketa guneko beste lekuetan ikusi. Bestetik okupazio-gunea baino garaiagoa den puntu batean dago kokatuta (4.19. irudia, C), eta bertatik galtzadaren ibilbidea kontrola daitekeela pentsatzea zilegi da. Are gehiago, galtzadak kasik 90 graduko biraketa egiten du eremu garai hau inguratuz, norabide aldaketa bortitzaren funtsezko arrazoia ezagutzen ez den arren. Izan ere, Zalduako okupazio-gunea zeharkatzen duen ibilbidea ia ipar-hego norabidean dago, eta biraketa bortitz honen ondoren ekialde-mendebalde norabidea hartzen du Otegi guneko nekropolira zuzentzeko (4.7. irudia).

Informazio guzti hauetan oinarrituz gune honek funtzio berezia betetzen duenaren ustea dago, eta hipotesien artean hiriko plaza publikoa edo *forum*a da nagusitzen denetariko bat.

4.2.3.1.5. Labeak eta bestelako errektuntza guneak

Deskribapen orokorrean aipatu bezala errektuntza egituretariko asko behe-suek sortuak direnaren ustea dago, eraikin bezala interpretaturiko guneen barnealdean agertu direlako. Badira, hala ere, deskribapen horretan sartzen ez diren batzuk eta aipamen berezia merezi dutenak.

L1 deiturikoa okupazio-gune nagusiaren hegoaldean dago, galtzadak bira egiten duen puntuan (ikusi 4.13. irudia). Kontraste magnetiko berdineko puntuak lotzen dituzten isolerroak erabilia bi gune ezberdindu daitezke, L1a eta L1b (4.20. irudia). Errektuntzaren fokua isolerroen erdigunean dagoela pentsatzea zilegi da (ikusi, adibidez, Crew 2002). Kasu honetan, beraz, bi foku daudela esan daiteke. Gradiometroak 2500 nanoteslako balioak neurtu dituela kontuan izanda, labe edota tenperatura altuko prozesuekin loturiko egitura bezala interpretatu da. Errektuntza fokua handiagoa den eraikuntza batean integratuta agertu dira, eta osotara 400 m² inguruko eremua hartzen du.

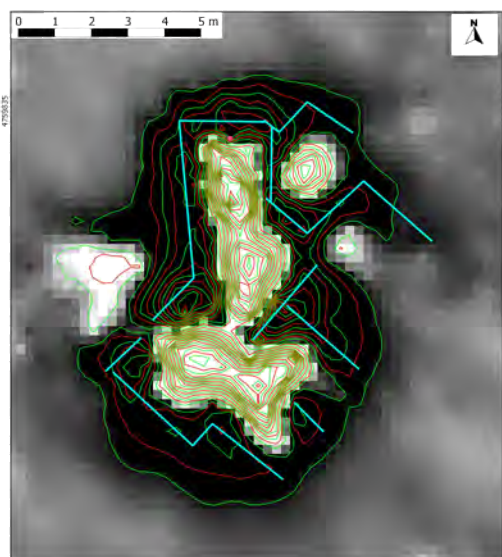


4.20. irudia: L1 balizko labearen xehetasuna. A. Mapa magnetikoa (-6 nT beltzez, 7 nT zuriz) eta isolerroak (5 nT berdez, 10 nT gorritz eta 100 nT urdinez). B. Miaketa magnetikoan oinarritutako interpretazio-eskema.

L5 izendaturikoa P5 gunearen iparraldean agerturiko anomalia isolatua da (ikusi 4.13. irudia kokapenerako eta 4.21. irudia anomaliaren xehetasunerako). Inguru horretan detektaturiko kontraste magnetikoarekin alderatuta anomalia intentsua dirudien arren, neurturiko balioak ez dira L1 anomaliarako neurtutakoaren mailara iristen (L5 max: 100 nT; L1 max: 2500 nT). Horregatik eta ez duelako inolako forma argirik definitu, ez da labe bat denik uste, eta sute baten ondorio izatea litekeena da.

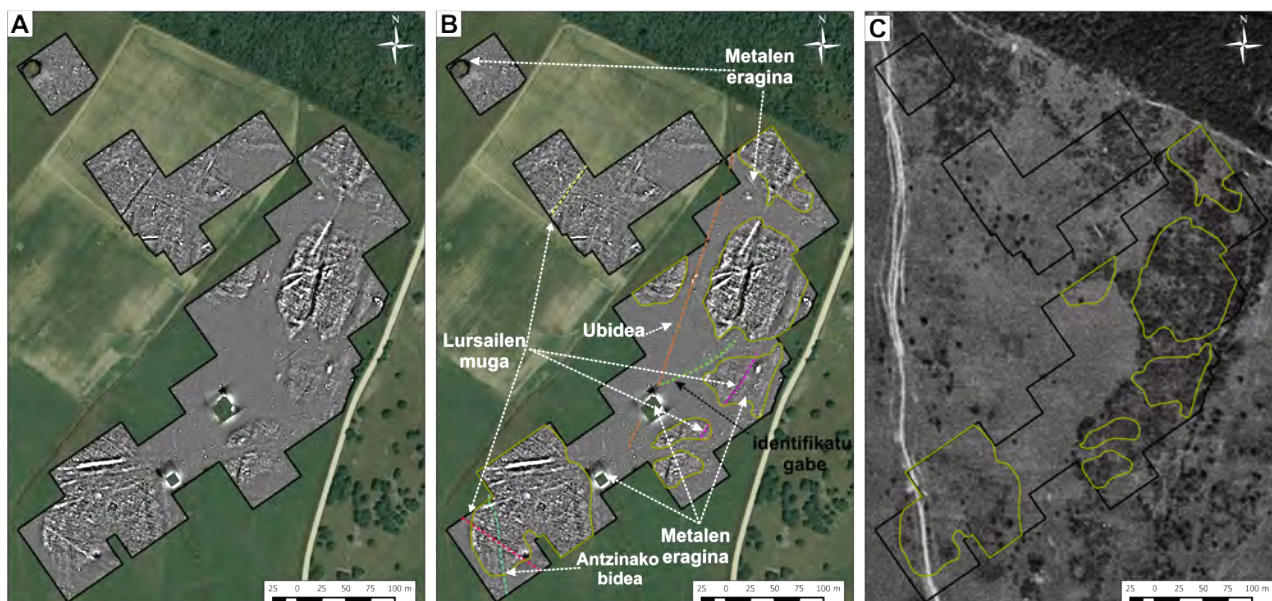
4.2.3.2. Otegi eta Benta guneak

Otegi guneko emaitzak ez dira Zaldia gunekoak bezain ikusgarriak. Izan ere, kontraste magnetiko ezberdinetako guneak ikusten diren arren, horietan arrasto arkeologikoak identifikatzea ez da erraza suertatu, ez dutelako forma argirik definitzen. Hala ere, erantzun magnetikoari dagokionean bi zona mota ezberdintzen da, kontraste magnetiko homogeneoa erakusten dutenak eta alterazio magnetikoa ageri dutenak (4.22. irudia). Azken hauek zertxobait garaiago daude guneekin bat egiten dute, alterazio



4.21. irudia: L5 anomaliaren mapa magnetikoa (-6 nT beltzez, 7,5 nT zuriz) eta isolerroak (5 nT berdez eta 10 nT gorriz).

magnetikoa eta topografia nolabait lotuta baleude bezala. 1956-1957. urteko aireko irudian gune hauek landatu gabe ageri dira oro har, eta baliteke horren arrazoia lurraren propietateak ezberdinak izatean egotea (ikusi 4.22. irudia, C). Horregatik, alterazio magnetikoa geruza geologikoen aldaerekin lotua egotea litekeena da.



4.22. irudia: Otegi gunea. A. Mapa magnetikoa (-5 nT beltzez, +6 nT zuriz). B. Mapa magnetikoa non eragin modernoko anomaliak adierazi diren. C. 1956-1957 urteetan egindako *hegaldi amerikarra*, non alterazio magnetiko altuko guneen perimetroak ere adierazik diren.

Irla anomalo horiez gain, lursailen muga izandakoek sorturiko anomaliak eta goldeak sortutakoak ere ikusten dira puntu batzuetan (4.23. eta 4.24. irudiak, 1 eta 2 zenbakiak hurrenez-hurren). Uraren erosioak sorturiko arrasto batzuk ere ikusten dira kontraste negatibodun lerro bezala, eta kontrastea urak utzitako materialgabeziak sortua denaren ustea dago (4.23. eta 4.24. irudiak, 3a). Bestalde, zaldia guneko C zonan gertatzen den bezala, Benta gunean badira behin-behinean geologiaren

estratifikazioari edo uraren ibilguari esleituriko anomalia lineal positiboak (4.23. eta 4.24. irudiak, 3b). Burdinazko objektuek sorturiko anomalia pila ageri dira emaitzetan, ziurrenez laborantza lanetan eroritako hondakinen ondorioz.

Galtzadaren ibilbidea ezaguna izan ez balitz, honek sorturiko kontraste magnetikoa identifikatzea oso zaila litzateke. Izan ere, zati batzuetan soilik sortzen du inguruarekiko kontraste negatibo xumea (4.23. eta 4.24. irudiak, 4 zenbakia). Emaitzetan antzeko kontrastea sortzen duen beste egitura lineal bat ikusten da, ipar-hegoalde norabidean, Benta gunean jarraitzen duena (4.23. eta 4.24. irudiak, 5). Baliteke beste bide baten arrastoa izatea, baina ez du zertan galtzadaren garai berekoa izan.

Otegi guneko mendebaldean burututako indusketek tamaina txikiko eta kontserbazio maila urriko urnak azaleratu zituzten (Unzu eta Peréx 2010). Horregatik, miaketa magnetikoak urna horiek detektatzerik ez zen espero, baina bai nekropoliak hartzen duen eremuak alterazio magnetiko ezberdina erakustea. Emaitzetan, aldiz, lursailen muga-aldaketak, egitura modernoak eta bereziki hondoaren alterazio magnetikoak nagusitzen dira, eta ezin izan da nekropoliaren zabalera zehaztu. Hori horrela izanagatik, zenbait anomalia interesgarri detektatu da gune honetan. Alde batetik, 90ko hamarkadan induskatutako eta bere horretan utzitako mausoleoak detektagarria den kontraste magnetiko negatiboa sortu du (4.23. eta 4.24. irudiak, 6). Aldiz, induskatutako bigarren mausoleoa, osorik ez zegoena eta berriz tapatu zena, ez da agertu (ikus esperotako kokapena 4.25. irudian edo 4.23. eta 4.24. irudiak, 7). Horren ordez burdinazko objektuek sorturiko anomalia ugari ikusten da posizio horretan, eta litekeena da indusketa-lanen ondorioz izatea. Ezagutzen ez den beste mausoleo batena izan daitekeen anomalia ikus daiteke galtzadaren ibilbidearen hegoaldean (4.23. eta 4.24. irudiak, 8), baina ezin da ziurtatu. Izan ere, antzeko anomalia bat ageri da 90ko hamarkadan induskatu zen gune batean, baina indusketan ez zen mausoleorik ikusi (4.23. eta 4.24. irudiak, 10). Mota honetako egituren interpretazioa, beraz, ez da zuzena eta beste informazio iturri baten beharra dago. Baliteke georradarra harrizko mausoleoak detektatzeko sistema geofisiko egokiagoa izatea, bereziki hain inguru magnetiko aldakorrean eta kontserbazio maila baxuak harri lerro bakarra utzitako kasuan.

Bestalde, nekropoliaren eremuan deigarria da 47 metro luze den eta 3,5 metro inguruko zabalera duen anomalia (4.23. eta 4.24. irudiak, 9). O8 deritzon anomalia honek 10 eta 20 nT bitarteko kontraste magnetiko positiboa ageri du, eta galtzadaren ibilbidearekiko paraleloa da. Bi aldetan ikusten da intentsitate baxuagoko eta kontraste magnetiko negatiboko gune bat eta horien jatorria ez dago argi. Galtzada oso gertu pasatzen den arren, ezin da ziurtatu hegoaldekoa horrek sortua denik.

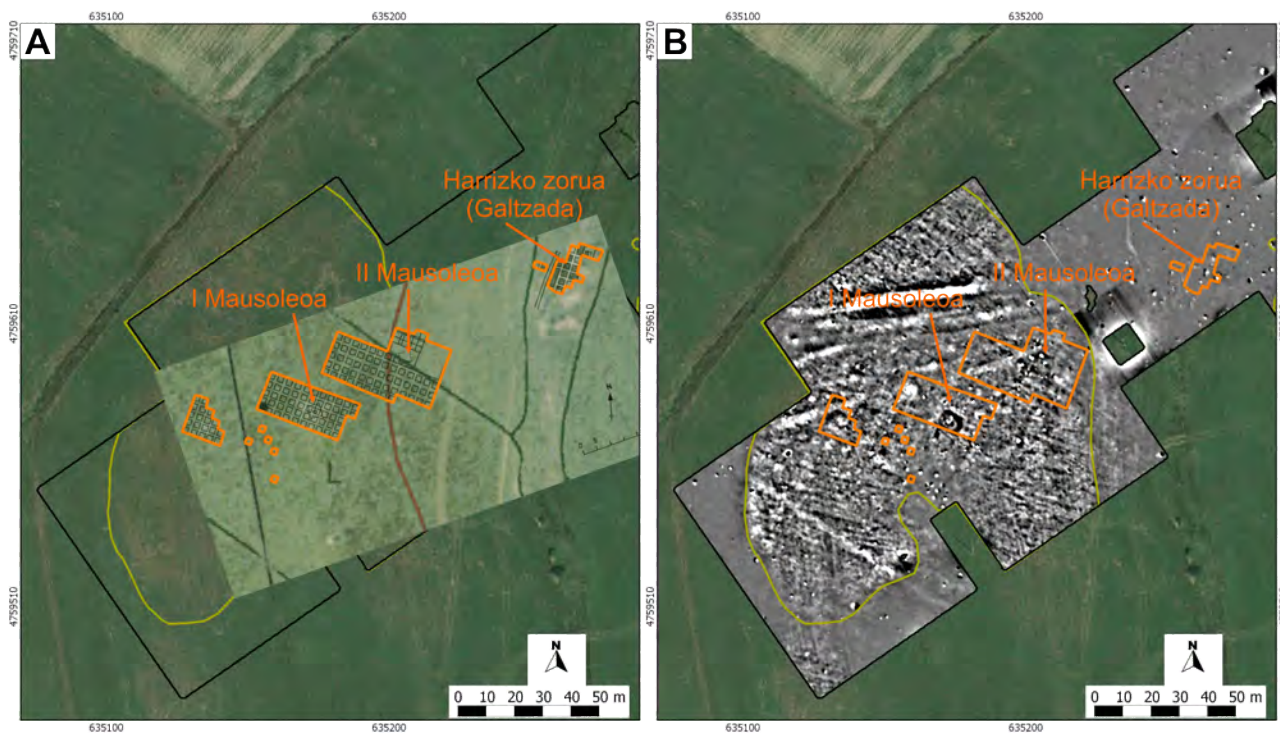
Otegi iparraldeko koadrikulan ere badago intentsitate altuko anomalia lineal bat (4.23. eta 4.24. irudiak, 11). Honek 17 metro inguruko luzera du eta 1,5 metroko zabalera bi zerrenda paraleloz osatua dago. Iparraldekoak kontraste magnetiko positiboa du (max. 40 nT) eta hegoaldekoak, berriz, kontraste magnetiko negatiboa (min. -70 nT). Kontuan izanda ez duela suarekin loturiko anomalien polaritatea errespetatzen, hau da, negatiboa ez dagoela positiboaren iparraldean, ezin zaio horri esleitu. Anomaliaren itxura eta intentsitatea kontuan izanda baliteke tximista batek sortua izatea (Jones eta Maki 2005). Benta gunean ere detektatu da anomalia intentsu isolatua (4.23. eta 4.24. irudiak, 12). Kasu horretan polaritatea "normala" denez, ezin da ezeztatu suszeptibilitate magnetiko altuagoko sedimentuz beteriko lubakia izatea.



4.23. irudia: Otegi eta Benta gunetako emaitza magnetikoa (-8 nT beltzez, +8 nT txuriz). Zenbakiak testuan zehar adierazitako erreferentziei dagozkie. Lursail-zatiketaren iturria: SITNA. Irudi bera dokumentu honi erantsitako 1. planoan aurki daiteke.



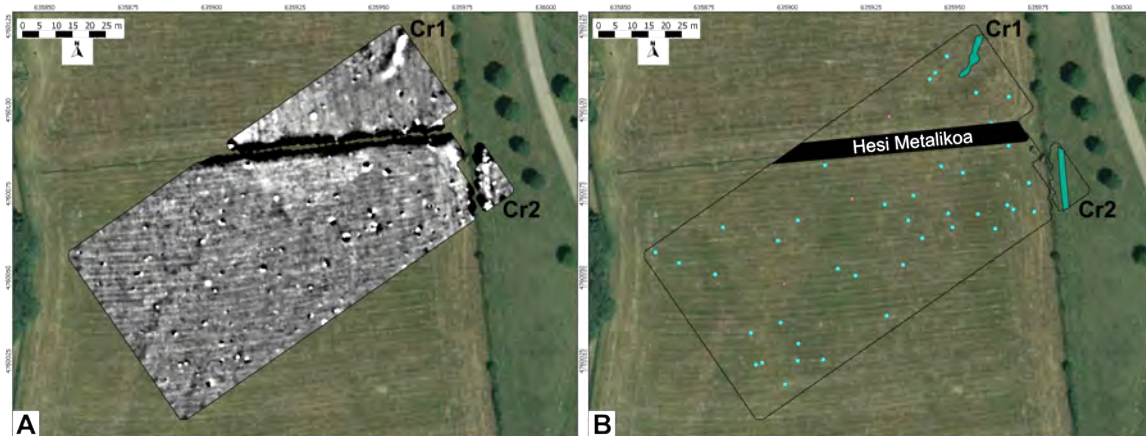
4.24. irudia: Otegi eta Benta gunetako emaitza magnetikoetan oinarritutako interpretazio-eskema. Zenbakiak testuan zehar adierazitako erreferentziei dagozkie. Lursail-zatiketaren iturria: SITNA.



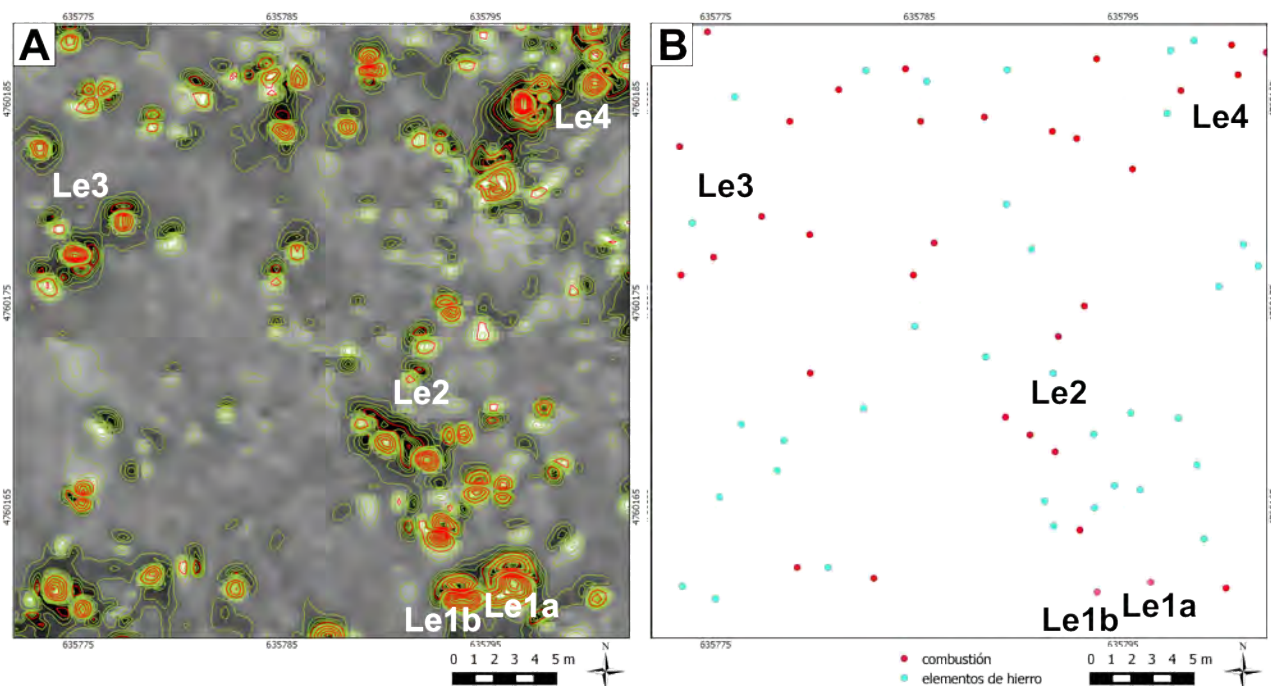
4.25. irudia: Otegi guneko nekropolia. A. Unzu eta Peréx 2010 argitalpenean agertzen den planoaren gutxi gorabeherako kokapena miaketa magnetikoa aztertzeko erabilitako GIS sisteman. B. Aurreko iruditik ateratako indusketa eremuak miaketa magnetikoaren emaitzaren gainean (-5 nT beltzez, +6 nT txuriz). Ortofotoaren iturria

4.2.3.3. Carneros eta Esondoa

Gune hauetan ez da anomalia esanguratsurik detektatu. Izan ere, Carneros gunean goldearen marka bezala interpretaturiko anomaliak nagusitzen dira, gunea erdibitzen duen hesi metalikoak sorturikoarekin batera. Horiez gain burdinazko objektuek sorturiko anomalia ugari ikus daiteke. Iparraldeko erpinean kontraste positibodun anomalia detektatu da (4.26. irudia, Cr1), baina ez du forma identifikagarriarik eta zaila da zerk sortu duen esatea informazio gehiagorik gabe. Eremua mugatzen duen hesitik kanpo ere detektatu da kontraste positibodun beste anomalia bat, Cr2. Nahiz eta gaur egun ia beteta dagoen, hemen lubaki bat zegoena jakina zen, eta seguruenik betekinaren propietate magnetikoak ezberdinak izateak sortu du anomalia.



Esondoa gunean errekontza guneekin loturiko anomalia ugari detektatu da, baita burdinazko objektuek sortutakoak ere (4.27. irudia). Hasera batean aztarnategiarekin loturiko egiturak zirenaren ustea zegoen, eta anomalia hauek interesgarritzat jota miaketa gehiago egiteko gune bezala definitu zen. Hala ere, zundaketa geoarkeologikoetan Urrobi ibaiaren terrazekin loturiko estratigrafia besterik ez zen aurkitu, eta honek zalantza piztu zuen. Inguru hori militarrek kanpaldiak egiteko erabili ohi zutela jakin zen gero. Hori dela eta, errekontza egiturak beraiek egindako suak direnaren ustea nagusitu da eta, ondorioz, ez da eremu honetan arrasto arkeologikoen zantzurik agertu.



4.27. irudia: Esondoa gunea. A. Mapa magnetikoa (-3 nT beltzez, 3 nT zuriz) isolerroekin (2 nT berdez, 10 nT gorriz). B. Emaitza magnetikoan oinarritutako interpretazio-eskema. Puntu urdinek burdinazko objektuek sorturiko anomalien kokapena adierazten dute eta puntu gorriek errekontzak izan daitezkeenak.

4.2.4. Ondorioak

Miaketa magnetikoak nabarmen eragin du berriki aurkitutako erromatar hiri honen ezagutzan, eta lortu den informazio arkeologikoa garrantzia handikoa dela esan daiteke. Besteak beste, okupazio-gune nagusiaren zabalera eta bere oinplanoaren deskribapenaren gaineko informazioa lortu dira. Hala ere, mugatzeari dagokionean emaitzak ez dira hain determinanteak izan eta ez da aztarnategiaren muga argirik aurkitu, iparraldeko salbuespena izan ezik. Miaturiko ia 18 hektarea ingurutan erantzun magnetikoak aldaera nabariak erakutsi izanak mugak ezartzeko zailtasunak areagotu ditu.

Gune batzuetan, hondoaren alterazio magnetikoak emaitzetan eragin du. Hori da Otegiko irla anomaloetan gertatu dena, non alterazio magnetiko horretan arrasto arkeologikoei sorturiko anomaliak ezberdintzeko zailtasuna egon den. Gune horretan bertan nekazaritza lanekin loturiko anomaliak ere agertu dira. Testuinguru aldakor honetan ezin izan da nekropoliaren zabalera zehaztu.

Bestalde, Zaldia hegoaldeko E20 eraikinak ez du kontraste magnetikorik sortu. Gune hori urak hartzen du neguko hilabeteetan denbora luzez, eta baliteke hori izatea kontraste ezaren arrazoia. Izan ere, ikerketa batzuen arabera honek susceptibilitate magnetikoaren areagotzea zailtzen du eta, ur

azpian luze egonez gero, burdin oxidoak iragaztearen ondorioz txikiagotu (Weston 2004). Okupazio-gune nagusiaren iparraldean dagoen zerrendan ere baliteke ura pilatu izana, nahiz eta egun ez den horrelakorik ikusi. Bertan dagoen kontraste magnetiko eza, beraz, horren eraginez izan daiteke. Hala ere, zerrenda horretan ez dago egitura arkeologikorik dagoenaren beste informaziorik eta baliteke kontraste ezaren arrazoia arrastorik ez dagoela izatea. Zaldua hego-mendebaldean, berriz, ur hobi bat sartzerakoan aztarna arkeologikoak badaudela ikusi arren, ez da horiek deskribatzeko adina definizio lortu. Kasu honetan, baina, puntu garaia da eta ez dirudi ura pilatuko denik, eta ziurrenik datuen kalitate txarra eta geruza arkeologiko meheen konbinazioa da kontrastean eragin duena.

Puntu horietan gertaturikoa ikusita argi dago kontraste magnetikorik ez duten guneek ere aztarna arkeologikoak barnera ditzaketela. Ondorioz, miaketa magnetikoa ezin da erabili aztarnategiaren zabalera zehazteko informazio iturri bakar gisa. Hori horrela izanagatik, miaketa magnetikoa aztarnategiaren lehen mugatzea eta deskribapena egiteko tresna egokia dela esan daiteke. Okupazio-gune nagusian esaterako, eraikinen disposizio eta ezaugarrien deskribapena egitea ahalbidetu du. Oro har paretak ongi definitu direnez, pilatutako teila edota adreilu kopuru handirik ez dagoela ondoriozta daiteke, hauek paretak ezkututzen duten anomalia intentsuak sortu ohi dituztelako (Neubauer eta Eder-Hinterleitner 1997b). Eraikinen orientazioan oinarrituta galtzada lehenagokoa dela ondoriozta daiteke, eta hiriaren hazkundearen ardatz moduan jokatu duela. Bigarren mailako kale edo pasabideak identifikatzea, aldiz, ez da erraza suertatu, eta informazio partziala besterik ez da lortu, askotan galtzada nagusiarekin elkartzean soilik ikusten direlako. Informazio ez-oso horren arabera, galtzadarekiko elkarzut dira eta ez daude tarte erregularretan antolatuta. Esan beharra dago hau dela egungo Auritz eta Aurizberri herrien antolaketa, non etxeak errepide nagusiaren arabera antolatuta dauden eta etxeen artean pasabide estu eta irregularrak dauden (ikusi 4.28. irudia).



4.28. irudia: A. Auritz-Burguete herriaren aireko argazkia. B. Aurizberri-Espinal herriaren aireko argazkia. C. Zalduako okupazio-gune nagusiko eraikinen interpretazio-eskema. Ortofotoen iturria: © *Instituto Geográfico Nacional*.

Eraikinen barne antolaketari dagokionez emaitzak lekuan-lekura aldatu dira. Kasu batzuetan gelen barnealdeak kontraste positibo adierazgarria erakutsi dute eta barne antolaketa deskribatu ahal izan da, baina beste kasu batzuetan ez da hala gertatu. Fenomeno honek arrazoi ezberdinak izan ditzake, eta ziurrenik ez dago kasu guztiak barnebilduko dituen azalpena. Gerta liteke, adibidez, gela batean sua edo beste eragin bategatik traza magnetiko altuko materialak pilatu izana, eta horrek sortzea

ezberdintzea ahalbidetzen duen kontrastea. Gerta daiteke ere garai luzean erabilitako eraikinetan aldaketak egin izana, eta horrek oinplanoa definitzeko zailtasunean eragitea. Bestalde, baliteke kasu batzuetan detektatu diren planta zabaleko eraikinak estatus handiagoko biztanleei egokitzea.

Detektaturiko kontrasteagatik eta itxuragatik anomalia batzuk labe edo errekontza gune bezala identifikatu dira. Hala ere, errekontza anomalia gehienak eraikinen barnealdean agertu dira eta beheko su bezala interpretatu. Zaldua guneko hego-ekialdeko E3 unitatean eta iparraldeko bigarren okupazio-gunean suarekin loturiko anomalia asko detektatu dira, baina ezin izan dira ezbairik gabe industria-gune bezala identifikatu. Antzeko zeozer gertatzen da terma gunearekin. Izan ere, honelako hiri batek terma gunea izango zuela pentsatzekoa da, baina ez da gune hori argi identifikatu. Hala ere, emaitzetan oinarrituta gune singular bat identifikatu da, P5 gunea, eta litekeena da hiriko eraikin publikoak bertan egotea, eraikin guztiak orientazio bera erakusteak unitate arkeologiko bat iradokitzen duelako. Hala ere, gune honetan kontraste magnetikoa ahula da eta puntu batzuetan ongi detektatu ez diren egiturak daudenaren susmoa dago. P5 gunean zergatik dagoen beste guneetan baino kontraste ahulagoa ez dago argi. Izan ere, hemen burututako BU17/3/2012 katan ikusitako materialak eta gune nagusiko BU17/1-2/2012 katetan ikusitakoak antzekoak dira (Agirre-Mauleon et al. 2012b). Kontuan hartzekoa da gune nagusian egindako miaketa-zuloetan bi metrotik gorako potentzia arkeologikoa ikusi zela eta P5 guneokan, berriz, paretak 0,25 metroko potentzia zuela indusketa utzi zen lekuraino. Egia da barnealdeko errekarrik zoruak ez zela kendu, eta beraz ez dela pareta noraino helduko den ezagutzen, baina argi dirudi geruza arkeologikoa meheagoa dela hemen. Hori izan daiteke kontraste magnetiko apalagoa azaltzeko arrazoi nagusia.

Kontraste magnetikoaren diferentzian oinarrituta hiru gune mota definitu dira aztarnategian (4.29. irudia): (1) aztarna arkeologikoen definizio egokia erakutsitako guneak, (2) aztarnak partzialki deskribatutako guneak eta (3) kontraste magnetikorik erakutsi ez arren beste informazio iturriek esker aztarna arkeologikoa daudena jakina den guneak. Lehen kategorian Zalduako okupazio-gune nagusia dago. Bigarren kategorian sailkatu dira iparraldeko bigarren okupazio-gunea eta P5 gunea. Azken kategorian sailkatu dira Otegiko nekropolia, galtzada bera eta Zalduako E20 eraikinaren gunea. Sailkapenetik kanpo geratutako guneetan kontraste magnetiko homogenea edota egitura modernoek sorturiko anomaliak besterik detektatu ez diren guneak daude. Horrek ez du esan nahi aztarna arkeologikorik ez dagoenik, baina ez dago inolako informaziorik.

Laburbilduz, Auritz-Aurizberri aztarnategian burututako miaketa magnetikoa aproposa izan da aztarnategiaren lehen ikerketa burutzeko, mugak zehazteko zailtasunak egon arren. Hemendik aurrera burutuko diren ikerketak kokatzeko mapa baliagarria eskaini du eta honetan oinarrituz miaketa geofisiko osagarriak burutzeko leku interesgarriak erabaki daitezke. Erantzun magnetikoan hainbesteko aldaerak egoteak, gainera, geofisikan eragiten duten faktoreetan sakontzeko aukera emango du, eta kontraste magnetiko ezaren jatorria ulertzea baliagarria izango da.



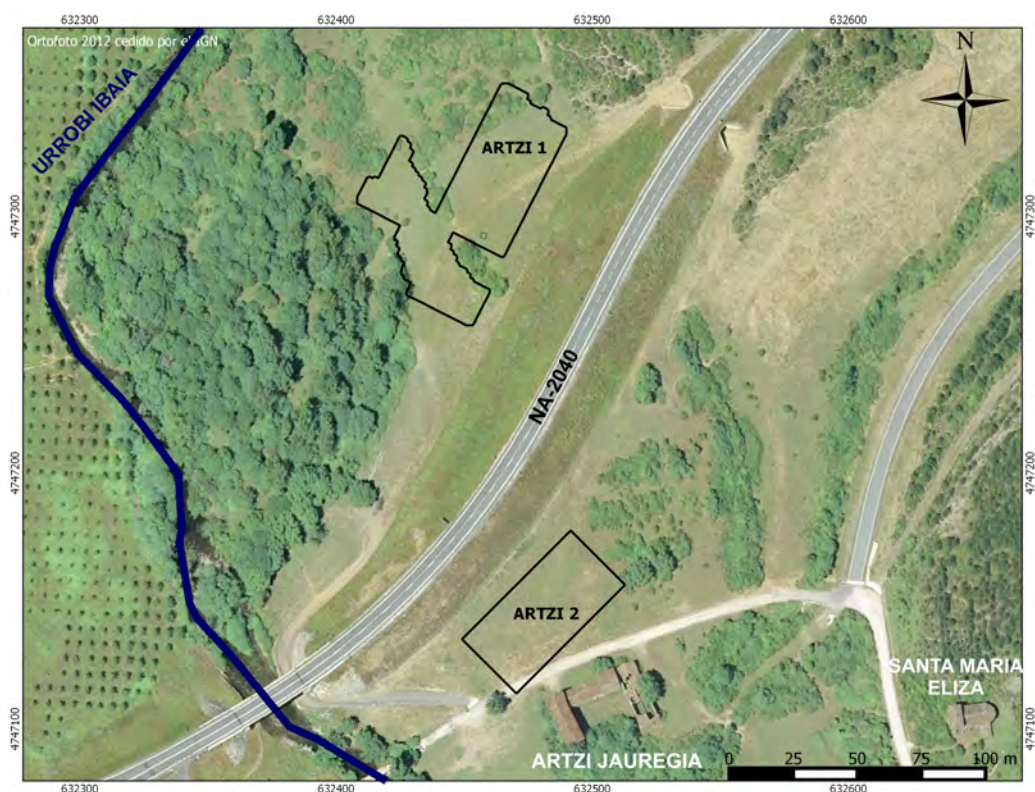
4.29. irudia: Erantzun magnetikoan oinarritutako guneen klasifikazioa.

4.3. Artzi

Aztarnategi hau Artziko Ama Birjina parajearen kokatzen da eta 2012. urtean aurkitu zen Aranzadi Zientzia Elkarteak buruturiko indusketa kanpainaren baitan. 2 m x 2 metrotako miaketa-zuloan arkeologia geruza ezberdinak agertu ziren, aurkituriko zeramikak erromatar garaian kokatzea ahalbidetu zutelarik (Agirre-Mauleon et al. 2012b).

2014. urteko uztailean buruturiko geofisika kanpainan koadrikula bat kokatu zen miaketa-zuloaren inguruan (Artzi 1). Hasera batean 30 m x 30 metroko koadrikula markatu zen arren, emaitzak interesgarriak zirela ikusita, miaketa eremua zabalduz joan zen, eta guztira 3304 m² miatu ziren. Bestalde, NA2040 errepidea paraje honen gainetik pasatzen da, eta miaketa-zuloa egindako gunea eta XII. mendeko Artzi Jauregia dagoen lekua banatzen ditu (ikusi 4.30. irudia). Aztarnategiak errepidearen beste aldean jarrai dezakeenaren susmoak bultzatu zuen bigarren koadrikula bat errepidearen hegoaldean kokatzera (30 m x 60 metrokoa, Artzi 2). Bi koadrikulak aldapa xumeko belardian daude kokatuta, sastrakaz inguratuta, Urrobi ibaiaren terrazekin loturiko testuinguru geologikoan. Miaketaren momentuan Artzi 1 gunean sastraka batzuk kendu ziren, eremua zertxobait handiagotu ahal izateko.

Bildutako datuen bereizmena 0,5 metrokoa da lerroen artean eta 0,25 metrokoa lerro bakoitzean, eta neurketak siga-sagan egin dira. Miaketa eremuaren erpinak GPS diferentziala erabiliz kokatu dira. Artzi 1 koadrikula hasieran proiektatutakoa baino handiagoa izan denez, erpin berriak GPSarekin jarritakoetan oinarrituz proiektatu dira. Datu-bilketa eta datu-prozesuaren parametroak 4.4. taulan bildu dira.



4.30. irudia: Artziko aztarnategian buruturiko miaketa magnetikoaren bi koadrikulen kokapena. Ortofotorearen iturria: ©Instituto Geográfico Nacional.

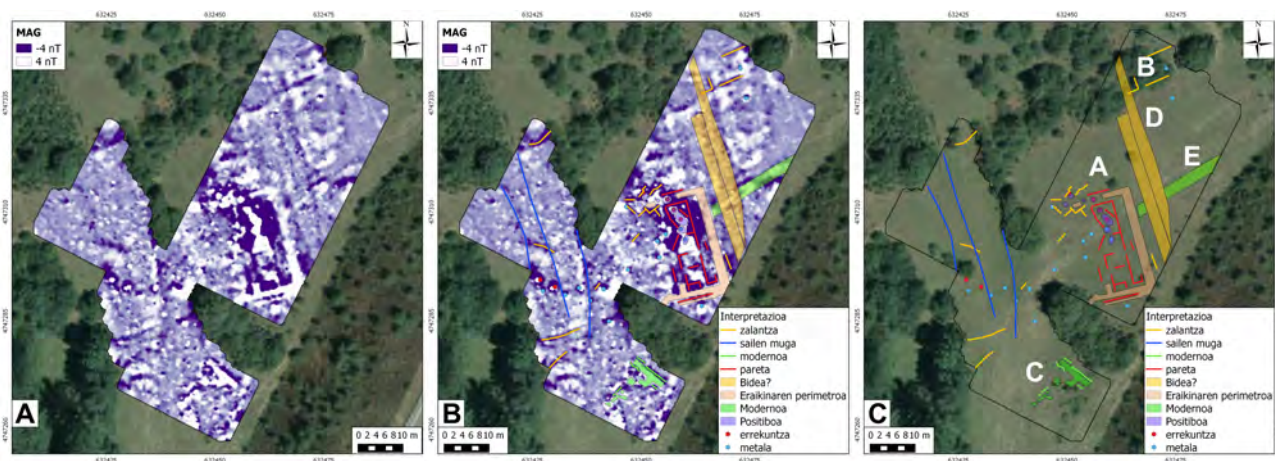
MAG	
Kanpaina	2014ko uztaila
Azalera	3304 m ² (1) + 1800 m ² (2)
Gailua	Bartington Grad-601 dual
Sentsore kop.	2
Datu dentsitatea	0,5 m x 0,25 m
Irakurketa modua	Siga-sagan, denboran
Prozesua	Clip -100nT/100nT
	Zero Mean line
	Zero Mean Grid (0,25 stdv)
	Zero Mean line (-5nT/5nT)
	Interpolazioa 25cmra

4.4. taula: Artzibarreko aztarnategiko miaketa magnetikoaren datu-bilketa eta datu-prozesuaren parametroak

4.3.1. Emaitzak

Artzi 1 koadrikulako mapa magnetikoak anomalia ezberdinak azaleratu ditu, horietariko batzuk egitura arkeologikoen sortuak direla baieztatu daitezkeelarik. Horien artean kokatzen da laukizuzen itxurako eta 330 m² hartzen duen egitura multzoa (4.31. irudian A izenekoa). Multzoa kontraste magnetiko positibodun perimetroak mugatzen du, 1,8 metro eta 2,5 metro bitarteko zabalera aldakorra ageri duena. Hego-ekialdean perimetro honek kontraste nabariagoa erakusten du, eta mendebaldean ez da detektatu. Miaketa magnetikoan soilik oinarrituz perimetro hau zer nolako egiturak sortzen duen jakiterik ez dago, baina kontraste magnetikodun materialez egindako edo betetako zerbaiti egokitu

behar zaio. Baliteke suszeptibilitate altuagoko sedimentuz betetako egitura negatiboa izatea, edota, arraroagoa izan daitekeen arren, kontraste magnetikodun materialez egindako zoru bat.

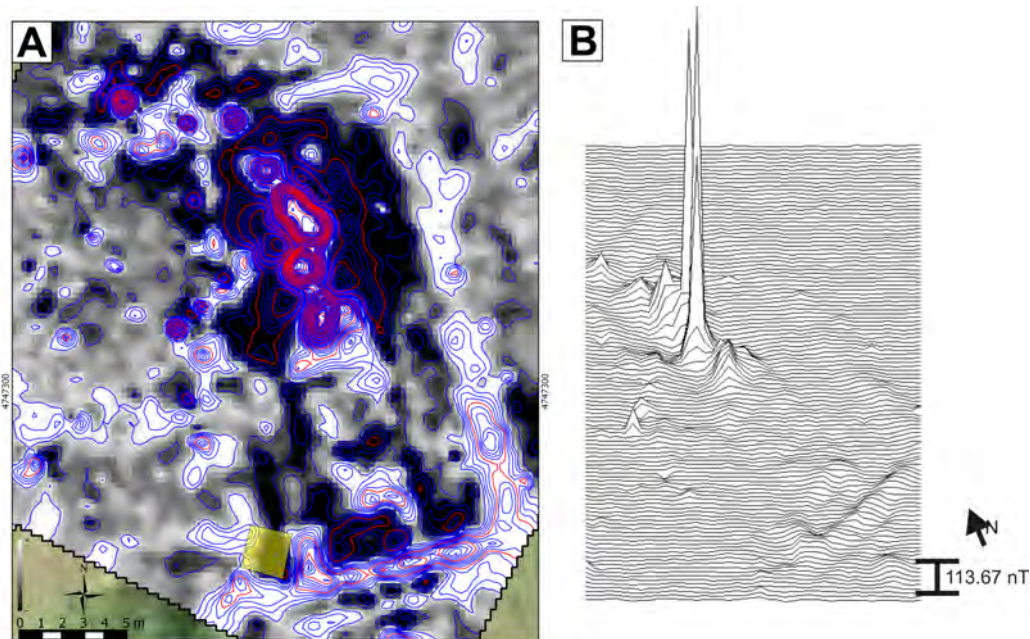


4.31. irudia: Artzi 1 guneko miaketa magnetikoaren emaitzak. A: Mapa magnetikoa. B: Emaitza magnetikoan oinarrituriko interpretazio-eskema mapa magnetikoaren gainean. C: Interpretazio-eskema anomalia multzoen izenekin. Ortofotorearen iturria: ©*Instituto Geográfico Nacional*.

Multzoaren iparraldeko sektorean kontraste altuko anomalia magnetikoak detektatu dira, eta sestrakurbek anomaliak foku ezberdinak dituela erakusten dute (ikusi 4.32. irudia, A). Behin-behinean errekuntzarekin loturiko fenomenoak sortua dela ondorioztatu da, nahiz eta metalezko elementuak ere badaudela ikus daitekeen (4.32. irudia, B). Guztiaren gainezarmenak anomaliak foku ezberdinak erakustea sor dezake, eta errekuntzarekin loturiko seinalea konplexuago agertzea. Dena den, errepidea eraikitzearen lanek eremu honetan eragina izan zuten, lurrean agerikoak diren kamioi gurgipen zantzuek agertzen duten bezala. E izendaturiko anomalia, adibidez, kamioien ibiliek utzitako arrastoei sorturiko da ziurrenik (ikusi 4.31. irudia, C). Horregatik, A multzoko anomalia hau eragin modernoak sortua izatea ezin da baztertu, nahiz eta laukizuzenaren orientazio berdina agertzeak honekin lotua egongo dela pentsatzera bultzatzen duen.

A multzoaren hegoaldeko sektorean, berriz, kontraste negatibodun anomalia linealak ikus daitezke, behin-behinean paretei esleitu zaizkienak. Deskribapen egoki bat egiteko adinako definiziorik lortu ez arren, bi eremu ezberdinak daitezke. Indusitako gunearen inguruan, lur mugimenduaren eraginez, mapa magnetikoa aldatuta ageri da, eta ez du zertan lurrazpiko egituren adierazgarri izan.

Multzo honez gain badira beste anomalia batzuk ere, nahiz eta horien jatorri arkeologikoa zalantzazkoa den. D anomalia, adibidez, A multzoaren orientazioa errespetatzen duen eta kontraste positibo xumea erakusten duen gune bati dagokio, 5 metro inguruko zabalera duena. B anomalia multzoan, berriz, beraien artean elkarzut dituen kontraste negatibodun anomalia lineal batzuk bildu dira. Baliteke paretak izatea, baina erakusten duten definizio eskasak eta puntu batzuetan linealtasuna galtzeak beste mota bateko anomaliak direla iradokitzen du. Miaketa eremuaren hego-ekialdean, C deritzon anomalia multzoa detektatu den lekuan, gainazalean harri solteak eta lur mugimenduak ikus zitezkeen datu-bilketaren momentuan. Hauen jatorria ezagutzen ez den arren, ezin da baztertu errepidearen lanen ondorio denik. Bestalde, miaketa gunearen hego-mendebaldean ageri diren anomalia linealak sailen mugei esleitu zaizkie, 1956-1957. urteko aireko irudiek hala iradoki dutelako (4.31. irudia, C).



4.32. irudia: Artzi 1 guneko A anomalia multzoa. A: Mapa magnetikoa (-5 nT beltzez, 6 nT txuriz) anomalien fokua irudikatzeko balio duten sestra-kurbekin (bi nanoteslaro urdinez, hamar nanoteslaro gorritz). Karratu horiak 2012. urtean induskatutako miaketa-zuloaren kokapena adierazten du. B: Anomalia multzoaren traza bidezko irudikapena. Bertan ikusten diren tontor estu baina garaiak gainazaletik gertu dauden objektu oso kontrastatuek sortu ohi dituztenez, metalezko elementuen berri ematen dute.

Artzi 2 koadrikularen emaitzetan, aldiz, metalezko elementuek sorturiko anomalia indartsuak baizik ez dira ageri (ikusi 4.33. irudia). Dirudienez, NA2040 errepidearen eraikuntza lanetan gune honetan bildu zituzten materialak eta, miaketaren emaitzak ikusita, badirudi ez zituztela behar bezala erretiratu. Gune honetan, beraz, miaketa magnetikoa ez du balizko arkeologia egituren inguruko inolako informaziorik luzatu.

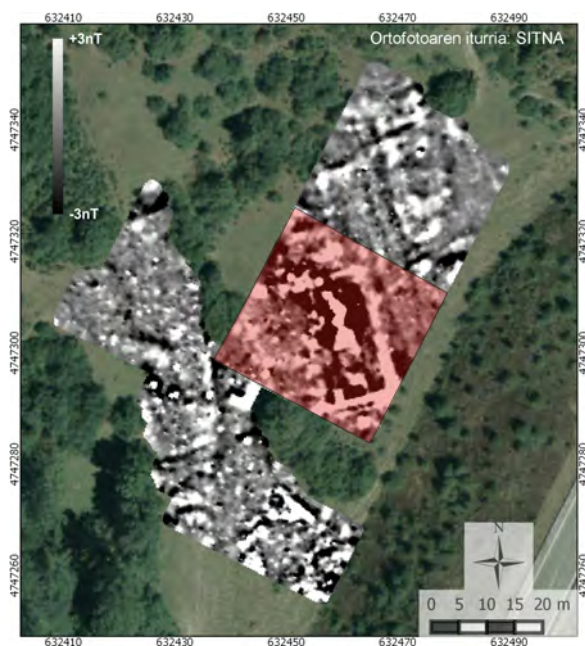


4.33. irudia: Artzi 2 guneko mapa magnetikoa (-22 nT beltzez, 22 nT txuria). Ortofotoaren iturria: © *Instituto Geográfico Nacional*.

4.3.2. Ondorioak

Artzi 1 koadrikulako A multzoa eraikin bati esleitu zaio, 2012ko ARC5 miaketa-zuloan aurkituriko geruza arkeologikoekin erlazionatuta egongo dena ziurrenik. Hala bada, 330 metro karratu inguruko eta erromatar garaiko eraikina litzateke, barne antolaketa ondo deskribatzerik egon ez den arren espazio batzuk sumatu ahal zaizkiolarik. Mendebaldeko mugarik ez da detektatu, baliteke maldaren ondorioz gune honetan sedimentu gehiago pilatu izana eta horrek kontrastearen galera eragitea. Hobekien definitzen den elementuetariko bat kanpo perimetroa da (mendebaldean izan ezik), kontraste magnetiko positiboa duena. Baliteke anomalia sedimentu arkeologikoen pilaketak sortzea edota gainazaleko sedimentuz beteriko egitura negatiboa izatea (biek suszeptibilitate magnetiko altuagoa izan ohi dutelako). Beste aukera kontraste magnetikodun materialez egindako zorua izatea da. Bestalde, egituraren iparraldeko sektorean ageri den kontraste altuak sute baten zantzua du, baina ezin da baztertu beste kronologia bati dagokiona izatea.

Kasu honetan, miaketa magnetikoak egitura arkeologien existentzia baieztatzeko eta lehen deskribapen bat egiteko balio izan d. Hala ere, beste sistema geofisikoak erabiltzeak zenbait zalantza argitzen lagunduko duen informazio osagarria luza dezake (ikusi 4.34. irudia). Georradarra edo sistema elektrikoa aplikatuz eraikinaren paretak hobe deskribatzeko aukera izatea pentsatzekoa da. Kontraste positibodun perimetroa zerk sortzen duen argitzeko balio dezake gainera.



4.34. irudia: Artzi 1 gunean beste sistema geofisikoekin miatzeko interesgarritzat jotako gunea adierazi da gorriaz mapa magnetikoaren gainean (-5 nT beltzez, 6 nT txuriz). Ortofotorearen iturria: © *Instituto Geográfico Nacional*.

4.4. Neurri txikiagoko beste aztarnategiak Pirinioetan

2014. urteko uztailean buruturiko geofisika kanpainan erromatar galtzarekin loturiko zenbait aztarnategi txiki miatu zen sistema magnetikoa erabilia. Horien kokapena 3.8. irudian ikus daiteke.

Kasu guztietan bildutako datuen bereizmena 0,5 metrokoa da lerroen artean eta 0,25 metrokoa lerro bakoitzean, eta neurketak siga-sagan egin dira. Miaketa eremuen erpinak GPS diferentziala erabiliz kokatu dira. Datu-bilketa eta datu-prozesuaren parametroak 4.5. taulan bildu dira.

MAG	
Kanpaina	2014ko uztaila
Azalera	Ibañeta: 1800 m ²
	Sorohandi: 1: m ² ; 2: 360 m ²
	Berrotxipi: 1358 m ²
	Ateabaltsa: 1800 m ²
Gailua	Bartington Grad-601 dual
Sentsore kop.	2
Datu dentsitatea	0,5 m x 0,25 m
Irakurketa modua	Siga-sagan, denboran
Prozesua	Clip -100nT/100nT
	Zero Mean line
	Zero Mean Grid (0,25 stdv)
	Zero Mean line (-5nT/5nT)
	Interpolazioa 25cmra

4.5. taula: Artzibarreko aztarnategiko miaketa magnetikoaren datu-bilketa eta datu-prozesuaren parametroak

4.4.1. Ibañeta

Ibañetako lepoan, San Salvador ermitaren inguruan, 1800 m² neurtzen duen eremua miatu da. Inguru hau oso aldatuta dago eta zaila da sistema geofisikoak erabiltzeko leku aproposa aurkitzea, baina aldi berean arrasto arkeologiko ugari duen lekua da. Miaketa eremua GURELUR talde ekologistaren eraikinaren ondoko lursailean kokatu zen. Eremua laua da eta landaredia miaketa baino lehenago moztu zen (ikusi 4.35. irudia, A).

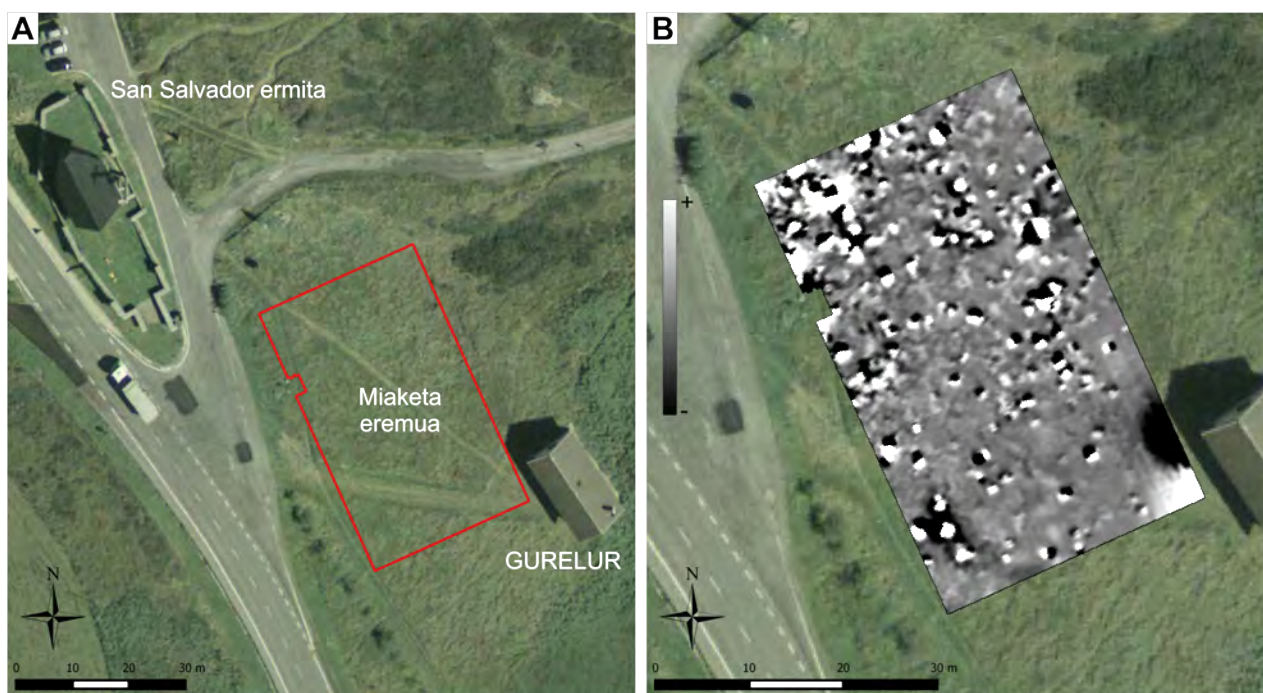
Emaitzetan burdinazko objektuek sorturiko anomaliak nagusitu dira (ikusi 4.35. irudia, B) eta, errepidearekiko gertutasuna eta jende asko ibiltzen den lekua dela kontuan izanda, kontaminazio modernoaren eragina izatea oso litekeena da. Miaketak, beraz, ez du arkeologiara esleki dakioken inolako anomaliarik detektatu, nahiz eta horrek ez duen arrastorik ez dagoenik frogatzen.

4.4.2. Sorohandi

Sorohandi Luzaide-Valcarlos udalerrian kokatua dago, erromatar garaiko galtzadatik gertu dagoen gunea lau batean. Miaketa magnetikoaren helburua 2013. urtean induskatutako erromatar garaiko egiturekin loturiko arrasto arkeologiko gehiago bilatzea zen.

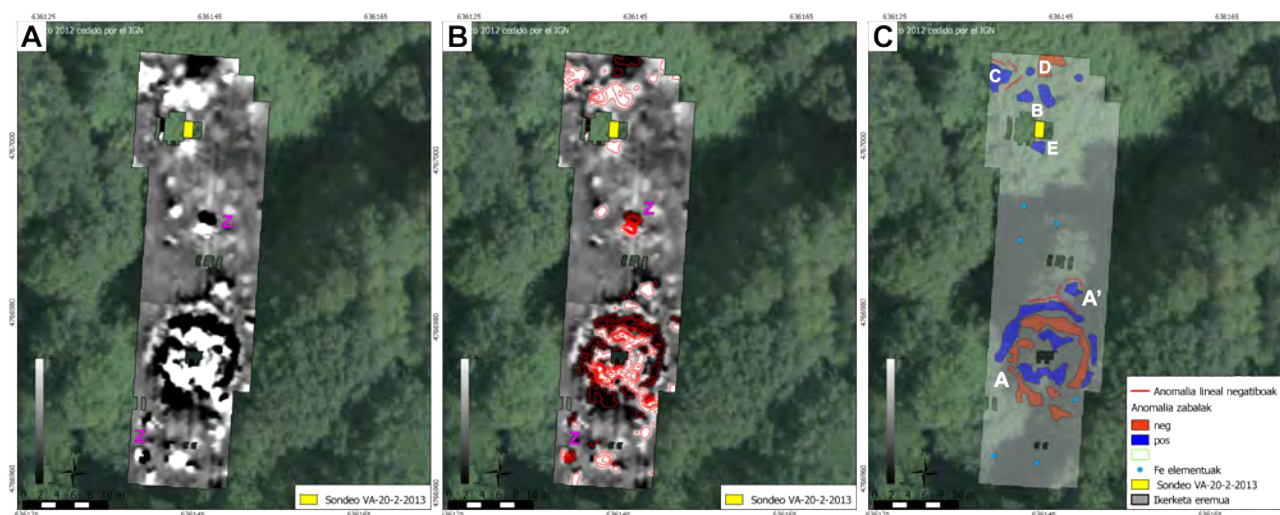
Sorohandi 1 koadrikula miaketa-zuloa egindako basoko garbigunean dago, datu-bilketa momentuan garbitu behar izan zen garoak estalitako eremuan. Testuinguru gehiago edukitzeko koadrikula basora zabaldu zen, zuhaitz dentsitateak ezinezko egin bitarte. Miaketa eremuaren azalera 693 m² ingurukoa da.

Zenbait interferentzia iturri zeuden inguruan. Alde batetik, landarediak momentu batzuetan sentsoreak katigatu zituen horien orientazioan eraginez. Interferentzia nagusia, hala ere, zabor metalikoak sorturikoa da. Herdoildutako aska bat eta ondoko ehiztari postu baten erabiltzaileek utzitako



4.35. irudia: Ibañetan burututako miaketa magnetikoa. A. Ikerturiko eremuaren kokapena 2013ko aireko argazkiaren gainean. B. Mapa magnetikoa (-7 nT beltzez, 7 nT txuriz), non burdinazko objektuek sorturiko anomaliak nagusitzen diren. Ortofotoaren iturria: ©*Instituto Geográfico Nacional*.

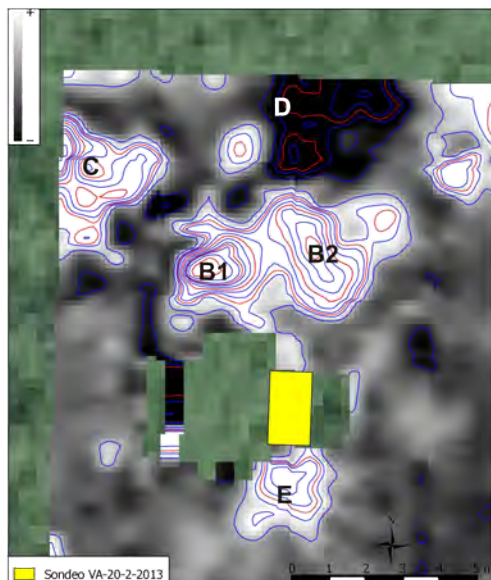
zikinkeriak anomalia magnetikoa sortu dituzte (Z hizkiak adierazita 4.36. irudian). Horrez gain, ikaztegia dago miaketa eremuaren hegoaldean eta erreketaren prozesuak sorturiko anomalia kontzentriko multzoa ageri da mapan (A hizkiak adierazita 4.36. irudian). Ikaztegiaren iparraldean kontraste magnetiko positibodun gunea ageri da (A'), ikaztegiarekin loturiko beste egituraren bat izan litekeena.



4.36. irudia: Sorohandiko lehen gunean burututako miaketa magnetikoa. A. Mapa magnetikoa (-4 nT beltzez, 5 nT txuriz). B. Mapa magnetiko bera 5nT-ko isolerroekin. C. Interpretazio eskema. Ortofotoaren iturria: ©*Instituto Geográfico Nacional*.

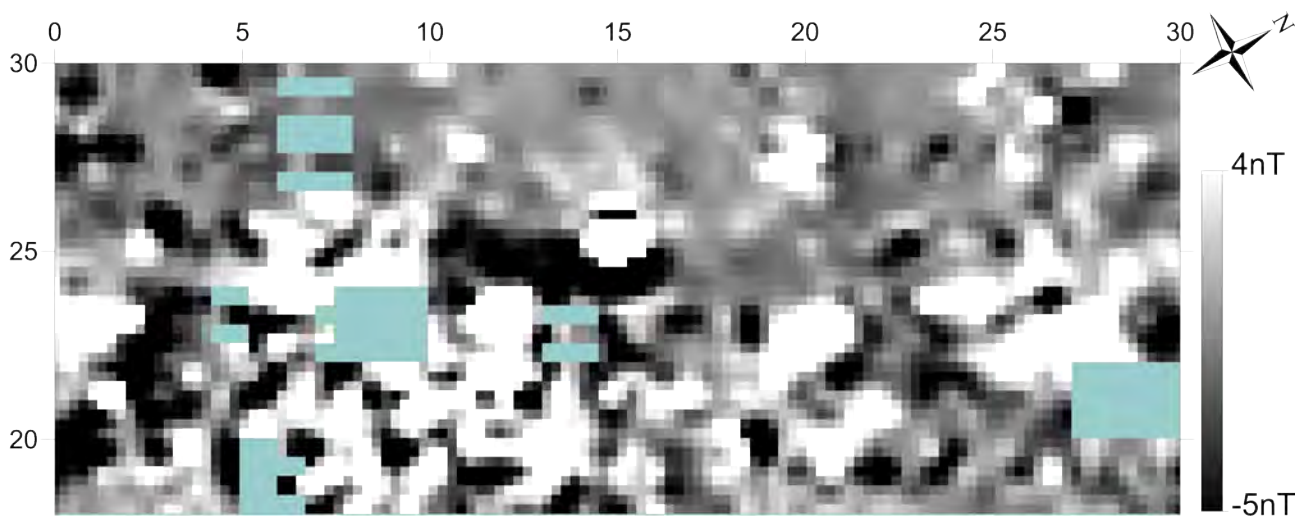
Miaketa-zuloaren iparraldean kontraste magnetiko positibodun anomalia batzuk detektatu dira. B deritzona forma definiturik gabeko eremua da, intentsitate altuagoko zonaldeak erakusten dituena, B1 eta B2 (ikusi 4.37. irudia). Horien mendebaldean antzeko ezaugarriak C anomalia detektatu da,

miaketa eremuaren kanporantz jarraitzen duelako osorik ikusi ez dena. Iparraldean, berriz, kontraste magnetiko negatiboko D anomalia ikusten da. Anomalia guzti hauen jatorria ez da argitu. Miaketa-zuloan artzaintzarako erabilitako eraikin batena izan daitekeen pareta ikusi zen, eta anomalia hauek horrekin loturik egotea litekeena da. Miaketa-zuloaren hegoaldean dagoen E anomalia, berriz, gune horretan pilatutako lurak sortua izan daiteke, miaketa-zuloa egitean utzitakoa.



4.37. irudia: Sorohandiko lehen guneko iparraldeko zatia. Mapa magnetikoa (-4 nT beltzez, 5 nT txuriz) eta isolerroak (2nT urdinez eta 5nT gorriz), anomaliai emandako izenekin.

Inguru honetan beste koadrikula bat miatu zen, Sorohandi 2 deitua, basoko gune maldatsu batean kokatua eta 360 m² ingurukoa. Kasu honetan erromes bidearekin loturako balizko eraikin baten arrastoen bila. Datuen kalitatea, baina, oso eskasa izan da eremu horretako oztopo ugariak (zuhaitzak, harriak,...) ganoraz ibiltzea eragotzi zutelako eta sentsoreen orientazioa mantentzea zaila zelako. Emaitzetan, beraz, ez da anomalia esanguratsurik ikusi eta, azterturiko eremuaren tamaina txikia kontuan izanda, ezin izan da interpretaziorik burutu (4.38. irudia). Zuhaitzen eraginez ezin izan zen koadrikularen erreferentzia GPS bidez hartu, baina orientazioa iparrorratzari esker ezaguna da.

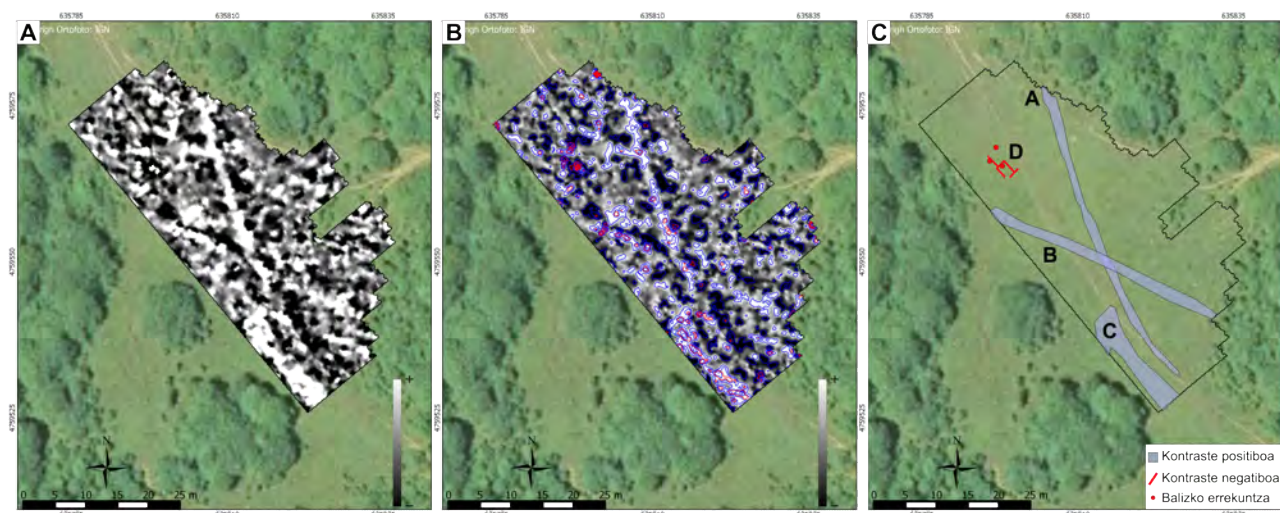


4.38. irudia: Sorohandiko bigarren guneko mapa magnetikoa (-4 nT beltzez, 5 nT txuriz).

4.4.3. Berrotxipi

Gune hau Berrotxipi mendiaren hegoaldeko magalean aurkitzen da, Zaldua gunetik gertu baina garaiera handiagoan, eta Urrobi errekaaren ekialdean. Landaredi baxua duen irekiune bat da, larre moduan erabiltzen dena. Litekeena da inguruan defentsarako egiturak edota beste garai bateko asentamenduak egotea, baina basoa dela eta miaketa geofisikoa egiteko eremu egokiak mugatuak dira. Horregatik, basoaren irekiunea probestu zen eta 1358 m² inguruko eremua miatu zen.

Mapa magnetikoa kontraste positibodun guneak ikusten dira, A, B eta C izendatuak (4.39. irudia). Horien kontrastea intentsitate baxukoa da (2 nT eta 5 nT bitartean) eta, horregatik, ez da lubanarro batek sortutakoak direnik uste, baizik eta litekeena da antzinako bideek utzitako arrastoak izatea. 1956-1957. urteetako aireko argazkietan (*Hegaldi Amerikarra* deitua) ganaduak egindako bideak eta estrata ikus daitezke, nahiz eta ez duten kokapenean anomalia magnetikoekin bat egiten. A, B eta C anomalien jatorria, beraz, ez da argi geratu.

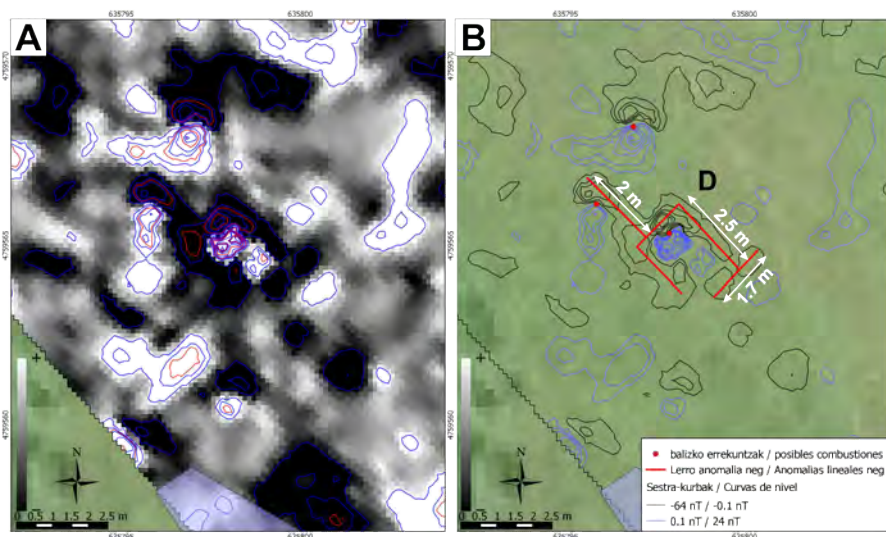


4.39. irudia: Berrotxipi gunea. A. Mapa magnetikoa (-2 nT beltzez, 2 nT txuriz). B. Mapa magnetikoa isolerroekin (2nT urdinez eta 5nT gorriz). C. Interpretazio-eskema non anomaliaei emandako izenak adierazi diren. Ortofotoaren iturria: ©Instituto Geográfico Nacional.

Bestalde, D izendatu da modu ortogonalean kokatuta agertu diren eta kontraste magnetiko negatiboa erakusten duten anomalia lineal multzoa (4.40. irudia). Errekuntzarekin lotutako anomalien itxura duten hiru puntu ere ikus daitezke (iparraldean halo negatiboa duten kontraste positiboko eremuak). Itxuragatik eraikina izan daitekeela dirudien arren, oso kontraste baxua dauka (-2 nT ingurukoa) eta horregatik artefaktua izatea oso litekeena da.

4.4.4. Ateabaltsa

Ateabaltsa izendaturiko koadrikula izen bereko gunean dago kokatuta, 80. hamarkadan partzialki induskatutako asentamendutik gertu. Miaketaren helburua kontraste magnetikoa aztertzea da, etorkizunean pinuak kenduta eremu handiagoa miatzeko aukerarik egonez gero sistema honen baliagarritasuna aztertzeko. 1800 m² inguruko koadrikula eremu laua edo malda leunekoan dago eta datu-bilketaren momentuan zegoen landaredi baxuak ez zuen enbarazu egin.



4.40. irudia: Berrotxipi guneko D anomalia multzoa. A. Mapa magnetikoa (-2 nT beltzez, 2 nT txuriz). B. Mapa magnetikotik eratorritako isolerroak (2 nT, kontraste negatiboarenak beltzez eta positiboarenak urdinez), interpretazio-eskema eta neurriak. Ortofotoaren iturria: ©*Instituto Geográfico Nacional*.

Emaitzetan ereite-lerroak ikusten dira, beste anomaliak bezainbeste kontraste edo gehiago sortu dutenak (4.41. irudia). Kontuan izanda kontserbazio maila eskasa, ez da egitura arkeologikoen kontraste magnetiko altua sortuko dutenik espero, eta beraz lerro hauen zaratak eragin handiagoa du. NE-SW norabideko lerroez gain, NW-SE norabidean ere ikusten dira anomalia linealak. Hauek ez dute topografia kontuan izanda urak eginen zukeen bidea jarraitzen, eta behin-behinean antzinako ereite-lerrotzat edota nekazaritzarekin lotutako beste ekintzatat jo dira.

Koadrikularen ipar-ekialdean, berriz, azalera handiagoa hartzen duten anomalia magnetikoak ikus daitezke (A izendatuta 4.41. irudiko B atalean). Kontraste magnetiko positibodun eremuak laukizuzen antzeko itxurako forma du, eta forma definitu gabeko kontraste negatibodun anomaliak inguratzen du. Anomalia honen jatorri arkeologikoa ezeztatzerik ez dagoen arren, lur mugimenduek sortua izatea ere litekeena da. Kontuan izanda bildutako datuetan seinalea eta zarataren arteko erlazioa (*signal-noise ratio*) kaskarra dela, inolako esleipenik ez egitea egokiagoa dela uste da.



4.41. irudia: Ateabaltsa guneko emaitzak. A. Mapa magnetikoa (-5 nT beltzez, 5 nT txuriz). B. Mapa magnetikoan oinarritutako interpretazio-eskema ortofotoan (iturria ©*Instituto Geográfico Nacional*).

4.4.5. Ondorioak

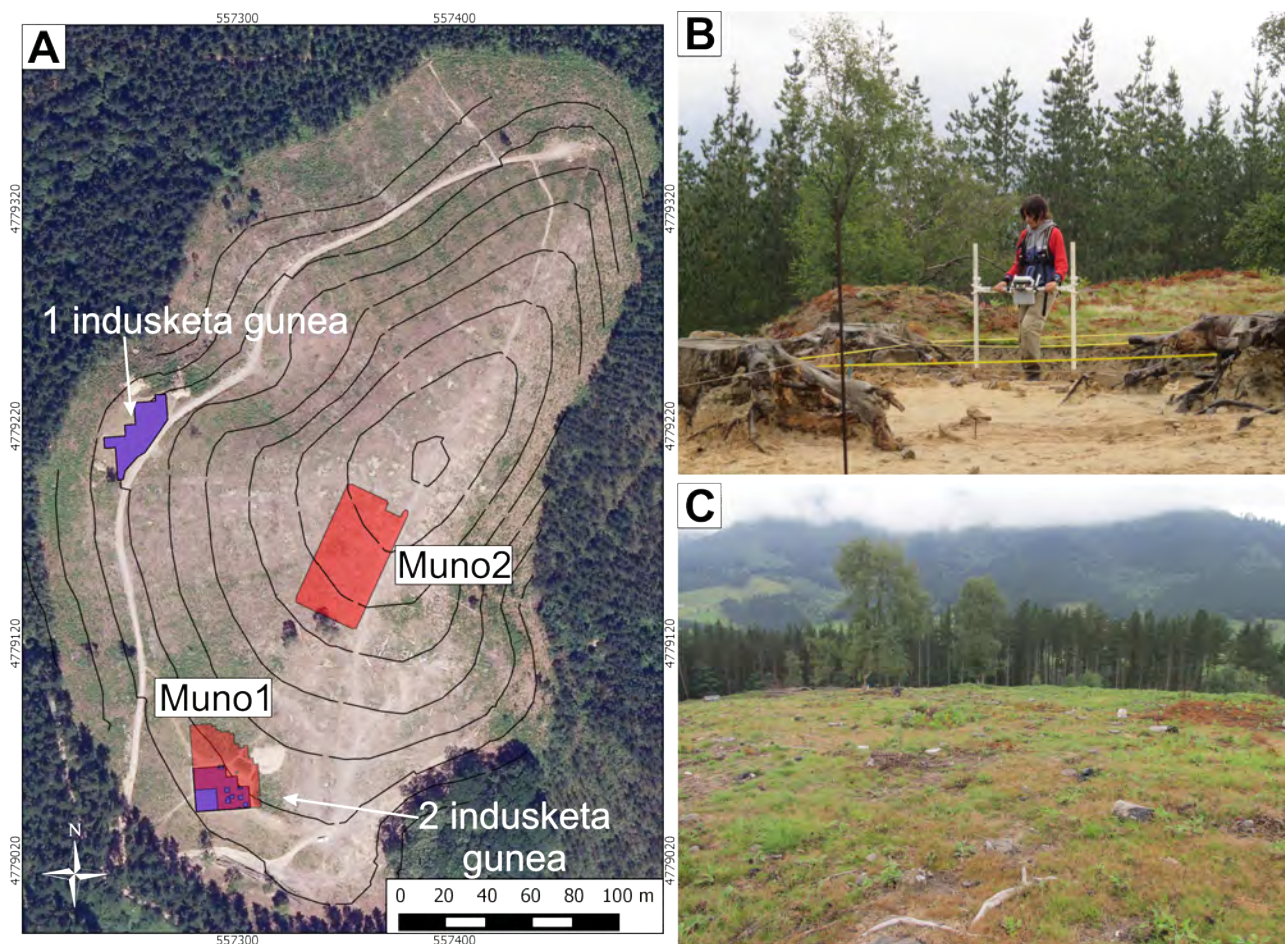
Miaketa txiki hauetan ikusitako emaitza magnetikoak lekutik-lekura aldatu dira. Ibañetako koadrikulan kutsadura metaliko modernoak datu baliagarriak biltzea eragotzi du eta, ondorioz, ez da inolako ondorio interpretaziorik burutu. Izan ere, baliteke kontraste magnetikorik sortu ez duten egiturak egotea. Sorohandi, Berrotxipi eta Ateabaltsan ezin izan da detektatutako anomalien interpretazio argirik egin. Sorohandin induskatutako sutondoak gainazalarekiko 0.70 metrora daude, sakonera esanguratsua dena. Kontuan izanda zarata-iturri andana dagoela, kontraste nabaririk sortuko ez duten egiturak detektatzea zaila da. Ateabaltsan ez dago miatutako eremuan arrasto arkeologikoak egotearen ziurtasunik baina, izatekotan, kontserbazio eskaseko eraikuntza egiturak espero dira, kontraste baxua sortuko dutenak, alegia. Laborantza-lanek, gainera, kontraste altuko lerroak sortu dituzte. Baliteke erabilitako ongarrien eraginez izatea, batzuetan zoruaren traza magnetikoan eragin dezaketelako (Oonk et al. 2009). Etorkizunean berriz miatu beharko balitz, georradarra erabiltzea izan daiteke aukera egokia, lurzorua leuna den lekuetan behintzat. Hala ere, miaketa magnetikoak balizko labe edo errektuntza gunen gaineko informazioa luza dezakeenez, miaketa eremuaren ezaugarri eta ikerketaren helburuaren arabera kontuan hartzeko sistema da.

4.5. Munoaundi herri harresitua (Azkoitia-Azpeitia)

Aztarnategi honetan bi eremu miatu dira gradiometro magnetikoa erabiliz, 2014ko uztailaren 28an. Muno 1 deituriko eremua bigarren indusketa gunearen inguruan dago (4.42. irudia, A). Indusketa eremuaren zati bat barneratzen du eta, irekita dagoenez, gune hori inguruko belardia baino kota baxuagoan dago. Indusketan ez dira zuhaitz enborrak kendu eta, ondorioz, miaketarako oztopo dira (ikusi 4.42. irudia, B). Indusketa eremutik kanpo laua da oro har, eta ez dago oztoporik. Miaketa baino lehen indusketarako erabilitako burdinazko hesolak kendu dira, interferentziarik sor ez dezaten. Guztira 890 m² barneratu ditu eremu honek.

Muno 2 deituriko eremua tontorretik gertu dagoen terraza artifizial horietako batean kokatu da eta 1890 m² ditu. Bertan malda nabariagoa da, eta landaredia zein lurrazalean dauden enbor zatiak ibiltzeko oztopo izan dira (4.42. irudia, C). Horregatik, sentsoreak behar bezala mantentzea ez da erraza izan eta baliteke horrek datuen kalitateari eragitea. Terraza bat denez, asentamendurako gune aproposa zelakoan miatu da, ea egitura arkeologikoen gaineko informaziorik biltzen den.

Beste kasuetan bezala, bildutako datuen bereizmena 0,5 metrokoa da lerroen artean, eta 0,25 metrokoa lerro bakoitzean, eta neurketak siga-sagan egin dira. Miaketa eremuen kokapena Mugarri S.L. enpresako Xabier Garaikoetxeak egin du. Datu-bilketa eta datu-prozesuaren parametroak 4.6. taulan bildu dira.



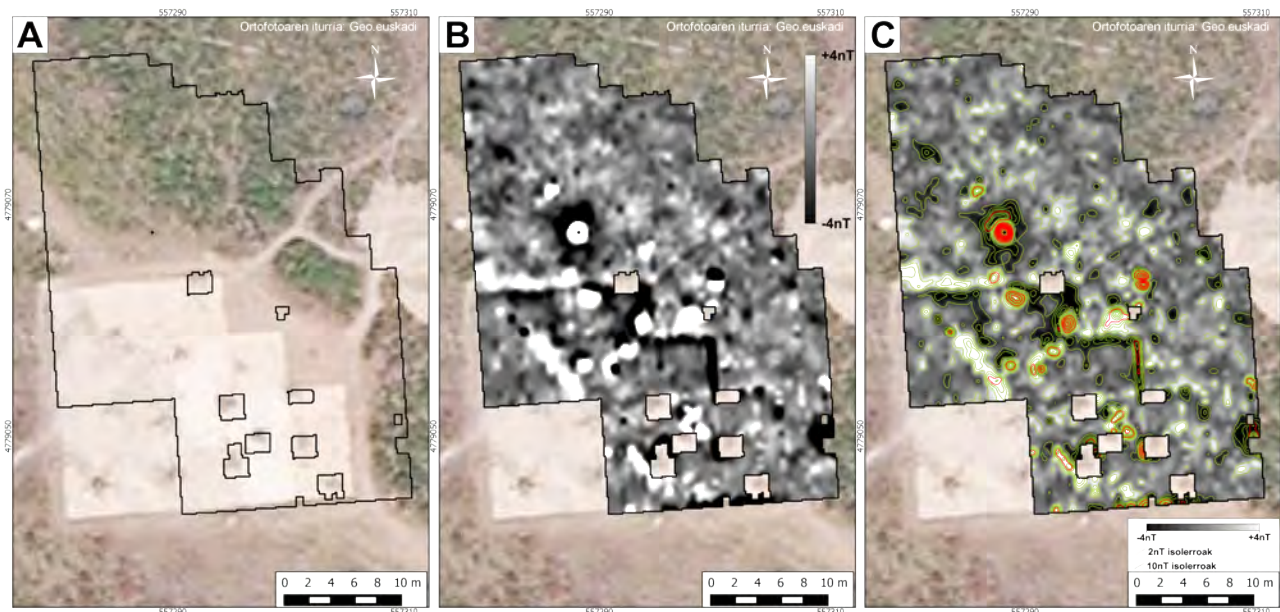
4.42. irudia: Munoaundi aztarnategian miatutako eremuak. A. Miaketa eremuak ortofotoaren gainean. Aztarnategiaren topografia lerroak (5 m) eta indusketa guneak ere adierazi dira. (Ortofotoaren iturria: Eusko Jaurlaritza / Gobierno Vasco. geoEuskadi; Topografikoarena: Mugarri S.L.; indusketa eremuena: Sonia San Jose). B. Muno 1 miaketa eremuaren argazki bat, non indusketa eremuko topografia saltoa eta zuhaitz enborrek sorturiko oztopoak ikus daitezken. C. Muno 2 eremuaren argazkia, non lurrazalaren irregulartasunak ikus daitezken.

MAG	
Kanpaina	2014ko uztaila
Azalera	890 m ² (1) + 1890 m ² (2)
Gailua	Bartington Grad-601 dual
Sentsore kop.	2
Datu dentsitatea	0,5 m x 0,25 m
Irakurketa modua	Siga-sagan, denboran Clip -100nT/100nT Zero Mean line
Prozesua	Zero Mean Grid (0,25 stdv)
	Zero Mean line (-5nT/5nT)
	Interpolazioa 25cmra

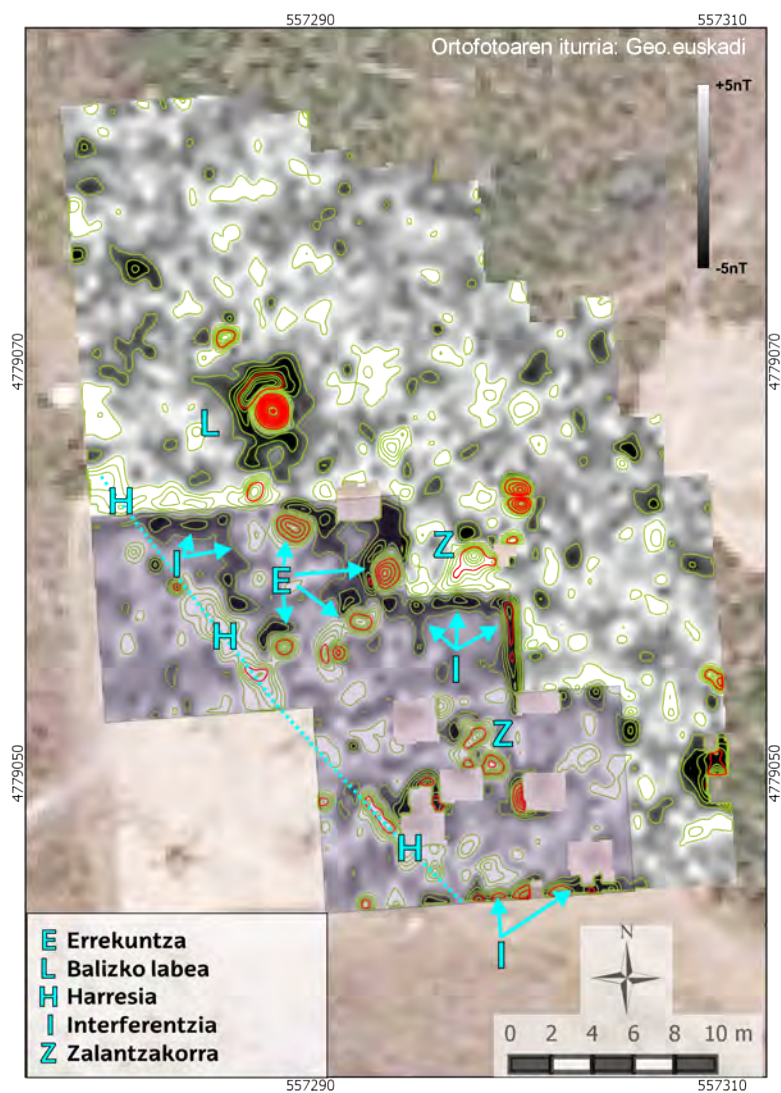
4.6. taula: Munoaundi aztarnategiko miaketa magnetikoaren datu-bilketa eta datu-prozesuaren parametroak

4.5.1. Emaitzak

Muno 1 eremuaren emaitzak 4.43. irudian adierazi dira. Bertan ikus daiteke kota aldaketak sorturiko interferentziak, eta zuhaitzen enborren inguruan sorturikoak (ikusi 4.44. irudia interpretaziorako).



4.43. irudia: Munoaundi aztarnategian miatutako Muno 1 eremuko emaitzak. A. Miaketa eremua kata ikusten den ortofotoaren gainean (Ortofotoaren iturria: Eusko Jaurlaritza / Gobierno Vasco. geoEuskadi). B. Miaketa magnetikoaren emaitza (-4 nT beltzez, 4 nT zuriz). C. Miaketa magnetikoaren emaitza isolerroekin (2 nT berdez, 10 nT gorriz).

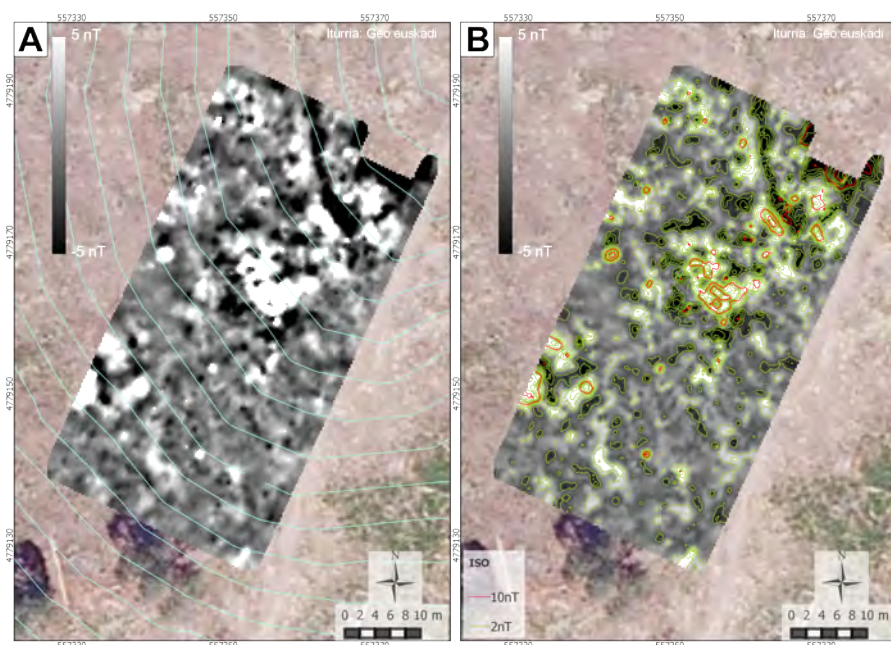


4.44. irudia: Munoaundi aztarnategian miatutako Muno 1 eremuko mapa magnetikoa -4 nT beltzez, 4 nT zuriz) eta interpretazioa. 2 nT-ko (berdez) eta 10 nT-ko (gorriz) isolerroak ere adierazi dira. Ortofotoaren iturria: Eusko Jaurlaritza / Gobierno Vasco. geoEuskadi.

Miaketa eremuak harresiaren zati bat barneratzen du, eta emaitzetan kontraste positibodun anomalia lineal bezala agertzen dela ikus daiteke, nahiz eta ez den jarraitua. Hau ez da kareharrizko harriz osaturiko harresiak sortuko lukeena, kaltzita diamagnetikoa denez kareharriaren suszeptibilitate magnetikoa oso baxua baita (Evans eta Heller 2003; Fassbinder 2010). Indusketetan harresia bertako harriz egina dagoela ikusi da, inolako loturazko materialik gabe, eta Gipuzkoako geologia maparen arabera lutita eta hareharriak dira horiek (iturria, Eusko Jaurlaritza / Gobierno Vasco. geoEuskadi). Beraz, bertako harriz egindako beste balizko egiturek ere kontraste positiboa erakutsiko dutela espero dezakegu.

Bestalde, induskatutako gunearen barruan errekuntza guneek sortuak izan daitezkeen anomaliak detektatu dira (4.44. irudia, E). Indusketa eremuaren kanpoan ez da anomalia esanguratsurik detektatu, L hizkiarekin adierazitako anomalia indartsuaz gain. Anomalia horrek errekuntza gune garrantzitsu batek sortuko lukeen anomaliaren itxura du, kontraste positibo intentsua (100 nT inguru) eta bere iparraldean kontraste negatiboko txapela. Hala ere, gune honetatik gertu metal detektagailu bat erabilia burdinazko pieza moderno bat aurkitu zuten, eta ondorioz ezin da baztertu horrek sortua denik.

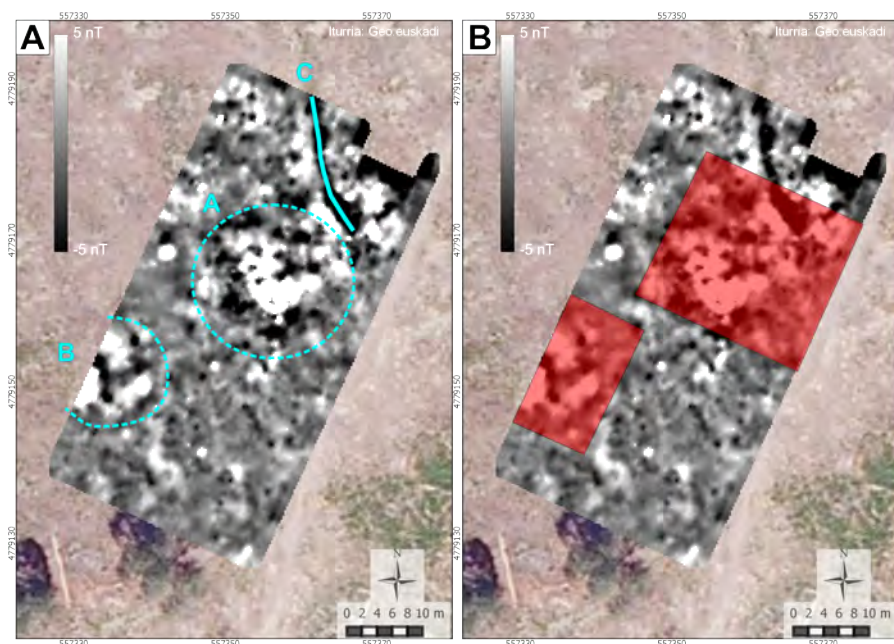
Muno 2 eremuan lorturiko mapa magnetikoa 4.45. irudian adierazi da. Bertan ikus daiteke kontraste magnetikoa detektatu arren, ez dela egiturak identifikatzeko adinako definiziorik lortu. Kontuan izanda miaketa burutzeko zailtasunak (landaredia, oztopoak) eta eremuan barreiatutako material modernoa zegoela (hormigoi zatiak, metalezko elementuak), ez da harrizkeoa datu kalitatea ona ez izatea. Ikusten den anomalia lineala, C izendatua 4.46. irudian, terraza artifizialarekin lotua egon daiteke. Izan ere, topografia lerroen norabide berdina duela ikus daiteke 4.45. irudian.



4.45. irudia: Munoaundi aztarnategian miatutako Muno 2 eremuko emaitzak. A. Miaketa magnetikoaren emaitza (-4 nT beltzez, 4 nT zuriz) 5 metroko aldea duten sestra-kurbekin (iturria Mugarri S.L.). B. Miaketa magnetikoaren emaitza isolerroekin (2 nT berdez, 10 nT gorriz). Ortofotorearen iturria: Eusko Jaurlaritza / Gobierno Vasco. geoEuskadi.

Horrez gain kontrastedun bi gune definitu dira, A eta B deituak. Horietan ez da interpretazio arkeologikorik egiteko adinako informaziorik, eta ezin da baztertu barreiatutako material modernoan

eragina izatea. Horregatik, baliteke beste sistema geofisikoren bat erabiltzeak informazio osagarria luzatzea (ikusi 4.46. irudia, B). Hala ere, hori baino lehen garrantzitsua litzateke lurrazala egokitzea, bereziki georradarra aplikatzeko, miaketa magnetikoa egindako momentuan bezala egonez gero ez litzatekeelako bideragarria izango.



4.46. irudia: Munoaundi aztarnategian miatutako Muno2 eremuko interpretazioa. A. Testuan aipaturiko anomaliak, eta B. Beste sistema geofisikoez miatzea interesgarria izan daitezken guneak. Bi kasuetan azpian miaketa magnetikoaren emaitza dago (-4 nT beltzez, 4 nT zuriz). Ortofotoaren iturria: Eusko Jaurlaritz / Gobierno Vasco. geoEuskadi.

4.5.2. Ondorioak

Munoaundi aztarnategiko miaketa magnetikoaren baliagarritasuna aztertzeko ikerketak aurrera jarraitu beharra du. Izan ere, zenbait anomalia detektatu diren arren, horien jatorria ez da argitu ahal beste informazio-iturririk gabe.

Muno 1 eremuko balizko labeari dagokionez, metal modernoa erretiratu ostean beste miaketa magnetikoa egiteak anomaliak bertan jarraitzen duen ala ez ikusteko balio lezake. Desagertua badago edo nabari indargabetu bada, barra metalikoak sortu izana ondoriozta daiteke. Aldiz, anomaliak bere horretan badarraio, interes arkeologikoa izan dezake.

Muno 2 gunean ere, detektaturiko kontraste magnetikoa zerk sortu duen ez dago argi. Miaketa momentuan baldintza desagokiak ez dute datu kalitatean lagundu, baina aukeran beste sistema geofisiko bat aplikatzea interesgarriagoa izan daiteke. Hala ere, arestian aipatu bezala, lurzorua baldintzak hobetzeko astia hartzea komeniko litzateke.

4.6. Miaketa magnetikoaren ondorioak

Aztarnategi ezberdinak miatu ondoren, baliagarritasuna aztertzeko badira kontuan izan beharreko zenbait faktore. Lehenengo eta behin, miaturiko azalera lekuan lekura asko aldatu dela. Ez da harritzekoa emaitzarik interesgarrienak Auritz-Aurizberriko aztarnategian lortu izana, bertan 18 ha miatu direlako. Horri eskerrak, okupazio-gune nagusiaz gain, emandako erantzun magnetikoan

ezberdintzen diren guneak identifikatu dira, eta horrek sistema magnetikoan eragiten duten faktoreak aztertzeko parada emango du. Ereku txikiak miatu izanak beti sortzen du ikuspuntu partziala, eta zaila da batzuetan detektaturikoa interpretatzea. Are gehiago datu bilketaren baldintzak ez direnean lagungarriak edota zarata iturriak daudenean, detektaturiko anomalien sinesgarritasunean eragiten duelako. Hau da Pirinioetan miaturiko aztarnategi gehien kasua, bai eta Munoaundi aztarnategiarena. Azken honi dagokionez, interesgarria litzateke aztarnategia bere osotasunean miatzea, edo terrazak osorik behintzat, hor kokatu ohi direlako okupazio-gune nagusiak (San Jose et al. 2015). Horrez gain, beste sistema geofisikoak erabiltzea ere interesgarria litzateke, bereziki kontserbazio baxuko paretak deskribatu nahi badira. Beste kasu batzuetan miaturiko eremua txikia izanagatik emaitza ikusgarria da, Artziko aztarnategian gertatu bezala. Kasu horretan, Aranzadiko ikerlari taldearen intuizio egokiari esker miaketa eremuak eraikuntza bat barneratu du, kontraste magnetiko handia sortzen duena gainera.

Ikuspuntu arkeologikoari begiratu, argi dago miaketa magnetikoari esker ondorio interesgarriak lortu direla. Artzi eta Auritz-Aurizberri aztarnategietan berebiziko aurrerapausoa ekarri du, ozta-ozta ezagutzen ziren aztarnategiak izatetik ezagutza maila garrantzitsua izatera pasa direlako. Artzin ezagutza hori eremu txiki batera mugatu da eta baliteke aztarnategia handiago izatea, baina miaketa magnetikoak eraikin bat deskribatzeko adinako informazio eman du. Barne banaketa guztiz definitu ez arren, kontraste altuko bi gune, suarekin lotuta egotea litezkeenak, eta eraikinaren kanpoaldeko perimetro bat detektatu dira. Ereku zabaltzekotan sistema egokia izan daiteke interes guneak identifikatzeko, nahiz eta beste sistema osagarriak erabiltzea ez den baztertu behar.

Auritz-Aurizberrin aztarnategiaren ikuspegi orokorra lortu da. Horri esker hiriaren antolamenduari buruzko ondorioak eratorri dira, hala nola hiria galtzada ardatz zuela hazi zela. Horrez gain, eraikin batzuetan oinplanoaren deskribapena egiteko adina informazio lortu da, eta hiriaren baitan funtzio berezi bat izatea litekeena den P5 gunea ere identifikatu da. Labeak izan daitezkeen zenbait erreku gune identifikatu arren, ez da ezberdintza gabe terma gune bezala identifikatu daitezkeen gunerik ikusi. Aspektu hau nabarmentzekoa da; terma guneak hirietako puntu garrantzitsuak dira, eta beroketan sua erabiltzen zenez, sistema magnetikoak detektatuko zituela espero zen. Izan ere, hipokaustoei kontraste altuko anomalia magnetikoa sortu ohi dute, 50 nTesla gora (Fassbinder 2010). Hala ere, azpimarratu beharrekoa da arazoa interpretazioan egongo dela ziurrenik, hau da, lorturiko irudian terma non dagoen identifikatzeko gaitasun ezan. Izan ere, leku batean baino gehiagotan detektatu da kontraste altua eraikinen barnealdean (ikus 4.47. irudia) baina bi gauza hartu behar dira kontuan. Alde batetik, litekeena dela eraikin pribatuetan ere beroketa sistema izatea eta, bestetik, sedimentu arkeologikoen pilaketak ere kontraste altua sor dezakeela. Horregatik, terma gunearen identifikazioa egiteko beste informazio osagarriren bat behar da, eraikinaren forma adibidez.

Bestalde, Auritz-Aurizberrin argi geratu da kontraste magnetiko ezak ez duela ziurtatzen aztarnarik ez dagoena, eta ondorioz ezin izan da aztarnategia bere osotasunean deskribatu. Geofisikan gauza jakina den arren kontraste ezak ez duela egitura eza inplikatzeko, aberasgarria suertatu da aztarnategi berdinean ikusitako erantzun aldaera, eta ikerketarako esparru bikaina eskaini du. Horregatik erabiliko da Auritz-Aurizberriko aztarnategia ikerketa lan honen ardatz gisa, hurrengo kapituluetan ikusiko den bezala.



4.47. irudia: Kontraste altuko barnealdeak Auritz-Aurizberri aztarnategian. A. Okupazio-gune nagusia. B. P5 gunea. Bi kasuetan kolore eskala bera erabili da, 35nT baino intentsuagoak diren anomaliak nabarmenduz.

Interes arkeologiko berezirik ez duten egitura batzuk mapa magnetikoetan agertu direla ikusi ahal izan da. Auritz-Aurizberriko Otegi gunean, esaterako, goldearen markak ageri dira. Gune berean, alterazio magnetiko garrantzitsua erakutsi duten *irla anomaloen* jatorria argitu gabe dagoen arren, behin-behinean ez da okupazio antropikoak sortua denik uste. Errekastoek sorturiko anomaliak ere ikus daitezke, batzuetan kontraste magnetiko positiboa (ikusi adibidez 4.20. irudia) eta bestetan negatiboa (4.23. irudiko 3a zenbakiak, adibidez). Bestalde, Urrobi ibaiaren uholde-lautada bezala interpretaturiko guneetan kontraste magnetikoa homogeneoa dela ikusi ahal izan da (ikusi 4.9. irudia).

Laburbilduz, lehen miaketan sistema magnetikoa erabilitako kasuetan emaitzak positiboak izan dira oro har. Kontrastea egokia denean aztarnategiko egiturak deskribatzeko adinako informazioa eman du. Kontrasterik ez dagoenean, baina, ezin da aztarnarik ez dagoela baieztatu. Galtzada, adibidez, ez da mapa magnetikoan identifikatzen ez bada inguruko anomaliak utzitako tartegatik. Horregatik, aztarnategiak mugatzeko orduan oso kontuan izan behar da, eta kontrasterik ez dauden guneetan sistema osagarriak (geofisikoak edo arkeologikoak) aplikatu okupazioa baztertu aitzin.

5. kapitulua

Zundaketa geoarkeologikoak informazio geofisikoaren osagarri bezala.

Auritz-Aurizberriko aztarnategi erromatarra

Atal honen helburua informazio geofisikoa osatzeko zundaketa geoarkeologikoen ekarpena aztertzea da ikerketa kasu bezala Auritz-Aurizberriko aztarnategi erromatarra erabiliz.

Zundaketek eskainitako informazioa hiru modutan landu da. Hasteko, miaketa magnetikoan oinarritutako aztarnategiaren mugatzea eta zundetan ikusitako depositu arkeologikoen presentzia bat datorren ala ez aztertu da. Ondoren, anomalia geofisiko konkrituak eta horietan zundek erakutsitako deposituen arteko alderaketa burutu da. 2014. urteko zundaketa kanpainan aplikaturiko metodologia dela-eta, ez da sedimentuen analitkarik egin, eta begi-hutsez egindako alderaketa kualitatiboa izan da.

Bi atal horien emaitza esanguratsuenak Varsovian burututako 11th International Conference on Archaeological Prospection kongresuan aurkeztu dira poster formatuan, eta hortik sortutako Archaeologia Polona aldizkariaren liburuki berezian publikatu (Garcia-Garcia et al. 2015a). Amaitzeko, 2013 eta 2015 urteen artean burutu diren georradar miaketei esker, profiletan ikusitako islapenak eta zundetan behaturiko geruzak erlazionatzeko ahalegina burutu da, georradar seinalearen abiadura zehazte aldera.

5.1. Sarrera

Museum Of London Archaeology (MOLA) eta Aranzadiren arteko elkarlanari esker, 2014. urteko udazkenean zundaketa kanpaina bat burutu zen Auritz-Aurizberriko aztarnategi erromatarrean. Horretarako 2013. urtean buruturiko miaketa magnetikoen emaitza erabili zen informazio iturri nagusitzat, eta zundak horren arabera kokatu ziren. Helburu nagusia depositu arkeologikoen bolumena aztertzea zen arren, zundetariko batzuk emaitza geofisikoak argitzeko kokatu ziren espresuki. Izan ere, miaketa magnetikoan oinarritutako interpretazio arkeologikoak ez ziren indusketa bidez baieztatu, eta zenbait anomaliaren jatorria argitu gabe zegoen.

5.1.1. Metodologia



5.1. irudia: Zundak burutzeko erabilitako Cobra TT sistema.

Zundak egiteko Cobra TT sistema erabili zen. Eskuz eusten den motor mekanikoa da, metro bateko zunda metalikoak barneratzeko baliagarria dena (5.1. irudia, A). Zunda hauek hutsik dauden zilindroak dira, lurerean sartu ahala sedimentuz betetzen direnak. Horiek ateratzeko palanka sistema erabiltzen da (5.1. irudia, B) eta alde batean dütin irekiuneari esker bildutako sedimentuak ikusi eta aztertzeko aukera dago. Bi zunda mota zeuden eskuragarri (100 mm eta 60 milimetroko diametrokoak) eta luzapenei esker 3 metrotako sakonera ikertzeko aukera. Oro har zunda zabala erabil zen, baina barneratze zaileko puntu batzuetan 60 milimetroko zunda erabili zen. Eskuratutako lagina zundaren irekiunetik garbitzen da triangelua edo espatularen laguntzaz; argazkiak atera, behar beste geruzatan banatu eta horiek deskribatu ostean baztertu egiten da zunda berriz erabili ahal izateko. Ondorioz ez da analitikak egiteko baliagarria den zundarik bildu, nahiz eta kasu konkretuetan lagin batzuk jaso diren (5.1. taula).

5.1.2. Ikerketa eremua

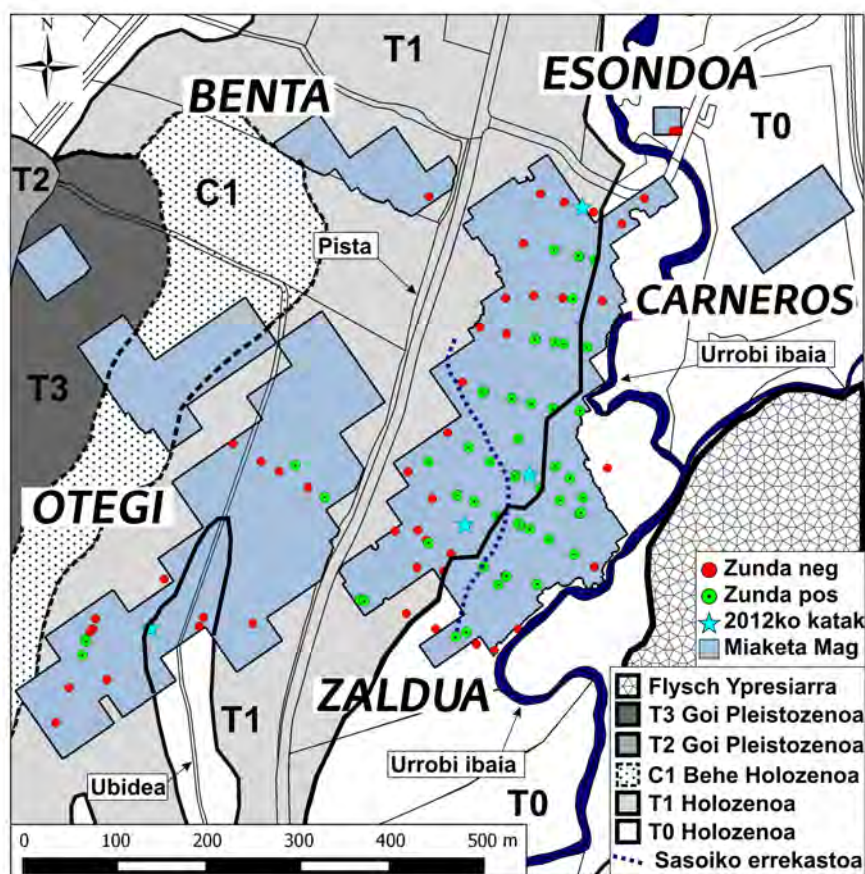
Guztira 92 zunda burutu dira aztarnategian barrena, BH1-BH90 bezala izendatu direlarik, eta bi gehiago inguruetako bi kokagunetan, BH93 eta BH94. Hamahiru kasutan, jatorrizko zundek zeharka ezinezko oztopoak aurkitu dituzte eta bigarren zunda bat zulatu da ondoan, eta hauek jatorrizko

Lagina	Zunda	Deskribapena	Sakonera	Mota
14-001	BH 10	Ikatz puska handidun buztina, non egurraren ehundura ikusten den	0,5	Ikatza
14-002	BH 17	Harearri gorria	0,1	Harria
14-003	BH 1	Zeramika edo eraikuntza materiala	?	Objektua
14-004	BH 12	L1 balizko labearen barneko lurra	0,2-0,4	Lurra
14-005		L1 balizko labearen barneko lurra	0,4-0,6	Lurra
14-006		L1 balizko labearen barneko lurra	0,6-0,8	Lurra
14-007		L1 balizko labearen barneko lurra	0,8-0,9	Lurra
14-008		L1 balizko labearen barneko lurra	0,9-1	Lurra
14-009		Metalezko elementua L1 barnean	0,8	Objektua
14-010	BH 23	L6 anomaliaren barneko balizko lur errea	0,35-0,5	Lurra
14-011		L6 anomaliaren barneko lurra. Ikatz askodun maila	0,55-0,65	Lurra
14-012		L6 anomaliaren barneko lurra. Bigarren ikatz maila matrize berdinen barnean	0,7-0,8	Lurra
14-013		L6 anomaliaren barneko lurra. Lur garbia	0,8-0,9	Lurra
14-014	BH 24	goiko graba geruza P5 anomaliaren barnean	0,3-0,4	Harria
14-015		Beheko graba geruza P5 anomaliaren barnean	0,55-0,6	Harria
14-016	BH 26	nuen maila arkeologikoaren azpian	0,50	Lurra
14-017	BH 27A	harearri gorriaren azpiko maila	0,5	Lurra
14-018		lurzorua izan daitekeen lurra	0,53-0,57	Lurra
14-019		metalezko elementua	0,66	Objektua
14-020	BH 28	bukaerako harria	0,6	Harria
14-021	BH 29	galtzadaren azpiko ikatza	1	Ikatza
14-022	BH 30	bukaerako harria	80-85	Harria
14-023	BH 33	L5 anomaliarekin loturiko lur errea	0,1-0,2	Lurra
14-024		erretakoaren azpian dagoen erreferentziarako lurra	0,2-0,3	Lurra
14-025	BH 36	bukaerako harria	0,35	Harria
14-026	BH 36A	eraikuntzarako zeramika materiala	0,45	Objektua
14-027		lur errearen gaineko zepa(k)	0,55	Objektua
14-028		erretako lurra	0,6	Lurra
14-029		balizko opus signinum lurra	0,9-1	Lurra
14-030		harearri gorriaren azpiko buztin eta ikatz geruza	1,9-2	Lurra
14-031	BH 38	Zeramika	0,73	Objektua
14-032	BH 39A	Estuco	0,73-0,75	Objektua
14-033		Beira (3 zati)	0,73-0,75	Objektua
14-034		Zeramika (pieza ezberdinak)	kanpo	Objektua
14-035	BH 40	Zeramika (lekuko produkzioa)	0,57	Objektua
14-036		Zepa	0,6	Objektua
14-037		Buztin eta ikatz maila	0,7	Lurra
14-038		Zeramika (pareta finak)	0,9	Objektua
14-039		Morteroa edo erorketaren gaineko geruza arkeologikoa	0,3-0,5	Lurra
14-040	BH 42	Morteroa edo erorketa geruza	0,53-0,72	Lurra
14-041		Morteroa edo erorketaren azpiko geruza arkeologikoa	—	Lurra
14-042	BH 43	Zeramika (lepoa edo oinarria)	0,65	Objektua
14-043	BH 53	Ezin zeharkatutako beheko materiala	0,46	Harria
14-044	BH 55	Zepa	0,9	Objektua
14-045	BH 60	Zepa	0,57	Objektua
14-046		Zeramika (zakarra)	0,6	Objektua
14-047		Zepa handia	0,68	Objektua
14-048		Nekropoli guneko geruza arkeologikoa	0,3-0,4	Lurra
14-049	BH 83	Sandalietako tatxeta	0,3-0,4	Objektua
14-050		Geruza arkeologikoaren azpiko sekuentzia naturala	0,5-0,6	Lurra
14-051	BH 89	GPRarekin detektaturiko geruza islakorra esplika dezakeen manganeso oxidodun geruza gogorra	0,8	Lurra
14-052		Geruza gogorraren gainean zegoen lur bigunagoa	0,7	Lurra

5.1. taula: Zundaketetan jasotako laginen deskribapena.

izenari A hizkia gehituaz identifikatu dira (adibidez BH36A). Gainazalean oztopaturiko zunda hauek kontuan izanda 105 zulaketa burutu dira guztira (5.2. irudia).

Miaketa magnetikoan oinarrituta, lau eremutan banatu da ikerketa eremua, nahiz eta guztiak ez ziren dentsitate berdinez miatu. Esfortzu nagusia Zaldua deritzon gunean burutu zen, bertan laurogei zunda zulatu zirelarik. Depositu arkeologikoen deskribapen ahalik eta homogeenoa burutzeko, hauek ekialde-mendebalde orientazioko lerroetan kokatu ziren koadrikula bat osatzeko aukera izateko. Lerro horiei anomalia geofisiko konkretuak argitzeko buruturiko zundak atxiki zitzaizkien. Beste guneetan miaketa xumeagoa burutu zen eta zundak geofisikaren ikuspuntutik kokatu ziren batik bat. Honela, Otegi gunean hemeretzi izan ziren zulaketak, bi Esondoan eta bakarra Bentan.



5.2. irudia: Zunda guztien kokapena mapa geologikoen gainean (Iturria: SITNA). Terrazak *T* zeinuaz eta kolubioia *C* zeinuaz adierazi dira. Geruza arkeologikoak erakutsi dituzten zundak positibo moduan izendatu dira (Zunda pos) eta erakutsi ez dutenak negatibo (Zunda neg). Bestalde, 2012. urtean indusitako miaketa-zuloaren kokapena eta 2013. urtean miaketa magnetikoak harturiko eremua ere adierazi dira.

5.1.3. Erregistro modua

Erauzitako sedimentua landan bertan aztertu eta deskribatu zen irizpide estandarrek erabiliz (kolorea, gogortasuna, granulometria eta inklusio motak) eta ondoren deposituak unitate estratigrafikoetan sailkatu ziren (Andrews et al. 2014). Interpretatutako unitate estratigrafikoak Gainazala (*Topsoil*), Uholde lautada (*Floodplain soil*), Terraza legarrak *Terrace gravels*, Terraza lohiak *Terrace silts*, Arkeologia *Achaeology*, Galtzada *Road* eta Oztopoa *Obstruction* izan ziren. Horiez gain, arkeologia geruzaren goi eta behe mailak zein nahasi gabeko geruzen goi maila identifikatu ziren, ondoren kalkuluak egitea errazagoa izateko. Zunden deskribapena ingelesez egin zuten MOLako kideek, eta

itzulpenarekin loturiko arazoak ekidin asmoz jatorrizko hizkuntzan adierazi dira kapituluaren zehar erakutsi diren tauletan.

Zundaketen kokapenak ETRS-89 UTM-30 proiektzioan bildu dira horretarako GPS diferentziala erabili zen. Zundaketen deskribapena, geruza bakoitzaren kotekin batera, datu base batean txertatu da. Informazio honek identifikaturiko estratigrafia geruzen lodieren mapak egiteko aukera eskaintzen du, besteen artean. Honela, arkeologia geruzaren lodiera eta kontraste magnetikoa aldera daitezke, esaterako. Hori Zaldua gunean egin ahal izan da soilik, besteetan ez baitago horretarako beharrezkoa den bezainbeste datu.

Bestalde, zundetan zenbait material arkeologiko ere aurkitu zen, besteen artean zepak, zeramika zatiak eta beira zatiak (ikusi 5.1. taula). Bereziki aipagarriak dira erromatar sandalia baten tatxeta Otegi gunean, eta Zaldua gunean galtzadaren azpian agertutako ikatz zatia, zeinak $2036BP \pm 30$ datazioa eman duen %95,4ko probabilitatearekin.

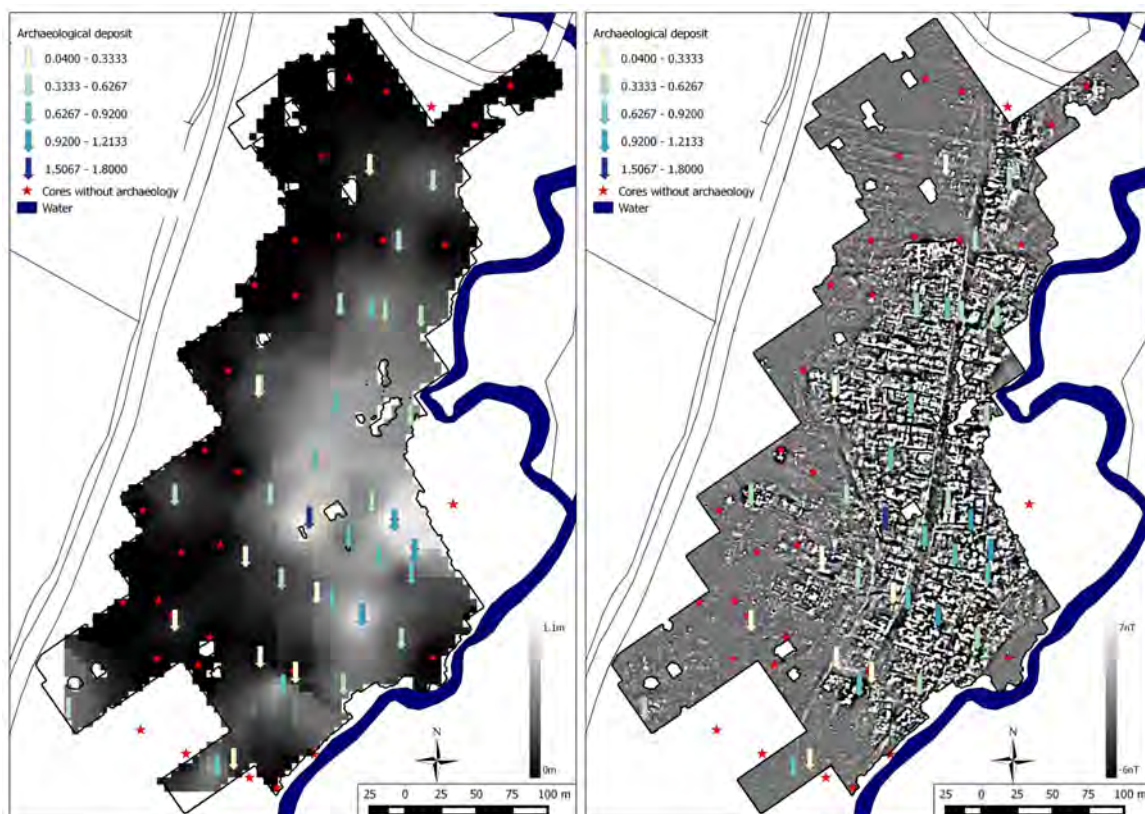
5.2. Potentzia arkeologikoa eta kontraste magnetikoa

Zulatutako 105 zunden artean 73k erakutsi zuten geruza arkeologikoren bat, galtzada eta oztopoak kontuan izanez gero (azken hauek paretei esleitu zaizkie) (5.2. irudia). Hala ere kasu guztietan eragin antropikorik gabeko geruzak metro bat eta bi metroren arteko sakoneran topatu ziren (Andrews et al. 2014), nahiz eta zundaketa kanpainaren aurretik potentzia handiagoa espero. Izan ere, 2012. urtean burututako indusketek 2 m inguruko arkeologia-geruza lodiak azaleratu zituzten. Zundaketek argi erakutsi dute indusketak estratigrafia luzeko gunetan kokatu zirela, eta aztarnategian zeharreko arkeologia bolumena hasera batean espero zena baino txikiagoa dela.

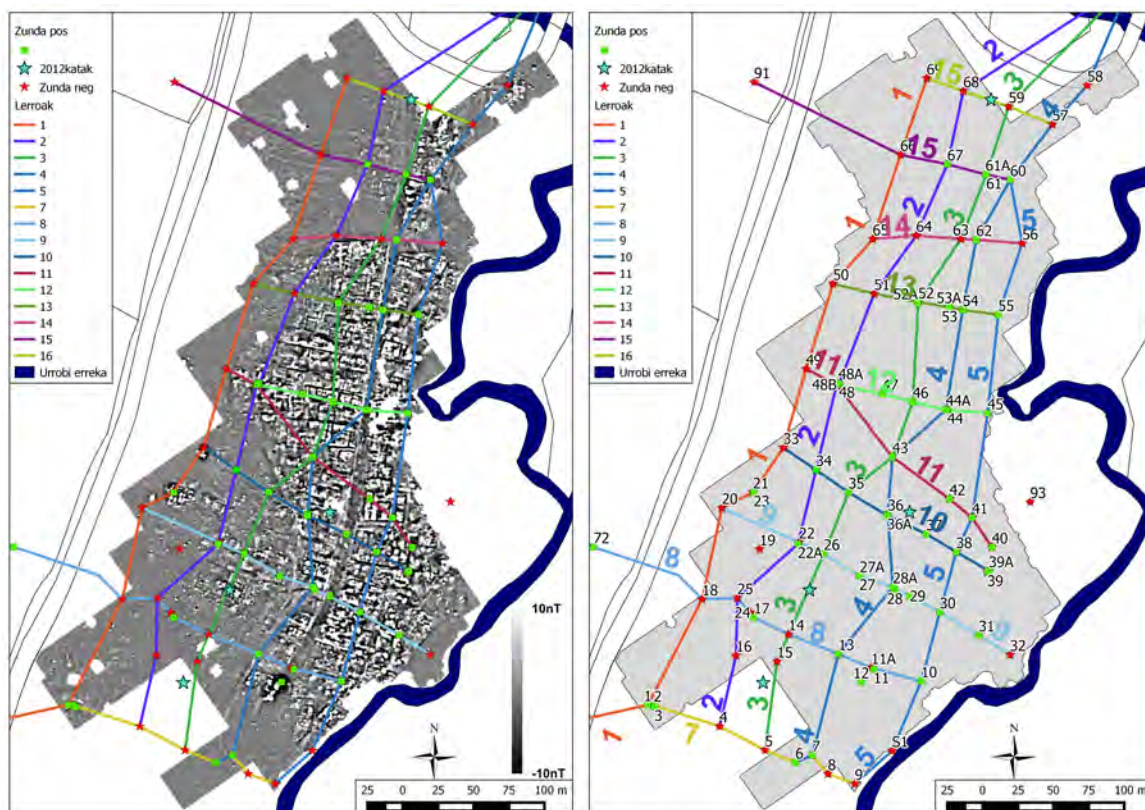
Potentzia arkeologikoa mapa jarraitu bat bezala ikusteko zunda bakoitzaren arkeologia geruzaren lodiera kalkulatu da. Balio diskretu horiekin interpolazioa burutu da *Surfer 9* softwarearekin. 4 m x 4 metroko pixel bakoitzaren balioa kalkulatzeko 50 metroko erradioaren barneko zunden batezbestekoa egin da, bakoitzari distantziaren karratuaren alderantzizko pisua emanez. Zunda dentsitatea dela eta irudia pixelatua ageri da, lodiera nabarmena zuten zunden inguruan horiek sorturiko eragina nabaria delarik (ikusi 5.3. irudia).

5.2.1. Okupazio eremuaren baieztatzea

Orokorrean Zaldua guneko zundaketek miaketa magnetikotik ondorioztaturiko okupazio-gunea islatzen dute (ikusi 5.3. eta 5.4. irudiak). Geruza arkeologikorik erakutsi ez duten zundaketen gehiengoa okupazio gune nagusiaren kanpoaldean kokatuta dago. Bereziki, iparraldean kokaturiko 14. lerroko zundetan ez da arkeologia geruzarik behatu, okupazioaren etenunea dagoela baieztatuz (ikusi 4.2.3.1. atala). Bestalde, zelaiaren ekialdean dagoen basoan zunda bakarra zulatu zen (93 zenbakiduna, miaketa magnetikoaren eremutik kanpo, ikusi 5.4. irudia) eta bertan ez zen arkeologia geruzarik ikusi. Momentuz beraz, ez da baso gune horretan inolako okupazio zantzurik ikusi, nahiz eta ezin den ondorio definitiborik eman. Mendebaldean kokaturiko 1. lerroan, berriz, bi puntutan besterik ez da arkeologia geruzarik detektatu (BH23 zundan eta BH1-3 zundetan), eta okupazioaren muga kontraste magnetikoak iradokitakoarekin bat datorrela dirudi.

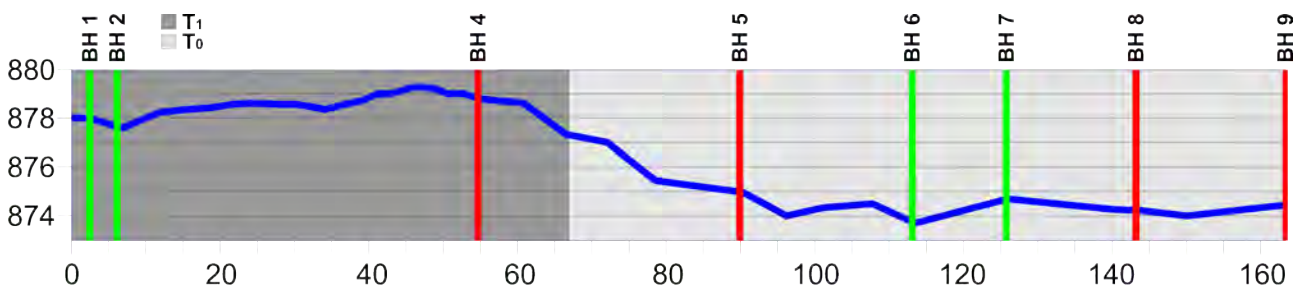


5.3. irudia: Zundetan behaturiko geruza arkeologikoen lodiera Zaldua gunean. Geruza arkeologikoak detektatu dituzten zunden kokapena gezien bidez adierazi da, gezien koloreak geruzaren lodiera adierazten duelarik. Geruza arkeologikorik gabeko zundak izar gorritz adierazi dira. Ezkerrean, potentzia arkeologikoaren mapa interpolatuaren gainean, eskuinean, mapa magnetikoaren gainean.



5.4. irudia: Zaldua guneko zunden kokapena eta horiek lotuz sortutako lerroak. Geruza arkeologikoak erakutsi dituzten zundak positibo moduan izendatu dira (Zunda pos) eta erakutsi ez dutenak negatibo (Zunda neg). Eskuineko irudiko zenbakiek dagokien zundaren kokapena adierazten dute. 6. lerroa Otegi gunean dago eta 5.6. irudian ikus daiteke.

Hegoaldean kokaturiko 7. lerroak terrazak eragindako topografia saltoa zeharkatzen du, aztarnategiaren alde garaia eta behea elkartuz (ikusi 5.5. irudia). BH1-BH4 zundak T_1 terrazan daude eta hurrengoak, berriz, T_0 terrazan. Lehenean, miaketa magnetikoan kontrastea detektatu arren ez zen egiturak ongi deskribatzeko adinako definiziorik lortu. Hasera batean, horren arrazoia egituren sakonera ezberdinean egon zitekeela uste zen, nahiz eta gainazalaren egoera irregularrak ere datu-kalitatean eragin izan ahal zuela ere kontuan hartu zen (ikusi 4.2.3.1.1. ataleko E zonaren azalpena). Zundek, ordea, arkeologia geruzak eta pareta bezala identifikaturiko oztopoak aurkitu zituzten bertan, okupazioa baieztatuaz. Horien sakonera, gainera, ez da beste lekuetakoekiko ezberdina. Horregatik ondorioztatu da gainazaleko irregulartasunak edota sistemaren kalibrazio desegokia daudela definizio txarraren oinarrian. Bestalde, lerro honek zuhaitzen oztopoa dela eta miatu gaberiko gune bat zeharkatu du, non BH4 zundak ez duten inolako geruza arkeologikorik erakutsi.

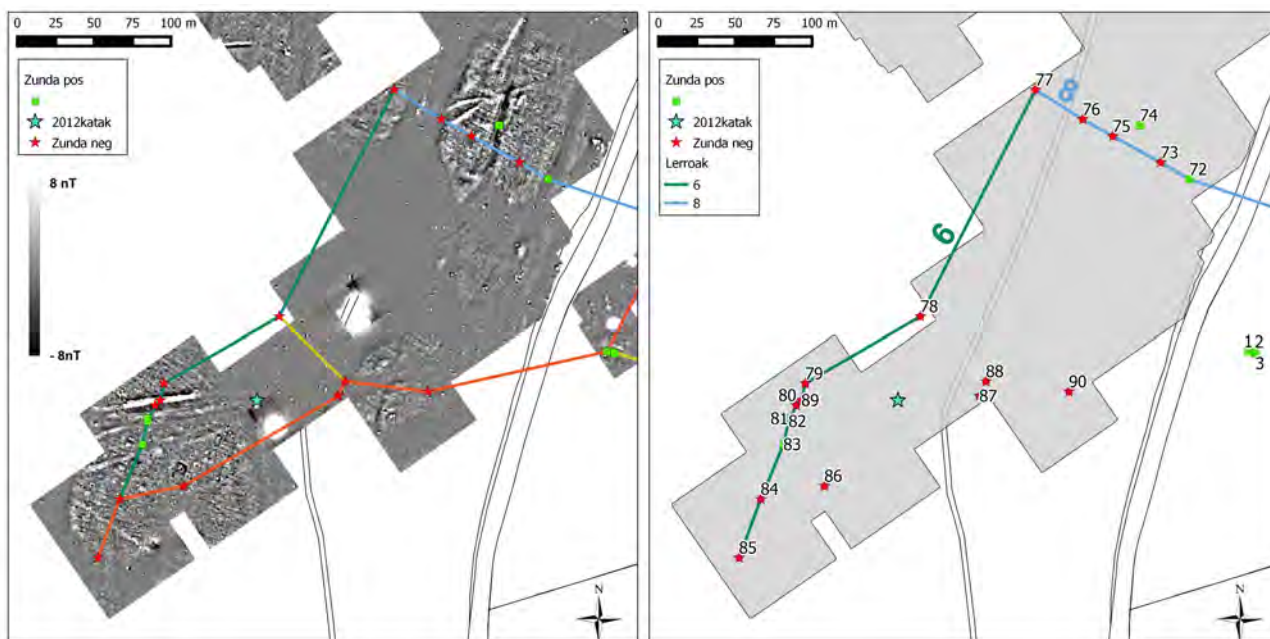


5.5. irudia: Zaldua guneko 7. profilaren topografia (urdinez), bertan dauden zunden kokapenekin. Geruza arkeologikoak erakutsi dituzten zundak lerro berdez adierazi dira, eta erakutsi ez dituztenak lerro gorriez. Egungo T_0 terraza eta aurreko T_1 terrazen arteko saltoa 4. eta 5. profilen artean dago, atzeko planoaren kolore ezberdinekin adierazi bezala.

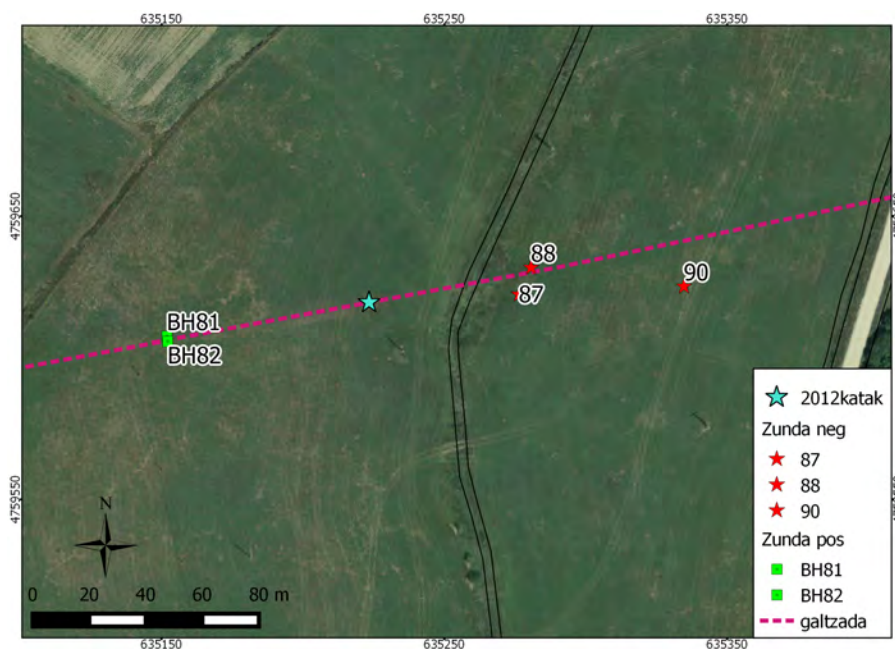
Beheko terrazan, bi besterik ez dira geruza arkeologikoak erakutsi dituzten zundak, BH6 eta BH7. Gune honetan ezaguna zen eraikin bat zegoena, baina miaketa magnetikoan ez zen detektatu (ikusi 4.2.3.1.3. atala). Zundaketek agerian jartzen dute gune honetan sistema magnetikoa ez dela egitura arkeologikoak detektatzeko gai izan, eta ondorioz ezin dela okupazioaren presentzia determinatu sistema bakar hori erabilita. Hala ere, gainontzeko zundek emaitza negatiboak eman dituztela kontuan izanda, gune honetako okupazio dentsitatea txikiagoa dela ondoriozta daiteke.

Otegi gunean miaketa ez da hain sakona izan. Hemeretzi zunda besterik ez dira zulatu eta horietatik bost izan dira geruza arkeologikoak erakutsi dituztenak (5.6. irudia). Horietariko bi, BH81 eta BH82 hain zuzen, nekropoli guneko galtzadaren gainean zulatu ziren honen ibilbidea aireko irudiekin bat datorrela erakutsiz. Ur-hodiaren ekialdean kokaturiko BH87 eta BH88 zundek, aldiz, ez zuten galtzada zulatu. Hala ere, landa eremuan kokatzeko erabilitako GPS-en errorea zunden kokapen zehatza hartzeko erabilitako GPS diferentzialarena baino handiagoa zen, eta landa-landa amaitutakoan zunda hauek esperotako ibilbidearekiko aldentuta zeudela ikusi ahal izan zen (ikusi 5.7. irudia).

Dena den, Otegi gunean kontraste magnetikoa eta okupazio arkeologikoaren arteko korrelazioa konplexuagoa da, eta ezin izan da nekropoliaren zabalera zehaztu. Zundaketek ez dute miaketa magnetikoan detektaturiko *irila anomaloak* eta okupazio arkeologikoa korrelazioan jartzea ahalbidetu, ez delako alterazio guneetan geruza arkeologikorik ikusi. Ondorioz, miaketa magnetikoa eta zunden informazioa uztartuz, Otegi guneko okupazioa nekropolia eta galtzadaren ingurura mugatzen dela esan daiteke.



5.6. irudia: Otegi guneko zunden lerroak (ezkerrean) eta zenbakiak. Geruza arkeologikoak erakutsi dituzten zundak positibo moduan izendatu dira (Zunda pos) eta erakutsi ez dutenak negatibo (zunda neg).

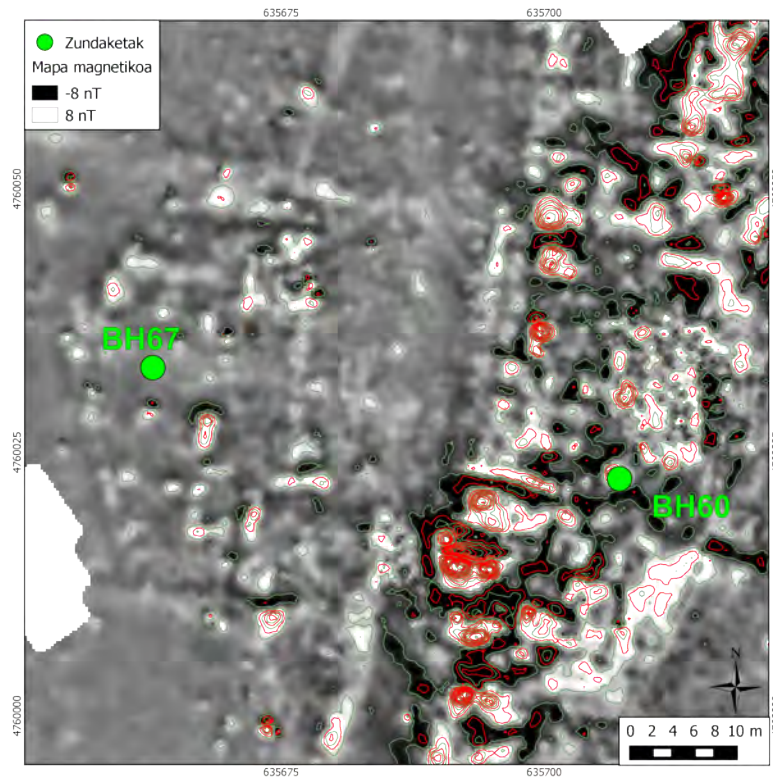


5.7. irudia: Otegi gunean galtzadaren balizko ibilbidea eta inguruan zulaturiko zundak aireko irudiaren gainean (iturria ©Instituto Geográfico Nacional).

5.2.2. Kontraste magnetikoa eta arkeologia geruzaren lodiera

Miaketa magnetikoaren ostean ondorioztaturiko okupazio-gunea eta zundaketetan ikusitakoa bat datoz hein handi batean. Hala ere, okupazio guneetan ikusitako arkeologia geruzaren lodiera ez dator beti bat gune horretan detektaturiko kontraste magnetikoaren intentsitatearekin. Korrelazioak ageri diren arren, espero zitekeen moduan kontraste magnetikoa beste faktore batzuek baldintzatzen dute, hala nola arkeologia geruzaren ezaugarriek edota inguruaren egoerak.

Zalduako bigarren okupazio-guneak erantzun magnetiko oso ezberdina erakutsi zuen galtzadaren bi aldeetan (5.8. irudia). Zulatutako bi zundek antzeko lodieradun geruza arkeologikoa azalera zuten (20cm mendebaldekoan eta 30cm ekialdekoan), baina izaera ezberdineko geruzak direla ikusi ahal izan zen. Mendebaldean kokaturiko BH67 zundak eraikin baten barnealde bat iradokitzen duen geruza konpaktua erakutsi zuen, zeramika zati txikiduna. Ekialdean kokaturiko BH60 zundak, berriz, beroaren eraginpean egondako buztin partxeak eta ikatz ugari erakutsi zituen. Ondorioz kontraste diferentzia deposituen osagai ezberdinetan kokatzen dela esan daiteke, eta ez hainbeste deposituen lodieran.



5.8. irudia: Zaldua iparraldean dagoen bigarren okupazio-gunean zundatutako zundak mapa magnetikoaren gainean (-8 nT beltzez, 8 nT zuriz, isolerroak 5 nT berdez eta 10 nT gorritz).

Galtzadari dagokionez, Zalduan barna kontraste ezberdinez detektatu da mapa magnetikoan. Zortzi zunda kokatu dira galtzadaren gainean eta horietan ikusi denez galtzada sakonera berdintsuetan ageri da. Galtzadaren lodierari dagokionez, lau kasutan besterik ez da zundarekin alde-alde gurutzatu, harriek sorturiko oztopoa dela eta (BH29; BH37; BH54; BH62). Lehen hirurak okupazio gune nagusian daude kokatuta, galtzada erraz identifikatzen den puntuetan, eta 65 cm, 45 cm eta 55 zentimetrotako lodierak erakutsi dituzte hurrenez-hurren. Hiru zunda hauen kokagune zehatzetan kontraste magnetikoaren balio kuantitatiboa ezberdina den arren (kalibrazioa leku berean egin zen beti), ezberdintasuna ez dator lodieraren aldaketekin bat. BH62 zunda bi okupazio guneen arteko zerrendan dago kokatua, non galtzada eta inguruaren arteko kontraste ezak ez duen lehena identifikatzeko aukerarik ematen. Zundak erakutsi duenez, galtzadak 41 zentimetrotako lodiera du puntu horretan, aurrekoen oso antzekoa harri koxkorrez eginda dagoela kontuan izanda. Galtzadaren kontraste aldea, beraz, ez dago galtzadarekin berarekin lotuta, inguruan duenarekin baizik. Izan ere, gune nagusian galtzada mugatzen duten egiturak dira hura identifikatzen laguntzen dutenak, eta ez hainbeste galtzada berak sorturiko seinalea.

5.3. Interpretazio arkeologikoen balidatzea

Arkeologia geruzen potentzia eta izaera aztertzeaz gain, zundaketa kanpainak miaketa magnetikoan oinarritutako zenbait interpretazio egiaztatzea zuen helburu. Ariketa interesgarria izan da, orokorrean interpretazioak baieztatu diren arren, zenbait puntutan diskordantziak egon direlako. Jarraian adierazi da egitura motaren arabera sailkatutako anomalien interpretazioa eta zunden arteko alderaketa.

5.3.1. Eraikinak

Miaketa magnetikoari esker eraikinen kokapen eta ezaugarrien inguruko informazio aberatsa bildu da. Zalduako okupazio gune nagusian eraikinek kontraste nabaria erakutsi dute oro har, eta pareta nagusiak zein barne distribuzioa deskribatzeko aukera egon da (ikus 4.2.3.1.3. atala). Beste gune batzuetan ordea ez da kontraste magnetikorik detektatu, nahiz eta beste iturri batzuei esker eraikinen existentzia ezaguna zen. Zundaketen bidez kontraste aldearen jatorrian sakontzea zen helburua.

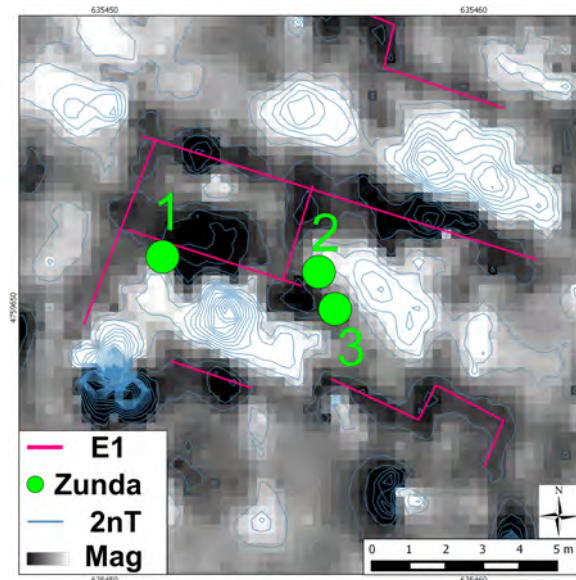
5.3.1.1. Zalduako E zona. BH1/BH2/BH3 zundak

Zalduako hego-mendebaldean eraikuntza egiturak daudela ezaguna zen miaketa magnetikoa burutu aurretik, ur-hodi baten instalaziorako lanetan zoruak eta paretak zeharkatu baitziren. Miaketa magnetikoaren emaitzak, aldiz, definizio eskaseko anomaliak erakutsi zituen gune honetan (ikus 4.2.3.1. atala), eta honen zergatia azaltze aldera, arrazoi bat baino gehiago egon daiteke. Datu bilketaren momentuan lurrazalaren egoera ez zen egokiena, ibilgailuren baten gurpilen aztarna sakonek sentsoare eta zoruaren arteko aldean eragin nabaria izan zutelako, eta honek datuen kalitatean eragin zuelako. Beste azalpen posiblea egituren sakonerak anomalien intentsitate eta definizioan eragin izana zen (ikus 2.2.3. atala).

BH1, BH2 eta BH3 zundak gune honetan kokatu ziren (ikus 5.4. eta 5.9. irudiak). Horien artean lehenean bakarrik lortu zen geruza arkeologikoa zeharkatzea, eta 0,3 metro eta 0,78 metro bitartean lohi hareatsuzko geruza bezala deskribatu zen (5.2. taula). Besteek paretatzat jotako oztopoak aurkitu zituzten 0,22 metro eta 0,37 metroko sakoneratan, hurrenez-hurren. Gertutasunari esker oztopoa 2012ko katetan paretak egiteko erabilitako harearri gorriek sortu zela ikusi ahal izan zen.

Zunda	Top	Bottom	Lithology	Description	Interpretation
BH01	0	0,05	Turf		Topsoil
	0,05	0,3	Silt, clayey	mod light brown friable sandy silt with roots	Topsoil
	0,3	0,78	Silt, sandy	as above but fewer roots	Archaeology
	0,78	1	Clay, silty	firm orange brown silt clay with manganese and iron staining (flecks) occ small clasts	Terrace silts
	1,22	2	Silt, clayey	as above 0.78m (increasingly firm with depth) Increase in clay occ small / med clasts no archaeology	Terrace silts
BH02	0	0,05	Turf		Topsoil
	0,05	0,22	Silt, sandy	mod light brown friable sandy silt with roots	Obstruction
BH03	0	0,05	Turf		Topsoil
	0,05	0,37	Silt, sandy	mod light brown friable sandy silt with roots	Obstruction

5.2. taula: Zalduako E zonan kokaturiko BH1, BH2 eta BH3 zunden deskribapena. Occ: *Occasional*; Mod: *Moderate*.



5.9. irudia: Zalduako E zonako zunden kokapena mapa magnetikoaren gainean (-5 nT beltzez, 5 nT zuriz, isolerroak 2 nT).

Emaitzei erreparatuaz, kontraste magnetikoaren diferentzia ez duela egituren sakonerak azaltzen ondoriozta daiteke. Aurkitutako arkeologia geruza, 0,48 metrokoa, ez da bereziki lodia baina aztarnategiko beste puntu batzuetan aurkitutakoarekin bat dator (ikusi 5.3. irudia), beraz ez dirudi kontserbazio maila eskasagatik denik ere. Hala ere, arkeologia geruza horretan ez da ikatz edota zeramika zati nabaririk ikusi, eta beraz baliteke okupazioak eragin txikia izatea. Okupazioak suszeptibilitate magnetikoan eragin ez izana kontraste ahularen arrazoiatariko bat izan daiteke, lurrazalaren baldintza desegokiekin konbinatuz miaketa magnetikoak eskainiriko definizio txarreko irudia lortu delarik.

5.3.1.2. Zalduako E20 eraikina. BH6/BH7 zundak

Zaldua guneko hegoaldean, aireko irudiei esker ezaguna zen eraikin bat ez zen mapa magnetikoan ageri, ez behintzat kontrastea bortxatu eta aireko argazkiak seinalatutako lekuan begiratu gabe. Ingurua urez gainezka egon ohi da denbora luzez negu partean, agian kontraste ezaren arrazoiatariko bat izan daitekeelarik (4.2.3.1.3. atala). Zundaketen bidez gune honetako estratigrafia eta sedimentuak aztertzea zen helburua, kontraste ezaren inguruan informazio gehiago bildu nahian (BH6 eta BH7 zundak 5.4. irudian).

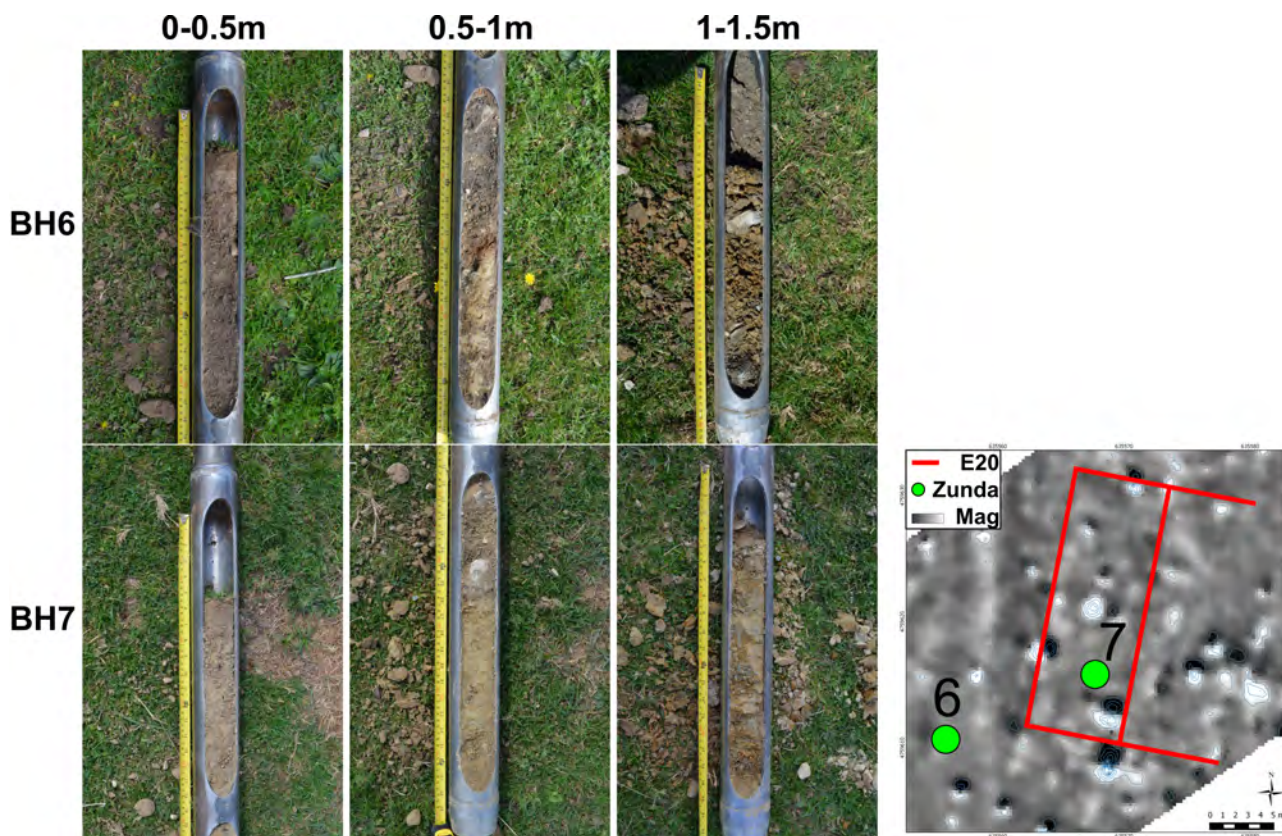
BH7 zunda eraikinaren hegoaldean dago kokatuta, eraikinaren barnealdea izango litzatekeen gunean (ikusi 5.10. irudia). 0,66 metro eta 0,87 metro bitartean buztin edo lohi zurrunezko geruza garbia agertu zen, mailakatze geruza bati egokitu zitzaiona. Zorua edo zoruaren prestaketa izan zitekeen. Honen gaineko geruzetan ikatzik edo zeramikarik ikusi ez arren, arkeologia geruzari esleitu zitzaion, naturala ez dela erakusten duten alterazioak ikusi zirelako (5.3. taula).

BH6 zunda eraikinaren kanpoaldean kokatu zen. Espero zenaren aurka, arkeologia geruza lodia erakutsi zuen 0,22 metro eta 0,95 metro bitartean, okupazio maila ezberdinak iradoki dituen azpigeruza multzoa agertzen zuelarik. Kasu honetan, 0,5 metro azpitik ikatz eta zeramika printza ugari ikusi zen, nahiz eta zunda hau ere kontraste magnetiko urriko gunean kokatua egon.

Zunda	Top	Bottom	Lithology	Description	Interpretation
BH06	0	0,07	Void		Topsoil
	0,07	0,12	Turf		Topsoil
	0,12	0,22	Silt, clayey	Fairly compact light brown clay silt with abundant roots and freq to abund gravel	Topsoil
	0,22	0,5	Silt, clayey	As above with fewer roots	Archaeology
	0,5	0,55	Gravel	Large clast	Archaeology
	0,55	0,58	Sand, silty	Very compact light grey silty slightly sandy with fairly freq small charcoal flecks	Archaeology
	0,58	0,6	Gravel, sandy	Light yellow brown sub rounded small gravel (pea grit) with v occ CBM flecks in a sand matrix	Archaeology
	0,6	0,61	Clay, silty	Light grey silty / clay 1cm with occ ?	Archaeology
	0,61	0,7	Sand	Light yellow poorly sorted sand medium with occ comm ? at base	Archaeology
	0,7	0,95	Clay, silty	Increasingly firm / ? to 0.9 with increasing clasts (large)	Archaeology
	0,95	1,55	Gravel	V firm / stiff matrix-supported gravel of shale large and small clasts	Terrace gravels
BH07	0	0,13	Void		Floodplain soil
	0,13	0,17	Turf		Floodplain soil
	0,17	0,66	Silt, clayey	Compact light brown clay silt with abund roots and freq poorly sorted gravels	Floodplain soil
	0,66	0,87	Silt, clayey	V stiff / compact grey brown clay silt	Archaeology
	0,87	1	Gravel, silty	V firm matrix supported gravels large	Terrace silts
	1	1,1	Void		Terrace silts
	1,1	1,26	Clay	V firm grey brown clay with no inclusions	Terrace silts
	1,26	1,45	Silt, clayey	Fairly firm orange matrix supp silt clay gravel. Gravel of large to small clasts	Terrace silts
	1,45	1,5	Gravel, silty	Clast supported gravel with matrix as above	Terrace gravels

5.3. taula: E20 eraikinaren inguruko BH6 eta BH7 zunden deskribapena. Occ: *Occasional*; Comm: *Common*; Freq: *Frequent*; Abund: *Abundant*; V: *Very*; CBM: *Common Building Material*.

Bi zunda hauek aztertuz argi dago kontraste magnetiko ezak ez duela okupaziorik egon ez denik esan nahi, azalpen garbirik emateko adina informazio bildu ez den arren. E20 eraikinaren barnealdean aurkitutako arkeologia aztarna bakarria buztin geruza garbia izaki, kontraste magnetikorik ez izatea espero daiteke. Hala ere, eraikinaren inguruan ikatz eta zeramika printzak detektatu izanak, paretak kontraste negatiboko anomalia bezala detektatzea posible izan beharko litzatekeela iradokitzen du, eta ez da hori mapa magnetikoan aurkitutakoa. Ikerketa gehiago burutu beharko da gune honen portaera magnetikoa argitzeko.



5.10. irudia: Zalduako E20 eraikinaren inguruko zunden argazkia eta kokapena mapa magnetikoaren gainean. (-3 nT beltzez, 3 nT zuriz, isolerroak 2 nT). Argazkiak: MOLA/Aranzadi.

5.3.1.3. Zalduako E1 eraikina. BH41 /BH42 zundak

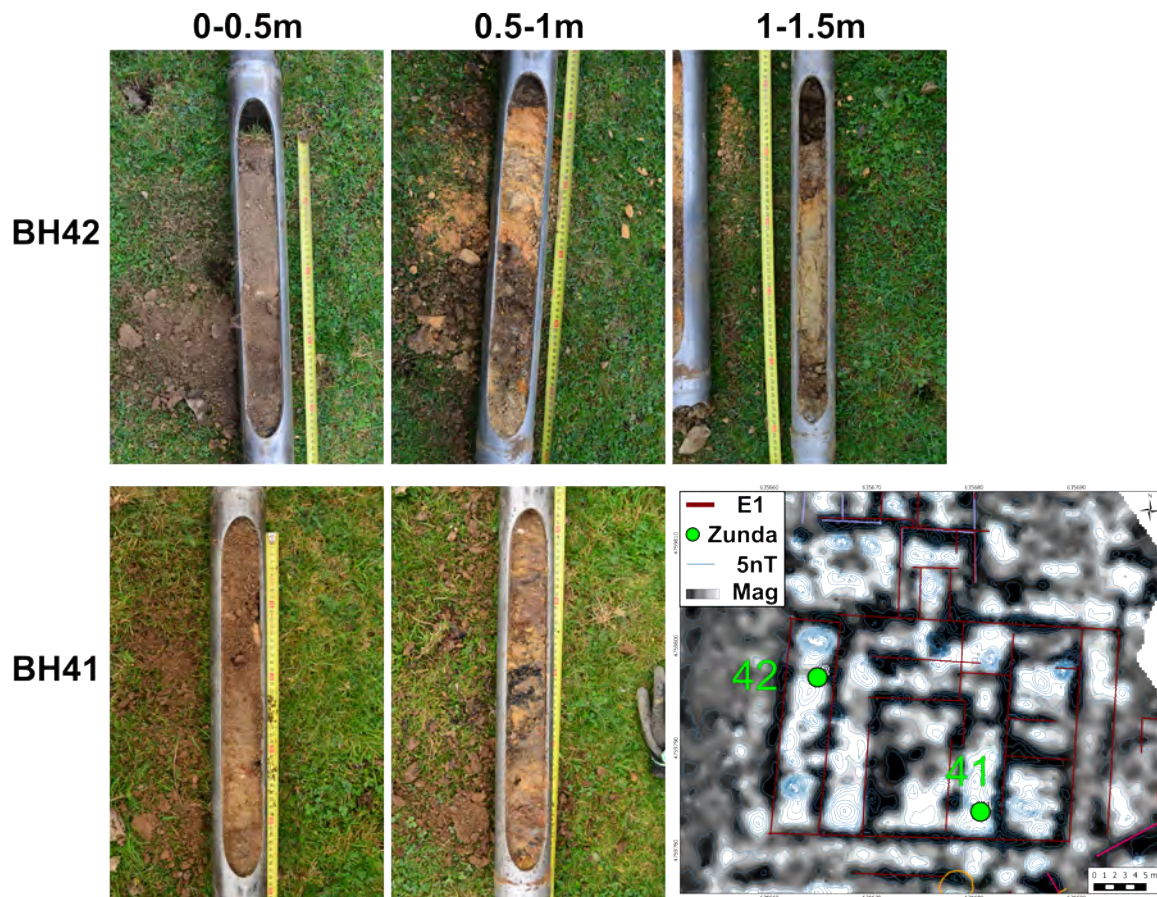
Zalduako okupazio gune nagusian eraikin bat deigarria suertatu zen hasieratik, *Domus Italica* bati esleitutako distribuzioa erakusten duelako. 2013. urteko miaketa kanpainan miaketa magnetikoa eta georradar bidezkoa burutu zen eraikin honen gainean, eta horregatik aukeratu zen zundak zultzeko gune egokitzat. BH41 eta BH42 zundak eraikinaren barneko bi balizko gelatan kokatu ziren, kontraste magnetiko positiboa baina georradar seinalearen islapen eskasa detektaturiko kokagunetan (5.11. irudia). Bi kasuetan ikatz ugaridun arkeologia geruza lodiak aurkitu ziren, azpigeruza ezberdinak nabaritzen zirelarik (5.4. taula). Inolako kasutan ez zen aurkitu zoru bezala era argian identifikatzerik izan den geruzarik, georradar seinalearen islapen ezarekin bat datorrena (ikus 175 orrialdeko 6.5. irudia). Egia da BH42 zundan zurruna ez den hondar geruza argia agertu dela, baina ez da georradar emaitzetan identifikatu.

5.3.2. Espazio irekiak

Miaketa magnetikoan gune batzuk espazio ireki moduan identifikatu ziren seinale magnetiko homogeneoa dela eta. Zundetarikoz batzuk gune hauetan kokatu ziren estratigrafiaren inguruko informazioa bildu nahian.

Zunda	Top	Bottom	Lithology	Description	Interp.
BH41	0	0,05	Turf		Topsoil
	0,05	0,2	Silt, clayey	Mod compact light brown friable sandy silt with roots	Topsoil
	0,2	0,3	Silt, clayey	Mod compact mid grey brown clayey silt with come sand and charcoal; homogenous soil-like deposit	Topsoil
	0,3	0,4	Silt, clayey	Compact light yellow clayey silt with small clasts of charcoal, flecks of CBM, patches of dark red heat affected/degraded sandstone	Archaology
	0,4	0,64	Clay, silty	Compact, friable 'dirty' mid yellow brown silty clay with CBM frags; with depth increasing medium clasts of sandstone, quartzite and shale and from 0.50 lumps of brickearth-like material	Archaology
	0,64	0,8	Clay, silty	Compact friable yellowish brown silt clay with abund charcoal	Archaology
	0,8	1,16	Silt, clayey	Compact, dirty, darker than unit above, grey brown clay silt with CBM and charcoal, small and medium clasts and occ large clast	Archaology
	1,16	1,18	Clay, silty	Charcoal rich dark grey brown silty clay	Archaology
	1,18	1,3	Clay, silty	Mod compact grey brown silty clay with charcoal flecks and small clasts throughout	Archaology
	1,3	1,42	Clay, silty	As 1.18-1.3 with increasing charcoal	Archaology
	1,42	1,8	Silt	Mod compact yellow silt with patchy reddish orange discoloration - ?root Channels	Terrace Silts
	1,8	1,95	Silt	Mod compact light blue grey silt	Terrace Silts
	1,95	2	Gravel, silty	Clast supported gravel in gritty silt	Terrace Gravels
BH42	0	0,05	Void		Topsoil
	0,05	0,1	Turf		Topsoil
	0,1	0,32	Silt, clayey	Mod compact light brown friable sandy silt with roots	Topsoil
	0,32	0,52	Silt, clayey	Compact dark brown silty clay with freq flecks of CBM and charcoal; small and medium clasts of mixed lithology throughout	Topsoil
	0,52	0,69	Sand	Loose coarse yellow orange sand with sandstone blocks and large clasts (collapsed wall?)	Archaology
	0,69	0,85	Clay, silty	Dark brown silt clay abund inclusions CBM and charcoal and small to medium clasts throughout (make up beneath wall)	Archaology
	0,85	1,1	Gravel, sandy	V gritty sandy clast supported mixed gravels	Archaology
	1,1	1,25	Silt, sandy	Mod compact orange yellow silt with fine sand and some clay	Terrace Silts
	1,25	1,45	Gravel, silty	Grey brown, clast supported poorly sorted gravel (small to large) in a gritty silt matrix	Terrace Gravels

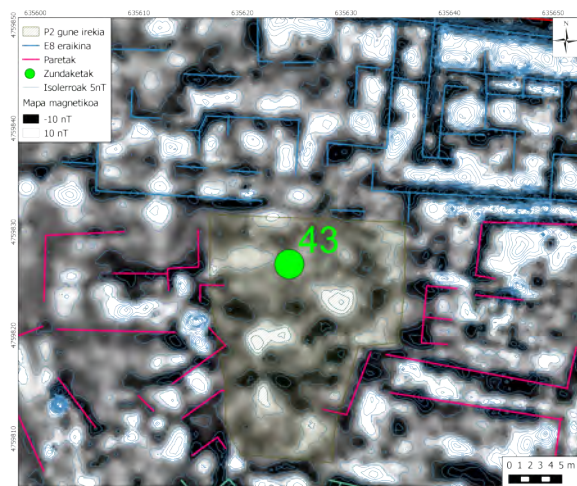
5.4. taula: E1 eraikinaren gunean zulaturiko zunden deskribapena. Occ: *Occasional*; Mod: *Moderate*; Freq: *Frequent*; Abund: *Abundant*; V: *Very*; CBM: *Common Building Material*.



5.11. irudia: Zalduako E1 eraikinaren inguruko zunden argazkia eta kokapena mapa magnetikoaren gainean (-10 nT beltzez, 10 nT zuriz, isolerroak 5 nT). Argazkiak: MOLA/Aranzadi.

5.3.2.1. Zalduako P2 gunea. BH43 zunda

BH43 zunda P2 gunearen barnealdean zulatu zen (ikusi 5.12. irudia). Bertan ikatz eta zeramika printza ugaridun arkeologia geruza topatu da 0,5 metro eta 1,3 metro bitartean. Orokorrean matrizea lohiz osaturik dagoen arren, 1,13 metro eta 1,3 metro bitartean hareatsuago eta argiago ageri da, kolore beltz eta laranja-gune batzuekin. Honen azpian 20 zentimetroko legar geruza aurkitu da, eta ondoren lohiak (5.5. taula).



5.12. irudia: Zalduako P2 balizko gunea irekian zulaturiko BH43 zundaren kokapena mapa magnetikoaren gainean (-10 nT beltzez, 10 nT zuriz, isolerroak 5 nT).

Zunda	Top	Bottom	Lithology	Description	Interpretation
BH43	0	0,06	Turf		Topsoil
	0,06	0,3	Silt, clayey	Mod compact light brown friable sandy silt with roots	Topsoil
	0,3	0,5	Clay, silty	Mod compact mid brown silty sandy clay with samll clasts; further subsoil	Topsoil
	0,5	1,13	Silt, clayey	Mod compact/friable grey brown clay silt with sand with freq flecks charcoal and CBM	Archaeology
	1,13	1,3	Silt, sandy	Mod compact yellow sandy silt with some clay; orange-black patches at 1.16-1.20	Terrace Silts
	1,3	1,5	Gravel	Mod compact mid yellow brown gravel	Terrace Gravel
	1,5	1,6	Silt, clayey	Grey brown silt with some sand and clay	Terrace Silts
	1,6	2	Gravel	Orange brown clast supported gravel, poorly sorted gravel of mixed lithology in a yellow silty matrix	Terrace Gravel

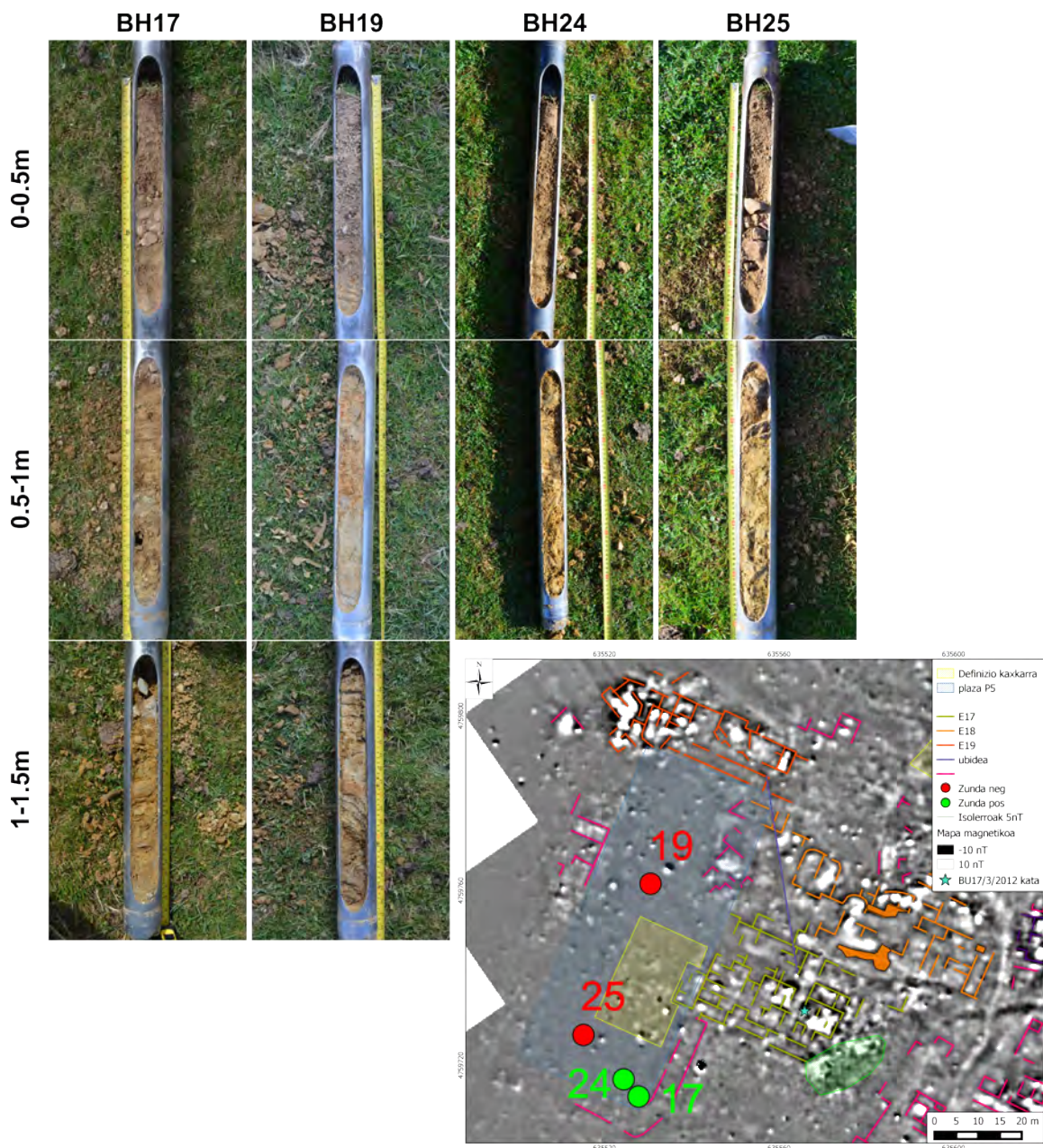
5.5. taula: P2 balizko espazio irekian zulaturiko BH43 zundaren deskribapena. Mod: *Moderate*; Freq: *Frequent*; CBM: *Common Building Material*.

Zorurik aurkitu ez denez zundaren emaitza bat dator espazio irekiaren hipotesiarekin. Hala ere, 1,13 metro eta 1,5 metro bitarteko legar eta lohi hareatsudun geruzen konbinazioa naturala ere izan daitekeen arren, nolabaiteko prestaketa bat iradokitzen du, espazio ireki batean ematea arraroa litzatekeena. E1 eraikinaren barrualdean ere ez da zorurik topatu, eta ondorioz ezin da hori espazio ireki bat denaren froga gisatzat hartu. Hala ere, E1 eraikineko zundetaz azpigeruza gehiago eta ikatz kopuru handiagoa ikusi zen. Ondorioz, zunden emaitzak ez du espazio irekiaren hipotesia ezeztatzen, baina miaketa magnetikoaren emaitza da hori baieztatzeko erabili daitekeen informazio iturri nagusia.

5.3.2.2. Zalduako P5 gunea. BH17/BH19/BH24/BH25 zundak

Miaketa magnetikoan oinarrituta P5 deritzon balizko unitate arkeologikoa identifikatu zen Zaldua guneko hego mendebaldean, baina kontraste magnetiko ahuleko gunea izaki, emaitzak ez ziren eztabaidaezinak (4.2.3.1.4. atala). Gune honetan estratigrafia jarraitua aurkitzeak unitate arkeologikoaren hipotesia baieztatuko zuelakoan, zunda batzuk kokatu ziren espazio honetan (ikusi 5.13. irudia).

Balizko plazaren hego-ekialdean kokaturiko BH17 zundan, lohi geruza batez bananduriko bi legar geruza ikusi ziren, mailakatze lanei esleitu zitzaizkielarik (5.6. taula). Horretaz gain, gune honetan arkeologia geruzak finak eta azalekoak zirela ikusi ahal izan zen (0,24 m-0,5 metro bitartean), eta hori izan daiteke kontraste magnetiko ahularen arrazoietariko bat. 48 metro iparralderago kokaturiko BH19 zundak sekuentzia natural bezala interpretaturiko terrazako lohiak azaleratu zituen, eta ez zen inolako arkeologia zantzurik ikusi. Emaitza honek estratigrafiaren jarraitasuna ezeztatu zuen, baina informazio osoagoa eduki asmoz zunda gehiago burutu zen. BH17 zundarekiko lau metrora zulaturiko BH24 zundan ikusitako bi geruzetan ere legarrak ageri dira, nahiz eta lohiz nahasirik agertzen diren (ikusi 5.13. irudia). BH17 zundarekin antzekotasunak dituen arren, geruza horien jatorri arkeologikoa argitzea zaila zela-eta, zunda negatibo bezala sailkatu ageri da 5.2. irudian. BH25 zundan, berriz, hamalau metro iparralderago zulatua izan zena, ez zen geruza hauen jarraipenik ikusi.



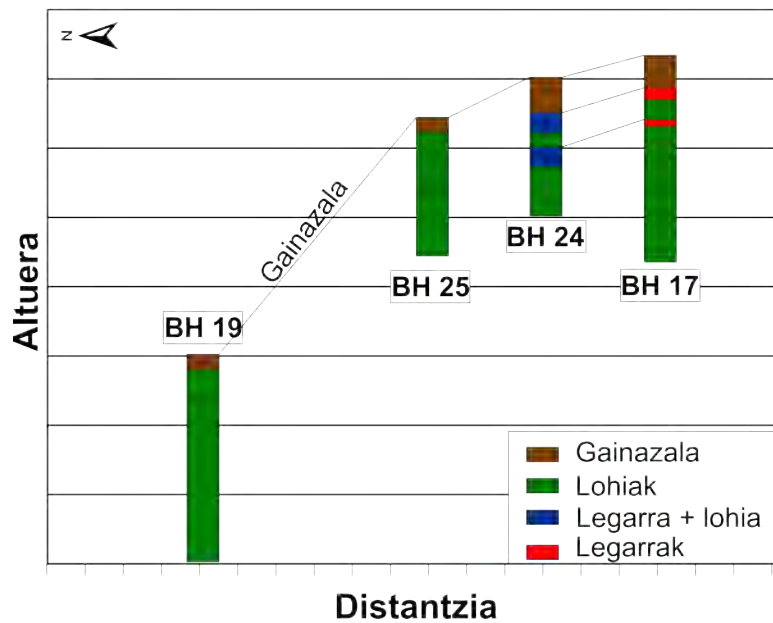
5.13. irudia: Zalduako P5 balizko plazan zulatutako zunden argazkiak eta kokapena mapa magnetikoaren gainean (-10 nT beltzez, 10 nT zuriz). Argazkiak: MOLA/Aranzadi.

Gune honetan zulatutako lau zundak ez dira gune osoaren estratigrafia azaltzeko nahikoa, baina ondorio batzuetara iristea ahalbidetzen du. BH17 eta BH24 zundetako behatutako legar geruzetan antzeko sekuentzia ageri da, hau da, bi legar geruza lohi geruza batez bananduta. Tauleta agertzen diren sakonerak guztiz bat etorri ez arren, zundak dagozkien altuetara jartzean eta beraien artean dagoen distantzia horizontala kontuan hartuta, BH17 eta BH24 zundetako behaturiko legar mailen arteko altuera ezberdintasuna arbuigarria dela ikus daiteke eta gune horrek nolabaiteko mailakatzea izan duela interpreta daiteke (5.14. eta 5.15. irudiak).

BH19 eta BH25 zundatan arkeologiarik ikusi ez izanak, berriz, bertan behera uzten du estratigrafia jarraituaren hipotesia, nahiz eta ez duen ezeztatzen P5 unitate arkeologiko bat izatea. Izan ere, baliteke funtzio ezberdinetako guneak egotea eta horrek estratigrafiaren ezberdintasunak azalduko lituzkete. Ondorioz, zundaketen emaitzek ez dute hipotesia baieztatzeko balio izan, ez eta bertan behera uzteko.

Zunda	Top	Bottom	Lithology	Description	Interpretation
BH17	0	0,8	Turf		Topsoil
	0,24	0,33	Gravel	Gravel surface	Archaeology
	0,24	0,8	Silt, clayey	Fairly compact light brown clay silt with abundant roots and freq to abund gravel	Archaeology
	0,33	0,47	Silt, clayey	Levelling for layer above	Archaeology
	0,47	0,53	Gravel	Gravel surface	Archaeology
	0,53	0,74	Silt, clayey	Compact mid orange brown clay silt with shale clast	Terrace silts
	0,74	1	Silt, clayey	Compact mid orange brown clay silt with mid clast	Terrace silts
	1	1,5	Silt, clayey	V compact abund large clasts	Terrace silts
BH19	0	0,1	Turf		Topsoil
	0,1	0,3	Silt, clayey	Mod compact mid brown sandy silt/clay	Topsoil
	0,3	0,5	Silt, clayey	V compact orange grey brown silt clay	Terrace silts
	0,5	1,5	Silt, clayey	V compact orange grey brown silt clay, more orange, from 0,8 more more compact and more green grey	Terrace silts
BH24	0	0,1	Turf		Topsoil
	0,1	0,25	Silt, clayey	Mod compact mid brown sandy silt/clay	Topsoil
	0,25	0,39	Silt, clayey	Fairly loose (very dry friable matrix) clast supported poorly sorted (mixed sizes) gruel of quartzite mainly in matrix as above	Terrace silts
	0,39	0,5	Silt, clayey	Mod mid yellowish brown silt/clay with small clast of red quartzite	Terrace silts
	0,5	0,64	Silt, clayey	Larger clast, more matrix (matrix as below)	Terrace silts
	0,64	1	Silt, clayey	Compact yellowish brown silt clay (brickearth, like dep)with orange (fe-colored)	Terrace silts
BH25	0	0,1	Turf		Topsoil
	0,1	0,3	Silt, clayey	Mod compact mid brown sandy silt/clay	Topsoil
	0,3	0,5	Silt, clayey	Mod compact mid brown silty clay (appears slightly more clay rich than previous, may be because rainfall last night)	Terrace silts
	0,5	0,55	Silt, clayey	Layer of large clast in matrix of above (poss lower gravel seen in BH24 and prev plaza bh)	Terrace silts
	0,55	1	Silt, clayey	Compact mid yellowish orange brown silt clay with abund orange (fe) staining/nottling and occ grey greenish patches and gcc black (mn) patches	Terrace silts

5.6. taula: P2 balizko plazan zulaturiko zunden deskribapena. Occ: *Occasional*; Mod: *Moderate*; Freq: *Frequent*; Abund: *Abundant*; V: *Very*.



5.14. irudia: Zalduako P5 balizko plazan zulatutako zunden kokapen erlatiboak kotaren arabera. Altuera (ardatz bertikala) eta beraien arteko distantzia (ardatz horizontala) ez daude eskala berdinean, altuera ezberdintasunak nabariagoak diruditelarik.

5.15. irudia: Zalduako P5 balizko plazan BH17 eta BH24 zundetan behaturiko legar mailen arteko alderaketa. Kasu honetan altuera (ardatz bertikala) eta beraien arteko distantzia (ardatz horizontala) eskala berean daude.

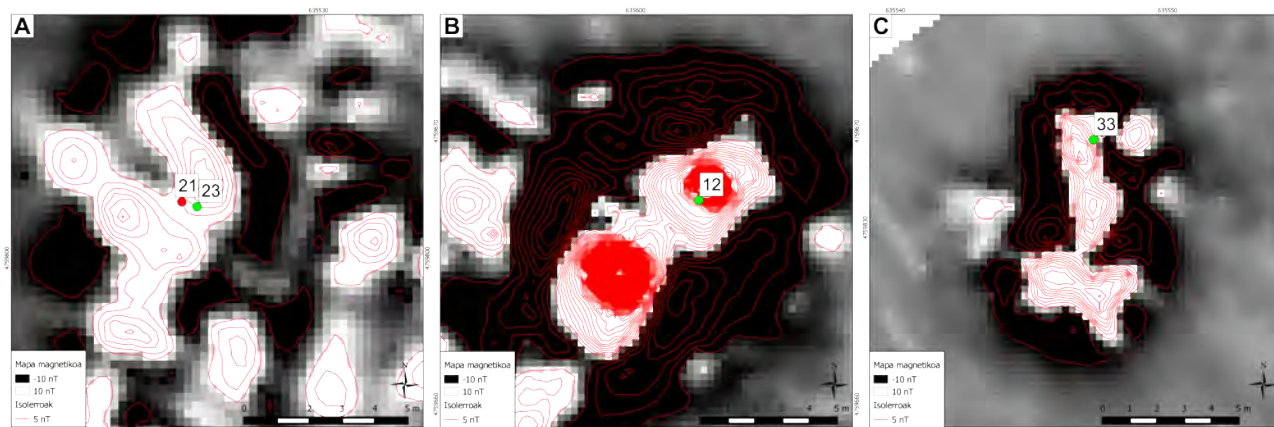
5.3.3. Konbustio egiturak

Miaketa magnetikoaren emaitzek erreketak zantzuak dituzten anomaliak azaleratu dituzte puntu ezberdinetan. Horietako batzuk labe edo erreketak handiei esleitu zaizkie, eta beste batzuk beheko suez sorturikoak direnaren ustea dago. Zundetarik batzuk anomalia hauen gainean zulatu ziren, benetan suarekin loturik daudenez ikusteko.

5.3.3.1. Zalduako P5 gunea. BH23/BH21 zundak

Bi zunda hauek balizko P5 plazaren iparraldeko mugan kokatu dira (ikus 5.16. irudia, A), miaketa magnetikoaren emaitzetan erreketak zantzuak bai baina forma koherenterik gabeko anomaliak ikusi diren gunean. BH21 zundan ez da inolako arkeologia geruzarik antzeman, 42 zentimetrotik behera argiagoa bihurtzen den lohi depositu jarraitua baizik (5.7. taula). Metro bateko zunda atera denez, depositu hau ezin dela mailakatze geruza bat izan ondorioztatu da, eta horregatik emaitza negatibodun zunden artean sailkatuta dago.

BH23 zunda metro erdi desplazatu da BH21rekiko, baina distantzia laburra izanagatik emaitza oso ezberdina erakutsi du. 0,3m eta 0,9m bitartean lohi-matrizean txertaturiko ikatz zatiak, erretako buztina eta harearriko klastoak ikusi dira (5.17. irudia), arkeologia geruza bezala interpretatua izan dena. Ez da inolako stratigrafia garbirik ikusi eta ez dirudi erreketak zoru konkretu batean eman denik, baizik eta barreiatu geruza bat dela dirudi. Deigarria da hain gertu egonda hain geruza ezberdinak aurkitu izana eta baliteke zunden kokapenak nolabaiteko zatiketa bat egotea.



5.16. irudia: Konbustio egituren gainean zulatutako zunden kokapena mapa magnetikoaren gainean (-10 nT beltzez, 10 nT zuriz eta isolerroak 10 nanoteslaro). A. Zalduako P5 guneko BH21 eta BH23 zundak. B. Zalduako L1 egiturako BH12 zunda. C. Zalduako L6 egiturako BH33 zunda.

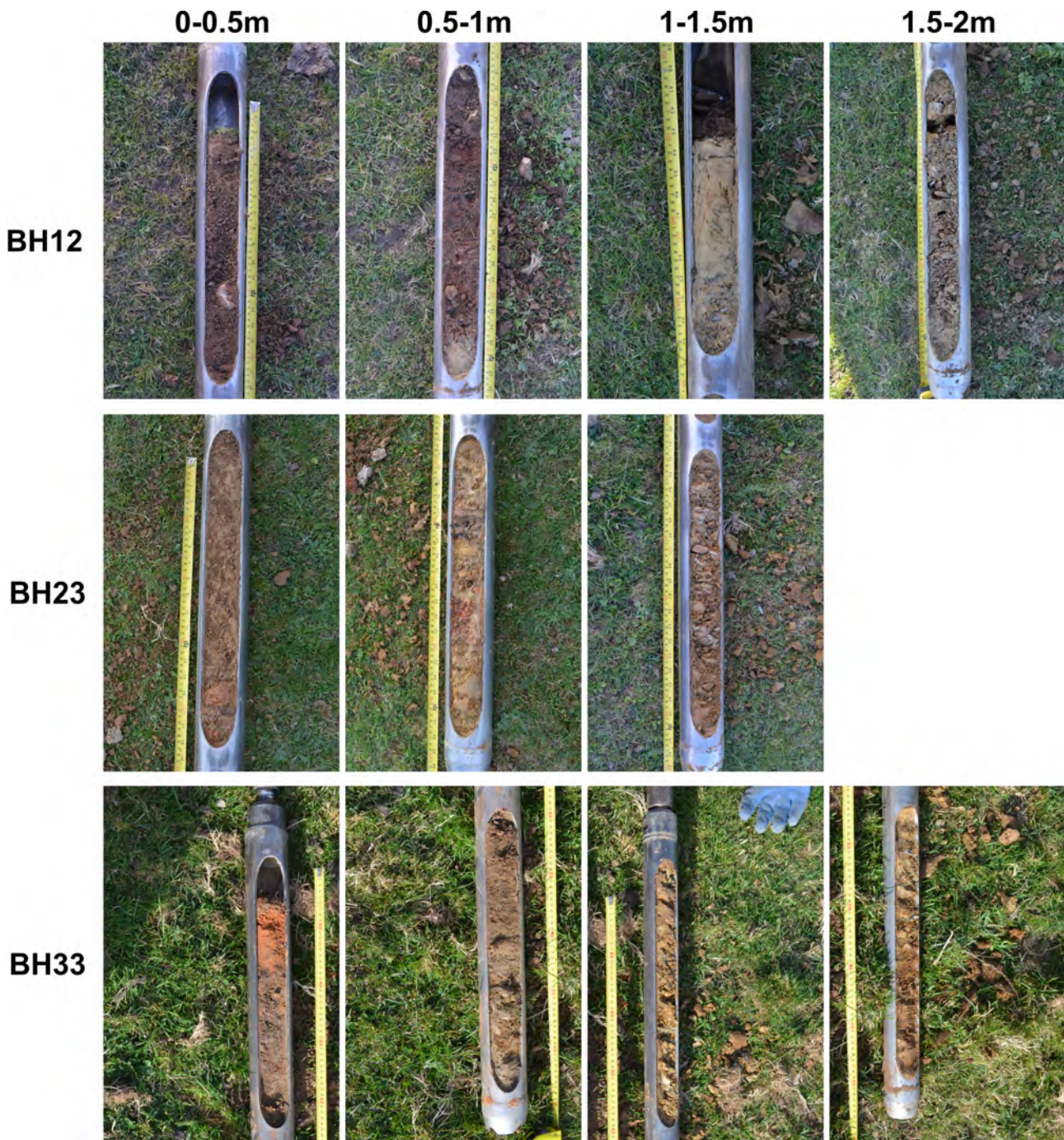
Puntu honetan errekontzak sorturiko anomalia magnetikoak besteak estaltzen dituenez, beste sistema geofisikorik erabili ezean ezin da bi zunden kokalekuen artean paretarik dagoen ala ez aztertu.

Zunda	Top	Bottom	Lithology	Description	Interpretation
BH21	0	0,1	Turf		Topsoil
	0,1	0,3	Silt, clayey	Moderate compact mid brown sandy silt/clay	Topsoil
	0,3	0,47	Silt, clayey	Compact mid brown silt clay becoming more clean, light and compact with depth	Terrace silts
	0,47	1	Silt, clayey	Compact light yellowish brown silt clay	Terrace silts
BH23	0	0,05	Turf		Topsoil
	0,05	0,3	Silt, clayey	Moderate compact mid brown sandy silt/clay	Topsoil
	0,3	0,5	Silt, clayey	Compact mid brown silt clay, large lumps of charcoal and heat affected clay	Archaeology
	0,5	0,6	Silt, clayey	Burnt layers/ discrete events within similar matrix, red sandstone	Archaeology
	0,6	0,65	Charcoal	Layer rich in charcoal (black), large quartzite clasts	Archaeology
	0,65	0,72	Silt, clayey	Burnt layers/ discrete events within similar matrix, red sandstone	Archaeology
	0,72	0,8	Clay, silty	Layer rich in heat affected clay (red)	Archaeology
	0,8	0,9	Silt, clayey	Burnt layers/ discrete events within similar matrix, red sandstone	Archaeology
	0,9	1,6	Silt, clayey	V compact light/mid yellowishh grey brown silt clay dry, v fissured and friable with abund clasts of mudstone	Terrace silts

5.7. taula: Balizko P5 plazaren iparraldeko muga kokaturiko BH21 eta BH23 zunden deskribapena. Abund: *Abundant*; V: *Very*.

5.3.3.2. Zalduako L1 egitura. BH12 zunda

Zaldua guneko hegoaldean L1 deituriko anomalia balizko labe bati esleitu zitzaion emaitza magnetikoan oinarrituta. Isolerroek bi foku markatzen dituzte, eta horregatik bi kamera egongo zirenen aukera kontuan hartu zen. BH12 zunda iparralderago kokaturiko balizko kameratako batean zulatu zen (ikusi 5.16. irudia, B).



5.17. irudia: Konbustio egituren gainean zulatutako BH12, BH23 eta BH33 zunden argazkiak. Argazkiak: MOLA/Aranzadi.

30 zentimetroko sakoneran hasita metro bateko lodieradun arkeologia geruza erakutsi zuen zundak (5.8. taula eta 5.17. irudia). Gainazalaren azpian klastodun geruza iluna ikusi zen, eta honen azpian errekontza zantzuak dituen geruza laranja. Azken hau ez da labe baten sabairako esperotakoa, oso homogeneo eta gogorra den erretako buztinezko sabaia izan ohi dutelako. Lurrazalarekiko 0,72 m eta 0,89 metroko sakonera bitartean zepa eta ikatz zatiak ikusi ziren, eta metalezko pieza amorfo txiki bat jaso zen. Hurrengo geruza buztin argi eta gogorrez osaturik dago, lehen zatian ikatz printzak ikusi zirelarik. Geruza honen goiko muga oso argi nabari zen, eta bere ezaugarriak kontuan hartuta mailakatze geruza (zorua?) bezala interpretatu zen.

Zunda	Top	Bottom	Lithology	Description	Interpretation
BH12	0	0,05	Void		Topsoil
	0,05	0,3	Clay, silty	Mod firm mid grey brown silty clay w abund roots / v occ - small clasts	Topsoil
	0,3	0,4	Clay, silty	Same as above. Fewer roots .Slightly Firmer	Archaeology
	0,4	0,55	Silt, gravelly	Firm dark grey / brown clay silt w occ med unsorted quartzite clasts	Archaeology
	0,55	0,72	Clay, silty	Firm orange brown silt clay	Archaeology
	0,72	0,8	Clay, silty	Mid grey silt/clay with common slag and charcoal fragments	Archaeology
	0,8	0,89	Clay, silty	As above but slightly more loose	Archaeology
	0,89	1	Clay	Clear boundary. Firm light yellow grey clay (levelling dep) with charcoal flecks	Archaeology
	1	1,3	Clay	Firm light yellow / grey clay	Terrace silts
	1,3	1,4	Clay, gravelly	As above with increased clasts	Terrace silts
	1,4	1,8	Clay, gravelly	Matrix - supported med / large shale / quartzite clasts. Matrix as above	Terrace silts
1,8	2	Gravel	Shale / weathered shale bedrock	Terrace gravels	

5.8. taula: L1 errekontza egituraren zulturiko BH12 zundaren deskribapena. Occ: *Occasional*; Mod: *Moderate*; Abund: *Abundant*; V: *Very*; W: *With*.

Ondorioz, errekontza zantzuak eta metalarekin loturiko lanen aztarnak agertu zituen zundak, baina ez zen labe baten kameraren barnean egotearen aztarnarik aurkitu. Izan ere, horrela izatekotan erretako zoru bat argi eta garbi ikusi beharko litzateke, eta ez zen hala gertatu.

5.3.3.3. Zalduko L6 egitura. BH33 zunda

Lurzoruaren goragune batekin bat datorren eta errekontza baten seinaleari esleitu zitzaion anomalia magnetikoa detektatu zen Zalduko mendebaldean. Beste anomaliakiko isolaturik ageri zelako bere jatorri arkeologikoa zalantzazkoa zen, eta horregatik erabaki zen zundaketa bidez aztertzea (ikus 5.16. irudia, C). BH33 zundak lur begetalaren azpian erretako lur laranja geruza azaleratu zuen, ondoren sustraiekin nahasturiko buztin grisa agertu zelarik (ikus 5.17. irudia eta 5.9. taula). 0,7 metrotik aurrera, muga argi bat eginez, terrazako lohi eta legar segida ikusi zen. Emaizta hauek lurrazaleko konbustioa iradoki zuten, eta bertan aritutako jendeari galdetu ostean leku horretan sastrakak erre izan ohi direla baieztatu ahal izan da.

Zunda	Top	Bottom	Lithology	Description	Interp.
BH33	0	0,08	Void		
	0,08	0,11	Turf		Topsoil
	0,11	0,2	Clay, silty	Bright orange silty/clay. Dumpt or in situ burnt material likely to be recent	Topsoil
	0,2	0,7	Silt, clayey	Mod firm gray broown slity/clay with abund roots-med/large (from trees). Occ small clasts	Floodplain soil
	0,7	0,95	Clay, silty	Fearly clear boundary. Firm orange brown silty clay with occ roots abund fe staining +incr large clasts	Terrace silts
	0,95	1,6	Gravel, clayey	V firm orange brown clay matrix supported clasts (medium to large) increasing with depth	Terrace gravels
	1,6	2	Clay, silty	Fairly clear. Mod orange/brown silty clay very clean occ manganese (retaining moisture)	Terrace silts

5.9. taula: L6 errekontza egituraren zulturiko BH33 zundaren deskribapena. Occ: *Occasional*; Mod: *Moderate*; Abund: *Abundant*; V: *Very*.

5.3.4. Anomalia geologikoak

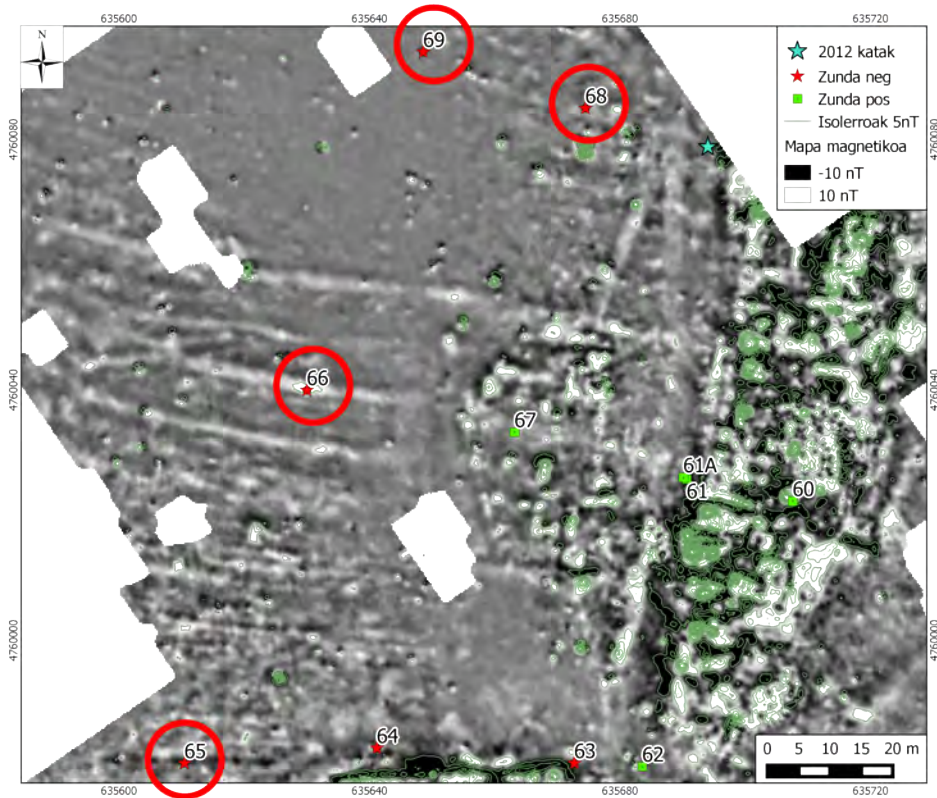
Miaketa magnetikoan detektaturiko zenbait anomalia aldaera geologikoei esleitu zitzaizkien. Zundaketak horietako batzuk baieztatzeko baliatu ziren, bide batez jatorria argitzeko informazio gehiago bildu asmotan.

5.3.4.1. Zaldua iparraldeko anomalia linealak

Zaldua iparraldeko gunean mendebalde-ekialde norabidean lerrotutako eta kontraste positibodun anomalia magnetiko zerrenda detektatu zen. Benta gunean ere antzeko egiturak erakusten ditu mapa magnetikoak, jatorri berdinak sorturikoak direla iradokiz (ikus 4.2.3.1. ataleko C zona). Errekako arroaren azaleratzean ikusitakoaren arabera haustura-norabidearekin bat datoz anomalia hauek, horregatik eta behin-behinean egitura geologikoei esleitu zitzaizkielarik. Zundaketa bakarra zulatu zen hauetako anomalia baten gainean, BH66 hain zuzen, eta bertan ez zen inolako arkeologia geruzarik antzeman (5.18. irudia). Inguruko zundekin alderatuz, kolore gorrixkagoa duten sedimentuak ageri ziren, ur-mailaren aldaerarekin lotu ohi diren manganeso prezipitazioarekin batera (5.10. taula).

Zunda	Top	Bottom	Lithology	Description	Interpretation
BH65	0	0,05	Turf		Topsoil
	0,05	0,2	Silt, sandy	Topsoil	Topsoil
	0,2	0,9	Silt	V compact mid brown and dark grey silt stone /mudstone compacted silt matrix	Terrace silts
	0,9	1	Silt, gravelly	V compact dark greenish grey silt matrix with mudstone clasts	Terrace silts
BH66	0	0,05	Turf		Topsoil
	0,05	0,26	Silt, clayey	Topsoil	Topss
	0,26	0,8	Silt	V compact yellow/orange brown silt with Mn staining and occ red patches	Terrace silts
	0,8	1	Silt, gravelly	Compacted silt/mudstone Mn stained	Terrace silts
BH68	0	0,05	Turf		Topsoil
	0,05	0,2	Silt, clayey	Topsoil	Topsoil
	0,2	0,4	Silt	V compact mid brown silt with V occ clasts	Terrace silts
	0,4	1	Silt	V compact /indurated with depth from 0.6 - orangey brown silt	Terrace silts
BH69	0	0,1	Void		
	0,1	0,15	Turf		Topsoil
	0,15	0,3	Silt, clayey	Topsoil	Topsoil
	0,3	0,53	Silt	Moderate friable mid grey brown silt with orange mottling	Terrace silts
	0,53	0,85	Silt	Compact mid orange brown, greenish in places and occ Fe and Mn staining	Terrace silts
	0,85	1	Silt, sandy	Mod compact mid orange brown sandy silt with abundant small silt/sandstone clasts	Terrace silts

5.10. taula: Zaldua iparraldeko zunden deskribapena. Occ: Occasional; V: Very; Fe: Burdina; Mn: Manganeso.



5.18. irudia: Zaldia iparraldean zulatutako zenbait zunden argazkiak eta kokapena mapa magnetikoan (-10 nT beltzez, 10 nT zuriz, isolerroak 5 nanoteslaro). Argazkiak: MOLA/Aranzadi.

BH68 zundan ere kontraste positibodun gunean kokaturik dago nahiz eta ez den bestea bezain argi nabarmentzen. Zundak azaleraturiko sedimentua ez da BH66an ikusitakoa bezain gorrixka, eta ez ziren manganeso prezipitazioak deskribatu, argazkian puntu ilun batzuk ikus daitezkeen arren. Ondorioz, BH66 zundan ikusitako manganeso prezipitazioetan oinarrituaz anomalia lineal hauek uraren deskarga bideekin loturiko egiturak izan daitezkeela pentsatzea zilegi da, nahiz eta azalpena deskribapen kualitatiboan besterik ez den oinarritzen eta beharrezkoa litzatekeen kontrastea sortzen duena identifikatzeko analitikaren bat egitea.

BH65 zunda hegoalderago zulatu zen, kontraste magnetiko negatibodun lerroak detektaturiko gune batean. Zundak gogorturiko tupak (*mudstone*) ageri diren sekuentzia erakutsi zuen, besteetan ikusi ez zena. Bukatzeko, BH69 zunda kontraste magnetiko homogeenoko gune batean zulatu zen. Deskribapen eta argazkian ikusi daiteke nola zunda honek kolore ezberdineko sedimentua azalerratu zuen, laranja eta berdexka diren guneekin eta manganeso prezipitazio guneekin, hauek tamaina txikikoak izan arren. Kontrastearen homogeenotasuna azaltzeko hipotesietariko bat gune honetako hezetan maila altua da, denbora luzez ur mailaren azpitik dauden sedimentuetan suszeptibilitate magnetikoa galtzeko aukera dagoelako (Weston 2004). Gune honetako zundak sedimentu ezberdina erakutsi duen arren, ez da hipotesi hau baieztatzeko nahikoa eta suszeptibilitate neurketak egitea beharrezkoa litzateke.

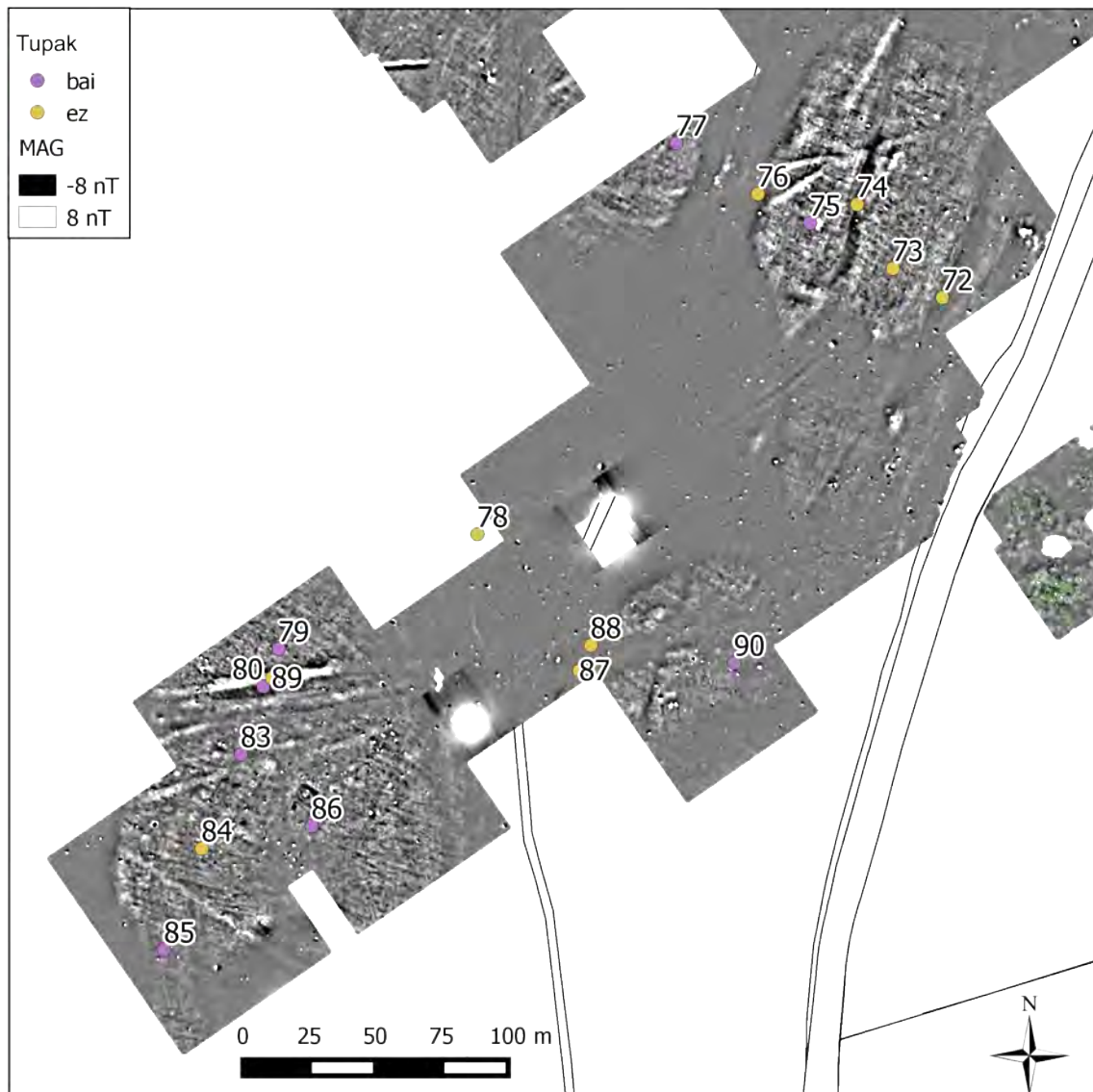
5.3.4.2. Otegiko Irla anomaloak

Miaketa magnetikoak alterazio magnetikoa erakutsi arren, morfologiarik ezagutzen ez zitzaizen alterazio eremuak erakutsi zituen Otegi gunean (ikusi 4.2.3.2. atala). Alterazioaren jatorria ezezaguna da, eta ez dago argi okupazio arkeologikoaren eraginak edota geologiarekin loturiko aldaerek sorrarazten duten. Zundetan ez zen arkeologia geruzarik ikusi, eta ondorioz alterazioa okupazioak sorrarazia dela baztertu da. Otegiko zundatariko batzuk gune hauetan daude, eta beste batzuk erantzun magnetikoa homogeenoa den lekuan. Horiek alderatuaz, badirudi amankomunean dutena arroaren azalerratzea dela. Hau da, alterazio gunean kokaturiko zundetan tupak agertu dira, eta besteetan berriz terrazako lohiak besterik ez (ikusi 5.19. irudia eta 5.11. eta 5.12. taulak).

Anomalia magnetiko diskretuen gainean dauden zundetan gertatzen dena ez da kontuan hartu, azken finean ez dutelako alterazioa edo homogeenotasun norma betetzen (adibidez BH72, BH74, BH80, BH89). Hala ere badira joera hau errespetatzen ez dutenak, BH84 eta BH73 esaterako. Azalpena ez da beraz guztiz borobila, eta beharrezkoa litzateke ikerketa sakonagoa egitea. Hala ere, alterazioaren jatorri arkeologikoa ezeztatua geratu da eta badirudi aldaera geologikoak daudela portaera magnetikoaren jatorrian.

5.3.5. Otegiko O8 anomalia

Miaketa magnetikoaren emaitzek kontraste positibodun anomalia lineal indartsua erakutsi zuten Otegiko nekropolia zeharkatzen duen galtzada zatiaren iparraldean, honen norabide berbera duena. Nekropoliaren testuinguruan eta galtzadarekin kontaktuan dagoen egitura izaki, georradar miaketa burutu zen informazio osagarria lortu asmoz. Emaitzek anomalia magnetikoaren posizioarekin bat datorren eta georradar seinalea islatzen duen etenunea erakutsi zuten 80 cm inguruko sakoneran (ikusi 6.9. atala). Hala ere islapena ez da homogeenoa eta ez ditu muga argiak erakusten, jatorria arkeologikoa izatea zalantzan zegoelarik. Hori argitu nahian BH89 zunda zulatu zen balizko egituraren gainean.



5.19. irudia: Otegi guneko zundak mapa magnetikoaren gainean, tupak agertu diren ala ez erakutsiaz (morez bai, horiz ez).

Zunda	Top	Bottom	Lithology	Description	Interpretation
BH73	0	0,05	Turf		Topsoil
	0,05	0,44	Silt, clayey	Subsoil	Topsoil
	0,44	0,6	Silt	Orange brown silt with occasional med clasts	Terrace silts
	0,6	0,8	Silt	Very compact yellow silt	Terrace silts
	0,8	1	Silt, clayey	Very compact grey brown silt clay with occ gravel	Terrace silts
BH75	0	0,05	Turf		Topsoil
	0,05	0,4	Silt, clayey	Mid brown silt clay with roots and small clasts - subsoil	Topsoil
	0,4	0,6	Silt	Very compact yellow brown silt, with some clay indurated with occ small clasts	Terrace silts
	0,6	0,94	Silt, clayey	As above silt with inc clay content and some med/large clasts	Terrace silts
	0,94	1	Gravel	Solid layer of shale/mudstone	Terrace gravels

5.11. taula: Otegiko alterazio gunek azaltzeko erabilitako zunden deskribapena (lehen zatia). Occ: *Occasional*.

Zunda	Top	Bottom	Lithology	Description	Interpretation
BH76	0	0,05	Turf		Topsoil
	0,05	0,28	Silt, clayey		Topsoil
	0,28	0,5	Silt	Very firm layer of silt - very indurated	Terrace silts
	0,5	1	Silt, gravelly	Clast supported gravels in a orange brown matrix	Terrace silts
BH77	0	0,05	Turf		Topsoil
	0,05	0,3	Silt, clayey		Topsoil
	0,3	0,5	Silt, gravelly	Mid brown silt matrix supported clasts in silt	Terrace silts
	0,5	0,9	Gravel, silty	Very compact clast supported small - large gravels in silt	Terrace gravels
	0,9	1	Gravel	Almost solid silt shale stone	Terrace gravels
BH78	0	0,05	Turf		Topsoil
	0,05	0,37	Silt, clayey		Topsoil
	0,37	1	Silt	Very compact almost indurated silt matrix with occ clasts	Terrace silts
BH79	0	0,05	Turf		Topsoil
	0,05	0,36	Silt, clayey		Topsoil
	0,36	0,97	Silt	Ornage brown silt with compact clasts towards the base	Terrace silts
	0,97	1	Gravel, silty	Shale clast supported gravel/bedrock	Terrace gravels
BH83	0	0,05	Turf		Topsoil
	0,05	0,3	Silt, clayey		Topsoil
	0,3	0,4	Silt	Firm grey brown silt clay with moderate charcoal, occ CBM and a hob nail	Terrace silts
	0,4	0,95	Silt	Very compact mid ornage brown silt with some clay	Terrace silts
	0,95	1	Gravel		Terrace gravels
BH84	0	0,1	Void		
	0,1	0,15	Turf		Topsoil
	0,15	0,3	Silt, clayey		Topsoil
	0,3	0,75	Silt	Very compact mid ornage brown silt with some clay	Terrace silts
	0,75	0,8	Silt	Band of firm yellow silt	Terrace silts
	0,8	1	Silt, clayey	Very firm brown silt, clay	Terrace silts
BH85	0	0,05	Turf		Topsoil
	0,05	0,3	Silt, clayey		Topsoil
	0,3	0,9	Silt	Very compact mid orange brown silt with some clay	Terrace silts
	0,9	1	Gravel, silty	Large clasts shale gravel/bedrock	Terrace gravels
BH86	0	0,1	Void		
	0,1	0,15	Turf		Topsoil
	0,15	0,4	Silt, clayey		Topsoil
	0,4	0,95	Silt	Firm yellow brown silt occ clay with small clasts	Terrace silts
	0,95	1	Gravel, silty	Large clasts shale gravel/bedrock	Terrace gravels
BH87	0	0,05	Turf		Topsoil
	0,05	0,4	Silt, clayey		Topsoil
	0,4	1	Silt	Firm yellow brown silt occ clay with small clasts	Terrace silts
BH88	0	0,1	Void		
	0,1	0,15	Turf		Topsoil
	0,15	0,5	Silt, clayey		Topsoil
	0,5	1	Silt	Firm yellow brown silt occ clay with small clasts	Terrace silts
BH90	0	0,05	Turf		Topsoil
	0,05	0,25	Silt, clayey		Topsoil
	0,25	0,9	Silt	Firm yellow brown silt occ clay with small clasts	Terrace silts
	0,9	1	Gravel, silty	Large clasts shale gravel/bedrock	Terrace gravels

5.12. taula: Otegiko alterazio guneak azaltzeko erabilitako zunden deskribapena (bigarren zatia). Occ: Occasional; CBM: Common Building Material.

Zundan ez zen inolako arkeologia geruzarik identifikatu, baina 80 zentimetro inguruko sakoneran tupa gogorra agertu zen, georradar seinalearen islapena justifikatuko lukeena (5.13. taula). Suszeptibilitate magnetikoaren neurketarik egin ez denez eta begi hutsez ez zenez aldaketa nabaririk behatu, kontraste magnetikoa zerk sortzen duen ez da argitu. Ondorioz, behin-behinean anomaliaren jatorri arkeologikoa ezeztatu den arren, ikerketa sakonagoa burutu beharra dago jasotako seinale geofisikoen jatorrian sakontzeko.

Zunda	Top	Bottom	Lithology	Description	Interpretation
BH79	0	0,05	Turf		Topsoil
	0,05	0,36	Silt, clayey	Topsoil	Topsoil
	0,36	0,97	Silt	Orange brown silt with compact clasts towards the base	Terrace silts
	0,97	1	Gravel, silty	Shale clast supported gravel/bedrock	Terrace gravels
BH80	0	0,05	Turf		Topsoil
	0,05	0,3	Silt, clayey	Topsoil	Topsoil
	0,3	0,8	Silt	Very compact mid orange brown silt with some clay	Terrace silts
	0,8	1	Gravel, silty	Large clasts shale gravel/bedrock	Terrace gravels
BH89	0	0,1	Turf		Topsoil
	0,1	0,25	Silt, clayey	Topsoil	Topsoil
	0,25	0,5	Silt	Firm yellow brown silt occasional clay with small clasts	Terrace silts
	0,5	1	Silt	Slightly harder than above	Terrace silts

5.13. taula: Otegiko O8 anomaliaren inguruan zulaturiko zunden deskribapena.

5.4. Georradar uhinaren batazbesteko abiadura

Zundaketa geoarkeologikoez identifikatutako geruzak georradar profiletan identifikatzerik badago, informazio hau gurutzatu eta radar uhinaren hedapen abiadura kalkulatu daiteke. Auritz-Aurizberriko aztarnategian egoera hori eman denez, eta abiaduraren estimazioa beharrezkoa denez georradar datuen prozesuan, saiakera hori egiteko baliatu da.

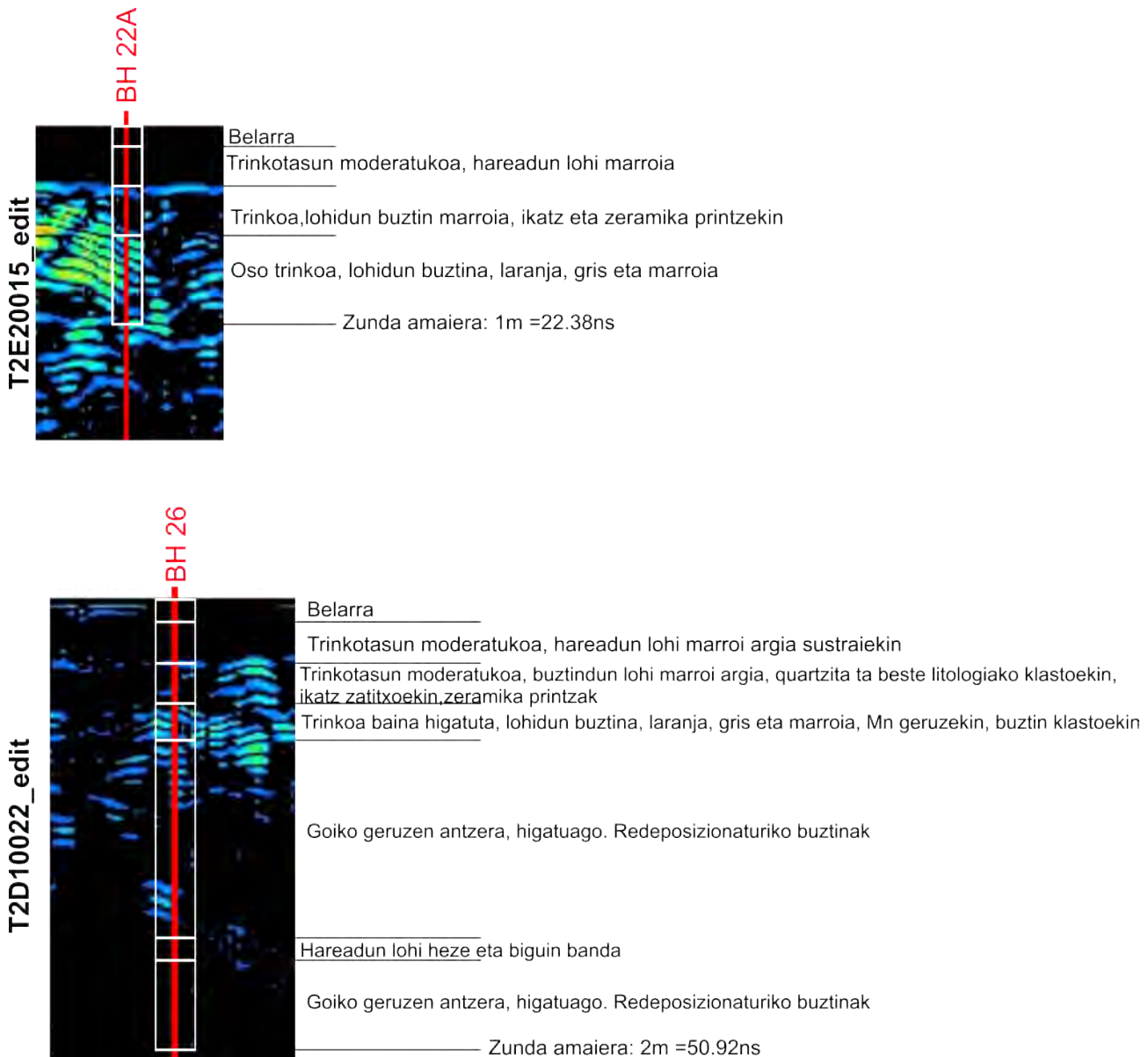
Teoria kapituluko 2.3.1.5. atalean azaldu bezala, radar uhinaren hedapen abiadura zeharkatzen duen inguruaren propietate elektromagnetikoen menpekota da, eta hezetasun mailak bereziki eragiten dio. Horregatik, datu bilketaren momentuko baldintzek abiaduran eragiten duenez, datu multzo bakoitzari bere abiadura propioa esleitu behar zaio. Auritz-Aurizberri aztarnategian datu bilketa garai ezberdinetan burutu da, baina P5 eremuan izan ezik, gune bakoitza momentu berean miatu denez, prozesuak guneka egiteak bakoitzaren berezitasunak hartzen ditu kontuan.

Lehenengo eta behin zundak gurutzatzen dituen georradar profilak identifikatu dira, bai eta zundaren kokapena profilean. Ondoren, zundan behatutako estratigrafia radargraman identifikatzeko saiakera burutu da. Behaketan errore txikiagoa egon dadin, profil bakoitzaren zero denbora doitu da lehenago (ikusi 2.3.4.1. atala edo Yelf eta Yelf 2006). Korrelazioa eman denetan, zundan neurturiko sakonera eta radargraman ikusitako denbora 43 orrialdeko 2.22 ekuazioan txertatu dira hedapen abiadura kalkulatzeko. Kontuan izan behar da neurturiko abiadura hori estratigrafia geruza horretarainoko batez bestekoari dagokiola, eta, ondorioz, zutabe bakarrean abiadura bakarra etenune guztietara

ez moldatzea litekeena da. Gainera, lurzorua heterogenotasuna dela eta, abiadura puntu batetik bestera nabariki aldatzea ere posiblea da (Teixidó et al. 2013).

5.4.1. P5 gunea, abenduan

2014. urteko abenduan miaturiko eremuaren barnean hiru zunda daude, BH22, BH22A eta BH26. Lehenak oztopoa aurkitu zuen gainazaletik 31 zentimetrora, pareta baten kokalekuarekin bat datorrena. Georadar profiletan paretaren islapena ongi ikusten da, eta abiadura nanosegunduko 6,72 zentimetrotan definitzen du. Hala ere, paretaren islapena azalekoa dela kontuan izanda, ematen duen abiadura ez da sakonera handiagoan dauden sedimentuen adierazgarri, eta horregatik baztertu egin da. Beste bi zundetako aurkitutako geruzak profileen identifikatzea zailagoa izan den arren, hiru profiletan geruza batzuetan behintzat korrelazio hori egiterik egon da (ikusi 5.20. irudia eta 5.14. taula). BH22A eta BH26 zundak erabiliz kalkulaturako batez besteko abiadura, $v = 8,4\text{cm/ns}$ -koa da.



5.20. irudia: BH22A eta BH26 zundetako geruza eta profilen alderaketa.

Radargramatako hiperbolak erabiliz ere abiaduraren estimazioa egin daiteke. Datu multzo honetan hiperbola asko egon ez arren lau estimazio egiteko aukera izan da. Lorturiko abiadurak 7,9 cm/ns (T2R10052 profila), 7,3 cm/ns (T2R20052 profila), 8,3 cm/ns (T2F20013 profila) eta 8,3 cm/ns (L2D20003 profila) izan dira, batez bestean 7,95 cm/ns-ko abiadura lortu delarik.

Bi teknikak erabiliz abiadura ezberdina lortu izana ez da harrigarria, kokagune ezberdinetan abiaduraren balioa ezberdina izaten baita. Kasu honetan hiperbolak oso argiak ez direnez, eta zundetako geruzen identifikazioak ere zailtasuna planteatu dituenek, zaila da bi bideren artean hoberena zein den erabakitzea, eta batez bestekoa egitea aukeratu da. Zuzenketa topografikoa egiteko erabilitako abiadura, beraz, $v = 8,175 \text{ cm/ns}$ izango da.

ZUNDA	profila	Luzera max	ns	abiadura cm/ns	korrespondentzia
BH22A	T2E20015.dt	1	22.38	8.94	erdikoa
BH22A	T2E10016.dt	1	19.84	10.08	txarra
BH22	T2E20017.dt	0.31	9.224	6.72	oso ona
BH22	T2E10018.dt	0.31	9.96	6.22	ona
BH26	T2D20021.dt	2	50.9	7.86	erdikoa
BH26	T2D10022.dt	2	50.92	7.86	erdikoa

5.14. taula: Abenduko kanpainako zunden eta profilen alderaketa

5.4.2. P5 gunea, apirilean

2015. urteko apirilean miaturiko gunean 13 zunda daude: BH16, BH17, BH18, BH19, BH20, BH21, BH23, BH24, BH25, BH27, BH27A, BH34 eta BH35.

Profil eta zunden alderaketa egiteko adibide asko egotean, argi geratu da korrespondentzia ez dela erraz egiten. Kasu batzuetan, islakorra izatea esperoko litzatekeen geruzak (legar edo klastoak daudelako, adibidez) ez dira profiletan ikusten. Bestetan, aldiz, profiletan argi ikusten diren geruza islakorrak ez dira zundan behatu.

Izan dira, hala ere, emaitza koherenteagoak eman dituztenak. Esateko, BH20an zundan behaturiko klastodun geruzak islakor ageri dira TDA10011 profilean. Ondoan dagoen TDA20012 profilean, aldiz, identifikazioa ez da hain erraza eta islapen baxuko geruza bat ez da zundan identifikatu.

Abiaduraren estimazioa egiteko korrespondentzia ona eman dutenak bakarrik aukeratu dira (ikusi 5.15. taula). Horiek erabilia kalkulaturiko batez bestekoa 8.54cm/nstakoa izan da, abenduko kanpainarenaren oso antzekoa beraz.

ZUNDA	profila	Luzera max	ns	abiadura cm/ns	korrespondentzia
BH17	TIA10092	1.5	33.35	9.00	ona
BH17	TIA10093	1.5	32.05	9.36	erdikoa
BH18	TIA2002	1.27	28.11	9.04	txarra
BH20	TDA10011	1	23.45	8.53	ona
BH20	TDA20012	1	21.56	9.28	txarra
BH21	TDA10066	1	23.9	8.37	ona
BH21	TDA20065	1	23.06	8.67	ona
BH23	TDA20068	1.9	34.21	11.11	txarra
BH23	TDA20067	1.9	38.11	9.97	oso txarra
BH24	TIA10087	1	20.68	9.67	erdikoa
BH25	TIA20064	1	23	8.70	ona
BH25	TIA20063	1	25.37	7.88	erdikoa
BH34	TEA20090	2	35.22	11.36	erdikoa
BH34	TEA10089	2	-	-	oso txarra
BH35	TFA2009	2	50.26	7.96	ona

5.15. taula: Apirileko kanpainako zunden eta profilen alderaketa

5.5. Zundaketa geoarkeologikoen ondorioak

Kapitulu honetan zehar zundaketa geoarkeologikoen informazioa erabili da miaketa geofisikoen osagarri moduan. Azterketa hiru esparru nagusitan burutu da: potentzia arkeologikoa eta kontraste magnetikoaren arteko harremana aztertzeko, anomalia geofisikoen interpretazioa baieztatzeko eta georradar seinalearen abiadura ezartzeko.

Zundaketen emaitzek mugatzen duten okupazio-gunea bat dator hein handi batean miaketa magnetikoan oinarrituta zehaztutako eremuarekin. Alderaketa honek sistema magnetikoak aztarnategi ezezagunen lehen irudia sortzeko duen baliagarritasuna berresten du. Hala ere sistema honek ere baditu bere gabeziak eta horren adibide da Zalduako E20 eraikina detektatzeko gai ez izana (ikusi 5.3.1.2. atala). Gauza jakina da edozein sistema geofisikok ez duela *per se* egitura arkeologikoen existentzia ezeztatzen balio, eta kontrasterik sortzen ez duten egiturak egon daitezkeela kontuan izan beharrekoa dela. Miaketa sistema-anitzen kapitulan beste sistema geofisikoak erabilia eraikin hau detektatzerik egon dela azaldu da, osagarritasunaren garrantzia azpimarratzeko adibide erabilgarria delarik (ikusi 6.5. atala). Bide beretik, zundaketetan ikusitako arkeologia geruzarik eza eta kontraste magnetikorik eza bat etortzeak ez du esan nahi okupazioa ehuneko ehunean ezeztatzerik dagoenik. Izan ere, zundaketan ateratzen den lagina oso baldintzatuta dago zulatu den leku konkretuarekin, eta baliteke puntu horretako estratigrafian eraginik utzi ez duen okupazioa ematea. Azken finean, arkeologia geruzak oso meheak direnean eta ez dutenean inguruko sedimentuekiko aldaketa nabaririk, ez da harrizkoa bai zundaketetan zein miaketa magnetikoan identifikatu gabe geratzea.

Miaketa magnetikoak identifikaturiko anomaliak baieztatzeari dagokionean zundaketak oso baliagarriak izan dira. Honelako aztarnategi handietan zaila da miaketak azaleratutako interes gune guztiak industea, eta zundaketei esker anomalia ezberdin asko "ikusteko" aukera egon da. Egia da kasu batzuetan ez dela anomalia sortzen duen fenomeno ulertzeko adina informazio bildu, baina beste batzuetan azalpen egokia emateko aukera egon da. Egindako zundaketa kanpainan zundak *in situ* aztertu eta ateratako materialak baztertu egin ziren, oso kasu konkretuetan jaso zelarik

analitikak egiteko aukera emango lukeen laginik. Honek informazioa hankamotz utzi du eta baliagarria izango litzateke miaketa geofisikoen osagarri erabiltzen direnean zundaketak beste analitikekin osatzea, suszeptibilitate magnetikoa eta granulometria esaterako.

Georradar seinalearen abiadura ezagutzeari dagokionez, kontrolatzea zaila den parametro askoren menpe dagoena agerian geratu da. Alde batetik, zundatan identifikaturiko geruzak radargrametan ikustea ez da beti erraza izan, ez eta radargrametan ikusitako etenune batzuk zundan deskribatutakoaren arabera azaltzea. Ez da harritzekoa, propietate ezberdinetan oinarritzen delako sistema bakoitza. Gainera, ikerturiko kasuetan zundaketa kanpaina eta georradar datu bilketa momentu ezberdinetan egin direnez, seguruenik hezetasun maila bi momentuetan ezberdina izan da. Horrek radar seinalearen islapenean eragin nabarmena duenez (ikusi teoria atala), ikusteko dago momentu berean egin izan balira korrelazioa errazagoa izango ote zen. Identifikazio arazoez gain, kontuan izan behar da radargraman ikusten diren islapenen posizio egokia kokatzea ez dela beti erraza (Yelf eta Yelf 2006), eta aldaketa txikiek eragin handia izan dezaketela kalkulaturiko abiaduran.

Laburbilduz, zundaketa kanpaina oso baliagarria izan daiteke anomalia geofisikoen baieztatzea burutzeko, indusketarik egingo ez den kasuetan bederen. Hala ere, anomalia geofisikoen jatorriak azaltzeko zundaketak analitikekin konbinatzeko beharra ikusi da, askotan begi hutsez ez delako kontraste magnetikoa sortu duen faktorea antzeman. Horregatik bigarren zundaketa kanpaina burutu da 2016. urteko udazkenean, 7.1.6. atalean azaldu den bezala. Georradar seinalearen abiadurari dagokionez, berriz, korrelazioa konplexuagoa da. Horregatik, aukera dagoenean erabiltzea ondo etor daitekeen arren, horretarako bakarrik zundatzeak zentzu handirik ez duela dirudi.

6. kapitulua

Miaketa Sistema-Anitzak

Atal honetan sistema bat baino gehiago erabilia miatu diren zenbait gunetako emaitzak azalduko dira. Helburua miaketa sistema-anitzek eskainitako abantailak aztertzea da, metodologia honen baliagarritasuna azaleratzeko. Bi aztarnategi erromatarretako datuak erabili dira, Auritz-Aurizberri herrietakoa eta Artzikoa. Lehen kasuan, oso eremu zabala hartzen duen aztarnategia denez eta miaketa kanpaina ugari burutu denez, gune ezberdinetan dago sistema bat baino gehiagoren datuak alderatzeko aukera. Kasu batzuetan sistema magnetikoa eta georradarra dira erabilitako sistemak, eta beste batzuetan sistema elektrikoa ere batzen zaie. Artzin, berriz, miaketa magnetikoan interes-gunea definitu ondoren, beste bi sistema geofisikoak erabili dira informazio osagarria lortzeko.

Kapitulua hiru bloketan banatuta dago. Sarrera bezala kasu guztiei aplikagarriak zaizkien azalpenak bildu dira, metodologia eta tresneriari dagozkionak batik bat. Ondoren, kapitulua gune ezberdinei dagozkien ataletan banatu da, horietan metodologiaren egokitzapenak eta emaitzak azaldu direlarik. Bukaeran, miaketa sistema-anitz hauekin loturiko ondorio orokor batzuk eratorri dira.

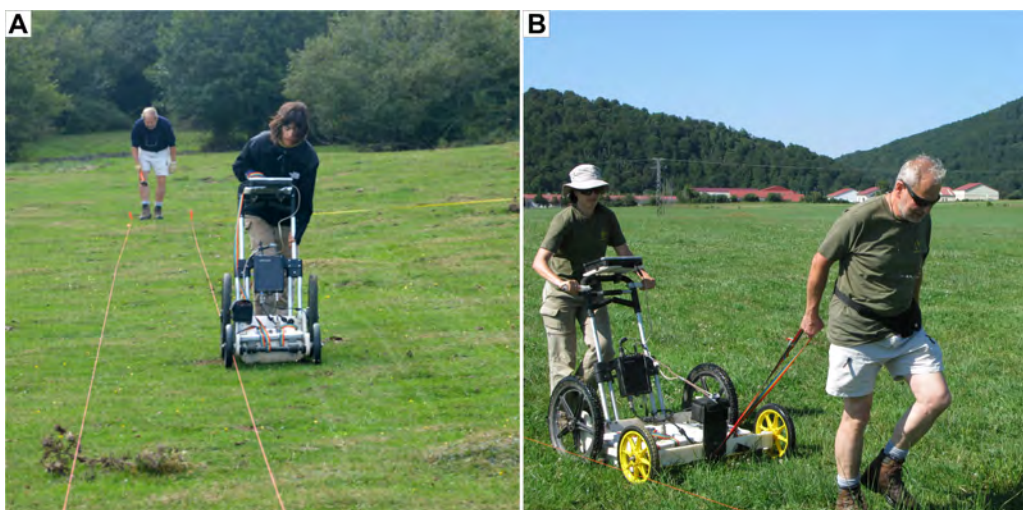
Auritz-Aurizberriko aztarnategiko P5 guneko emaitza nagusiak Varsovian burututako 11th International Conference on Archaeological Prospection kongresuan aurkeztu dira ahozko komunikazioan, eta hortik sortutako Archaeologia Polona aldizkariaren liburuki berezian publikatu (Garcia-Garcia et al. 2015b).

6.1. Sarrera

Sistema geofisiko osagarri bezala georradarra eta sistema elektrikoa erabili dira. Aukeraketa hau bi puntutan oinarritzen da: alde batetik, horiek dira, magnetikoarekin batera, arkeologiara bideraturiko geofisikan gehien erabiltzen diren sistemak (Gaffney 2008). Sistema elektromagnetikoaren erabilerak azken urtetan gorakada nabarmena egin duen arren, ez da oraindik besteen mailara iritsi. Bestalde, sistema elektrikoa eta georradarra eskuratzea sistema elektromagnetikoa baino errazagoa izan denez, horiek izan dira erabili direnak.

6.1.1. Metodologia eta tresneria

Georradar miaketan *IDS* etxeko *Hi-Mod* sistema erabili da. Sistema honek ordenagailu arrunt bat erabiltzen du kontrol unitate bezala, eta antena bat baino gehiago atxikitu ahal zaizkio. Kasu batzuetan antena bakarraz hornitu da, beste batzuetan ondoz-ondo jarritako biz, baina betiere bi maiztasunetan lan egiten duten antenak erabili dira, 200 megahertz eta 600 megahertzeko maiztasunetan hain zuzen. Ondorioz, eremu beraren gainean bi datu-multzo bildu da kasu guztietan: gainazaleko geruzak bereizmen handiz deskribatzeko aukera ematen duena 600 megahertzeko antenak erabiliz, eta sakonera handiagora iristeko gaitasuna eskaintzen duena 200 megahertzekoari esker (6.1. irudia).



6.1. irudia: Georradar miaketetan erabiltzeko *IDS Hi-Mod* sistema antena batekin (A) eta birekin (B) hornituta. Argazkiak: Joxe Etxegoien eta Juan Mari Mtz. Txoperena

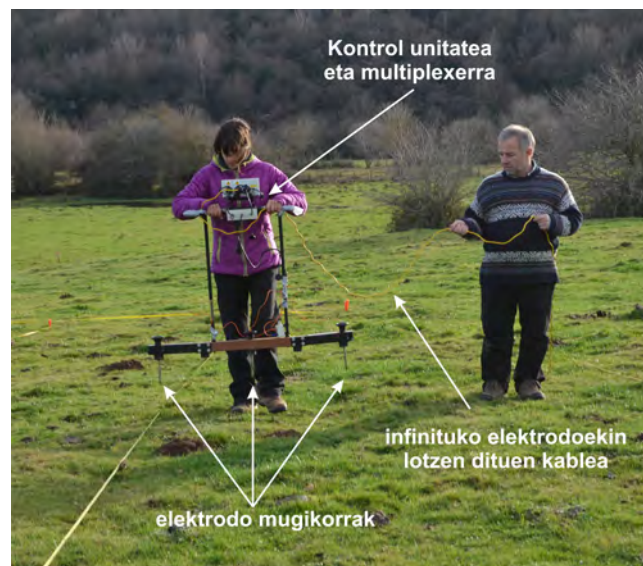
Profilak siga-sagan burutu dira sistema eskuz garraiatuaz eta erreferentziatzat neurketa zintak erabiliaz. Sistemak odometro bat du txertatuta eta horri esker profil bakoitzaren barneko distantzia kontrolatzen da. Profilen arteko aldea 0,2 metro edo 0,4 metrotan finkatu da kasuan kasuko baliabideen arabera, eta profil bakoitzean irakurketa dentsitatea 0,04 metrotakoa izan da oro har. Denbora leihoa ere ez da beti berdina izan, baina 600 megahertzeko antenarentzat 60-70 nanosegundu bitartean eta 200 megahertzeko antenarentzat 90-120 nanosegundu bitartean kokatu dira (6.1. taula).

Miaketa elektrikoa egiteko *Geoscan Research* etxeko *RM15* sistema erabili da. Posizio bakoitzean neurketa bat baino gehiago burutu ahal izateko, *Mpx15* modulua atxiki zaio, neurketa bakoitzean parte hartuko duten elektrodoak kontrolatzea ahalbidetzen duena. (6.2. irudia). Kasu guztietan polo-

Georradar miaketa	
Tresneria	IDS RIS MF Hi-Mod
Radar unitatea	IDS DAD Fast Wave. RIS K2 softwarea datu-bilketarako
Kontrol unitatea	Toshiba ordenagailua
Sensorea	Antena multifrekuentziala (600 MHz eta 200 MHz)
Sensore kopurua	1 ala 2
Sensoreen arteko aldea	0,4 m
Oinatza	200 cm x 60 cm
Neurketaren abiadura	4 m/s
Bereizmen espaziala	0,2-0,4 m (lerroen artean) eta 0,05 m (irakurketa-norabidean)
Denbora-lehia	60-70 ns (600 MHz) eta 90-120 ns (200 MHz)
Irakurketa modua	Siga-sagan, odometroarekin

6.1. taula: Georradar miaketak burutzeko erabilitako tresneriaren ezaugarriak.

polo konfigurazioa erabili da (ikusi 2.4.2.2. atala). Bi elektrodo *infinituan* geldi mantendu eta metro erdiz aldentutako hiru elektrodo posizioz-posizio mugitu dira. Modu honetan bi datu-multzo bildu da: lehena, 0,5 metrotako separazioari dagokiona eta 0,5 m x 0,5 metroko bereizmena duena; bigarrena, metro bateko separazioari dagokiona eta 0,5 m x 1 metroko bereizmena duena (6.2. taula). Infinituko elektrodoen aldea bi metrotan finkatu da beti, eta horien eta koadrikularen arteko distantzia minimoa 30 metro edo handiagoa izan da kasu guztietan. Eremu txikiak miatu direnez oro har, ez da ondoz-ondoko koadrikulak miatzean gerta daitezkeen kontraste arazorik sortu (ikusi 2.4.2.2. atalean polo-polo konfigurazioari buruzko azalpena). Kasu bakarra Zaldia guneko P5 inguruan eman da. Bertan, infinituko elektrodoak mugitzean posizio berean neurketa bera izatean zailtasunak egon zirelako, bi koadrikula independente bezala tratatu dira. Datuak siga-sagan bildu dira kasu guztietan.



6.2. irudia: Miaketa elektrikoa egiteko erabilitako *RM15+Mpx15* sistema hiru elektrodo mugikorrek. Argazkia: Rafa Zubiria.

Sistema Elektrikoa	
Tresneria	Geoscan Research RM15+Mpx15
Korronte aukerak	0,1 mA; 1 mA; 10 mA
Ganantzia aukerak	x1; x10
Neurketa tartea	20470 Ohm – 0,0005 Ohm
Voltaia	100 V
Neurturiko propietatea	Erresistentzia elektrikoa
Unitatea	Ohm
Konfigurazioa	Dipolo-dipolo
Elektrodo kopurua	3
Elektrodoen aldea	0,5 m
Neurketa kopurua posizioko	3 (1 m; 0,5 m; 0,5 m)
Bereizmen espaziala	0,5 m /1 m (lerroen artean) eta 0,5 m (irakurketa-norabidean)
Irakurketa modua	Siga-sagan, odometrorik gabe

6.2. taula: Miaketa elektrikoak burutzeko erabilitako tresneriaren ezaugarriak.

6.1.2. Datu-prozesua

6.1.2.1. Georradar datuen oinarritzko prozesua

Georradar datuen prozesua konplexua da beste sistemekin bildutako datuekin alderatuz. Hala ere, bi bloke nagusitan banatzen da: (1) profilen gainean egiten diren prozesuak, eta (2) profilen integrazioa sakonera ezberdinei dagozkien oinplanoak sortzeko (ikus 2.3.4. atala). Aplikatzen diren parametro konkretuak lekuan lekuko baldintzetara egokitu behar direnez, ezin da ikertu diren kasu guztietara orokortu. Erabili den metodologia, aldiz, beti da berdina eta hori da atal honetan azalduko dena.

Profil bakoitzaren kokapena kontrolatuko duen artxiboa (*infoa* deritzona), erabilitako sistemaren *IDS* etxe berak sortutako *GRED 3D* softwarearekin sortu da. Artxibo hori datuak prozesatzeko erabili den *GPR-Slice* softwarea inportatu da ostean, profil guztien artxiboekin batera.

Profil bakoitzaren artxiboa oinarritzko prozesu bat eginez bihurtu da softwareak erabiltzen duen formatura. Horretarako ganantzia kurba bat definitu da eskuz, datu-multzoaren ezaugarriak behatuz. Pausu berean seinalearen desbiderakuntza zuzendu da fase zuzenketa deritzon filtroa aplikatuz. Bigarren pausu batean, siga-sagan bildutako profilak izaki, guztiak noranzko berean kokatzeko bueltan bildutakoak alderantzikatu dira. Oinarritzko pausu hauen ostean profilak banan-banan begiratu daitezke, zarataren eta seinalearen arabera prozesu gehigarria behar duten ala ez erabakitzeke. Profil horiek ere hiru dimentsiotako datu-blokean integratzeko prest daude, eta denboran-sailkatze teknikaren bidez anplitude-mapak sor daitezke.

Denbora xaffen teknika erabiltzean parametro ezberdinak finkatu behar dira, bereziki zenbat xafra egingo diren, zenbat laginetako lodiera izango duen xafra bakoitzak eta ze lagin-tartetan kokatuko diren. Azken hau erabilgarria da sakonera batetik aurrera zarata besterik bildu ez bada, lagin horiek prozesuan sartzeak zentzurik ez duelako. Parametro hauek radargramak behatuz erabakitzen dira, eta prozesua burutzean ikusitako emaitzen arabera doitzen dira. Gure kasuan uhinaren anplitudearen karratua da denbora-xafreak egiteko erabilitako magnitudea, baina badaude beste aukerak ere.

Parametro horiek finkatuta egiten da ebaketa edo *slicing* prozesua, eta denbora-xafla bakoitzari dagokion artxiboa sortzen da. Ikusi ahal izateko zenbakizko datuak pixeletan bihurtu behar dira, eta hori *gridding* edo koadrikulatze prozesuan egiten da. Bertan pixelaren tamaina eta interpolazio modua finkatzen dira. Ikerketa honetan hogeitazentimetroko pixela erabili da oro har, profilen arteko aldea ere tamaina horretakoa den kasuetan interpolazioaren eragina minimoa izan delarik.

Landutako datuak infoan erabilitako koordenatu-sisteman daude. Beste datuekin alderatzeko beharrezkoa da UTM koordenatu-sisteman egotea, eta horretarako bi bide dago: lehena, infoa bera aldatzea da; bigarrena, denbora-xaflak sortu ostean horiek aldatzea. GPR-Slice softwareak bigarren moduan era errazean egiteko aukera eskaintzen duenez, hori da egin dena oro har. Bi koordenatu sistemek norabide berdina dutenean, hau da, translazioa besterik egin behar ez denean, pixela ez da deformatu behar eta bigarren bidea egokia da. Errotazioa egin behar bada, aldiz, batzuetan irudietan eragiten du eta egokiagoa izan daiteke infoa hasieratik aldatzea.

Lehenengo eta behin, 600 megahertzeko datuak landu izan dira, eta ondoren alderatu dira 200 megahertzekoekin. Barneratze-sakonera antzeko izan badute lehenak erabili dira, bereizmen altuagoa dutelako. Sakonera handiagoa lortu badute anomalia konkrituak aztertzeke 200 megahertzekoak ere erabili dira.

6.1.2.2. Georradar datuen zuzenketa topografikoa

Miatutako guneak aldaketa topografiko nabarmenak baditu profilen zuzenketa topografikoa burutu da. Hori posiblea izan da 2014. urteko kanpainan drone teknologia erabiliz burututako fotogrametriaren datuei esker (Andrews et al. 2014). Izan ere, eskura dauden LiDAR datuen bereizmena (5 m x 5 metro) ez da nahikoa 0,2 metroko bereizmena duten datuak zuzentzeko, maldak oso konstanteak ez badira behintzat. Horregatik zuzenketa topografikoa Auritz-Aurizberriko aztarnategietako datuetan soilik burutu da.

Profilen lanketa

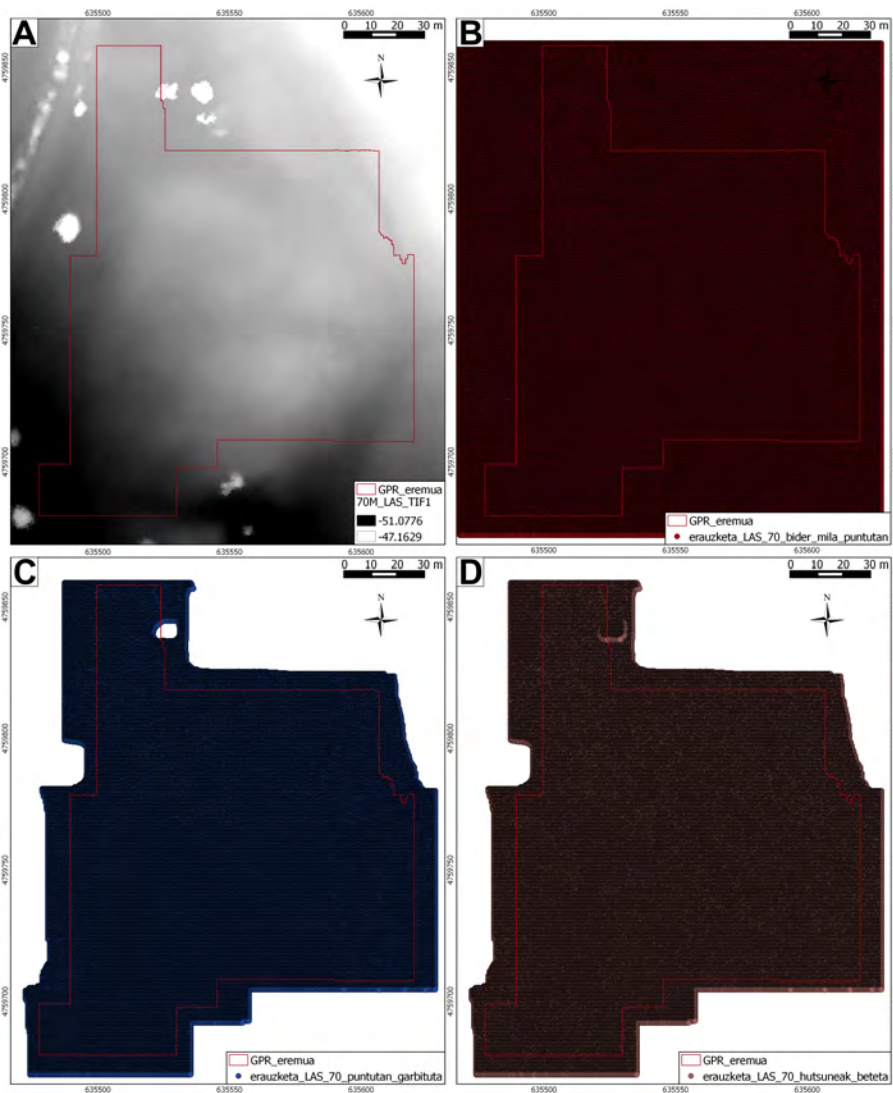
Lehenengo eta behin fase zuzenketa eta ganantzia aplikatu zaio profil bakoitzari, aurreko prozesuan lege. Ondoren, zero denboraren zuzenketa aplikatu da trazaz-traza, *GPR-Slice* softwareak eskaintzen duen prozesu semi-automatikoa erabiliz. Honek profil bakoitzeko traza bakoitzaren zero denbora birkokatzen du, gainetik dauden laginak ezabatuz.

Zuzenketa topografikoa burutu baino lehen *background* filteroa aplikatu zaio profil bakoitzari. Honek lehen nanosegundotan bereziki nabaria izan ohi den banda-zarata ezabatzen du. Topografia zuzenketaren bidez egiten diren anplitude-mapetan kota erreala erabiltzen denez, zati garaietako profiletako azpiko zatiak eta behealdeetako profiletako lehen denborenak batera irudikatzen direnez, banda-zarata honek eragina izan ohi du.

Topografia koadrikularen sorrera

Drone bidez lorturiko topografia georradar profilen zuzenketa egiteko erabili ahal izateko datuak moldatu egin behar dira. Hasteko, teknika honek espektro ikusgarriko argia erabiltzen du eta ondorioz zuhaitzak, begetazioa eta lurzorua gainean dauden gainerako egiturak ez dira filtratzen. Horregatik, lehen pausu bezala zarata kontsideratu diren datu horiek ezabatu dira (6.3. irudia), baina geratzen den

hutsunea bete ezean zati horretako profilak ezingo dira zuzendu. P5 eremuan zuhaitz baten eraginez geratu den hutsunea betetzeko interpolazioa burutu da, inguruko puntuen batezbestekoa esleituaz (880,553 metro). E1 eraikinaren eremuaren ekialdeak basoarekin muga egiten du, eta horregatik puntu batzuetan zuhaitzen eragina ezabatu behar izan da balio horiek inguruko puntuen batezbestekoagatik ordeztuz (882,244 metro).



6.3. irudia: Drone datuei aplikaturiko prozesamenduaren pausua P5 gunean. A. Datu gordinak eta georradar miaketak barneraturiko eremua. B. Drone datuak puntu bilakaturak. C. Zuhaitzen eraginpean dauden puntuen ezabaketa. D. Hutsuneak batezbesteko datua erabiliz betetzea.

Bestalde, dronearen topografia erlatiboa da eta ez du balio erreala islatzen. Dronearen topografia itsas-mailara egokitzeko miaketa geofisikoetarako hesolen datuak erabili dira. Izan ere, hesolak jarri aurretik posizio horren altuera GPS diferentzialaren bidez neurtu zen. Ideia puntu berdinean bi datu multzoak alderatzea da baina, erroreak minimizatu aldera, puntu ezberdinen batezbestekoa erabili da. Lehenengo, hesola bakoitzaren inguruko hamar drone balioen batezbestekoa kalkulatu da. Batezbesteko hori hesolaren altuerarekin alderatu da kenketa eginez, eta hori da dronearen topografia itsas-mailara egokitzeko erabili beharreko faktorea. Hala ere, hesola bakoitza erabiliz faktorea zertxobait aldatzen denez, kalkulaturako hiru faktoreen batezbestekoa erabili da dronearen topografia zuzentzeko. Hiru datuen batezbesteko balioa 928,882 metrokoa izan da, eta desbideratze

estandarra 0,2815 puntutakoa, Ondorioz, puntuz-puntuko aldea ez larritzeko modukoa kontsideratu da.

Amaitzeko, georradar datuak eta topografia alderagarriak izateko koadrikularen translazioa egin da. Azken pausu hau bi norabidetan egin ahal da, georradar datuak UTM sistemara pasatu edo topografia koordenatu lokalera pasatu. Kasu honetan bigarren bidetik jotzea erabaki da, zuzenketa topografikoa egiterako orduan programari erraztasuna ematen diolakoan. Zuzendutako georradar koadrikulak kardinalki orientatu zenez, translazio arrunt bat egitea besterik ez dago.

Zuzenketa topografikoa

Zuzenketa egiteko uhinaren hedapen abiadura determinatu behar da, eta kasuan kasu eskura zegoen informazioaren arabera egin da. Ondoren, prozesua *GPR-Slice* softwarea erabiliz burutu da. Lehen pausu bezala topografia koadrikula inportatu eta georradar datuen dentsitate berberera interpolatu da. Ondoren, georradar profil bakoitzari dagokion topografia kalkulatzeko da. Aldaketa bortitzak ekiditeko profil horiek leuntzeko aukera ematen du programak, kasu honetan hoge unitateko filtro luzera erabili da horretarako (Goodman 2016: 283). Zuzenketa egiterako orduan, sakoneraz gain antenaren orientazioa ere (*tilt*) zuzendu da, honek topografiak anomalien kokapena eta itxuran duen eragina zuzentzen duelarik (Goodman et al. 2006).

Prozesu honek datu multzo berria sortzen du, radargramak topografiari jarraituaz kokatzean hedapen bertikala aldatu egiten baita. Softwareak info berria sortzen du parametro berriak kontuan izanda, eta hori da anplitude-mapak sortzeko erabilitakoa.

6.1.2.3. Miaketa elektrikoa

Miaketa elektrikoaren datu-prozesuak datu magnetikoekin egiten denarekin antzekotasun handiak ditu. Lehen pausuan datuak erresistibimetrotik ordenagailura pasatzen dira, irakurketa bakoitza dagokion (x, y) kokapenean egon dadin. Posizio bakoitzean hiru neurketa egin direnez hiru artxibo sortzen ditu, baina horietako bi elektrodoen distantzia berdinari dagozkionez, beraien artean konbinatu behar dira. Ere handiak miatu izan balira, hurrengo pausua koadrikula independenteak konbinatzea litzateke, baina gure kasuan koadrikula isolatuak besterik ez ditugu. Datuen deskarga zein prozesua *Geoplot 3.0* softwarea erabiliz burutu da, oinarriko prozesuak era errazean burutzeko aukera ematen duelako. Jarraituriko pausuak honakoak dira, kasuan kasuko emaitzen arabera prozesua zertxobait aldatu daitekeen arren:

- Puntako balioak ezabatzea *Clip* filtroarekin
- Irakurketa txarren eragina txikitzea *de-spiking* filtroarekin.
- Tendentzia ezabatzea *Hi-pass* filtroa aplikatuz.
- Interpolazioa 0,25 metrotako pixel karratua edukitzeko.

Prozesua amaitzean datuak esportatu eta *Surfer 9* softwarea erabiliz UTM koordenatu-sistemara eramanez dira. Prozesaturiko eta birkokaturiko datuak GIS proiektuan integratu dira interpretaziorako, *QGIS* software librea erabili delarik horretarako.

6.1.3. Interpretazioa

Georradar datuen interpretazioa egiteko anplitude-mapak erabili dira oro har. Segida osoa aztertu ostean, anomalia esanguratsuenak deskribatzeko baliagarriak direnak aukeratu dira interpretazio-eskema sortzeko. Interpretazio-eskeman radar energia islatzen duten anomaliak hartu dira batik bat kontuan, eta islapen baxuko anomaliaren bat nabarmendu nahi izan denean espresuki aipatu da. Anplitude-mapa bakoitzean anomaliak bi multzotan banatu dira: (1) linealak, pareta edo antzeko egitura bezala interpretatu direnak, eta (2) zabalak, morfologia ezagunik gabeko eremu islakorrek direnak. Aukeratutako anplitude-mapa guztien interpretazioa irudikatzeko kolore eskala erabili da, zenbat eta ilunago orduan eta sakonera handiagoan dagoela adierazten duena. Kasu batzuetan interpretazio sintesia burutu da, gainontzeko sistemen emaitzak ere kontuan hartuta. Askotan, plantan ikusten den anomaliaren forma ulertzeko baliagarria suertatu izan da radargraman erakusten duen sekzioa aztertzea. Topografia aldaketen eragina txikiagotzeko, lauak ez diren eremuetan sekzioak zuzendutako radargramak erabiliz aztertu dira.

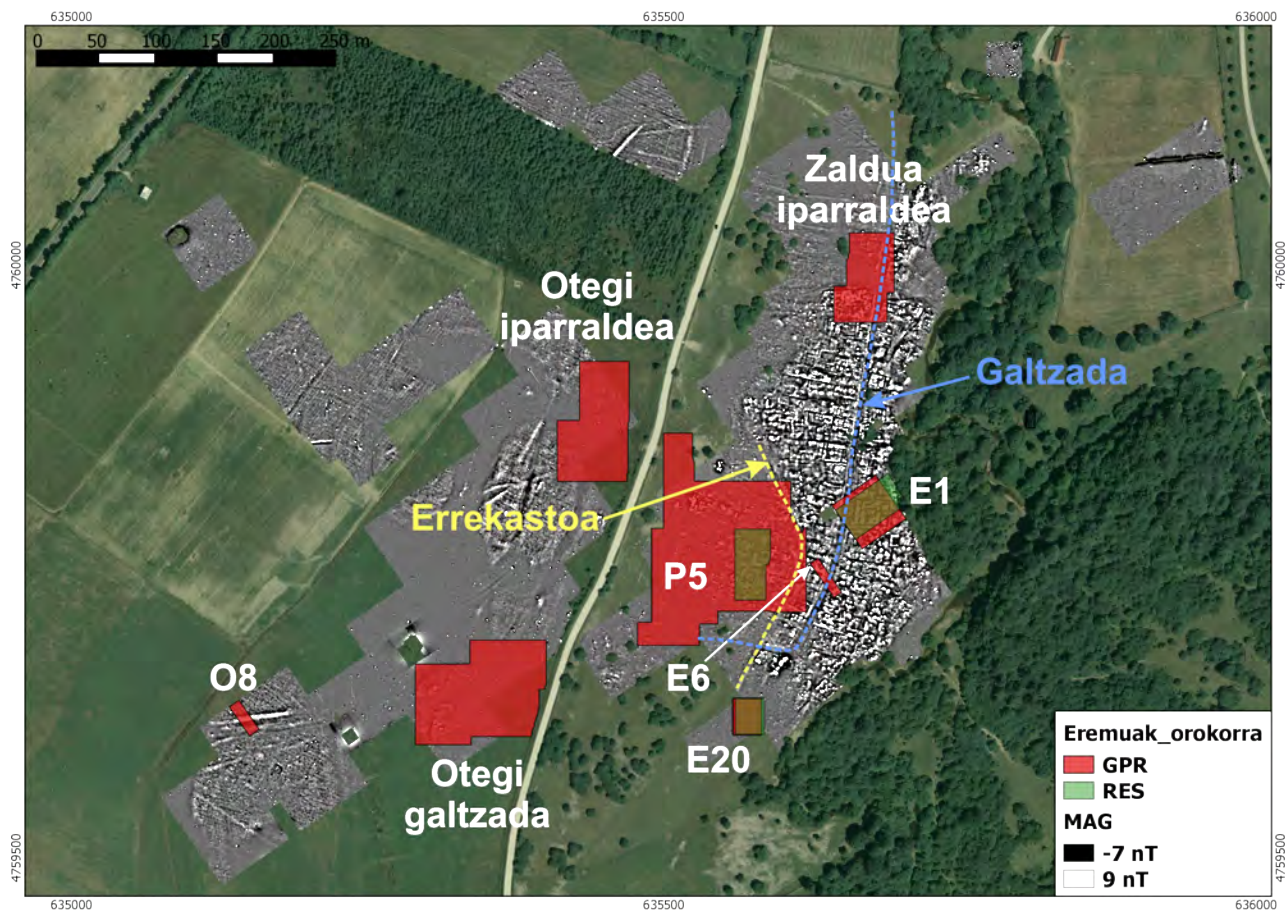
Miaketa elektrikoaren emaitzen interpretazioa burutzeko anomaliak erresistentzia altua edo baxua erakusten duten begiratu da lehenik. Lehenak harrizko egiturei edo zoru zurrunei esleitu zaizkie oro har, baina kasu batzuetan errautsa ere izan daitekeela kontuan izan behar da. Miaketa magnetikoaren emaitzek interpretazio horretan laguntzen dute, errekontza egiturarik dagoen ala ez adieraz dezaketelako. Izan ere, 2.2.5.4. atalean azaldu bezala, kasu horietan intentsitate altuko eta orientazio jakin bateko anomalia magnetikoak sortzen dira. Erresistentzia baxuko anomaliak hezetasun gehiago gordetzeko gaitasuna duten egiturak bezala interpretatu dira oro har, eta interpretazioa beste sistemek eskainitako emaitzen arabera zehaztu da.

6.1.4. Ikerturiko guneak

Auritz-Aurizberriko aztarnategian miaketa kanpaina ugari burutu da eta ondorioz gune ezberdinak ikertu dira, batzuetan georradarrarekin eta beste batzuetan sistema elektrikoarekin (ikusi 6.4. irudia). Aztarnategi honetan burututako miaketa guztien kokapena eta identifikatutako egiturak dokumentu honi erantsitako neurri handiagoko planoetan aurki daitezke. Artzin, georradarra eta miaketa elektrikoa erabili dira aurretiaz definituriko interes gunean (ikusi 6.63. irudia). Gune horietariko bakoitzaren emaitzak eta ondorioak banan-banan azalduko dira jarraian.

6.2. Auritz-Aurizberri aztarnategia. Zaldua. E1 eraikina

2013. urteko miaketa magnetikoaren emaitzek *domus italica* motako oinplanoa duen eraikina azaleratu dute Zaldua gunean, galtzadarekin kontaktuan (ikusi 4.2.3.1.3. atala). E1 izendaturiko eraikin honetan pareta bezala identifikaturikoak kontraste magnetiko indartsuz ageri dira, barne distribuzioaren zenbait informazio ondorioztatzeko aukera emanaz. Eraikinaren berezitasuna dela eta, urte hartako kanpainen bertan miatu zen georradar bidez. Hiru sistemen arteko alderaketa egin ahal izateko, 2015. urteko apirilean sistema elektrikoa erabilita miatu zen.



6.4. irudia: Auritz eta Aurizberriko aztarnategi erromatarrean burututako miaketa osagarrien kokapen eta izenak mapa magnetikoaren gainean eta 2013ko ortofotoaren gainean. Miaturiko azalerak: 189938 m² (MAG); 35780 m² (GPR); 3973 m² (RES). Koloreen nahasketagatik, bai georradarrak eta bai sistema elektrikoaz miatutako eremuak kolore marroiz ageri dira. Ortofotoaren iturria: ©*Instituto Geográfico Nacional*.

6.2.1. Datu bilketa eta datu-prozesua

Georradar miaketan antena bakarra erabili da. Profil bakoitzean irakurketa dentsitatea 0,04 metrotakoa izan da eta profilen arteko aldea 0,4 metrotakoa. Metodologia honekin eraikina barneratzen duen 45 m x 45 metroko koadrikula miatu zen, B izena eman zitzaionerik. Erabilitako bi maiztasunak alderatuz emaitzarik interesgarrienak 600 megahertzeko datu multzoarekin lortu dira, zehaztasun gehiago eta antzeko barneratze sakonera eman baitute. Georradarrak lurzorua egitura konplexua dela erakutsi du, eta horregatik datu-prozesu ezberdinak saiatu dira interpretazioak egiteko. Izan ere, egitura batzuk datu-prozesu baten ostean hobe ikusten zirela iritzi da, eta ez da guztiak ondo azaltzeko baliagarria den datu-prozesu bakunik aurkitu.

Miaketa elektrikoan 30 m x 55 metroko koadrikula bat miatu da, E1 eraikina guztiz barneratzen ez duena. Bi datu-multzoetan kasuetan antzeko prozesua aplikatu da, alde bakarra interpolazioan dagoelarik: 1 metroko aldearen kasuan jatorrizko pixela ez da karratua, irakurketa-dentsitatea 0,5 m x 1 metrotakoa delako. Horregatik, pixel karratua lortzeko datu-multzo horri interpolazio gehigarria egin zaio lerroen artean. Datu-bilketa eta jarraituriko prozesua 6.3. taulan adierazi dira.

GPR	
Kanpaina	2013 apirila
Azalera	45 m x 45 m
Gailua	IDS Hi-mod
Maiztasuna	200MHz eta 600MHz
Denbora leihoa	190 ns eta 60 ns
Antena kop.	1
Datu dentsitatea	0,4 m x 0,02 m
Irakurketa modua	Siga-saga
Profilen prozesua	Ganantzia, Fasea. Batzutan whitening
Denbora-xaflak	ezberdinak
Parametroa	Anplitude karratua
Zuzenketa topo.	Ez
RES	
Kanpaina	2015 apirila
Azalera	30 m x 55 m
Gailua	RM15
Konfigurazioa	Dipolo-Dipolo
Intentsitatea	1 mA
Voltaia	100 V
Ganantzia	X 1
Elektrodoen aldea	A: 0,5 m; B: 1 m
Inf. Elektrodoena	2m
Datu dentsitatea (A)	0,5 m x 0,5 m
Datu dentsitatea (B)	0,5 m x 1 m
Irakurketa modua	Siga-saga
Prozesua (E105phi)	Clip 10/600
	Despiking X=1, Y=1, Th=1, StDv
	Hi-pass (10,10,Wt=G); Interpolazioa 12,5mra
Prozesua (E105phi)	Clip 10/600
	Despiking X=1, Y=1, Th=1, StDv
	Hi-pass (10,10,Wt=G); Interpolazioa 12,5mra

6.3. taula: Zalduko E1 eraikinaren gainean burututako miaketen parametroak. Miaketa magnetikoaren parametroak 90 orrialdeko 4.3. taulan daude.

6.2.2. Emaitzak

Georradar datuak erabiliz sorturiko anplitude-mapak bat datoz miaketa magnetikoan lorturiko irudiekin, nahiz eta irudiak konplexuagoak diren eta eraikinaren oinplanoa ez den hain argi ikusten. Miaketa elektrikoaren emaitzetan eraikinaren eremuak, oro har, inguruak baino erresistentzia gutxiago erakusten duela ikus daiteke. Printzipioz ez da harrizko egitura batentzat esperotakoa, baina kontuan izan behar da galtzadaren ondoan dagoela eta honek erresistentzia elektriko handia erakutsi duela. Hala ere, zenbait informazio osagarri ere lortu da. Adibidez, E1 eraikinaren barne gelatariko batzuetan erregistraturiko islapen indartsuek, horietan zoru gogorrak egon daitezkeela iradoki du. Fenomeno hau eraikinaren ekialdeko lerroan ikus daiteke (6.5. irudia, E1a). Lerro honen hegoaldeko sektorean

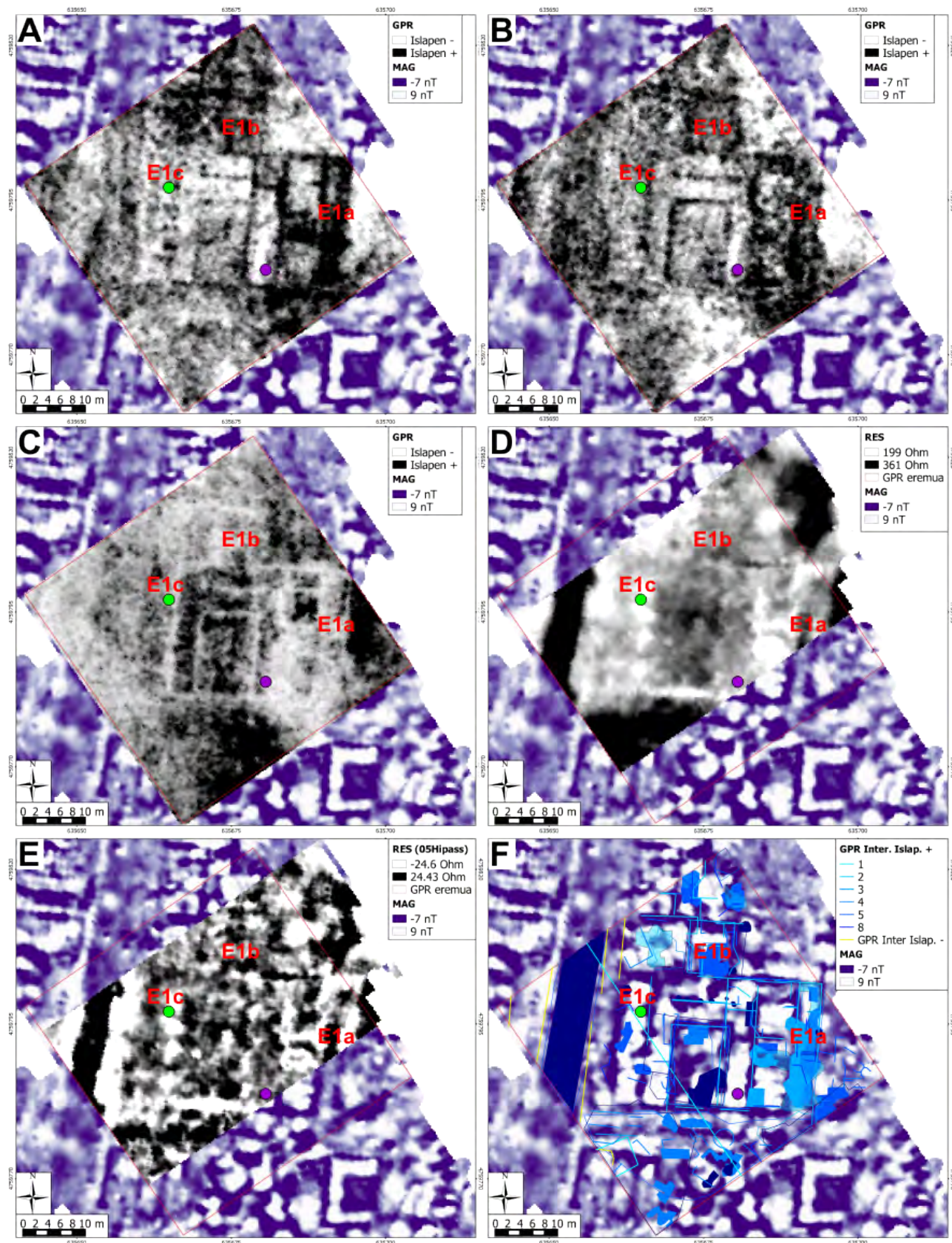
kontraste magnetiko ahula detektatu da, baina georradar seinalea islatu egiten da bertan. Iparraldeko sektorean, berriz, kontraste magnetiko positibo indartsua detektatu da, eta gune horretan ez da radar energia islatu duen etenunerik detektatu. Emaizta elektrikoetan ez da lerro osoa barneratu, baina 6.5. irudian ikus daiteke nola iparraldeko sektorean erresistentzia baxua detektatu den eta hegoaldean, barneratutako zatian bederen, erresistentzia altuagoa. Behaketa hauen arabera, E1a lerroaren hegoaldean zoru zurruna edo eroritako harrizko materiala egotea espero daiteke. Iparraldean, berriz, aldaketa bortizik gabeko sedimentu arkeologikoen geruza batek azal dezake hiru sistematan ikusitakoa.

Arrazoibide berdina aplika daiteke mendebaldeko E1c lerroan. Bertan, kontraste magnetiko positibo indartsua, eta georradar seinalearen islapen eza jaso dira. Miaketa elektrikoan erresistentzia baxuak ikusten dira. Hala ere, ez georradarrarekin ez eta elektrikoarekin ez da miaketa magnetikoan ikus daitekeen eremua ongi definitzen. Ondorioz, zoru zurrunik ez duen espazioa litzateke, kontraste magnetikoa sedimentu arkeologikoen pilaketak sortua izan daitekeelarik. Aldiz, E1 eraikinaren iparraldean kokatzen den E1b eremuan, kontraste magnetiko positibo indartsua eta radar energiaren islapena ikusi dira, kasuistika ezberdina delarik. Kasu honetan, baliteke suszeptibilitate altuko geruza zurruna egotea, *signinumezko* zorua esaterako.

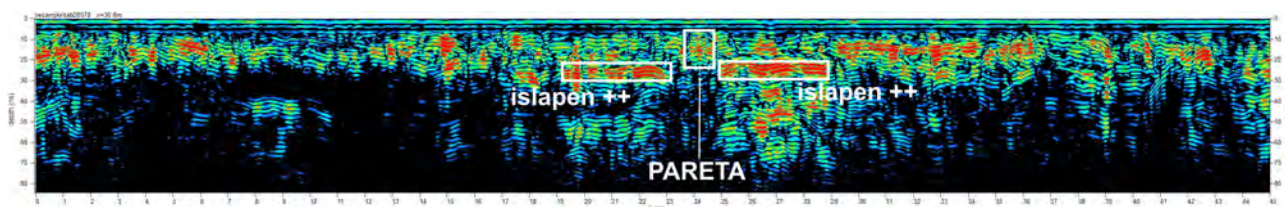
Georradar bidez miaturiko eremuak, E1 eraikinaz gain E2 eraikinaren iparraldea zein galtzadaren zati bat barneratzen du. Miaketa magnetikoan galtzadaren ertzetan honi jarraitzen dioten kontraste positibodun anomalia linealak detektatu dira, beste hiri erromatar batzuetan bezala (ikus adi bidez Gaffney et al. 2000). Georradar seinalearen islapenik sortzen ez duten guneak direnez, egitura zurrunik direna baztertzea zilegi da, nahiz eta kasu batzuetan adreiluzko egiturek ez duten islapenik sortzen (Bevan 2002). Suszeptibilitate altuko sedimentuz beteriko zilo-motako kunetak izan daitezke.

Eraikin honetan, paretan georradar seinaleak portaera aldakorra erakutsi du sakonera ezberdinei dagozkien anplitude-mapetan. Izan ere, azalekoetan paretak egitura islakor bezala ageri diren arren, sakonera batetik aurrera islapen baxuko anomaliak bezala ikusten dira. Fenomeno hau bi modutara azal daiteke: (1) sakonera horietan paretan inguruek paretak eurek baino energia gehiago islatzen dute, edo (2) paretan gainaldean hainbeste energia islatzen da, non hurrengo mailalara oso energia gutxi transmititu den, ondorioz islapenik ematen ez delarik. Zundaketen emaitzek puntu honetan ez dute sakonera horietan legar edo oso islakorra litzatekeen beste mailarik erakutsi, eta bigarren aukerak dirudi egokiena. Hala ere kasu batzuetan islapen altuko etenuneak ikus daitezke eta, zundaketak oso puntualak direnez, ezin da baieztatu beste lekuetan paretak baino islakorra goak diren zoruak edo geruzak egotea (ikus 6.6. irudia).

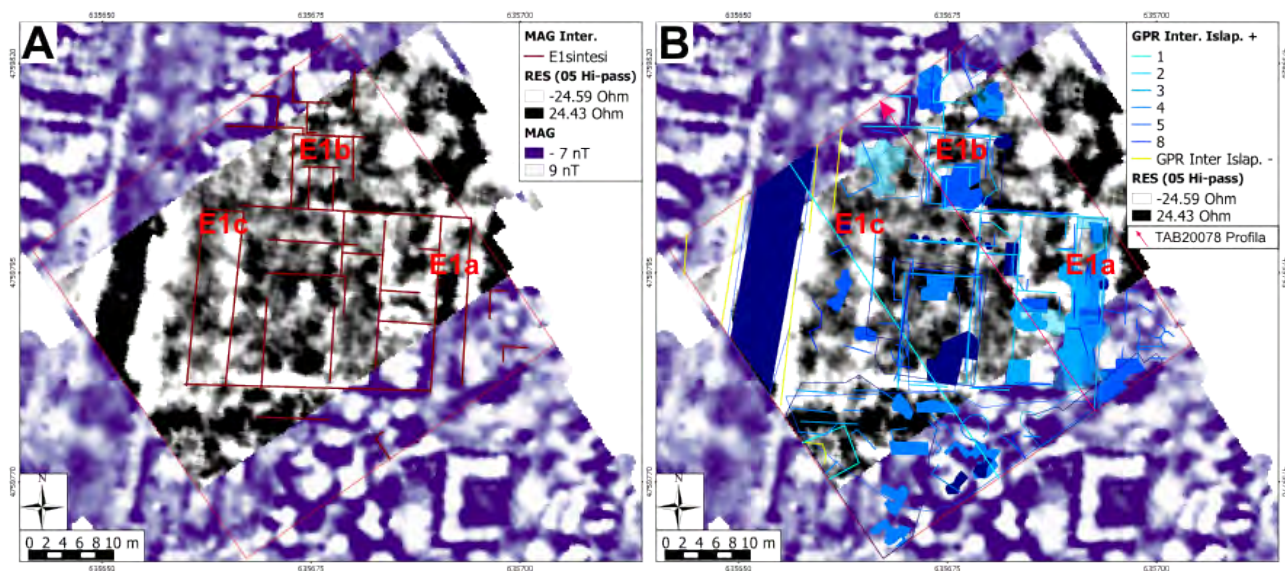
Miaketa elektrikoan, bestalde, paretak gehienek inguruak baino erresistentzia elektriko baxuagoa erakutsi dute (6.7. irudia). Portaera hau ez da ohikoa harrizko paretetarako eta erresistentzia altuko egitura lez agertu ohi dira (ikus adi bidez Bossuet et al. 2012; Dabas et al. 2000; Mozzi et al. 2015; Neubauer eta Eder-Hinterleitner 1997b). Portaera honen arrazoia ez da argitu, baina baliteke arroaren porotasuna eta honek bere baitan hezetasuna gordetzeko gaitasunarekin loturik egotea. Teoria kapituluan azaldu bezala, gerta liteke ere paretak ingurua baino erresistiboagoak izatea baina alderantzizko anomalia sortzea (ikus 2.4.5.1. atala).



6.5. irudia: Sistema geofisiko osagarrien emaitzak mapa magnetikoaren gainean E1 eraikinaren gunean. A: Georradar datuekin egindako 2. anplitude-mapa (0,13-0,6 m). B: Georradar datuekin egindako 3. anplitude-mapa (0,25-0,73 m). C: Georradar datuekin egindako 10. anplitude-mapa (1,14-1,62 m). D: Miaketa elektrikoaren emaitza hobetuak (0,5 metroko aldea). E: Miaketa elektrikoaren emaitza prozesatuak (0,5 metroko aldea, *Hi-pass*). F: Georradar datuen interpretazio-eskema mapa magnetikoan. Georradar emaitzak 200 megahertzeko datumultzoari dagozkio ($v = 9\text{cm/ns}$). Puntu more eta berdeak BH41 eta BH42 zunden posizioa adierazten dute hurrenez-hurren.



6.6. irudia: E1 eraikinaren gaitetik pasatzen den TAB20078 profilaren radargrama (200 megahertz, oinarritzko prozesua). Profilaren kokapena 6.7. irudiko B atalean ikus daiteke.



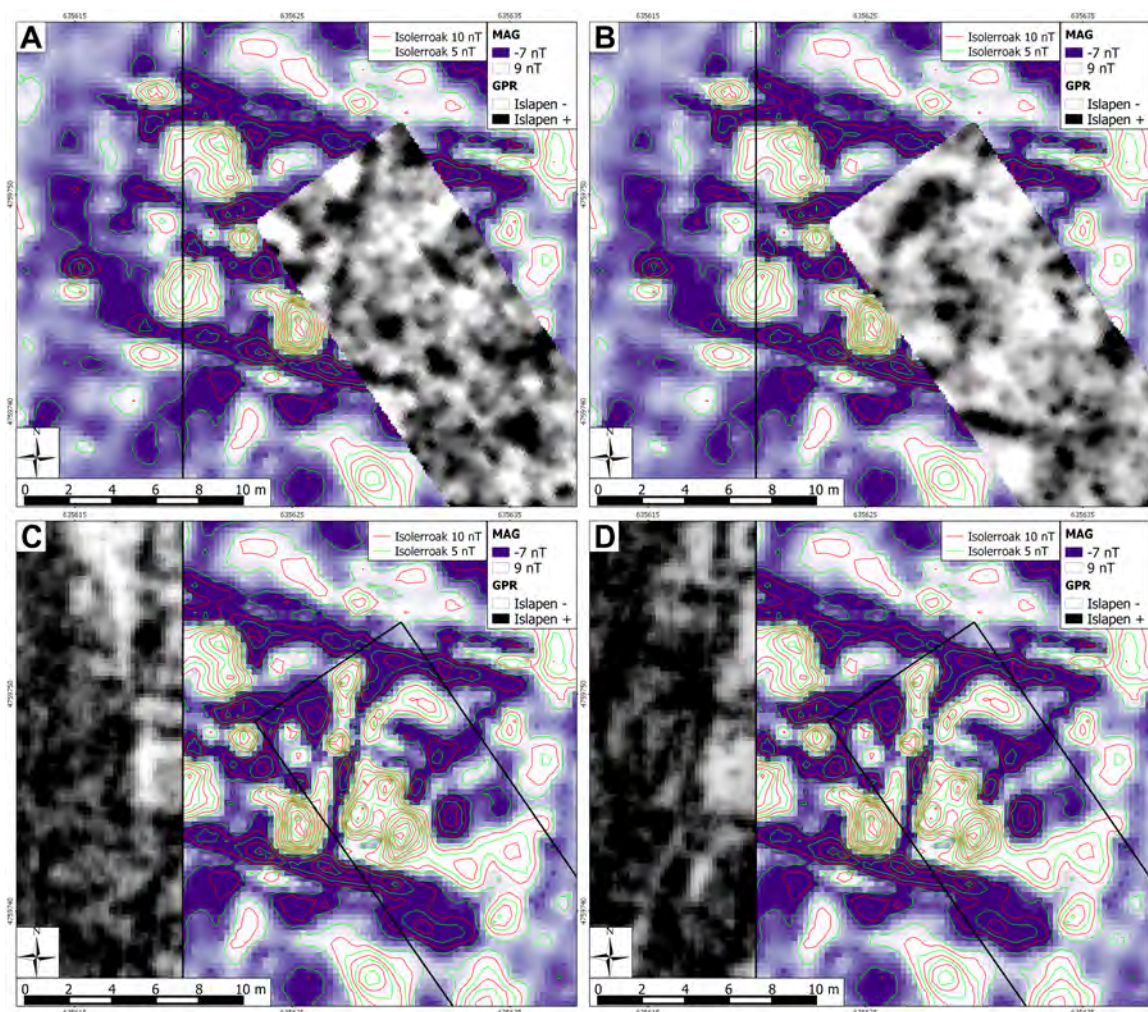
6.7. irudia: Miaketa magnetikoaren (A) eta georadarraren (B) interpretazio eskemak emaitza elektrikoaren gainean (0,5 metroko aldearekin jasotako datu prozesatuak). 6.6. irudiko profilaren kokapena ere adierazi da.

6.2.3. Ondorioak

Miaketa magnetikoaren emaitzei erreparatuta eraikin honetan beste sistemekin emaitza ikusgarriak lortuko zirenaren ustea zegoen, bereziki georadarrarekin. Izan ere, bereizmen altuagoa duenez eta sarri paretek kontraste egokia erakusten dutenez, eraikinen oinplanoak deskribatzeko sistema egokia da. Kasu honetan, hala ere, georadar datuekin eraikina osotasunean deskribatzea ez da erraza suertatu (6.5. irudia). Prozesu ezberdinak probatu dira eta azkenean interpretazio-eskema prozesu horiek guztiak kontuan hartuz burutu da. Miaketa elektrikoak, ere, espero ez ziren emaitzak erakutsi ditu. Izan ere, pareta asko erresistentzia baxuko anomalia bezala agertu dira. Galtzada, berriz, gune erresistibo bezala agertu da harri pilaketa bati dagokion portaera geofisiko arruntean. Baliteke, beraz, paretak hareharriz edo kareharriz eginda egon beharrean, beste material batekin eginda egotea. Portaera geofisiko, dena den, aztarnategiaren beste guneekiko ezberdina dela ondoriozta daiteke, nahiz eta honen arrazoa ez den azaldu ahal izan. Emaitzek konplexutasun handia erakutsi arren, miaketa magnetikoaren emaitzak osatzeko balio izan dute. Modu honetan zoru zurrunkak izan dezaketen guneak identifikatu dira (E1a hegoaldea, adibidez).

6.3. Auritz-Aurizberri aztarnategia. Zaldua. Auritz-Aurizberri aztarnategia. E6 eraikina

E6 eraikina galtzadaren mendebaldean dago kokatua. Miaketa magnetikoan bere paretek inguruko eraikinek baino kontraste magnetiko altuagoa erakusten dute (-35 nanotesla eta -20 nanoteslaren bueltan, oro har -10 nanoteslakoak direnean). Ipar eta hegoaldeko mugak ondo definiturik ageri dira mapa magnetikoan. Horien kanpoaldean 1 m-1,5 metro bitarteko eta kontraste magnetiko positibodun eremu lineal bana detektatu dira. Baliteke sedimentua pilatu duten pasabideak izatea, nahiz eta zenbait etenune ere erakusten dutenez zalantzarikoa izan. Ekialdeko muga, galtzadari begira legokeena, kontraste baxuagoko (-7 nanotesla) anomalia lineal batek osatzen du. Mendebalde muga, aldiz, ez da argi ikusten. Zaldua gunea zeharkatzen duen errekaostaren kokapenarekin bat egiten du eraikinaren muga honek, eta baliteke hori izatea definizio eskasaren arrazoia (ikus 6.4. irudia). Horiez gain barnealdea banatzen duen pareta bat ikus daiteke, irekiune bat bezala interpretatu den etenunea darakutsalarik. Gainontzeko barne distribuzioa ez da ongi definitzen, eta kontraste altuko anomalia magnetikoek betetzen dute esparrua (6.8. irudia).



6.8. irudia: E6 eraikinaren georradar irudiak mapa magnetikoaren gainean. A: 2013ko kanpainan burututako georradar miaketari dagokion 5. anplitude-mapa (5,39-9,49 ns). B: 2013ko kanpainan burututako georradar miaketari dagokion 8. anplitude-mapa (8,09-12,19 ns). C: 2015ko kanpainan burututako georradar miaketari dagokion 5. anplitude-mapa (12,3,16,41 ns). D: 2015ko kanpainan burututako georradar miaketari dagokion 7. anplitude-mapa (18,46-22,56 ns).

2013ko kanpainan bertan buruturiko datu-bilketan, 7,6 m x 35 metrotako koadrikula txiki bat miatu zen georradar bidez (ikusi parametroak 6.4. taulan). Helburua galtzadaren irudia lortzea zen, baina A izendatu zen koadrikula horren baitan E6 eraikinaren zati bat barneratu zen. Esparru txikia izan arren, eraikina erdibitzen duen paretaren irekiunea baieztatu ahal izan da. Hala ere, ez da barne distribuzioaren irudi argirik lortu, ondo kontserbaturiko paretarik ez dagoela iradokiz (6.8. irudia, A eta B).

	2013ko kanpainan	2015ko kanpainan
Sistema	GPR	GPR
Gailua	IDS Hi-mod	IDS Hi-mod
Maiztasuna	200MHz eta 600MHz	200MHz eta 600MHz
Denbora leihoa	190 ns eta 60 ns	190 ns eta 60 ns
Datu dentsitatea	0,4 m x 0,02 m	0,2 m x 0,04 m
Irakurketa modua	Siga-saga	Siga-saga
Profilen prozesua	Ganantzia, Fasea	Ganantzia, Fasea
Denbora-xaflak	35 lagineko 25 xafla (62-350)	30 lagineko 15 xafla (63-350)
Parametroa	Anplitude karratua	Anplitude karratua
Zuzenketa topo.	Ez	Ez

6.4. taula: E6 georradar datuen parametroak

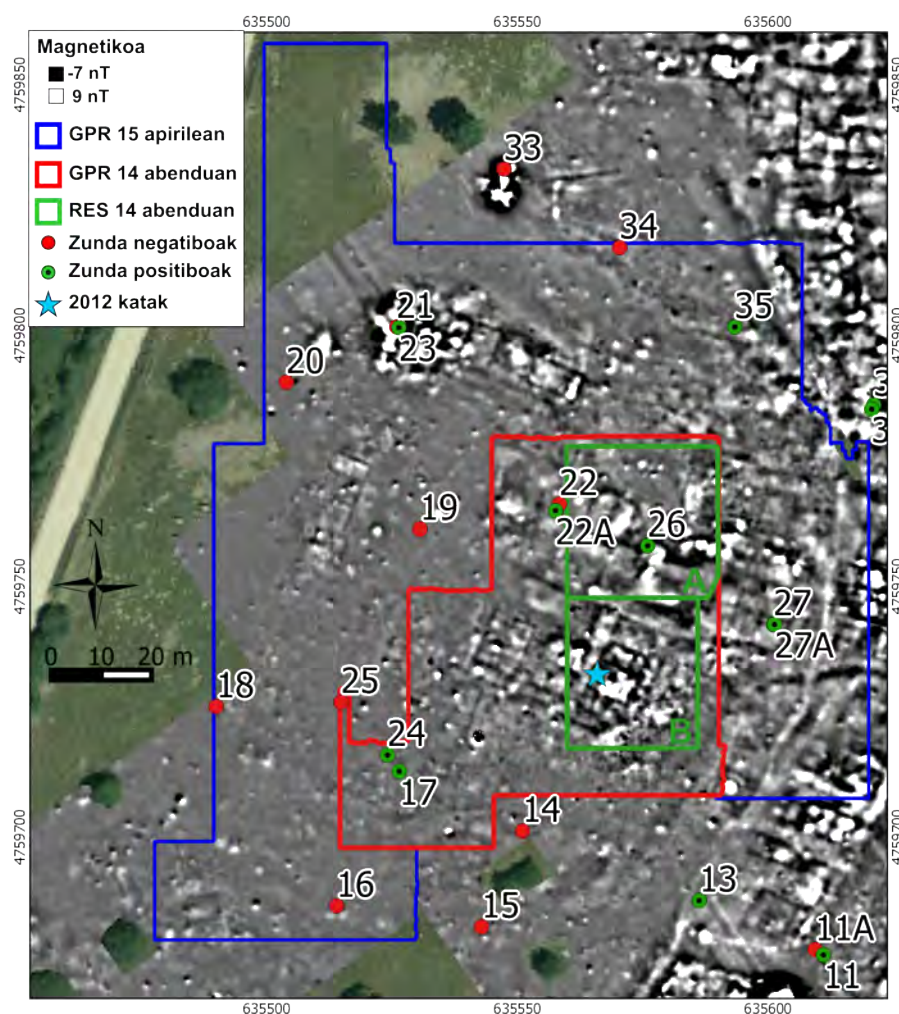
Era berean, 2015. urteko kanpainan ere eraikin honen zati bat barneratu zuen P5 plaza aztertzeke egindako georradar miaketak (ikusi parametroak 6.4. taulan). Kasu honetan ere, lorturiko irudiak bat datoz miaketa magnetikoaren emaitzarekin baina georradar datuei esker eraikinaren mendebaldeko muga definitzeko aukera egon da (Ikusi 6.8. irudia, C eta D). Ondorioz, kanpaina ezberdinetan burutu arren georradar emaitzek miaketa magnetikoak ikusitako paretak baieztatzea eta mendebaldeko muga definitzea ahalbidetu dute.

6.4. Auritz-Aurizberri aztarnategia. Zaldua. P5 gunea

2013. urteko miaketa magnetikoaren emaitzek anomalien kokapen berezia erakutsi zuten gunea honetan. Beste lekuetan ez bezala, beraien artean orientazio koherentea erakusten duten anomalia multzoa ikus daiteke. Guztiak erantzun magnetiko egonkorra erakutsi duen laukizuzen baten inguruan kokaturik daudela antzematen da, 80 m x 35 metro ingurukoa. Ezaugarrietan oinarrituz anomalia magnetiko hauek eraikin egitura bezala interpretatu dira hein handi batean, eta 1 hektarea inguru hartzen dute. Horrez gain, eremua goragune batean dago kokaturik eta ekialdean aurkitzen diren egiturak zein galtzada menderatzen ditu (ikusi 4.2.3.1.4. atala). Hau guztia kontuan hartuta ikerketarako puntu interesgarrien artean kokatzea erabaki zen. Abiapuntuko hipotesia gunek funtzio berezia izan zezakeela da, egitura ezberdinak izan arren laukizuzena unitate arkeologiko bakarria bezala kontsideratuz (6.9. irudia).

Kontraste magnetiko ahulak zenbait egitura ongi deskribatzea galarazi du, sistema geofisiko osagarriak erabiltzeko gunea proposa delarik. Kontraste baxuko gunetan zundaketetan ikusi ahal izan da arkeologia geruza mehea dela edo horren gabezia dagoela. Kontraste magnetiko altuko gunetako zunda guztiek, aldiz, geruza arkeologikoak erakutsi zituzten (BH21, BH22A, BH23, non BH aurrizkiak

zundari egoten dion erreferentzia, ingelesezko *borehole* hitzetik). Behin-behineko ondorioztat kontraste magnetiko ahula arkeologia geruza fin edo inexistenteekin lotzea dugu.



6.9. irudia: Georradar bidez eta sistema elektrikoa erabilia miaturiko eremuak miaketa magnetikoaren emaitzen gainean. 2014. urtean burututako zundaketa geoarkeologikoen eta 2012. urteko miaketa-zuloaren kokapenak ere adierazi dira. Miaketa elektrikoaren koadrikuletan adierazitako A eta B hizkiek testuan aipatutakoei egiten diete erreferentzia. Azpiko ortofotoaren iturria: © *Instituto Geográfico Nacional*.

Bestalde, zundaketen emaitzek ez zuten eremuaren estratigrafia jarraitua aurkitu. BH17 eta BH24 zundek legar geruzak erakutsi zituzten mailakatze geruzen gainean, eta zati horietan zorua eraiki izana iradoki zuten (ikus 6.9. irudia). Geruza horiek, ordea, ez ziren BH19 eta BH25 zundetan behatu. Hauek geruza begetala erakutsi zuten terrazako lohi eta legarren gainean, eta ez da bertan geruza arkeologikoaren zantzurik antzeman. Ondorioz, zundaketek ez dute unitate bakarraren hipotesia baieztatzeko balio izan, nahiz eta baliekeen gune ireki bat izatea.

Hori guztia argitu asmoz GPR eta RM15 saioak burutu ziren 2014ko abenduan. Georradarraren datuak magnetikoarekiko osagarriak zirela ikusiaz eremu osoa aztertzeke erabakia hartu zen, 2015eko apirilean burutu zelarik kanpaina.

6.4.1. Datu bilketa

Miaketa eremuaren zati bat sator-pilaz beterik zegoela ikusita, datuak bildu aitzin eremuaren egokitzapen lanak egitea beharrezkoa zela ikusi zen. Izan ere, georradar miaketan antena eta

lurzoruaren arteko kontaktu egokia bermatzea funtsezkoa da, eta elektrodoak txertatu ahal izateko ere tontorrak oztopo ziren. Abenduko kanpaina baldintza egokienak betetzen zituen eremua miatu zen (4408 m²), eta apirileko kanpaina hasi aurretik egokitu zen gainontzekoa (11650 m²). Horretarako bolondres talde bat bildu eta aitzurrez berdindu ziren tontorrak (ikusi 6.10. irudia).

Miaketa elektrikoa abenduan soilik burutu zen 900 metro karratuko eremuaren gainean, emaitzak alderatuz georradarra hobestea erabaki zelako. Eguraldi euritsuaren ondorioz lurzorua guztiz bustita zegoen datu-bilketaren momentuan, eta horrek emaitza elektrikoan eragin handia izan ohi du. Miaketa eremua bi koadrikulatan dago banatua, A koadrikula iparraldean eta B koadrikula hegoaldean (ikusi 6.9. irudia). Koadrikula batetik bestera pasatzean infinituko elektrodoak mugitu behar izan ziren eta, bi koadrikulen arteko erantzuna ahalik eta antzekoena izateko asmoarekin, RM15 sistemaren erabilpen oharretan aholkatutako sistema jarraitu zen; hau da, elektrodo mugikorrek puntu finko batean geldi mantenduz, infinitukoak posizio berrira eramane eta horien arteko tartea aldatzen joan erresistentzia berdina lortu arte (Geoscan Research 2009). Hori dela eta, A koadrikulan elektrodoen arteko aldea 2 metrotakoa da, eta B koadrikulan 2,79 metrotakoa. Dena den, infinituko elektrodoen posizio zehatza jaso zenez erresistentzia datua itxurazko erresistibitate bihurtzeko aukera dago. Elektrodoen arteko aldeak kontrastean eragiten duenez, nabarmentzekoa da beste autore batzuk distantzia hori konstante mantentzea aholkatzen dutena (Schmidt 2013a: 136).

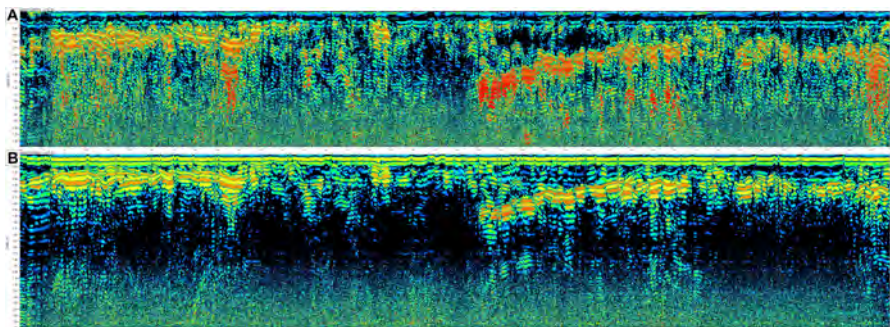


6.10. irudia: A eta B. Datu elektrikoaren bilketako bi momentu 2014ko abenduan. Georradar datu bilketaren momentuko argazkiak 2014ko abenduan (C) eta 2015eko apirilean (F). Sator tontorrak miaketa eremuan (D) eta horiek berdintzeko lanak (E). Argazkilariak: Juanmari Mtz. Txoperena, Joxe Etxegoien eta Naiara Arrizabalaga.

6.4.2. Datu-Prozesua

Eremu zabal honetan georradar datuak ingurugiroko baldintza ezberdinetan bildu ziren, abenduan lurra apirilean baino hezeago bait zegoen. Horregatik bi datu-multzo nagusi daude: 2014ko abenduan bildutako datuak eta 2015eko apirilean bildurikoak. Kanpaina bakoitzaren iraupena egun batzuetakoa izan zenez, multzo horietan ere badira azpimultzoak, baina ingurugiro baldintzen aldaketa xumeagoa denez kanpaina bakoitza unitate bezala prozesatu da.

Irudi orokorrak lortzeko helburuaz, lehen pausu batean datu guztiak batera landu dira. Erabilitako bi maiztasunak alderatuz emaitzarik interesgarrienak 600 megahertzeko datu multzoarekin lortu dira, zehaztasun gehiago eta antzeko barneratze sakonera eman baitute (ikusi 6.11. irudia). Prozesu ezberdinak saiatu diren arren, datu gordinek luzaturiko informazioa beste filtroak erabiliz lortutakoa bezain aberatsa dela ikusi da. Artefaktuak ekidite aldera eta datuen prozesu minimoa hobeste aldera fase zuzenketa eta ganantzia besterik ez da aplikatu 3D blokean integratu diren profiletan. Zuzenketa topografikorik aplikatu ez arren, eta bi datu multzoak elkarrekin prozesatu arren, lorturiko emaitzak ikusgarriak dira eta deskribapen orokorra egiteko oso baliagarriak. 6.13. irudian emaitzen laburpen gisa uler daitezkeen 4 anplitude-mapa erakutsi dira.



6.11. irudia: Antena ezberdinekin bildutako georradar datuen alderaketa profil beraren gainean. A: 600 megahertzeko maiztasunarekin bildua. B: 200 megahertzeko maiztasunarekin bildua. Bi kasuetan datu ganantzia eta fase-zuzenketa besterik ez zaizkie aplikatu.

Miatutako guneak aldaketa topografiko nabarmenak dituen bigarren prozesu landuago bat burutu da, profilen zuzenketa topografikoa barneratuz. Kasu honetan bi kanpainetako datuak independenteki landu dira, nahiz eta pausu berberak erabili diren. Zuzenketa egiteko beharrezkoa den uhinaren hedapen abiadura zundaketa eta georradarraren alderaketatik ondorioztatu da, $v = 8,175\text{cm/ns}$ abenduko datu-multzorako eta $v = 8,54\text{cm/ns}$ apirileko datu-multzorako.

Miaketa elektrikoari dagokionean, koadrikula bakoitzarentzat infinituko elektrodoen kokapena ezberdina izateak, eta beraien arteko distantzia ere ezberdina izateak, koadrikula bakoitzak kontraste ezberdina izatea dakar. Miaketa momentuan jarraituriko prozedurari esker, ez da bi koadrikulen arteko muga nabari agertzen, baina iparraldekoan balio-tartea mugatuagoa da. Bi datu multzoen artean, lehen mailakoan (0,5 metroko aldea) zarata gehiago ikusten da eta lerroen arteko aldea nabari daiteke (6.12. irudia). Honen arrazoia ez dago argi, baina infinituko elektrodoen distantzia minimoa 30 m ingurukoa izan denez ez luke zertan horrekin loturik egon behar. Bigarren mailan, gainera, ez da zarata hau ikusten eta elektrodoen arteko aldea handiagoa denez (metro bateko aldea), influentziak handiagoa behar luke. Dena den, lehen mailako datuetan ez da prozesuan hobetutako datuetan baino emaitza egokiagorik lortu, eta horregatik muturreko irakurketen leuntzea (*despiking*) eta interpolazioa besterik ez dira burutu. Bigarren mailako datuetan, *hi-pass* filtroak zenbait gune nabarmentzeko balio izan duenez, hobetutako datuak eta prozesatuak erabili dira. Datu-bilketa zein datu-prozesuen parametroak 6.5. taulan bildu dira.

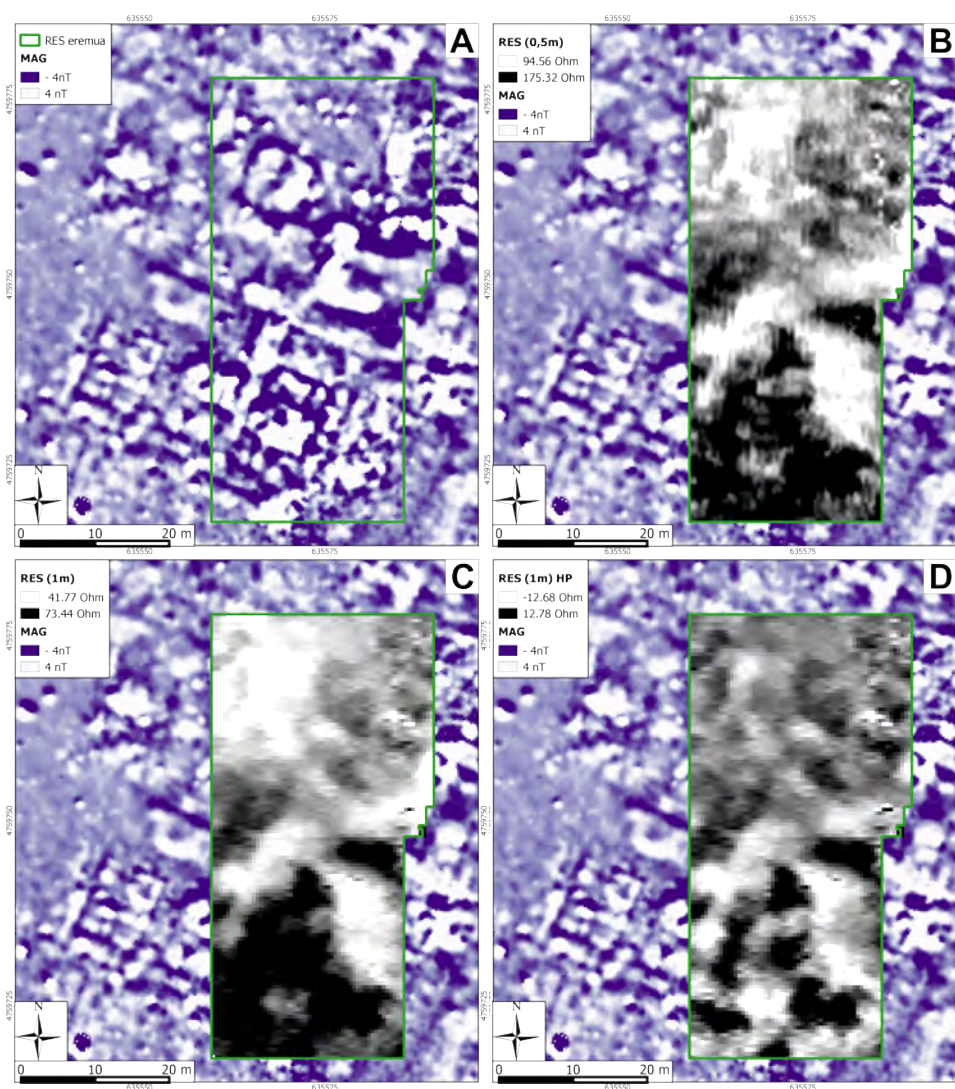
GPR	
Kanpaina	2014 abendua eta 2015 apirila
Azalera	4408 m ² (abenduan) eta 11650m ² (apirilean)
Gailua	IDS Hi-mod
Antena kop.	2
Maiztasuna	200MHz eta 600MHz
Denbora leihoa	120 ns eta 70 ns (abenduan) eta 90 ns eta 60 ns (apirilean)
Datu dentsitatea	0,2 m x 0,04 m
Irakurketa modua	Siga-saga
Anplitude mapak	600 MHz
	Profilak: Ganantzia, Fasea
	35 lagineko 15 xafila (3-427)
	Anplitude karratua
Zuzenketa topo.	Bai, profiletan
Abiadura	8,175 cm/ns (abenduan) eta 8,54 cm/ns (apirilean)
RES	
Kanpaina	2014 abendua
Azalera	1875 m ²
Gailua	RM15
Konfigurazioa	Dipolo-Dipolo
Intentsitatea	1 mA
Voltaia	100 V
Ganantzia	X 1
Elektrodoen aldea	A: 0,5 m; B: 1 m
Inf. Elektrodoena	2 m eta 2,79 m
Datu dentsitatea (A)	0,5 m x 0,5 m
Datu dentsitatea (B)	0,5 m x 1 m
Irakurketa modua	Siga-saga
Prozesua (P5_05dpi)	Despiking X=1, Y=1, Th=1, StDv
	Interpolazioa 25cmra (sinx/x)
Prozesua (P5_1dpi)	Despiking X=2, Y=1, Th=1, StDv
	Interpolazioa 50cmra (sinx/x)
Prozesua (P5_1HP)	Despiking X=2, Y=1, Th=1, StDv
	Hi-pass (10,10,Wt=G)
	Interpolazioa 50 cmra (sinx/x)

6.5. taula: Zalduako P5 gunean buruturiko miaketa geofisikoetan erabilitako parametroak. Miaketa magnetikoaren parametroak 90 orrialdeko 4.3. taulan daude.

6.4.3. Emaitzak

6.4.3.1. Laburpena

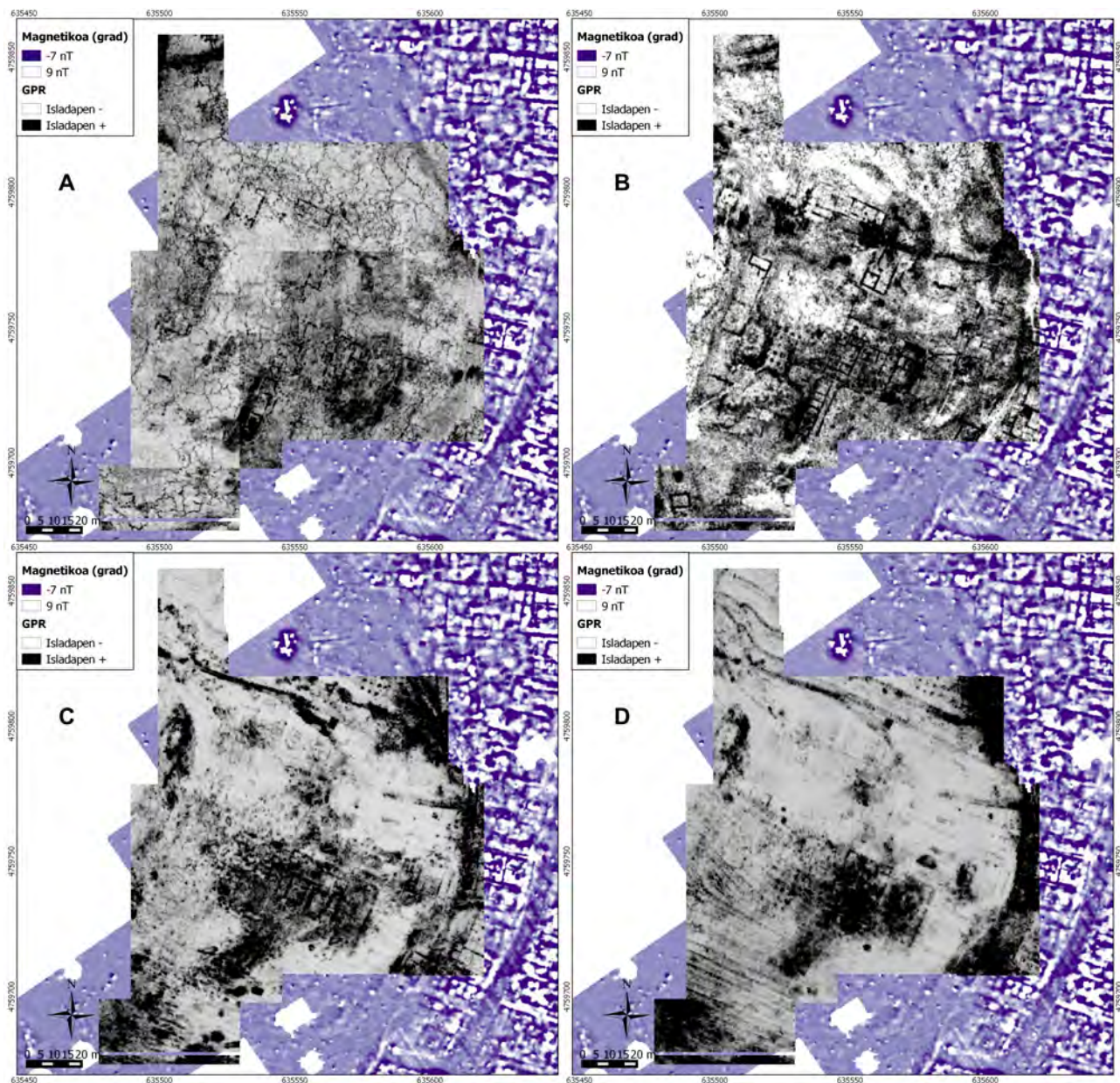
Miaketa elektrikoaren emaitzetan erresistentzia elektriko ezberdineko guneak ikusten dira, baina paretak edota beste egiturak ez dira ongi definitzen (ikusi 6.12. irudia). Georradar emaitzetan, aldiz, lorturiko irudietan eraikuntza egituren oinplanoak definitzen dira. Topografia zuzenketarik gabe buruturiko irudiek aztertutako gunea bere osotasunean ulertzeko aukera ematen dute, eta horregatik deskribapen orokorra prozesu horretan oinarrituz burutuko da. Sekzioak aztertzeko, aldiz, topografiarekiko zuzenduriko datuak erabiliko dira. Miaketa elektrikoaren emaitzak zenbait interpretazio osatzeko erabili dira batez ere.



6.12. irudia: Miaketa elektrikoaren emaitza P5 guneko eremu batean. A: miatutako eremua mapa magnetikoaren gainean. B: Miaketa elektrikoaren emaitza lehen mailako hobetutako datu-multzorako (0,5 metroko aldea). C: Miaketa elektrikoaren emaitza bigarren mailako hobetutako datu-multzorako (1 metroko aldea). D: Miaketa elektrikoaren bigarren mailako prozesatutako datu-multzorako (1 metroko aldea)

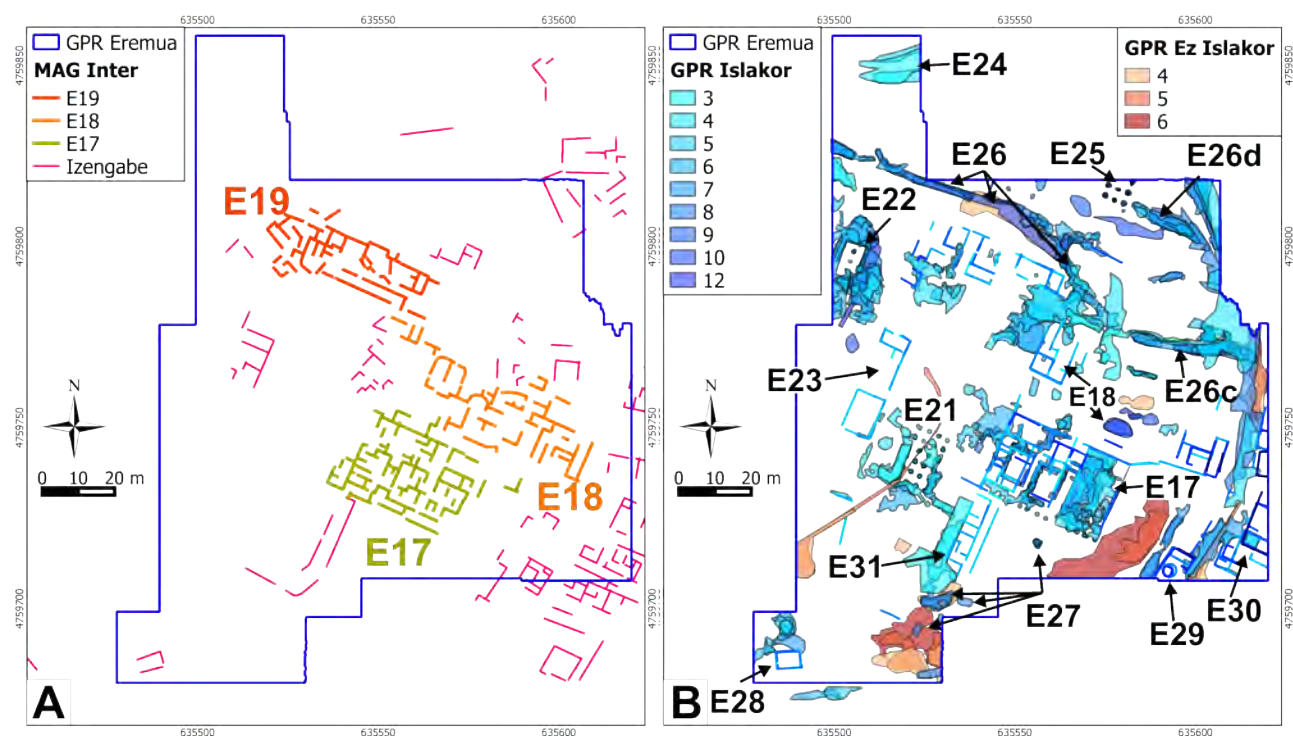
Emaitzek lau maila jartzen dituzte mahaigainean. Lehena gainazaleko lurrari dagokio eta satorrek buruturiko tunelen mapa ikusten da (6.13. irudia, A). Ondorengo mailan gune honetako egitura arkeologiko nagusiak ikus daitezke (irudi bera, B). Kontuan izatekoa da nahiz eta topografia aldaketa nabariak izan puntu batzuetatik bestera, egitura arkeologiko nagusiak lurzoruarekiko sakonera

antzekoan agertzen direla, eta horrek egungo topografia ez dela garaikoaren oso ezberdina izango iradokitzen duela. Hurrengo maila batean egitura arkeologikoen berriak detektatu dira, batez ere ikerketa gunearen iparraldean, lurzoruarekiko metro inguruko sakoneran leudekeenak (6.13. irudia, C). Bukatzeko, azken maila batean geologiarekin loturik diruditen lerroak ikus daitezke arkeologia geruzen azpian (irudi bera, D).



6.13. irudia: Georradar emaitzek erakusten dituzten 4 mailak. A: Sator-zuloak (lurrazalarekiko 13-30 cm). B: Gainazaleko arkeologia (l. 39-56 cm). C: Sakoneko arkeologia (l. 91-106 cm). D: Geologia (l. 155-172 cm). $v = 8,34$ cm/ns).

Miaketa magnetikoaren bidez lorturiko irudiarekin alderatuz nabaria da emaitzak bat datozela hein handi batean, eta erantzun magnetikoa gainazaletik gertuago dauden egiturek eman izan dutela. Georradarrak sakonera handiagotan detektaturiko egiturak ez dira emaitza magnetikoan ikusten, seguruenik ez dutelako behar besteko kontrasterik sortu. Hala ere badira gainazaletik gertu egon arren miaketa magnetikoan detektatu ez diren egiturak, horien artean P5 balizko plazaren erdigunean detektaturiko anomalia zirkular multzoa (ikusi 6.14. irudia, E21).

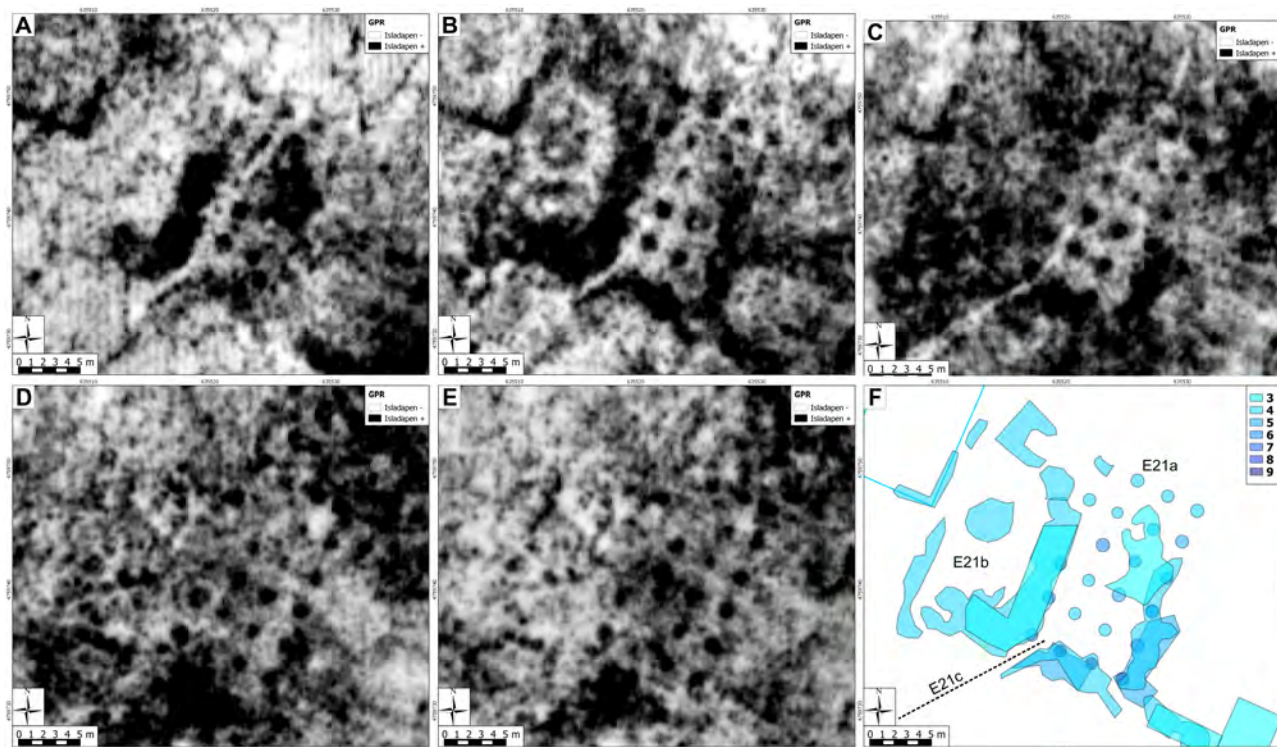


6.14. irudia: A. Miaketa magnetikoaren interpretazio eskema eta anomalia multzoei emandako izenak. B. Georradar emaitzen interpretazio eskema sakoneraren arabera antolatuta, zenbat eta ilunago orduan eta sakonago. Koloreei esleituriko zenbakiak interpretaziorako erabilitako anplitude-maparen zenbakia adierazten dute. Georradar energia islatzen duten anomaliak urdinez adierazi dira, eta islapen baxuko anomaliak tonu gorrixketan. Anomalia multzoei emandako izenak etiketa beltzez adierazi dira.

6.4.3.2. Azaleko egitura berriak

Gainazaletik gertu miaketa magnetikoan ikusi ez ziren egitura berriak detektatu dira georradarraren bidez. Azalean egonda, sakonerak ez du kontraste magnetiko eza justifikatzen, eta beste azalpen bat bilatu behar da. E21 izendatu da P5 eremuaren barnealdean detektatu den anomalia multzoa (6.15. irudia). Eremu honek aldakuntza magnetikoa erakusten du, baina ez da bertan morfologia argiko egiturarik identifikatu. Miaketa magnetikoan E17d izena eman zitzaion, ekialdean dauden E17a,b,c eraikinen ondoan egoteagatik, baina georradarrak morfologia oso ezberdineko anomaliak azaleratu dituenaz, egokiago iritzi da izen independentea esleitzea (4.2.3.1.4. atala).

Gune honen ezaugarri nagusia radar energia islatzen duten egitura zirkularrak dira, guztira 24 zenbatu direlarik launakako sei lerrotan antolatuta. Guztiak ez dira ez maila berean ez argitasun beraz agertzen, baina batezbeste 1,1 metro inguruko diametroa dutela esan daiteke. Horietariko batzuk islakorra den geruza baten azpian agertzen dira, agian eraispen maila bat izan litekeena, nahiz eta mugak oso garbiak diren eta mendebaldean definitzen den espazio baten muga ere baden (6.15. irudia). E21b bezala izendatutako beste espazio hau azaleko anplitude-mapetan soilik agertzen da, eta bere mugak beste eraikinek definitzen dituzte hein handi batean. Hori dela eta ez da argi ikusten eta unitate bat denik zalantza hartzekoa da. Aipatzekoa da ere islapen baxuko gune bezala ageri den anomalia lineala, azaleko mapetan ikusten dena eta E21a multzoaren hego-ekialdeko erpinetik aterata zenbait metro jarraitzerik dagoena (E21c). Radar energia islatzen ez duenez sedimentu homogeneoz osaturiko egituraren bat dela ondoriozta daiteke, eta formari behatuaz kanal antzeko bat dirudi. Baliteke urak bideratzeko zerbait izatea, nahiz eta anomalia zirkularren kotaren gainetik detektatzeak zalantzak sorrarazten dituen.

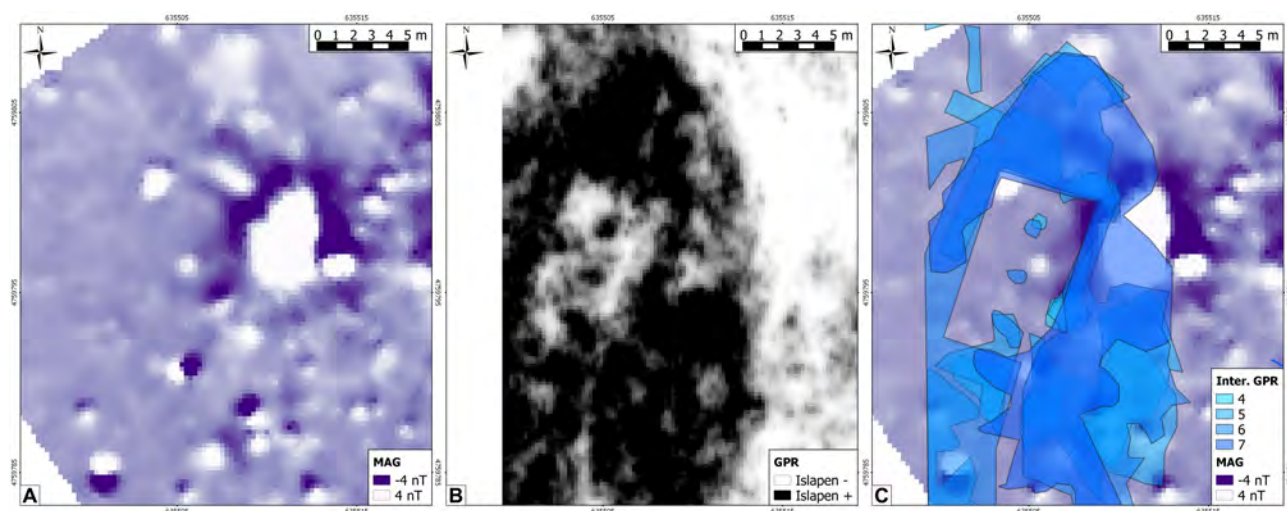


6.15. irudia: Anplitude-mapen segida E21 eraikinaren gunean. A: 3. anplitude-mapa (6,15-10,25 ns). B: 4. anplitude-mapa (9,3-13,4 ns). C: 5. anplitude-mapa (12,3-16,41 ns). D: 6. anplitude-mapa (15,45-19,55 ns). E: 7. anplitude-mapa (18,46-22,56 ns). F: Georradar emaitzen interpretazio eskema sakoneraren arabera antolatuta.

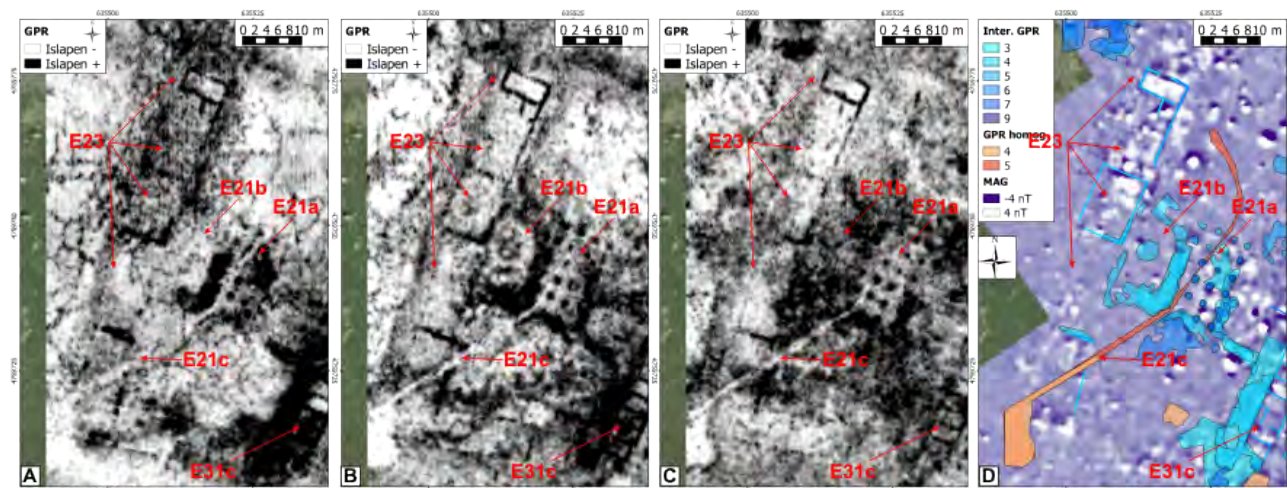
Bi miaketa sistemak alderatuz, alterazio magnetikoa egitura hauen presentziak sortua dela ondoriozta daiteke. Egitura zirkularren tamaina metro ingurukoa izaki, eta miaketa magnetikoaren bereizmena 0,5 m x 0,25 metrotakoa, oso kontraste indartsua eduki ezean zaila litzateke horiek ongi definitzea. Hala ere, kasu honetan ez dirudi kontraste nabaririk sortzen dutenik ere.

E22 moduan izendaturiko egitura miaketa eremuaren mendebaldeko muga aurkitzen da, P5 balizko plazaren kanpoaldean. Kasu honetan, miaketa magnetikoan ez da georradarrean irudikaturikoaren zantzurik antzematen, nahiz eta kontraste altuko anomalia amorfo bat ageri den honen ipar-ekialdean (ikusi 6.16. irudia). Anomalia magnetiko honen posizioan ez hain ageria den egiturarik agertu georradar emaitzetan. Georradar datuek 9 m x 5,5 metro inguruko laukizuzena definitzen dute, eta erdian errenkadan jarritako hiru anomalia islakor agertzen dira. Deigarria da kasu honetan egitura ez dutela pareta bezala interpretatu ahalko liratekeen anomalia linealek mugatzen, georradar energia islatzen duten eremu zabalek baizik. Anomalia islakor hauek sakoneran itxura ezberdina erakutsi arren, barneko laukizuzenak bere horretan jarraitzen du, hori delarik egitura honi ezaugarri arkeologikoa ematen diona. Emaitza hauetan oinarrituz barnealdea homogeenagoa dela ondorioztatu behar da. Baliteke anomalia islakorrak eroritako materialek sortzea, edo jatorrizko geruza heterogeenan ebakitako egitura bat izateagatik barnealdeak islapen gutxiago agertzea.

P5 Plazaren mendebaldeko muga litzatekeen gunean, miaketa magnetikoan anomalia ugari ageri ziren arren, eraikin bati argiki esleitu zekiokkeen egitura bakarra definitu zen (4.2.3.1.4. atala). Georradar miaketan, eraikin horrez gain, badira muga horren jarraipena ematen duten beste batzuk (ikusi 6.17. irudia), nahiz eta ez diren E17 edo E18 eraikin multzoak bezain ongi definitzen.



6.16. irudia: E22 eraikinaren xehetasuna (ikusi kokapena 6.14. irudian). A: Miaketa magnetikoaren emaitza. B: GPR datuekin sorturiko 3. anplitude-mapa (0,26-0,44 m). C: GPR datuetan oinarrituriko interpretazio eskema mapa magnetikoaren gainean. Anplitude-mapa bakoitzaren interpretazioari kolore ezberdina esleitu zaio: 4(0,40-0,57 m); 5(0,53-0,70 m); 6(0,66-0,83 m); 7(0,79-0,96 m), $v = 8,54\text{cm/ns}$.



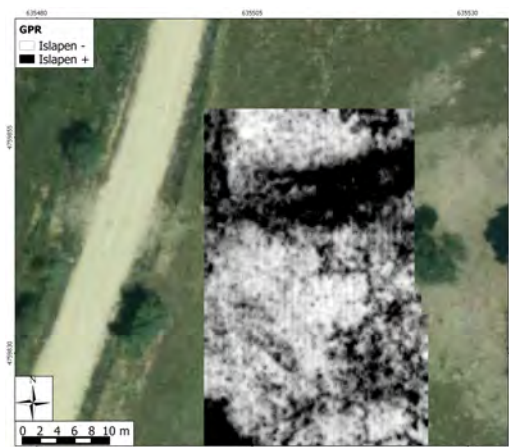
6.17. irudia: E23 multzoko georradar emaitzen anplitude-mapen segida miaketa magnetikoaren emaitzei alderatuta. A-C: GPR datuekin sorturiko 3. (0,26-0,44 m), 4. (0,40-0,57 m) eta 5. (0,53-0,70 m) anplitude-mapak hurrenez-hurren. $v = 8,54\text{cm/ns}$. E: GPR datuetan oinarrituriko interpretazio eskema mapa magnetikoaren gainean. Anomalia islakorrak urdinez eta homogeneoak gorritz irudikatu dira, anplitude-mapa bakoitzari sakoneraren arabera iluntasun-maila esleitu zaiolarik.

Ikerketa gunearen ipar-mendebaldean, zelaiaren egungo ataka dagoen lekuan, azaleko anplitude-mapatan anomalia lineal eta zabala ageri da (ikusi 6.18. irudia). Zaldua eremurako sarrera bertan egonda gune horretatik ibilgailuak eta hazienda pasatzen dira. Horrek zoruaren sendotzea dakar eta ondorioz radar energia gehiago islatzea eragin dezake. Langatik hain gertu egonda, eremu hau miaketa magnetikotik at geratu zen, beraz ez dago alderatzeko daturik.

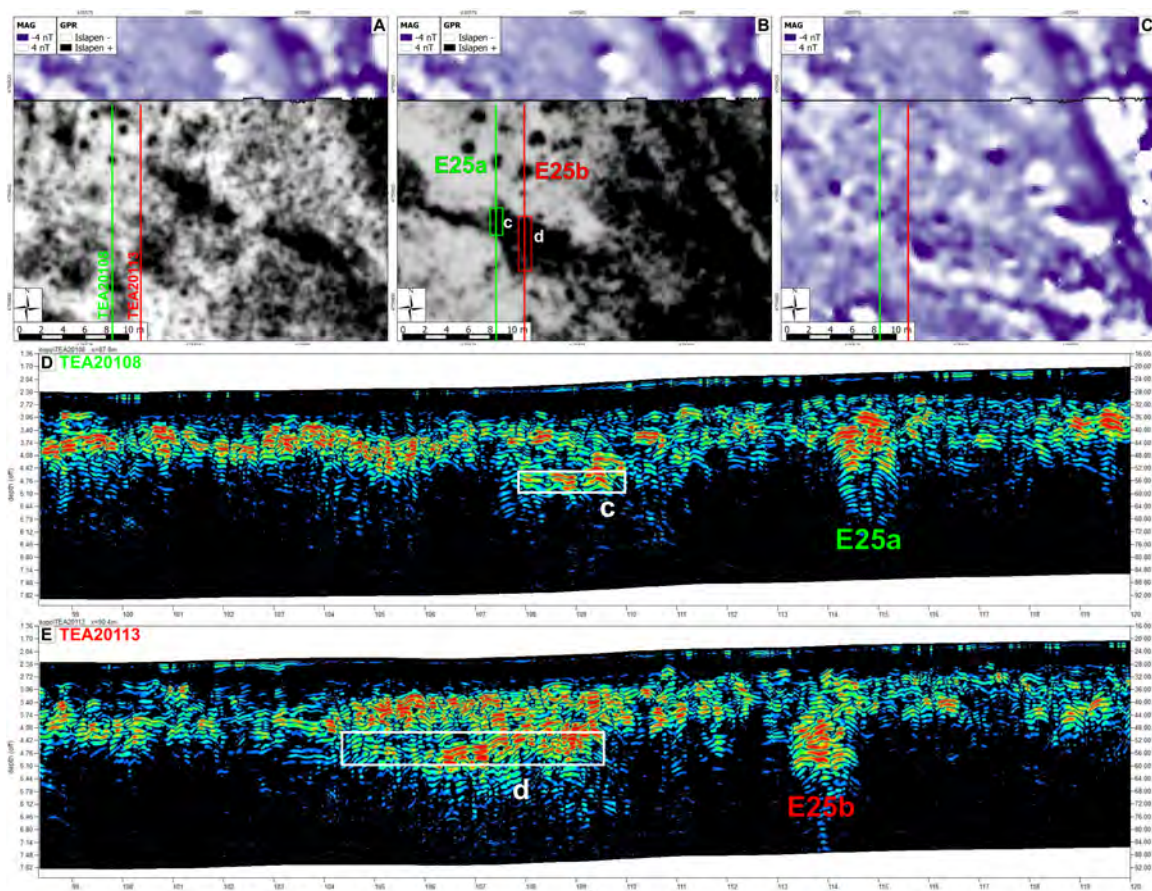
6.4.3.3. Sakoneko egitura berriak

Azalean agerturikoen gain, georradarrak gainazaletik urrunago dauden anomaliak detektatzeko aukera ere eman du. Multzo honetan bildu da ikerketa eremuaren iparraldeko mugan detektaturiko anomalia zirkular multzoa, lehenago deskribatu den E21 egituraren antz handia duena. Kasu honetan zazpi

anomalia zirkular ikus daitezke, hirunako bi lerrotan jarrita, hirugarren lerro bat izan daitekeenean bakarra ikusten delarik (ikusi 6.19. irudia). E25 izendatutako egitura honek miaketa eremutik at jarraitzen duenaren zantzu argiak daude, eta bere osotasunean deskribatu ahal izateko miaketa berria burutu behar da. Anomalia zirkularren arteko aldea konstantea da, 2,75 metro ingurukoa hain zuzen.

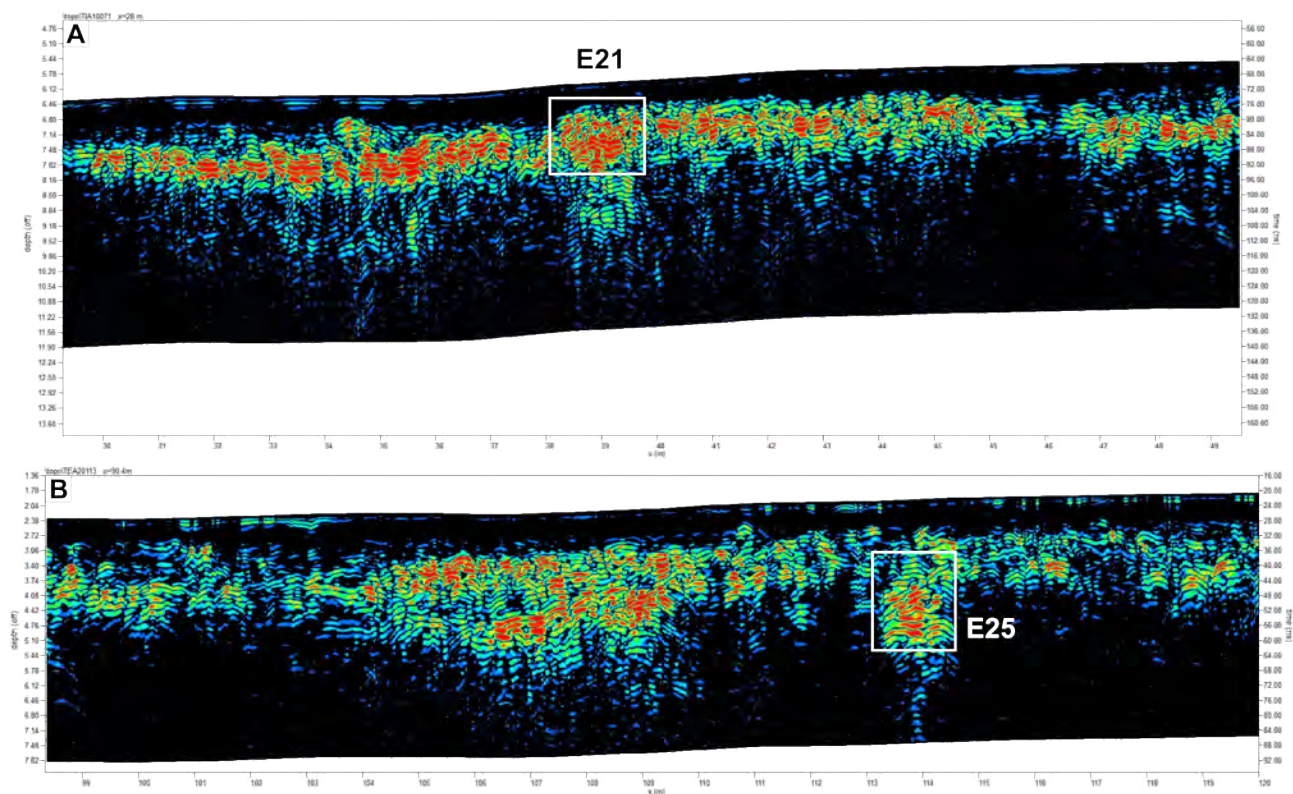


6.18. irudia: Georradar datuetan ageri den E24 anomalia lineala 2013ko ortofotoaren gainean (ikusi kokapena 6.14. irudian). 3. anplitude-mapa (0,26-0,44 m; $v = 8,54\text{cm/ns}$). Ortofotoaren iturria: ©*Instituto Geográfico Nacional*.



6.19. irudia: E25 egitura multzoa (ikusi kokapena 6.14. irudian). A: Georradar emaitzen 5. anplitude-mapa (0,53-0,70 m) miaketa magnetikoaren emaitzen gainean. B: Georradar emaitzen 9. anplitude-mapa (1,05-1,23 m) miaketa magnetikoaren emaitzen gainean. C: Miaketa magnetikoaren emaitza gune honetan. D: E25a egitura zeharkatzen duen TEA20108 profilari dagokion radargrama, topografiara egokitua. E: E25b egitura zeharkatzen duen TEA20113 profilari dagokion radargrama, topografiara egokitua. 600 megahertzeko datu-multzoa, $v = 8,54\text{cm/ns}$.

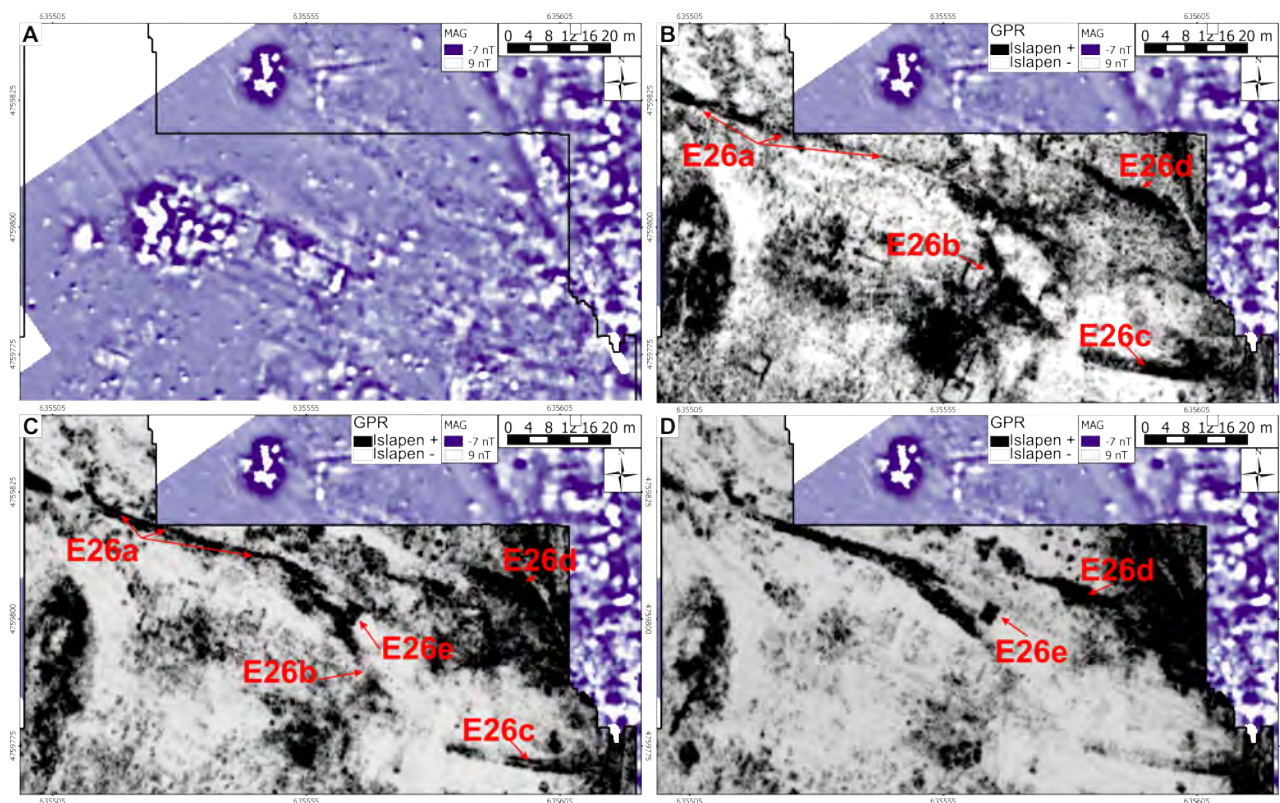
Anomalien zabalerari dagokionez, berriz, metro beteko diametroa ageri dute gutxi gora-behera. E21 egiturarekin gertatu bezala, miaketa magnetikoaren emaitzek ez dute gune honetan egitura zirkular hauek identifikatzeko moduko irudirik eskaini. Inguru honetan, gainera, erreka-stoaren eragina izan daitekeen alterazio magnetikoa detektatzen da, identifikazio argirik ez duen eta georradarrean ere ikus daitekeen beste egitura batek sortutakoarekin batera (ikusi 6.19. irudian c eta d bezala markaturikoak). Forma eta antolaketagatik, zutabe multzo bat bezala interpretatzen dira bi egitura hauek (E21 eta E25). Hala ere, kontraste magnetiko xumeak geruza arkeologiko lodirik ez dagoela iradokitzen du, eta baliteke kontserbazio maila baxua izatea. 6.20. irudian bi egituretako anomalia banaren gainetik pasatzen diren profilen radargramak erakusten dira, eta bertan ikus daiteke seinalea antzekoa dela. E25 multzoaren kasuan, egitura zirkularren sakoneran ez da inguruan beste islapenik aurkitu, eta horregatik irudikatzen dira hain ongi definiturik anplitude-mapetan. Kasu horretan, egitura hauen inguruko sedimentua homogenea dela ondoriozta daiteke. Ez da hala gertatzen E21 egiturakoekin eta, kota berebean ematen diren beste islapenen artean ageri direnez, inguruaren konposizioa heterogeneoa dela ondorioztatu behar da. Anplitude-mapen irudiak ere zaratatsuagoak dira bigarren kasu horretan (ikusi 6.15. irudia).



6.20. irudia: E21 eta E25 egituren anomalia zirkularren gainetik pasatzen diren bi profilen radargramak topografiara egokituta. 600 megahertzeko datu-multzoa.

E25 egituraren hegoaldean aurkitzen da sakoneko mailatan aurkituriko anomaliarik adierazgarrienetakoa. Miaketa eremuaren mendebaldeko mugatik hasita, hirurogei metro luze baino gehiago duen anomalia islakorra erakusten dute georradar bidez lorturiko anplitude-mapek. Egiturek adar ezberdinak darakutsa (ikusi 6.21. irudia), eta beraien arteko jarraipena ez da irudietan guztiz argitzen. Mendebaldeko tartean norabide konstantea daraman arren (E26a), momentu batean kurba sortzen du (E26b eta E26c), nahiz eta E26a-ren norabidean jarraipena badagoenaren zantzurik ikus daitekeen. Haez gain, E26d deitu zaio iparralderago, eta E25 egituraren hegoaldean, detektatzen

den anomalia zabalari. Azken honek eremu ezberdina okupatzen du anplitude-mapa ezberdinetan, sakonerarekin aldatzen dela adieraziz.

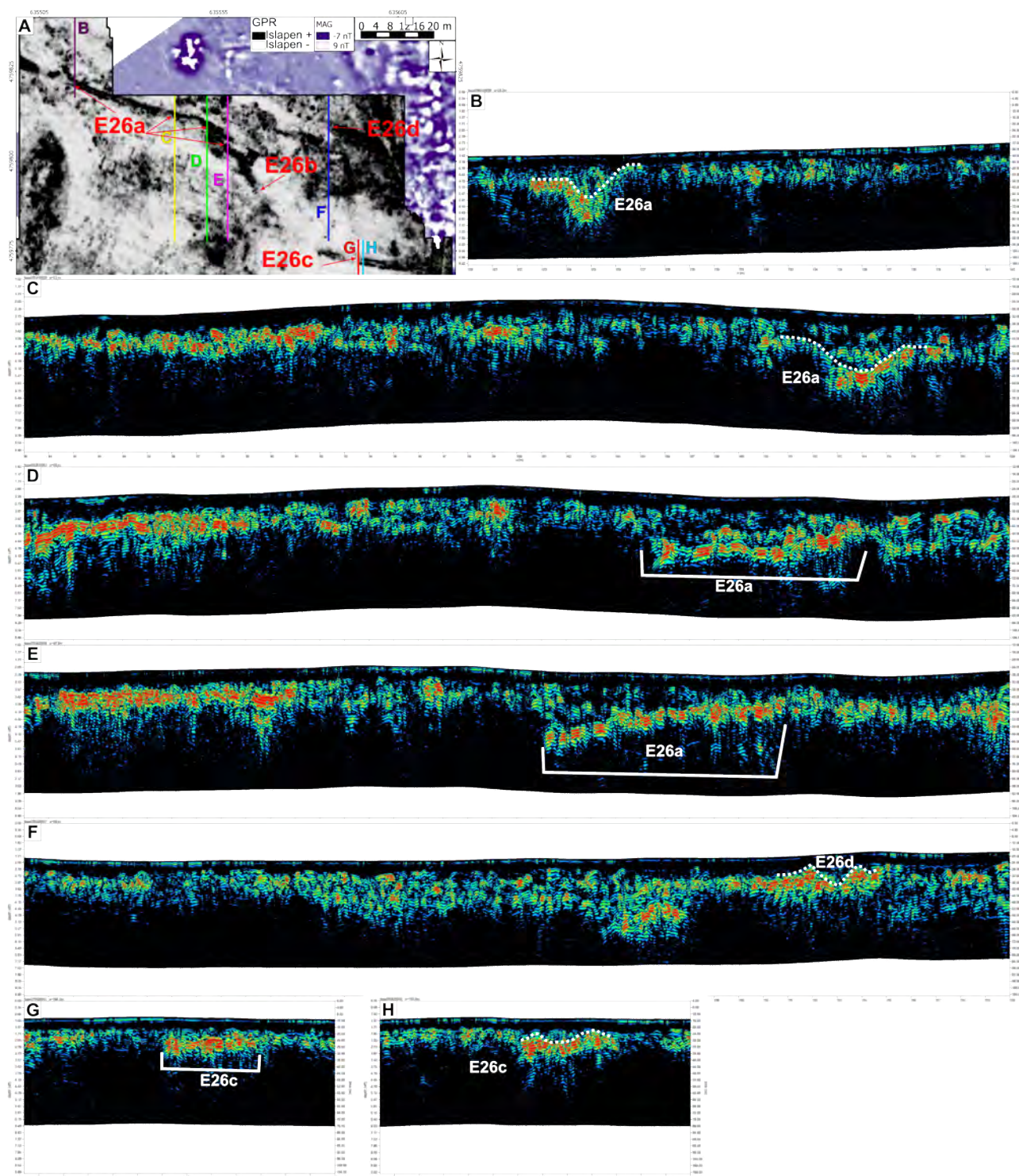


6.21. irudia: E26 anomalia multzoa. A: miaketa magnetikoaren emaitza. B-D: GPR datuekin sorturiko 6. (0,66-0,83 m), 8. (0,92-1,10 m) eta 10. (1,19-1,36 m) anplitude-mapak, hurrenez-hurren. 600 megahertzeko datu-multzoa, $v = 8,54\text{cm/ns}$

6.22. eta 6.23. irudietan erakutsi dira hauen gainetik pasatzen diren profiletariko batzuen radargramak, sekzioak aztertzeko aukera ematen dutenak. Horietan, E26a deritzonak mendebaldeko tartean, anplitude-mapetan anomalia lineal bezala ageri den tartean, uve itxurako sekzioa duela ikus daiteke (6.22. irudia, B eta C). E26b adarkatzetik gertu, ordea, sekzioa ez da hain argi definitzen, anplitude-mapek adierazten duten bezala gune honetan egitura konplexuagoa delako (6.22. irudia, D eta E). E26c eta E26d anomalien sekzioak ere, azalera egon arren, uve itxurakoak direla esan daiteke, profil batzuetan hain argi ikusten ez den arren (6.22. irudia, F, G eta H). Gauza bera gertatzen da E26b egiturarekin ere, 6.23. irudiako radargraman ikus daitekeen bezala. Egitura guzti hauek kanal itxurako sekzioa dutela esan daiteke beraz, eta horietariko batzuk naturalak izan daitekeela kontuan izan behar bada ere, gizakiak egindakoak direnik ezin da baztertu, bereziki E26ari dagokionean.

E26a eta E26b tarteen bidegurutzean ageri da georadar energia islatzen duen $3,5\text{m} \times 2,5\text{m}$ inguruko laukizuzena (E26e), gainazalarekiko bi metro inguruko sakoneran ($v = 8,54\text{cm/ns}$). TEA20073 profilak diagonalean zeharkatzen du egitura hau, eta radargramak sekzio karratua eta hondo laua duen egitura erakusten du (6.23. irudia, D). Georadar seinalea gutxi islatzen ez duen geruza ikusten da gainaldean, oro har homogenea dela adieraziz. Sakonera txikiagoan ere, laukizuzenaren forma errespetatzen duen islapen baxuko anomalia ikus daiteke (6.23. irudia, A). Honek lurrean ebakiriko egitura bat izan daitekeela iradokitzen du. Miaketa magnetikoaren emaitzek kontraste positibo xumeko zonaldea darakutsate egitura honi dagokion lekuan, suszeptibilitate altuagoko sedimentuekin bat

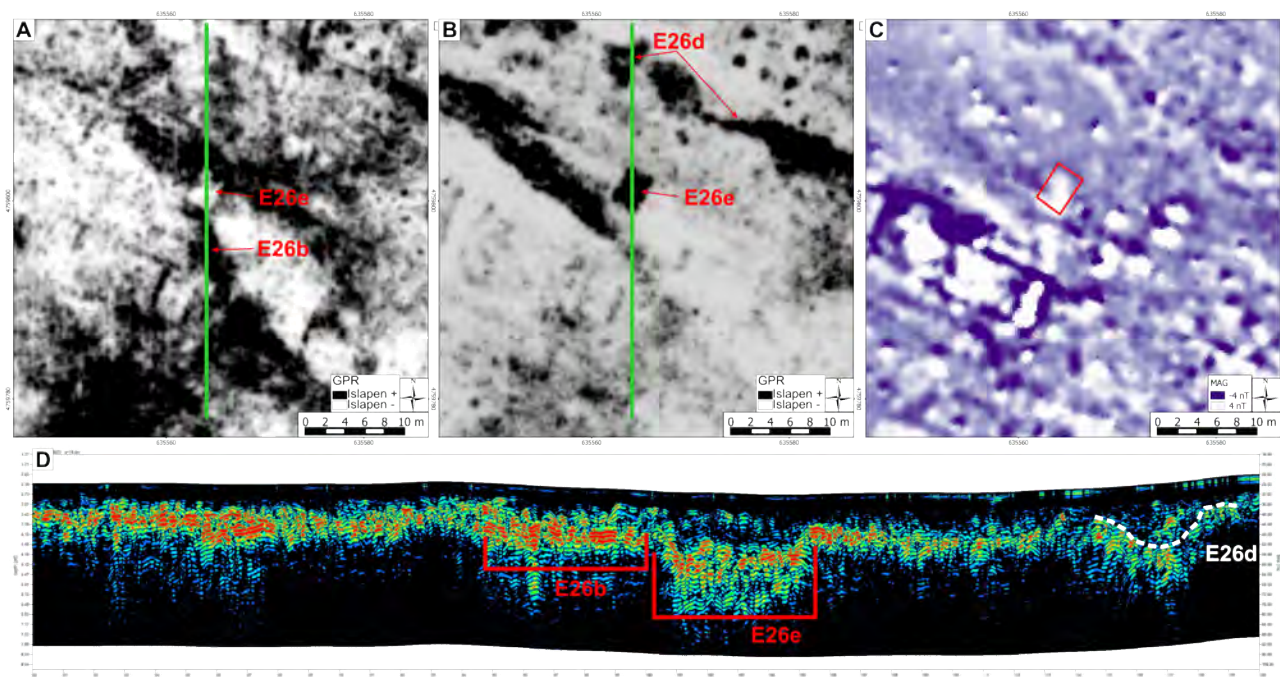
datorrena. Bi sistemen emaitzak bat datoz beraz, nahiz eta georradar datuenagatik izan ez balitz egitura hau oharkabean geratuko litzatekeen.



6.22. irudia: E26 anomalia multzoa zeharkatzen duten profilen radargrama filtratuak eta topografiara egokituak. A: Profilen kokapena GPR datuen 8. anplitude-maparen gainean (0,92-1,10 m). B: TMA10038 profila. C: TEA10020 profila. D: TEA10043 profila. E: TEA20058 profila. F: TEA20127 profila. G: TFA20012 profila. G: TFA20013 profila.

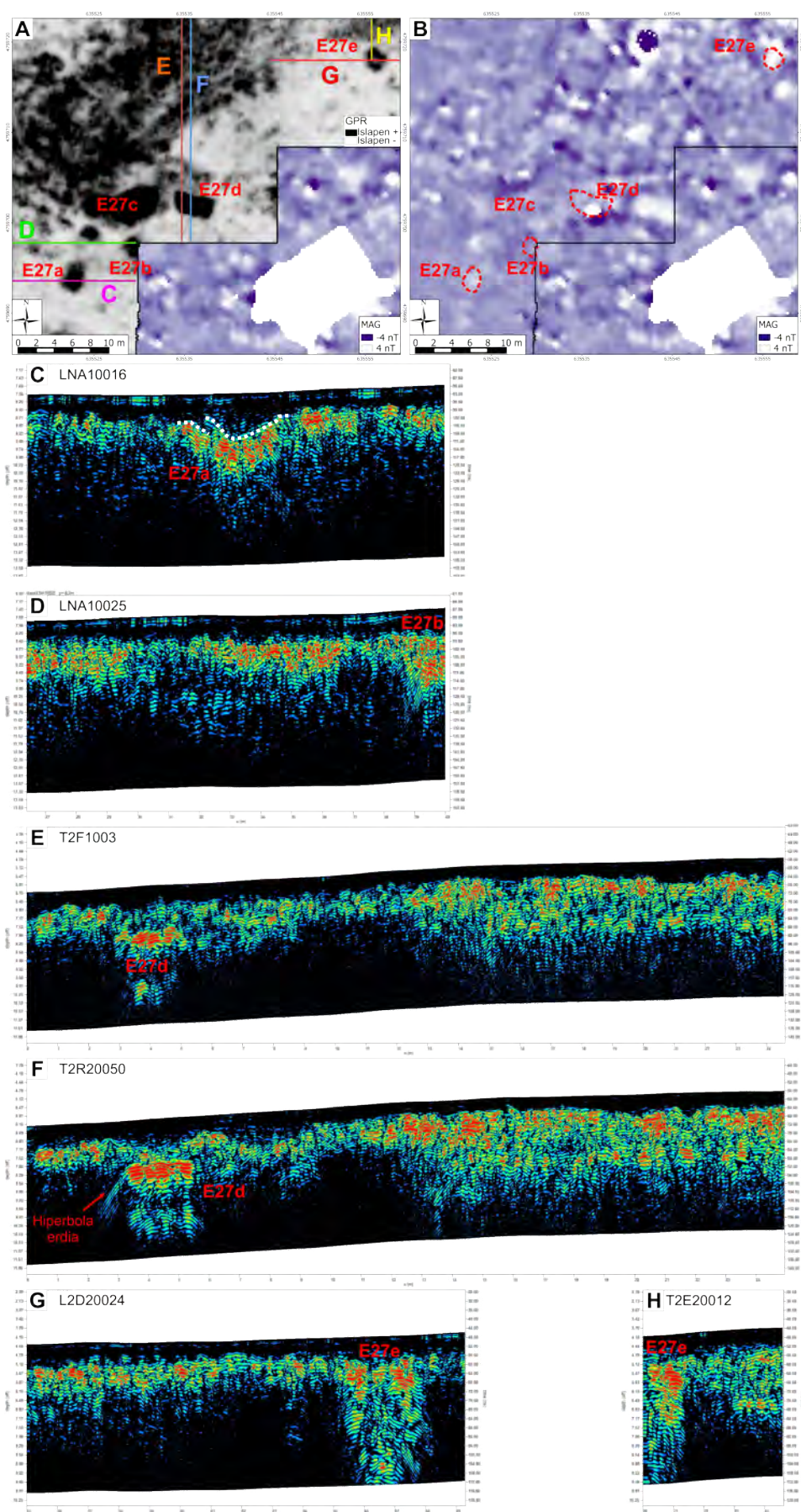
Orain arte aipatuez gain, badira sakoneran detektatzen diren beste anomalia batzuk. Horien artean nabarmentzeko modukoak iritzi dira E27 multzoan bildu direnak, eremu diskretuetara mugatuta daudelako eta radar energia gogor islatzen dutelako. P5 balizko plazaren hego-ekialdeko erpinaren kanpoaldean lau (E27a,b,c,d) eta E17 eraikuntza multzoaren hegoaldean beste bat (E27e) detektatu

dira (ikusi 6.14. eta 6.24. irudiak). Anplitude-mapan antzeko itxura eduki arren, 6.24. irudian erakutsi diren radargramek sekzio ezberdineko egiturak direla adierazten dute. E27a egiturak, adibidez, E26 egituraren antzeko uve itxurako sekzioa duela ikus daiteke, nahiz eta kasu honetan tamaina murriztua duten. Ondorioz, sakonune lokal bat bezala interpretatu da, bere jatorria naturala edo antropikoa den zehaztu gabe. E27c egitura islapen baxuko anomalia gisa ageri da azaleko anplitude-mapetan, ondoren etenune islakorra erakusten duelarik. Baliteke sedimentu homogeneoz beteta egotea, eta hondoa sortzen duen geruza gogorragoan islatzea radar energia. Egitura hau abenduan miaturiko eremuaren barne dago eta, plazaren hego-ekialdeko mugari darraionez, lubanarroa izan zitekeenaren ustea zegoen hasieran. Apirileko datuekin osatzean, jarraipenik ez duela ikusi ahal izan da, eta ondorioz lubanarroa izatea baztertu beharra dago.



6.23. irudia: E26e egituraren xehetasuna. A-B: GPR datuekin sorturiko 6. (0,66-0,83 m) eta 10. (1,19-1,36 m) anplitude-mapak, hurrenez-hurren. C: miaketa magnetikoaren emaitza eremu berdinean. D: egitura zeharkatzen duen TEA20073 profilar dagokion radargrama filtratua eta topografiara egokitua. 600 megahertzeko datu-multzoa, $v = 8,54\text{cm/ns}$.

E27b egitura miaketa eremuaren mugan aurkitzen denez, ez da sekzio osoa ikusteko aukerarik egon, nahiz eta ikusten den zatian islapena etenune lau batetik datorrela dirudien. E27d egiturak, berriz, oso ondo mugaturiko eta homogeneoa den islapena darakutsa (6.24. irudia, E eta F). T2R20050 profilean egitura honen izkinak sortzen duen hiperbola erdia ikus daiteke, egituraren muga ongi definituta dagoela adierazten duena. Radar seinalearen faseari behatuta islapena aireak sortua den ala ez jakin daiteke, eta kasu honetan alderantzikatzen ez denez, ez dela hutsunea ondorioztatu da. Beraz, oso islakorra den material homogeneo batez osatuta dagoela ondorioztatu behar da, agian hezetasun maila altua gordetzeko gai den egitura bat izan daitekeelarik. E27e egiturak, aldiz, islapen irregularra darakutsa profiletan. Kasu horretan, seinalea hobe egokitzen zaio ingurune heterogeneo batek sortuko lukeenari.

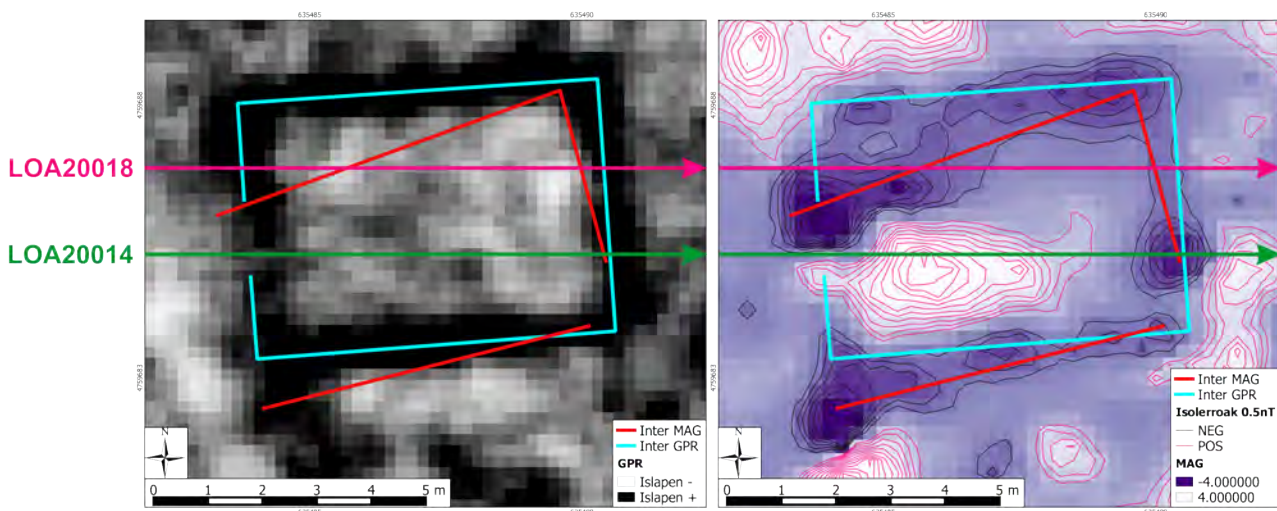


6.24. irudia: E27 egitura multzoa plantan zein sekzioan. A: Profilen kokapena georradar emaitzekin sortutako 8. anplitude-maparen gainean (21,6-25,7 ns). B: Miaketa magnetikoaren emaitza eremu berdinean. C: E27a egitura zeharkatzen duen LNA10016 profila. D: E27b egitura zeharkatzen duen LNA10025 profila. E: E27d egitura zeharkatzen duen T2F1003 profila. F: E27d egitura zeharkatzen duen T2R20050 profila. G: E27e egitura zeharkatzen duen L2D20024 profila. H: E27e egitura zeharkatzen duen T2E20012 profila. E27c egiturari dagokion sekzioa 6.37. irudian ikus daiteke

6.4.3.4. Egitura ezagunen informazio osagarria

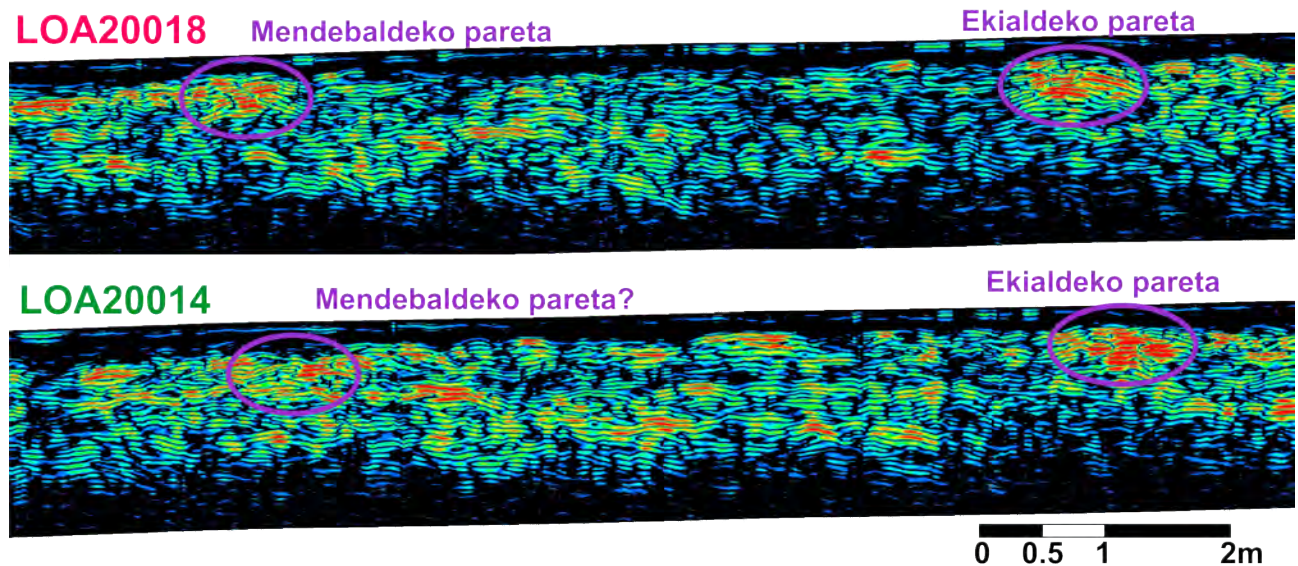
Miaketa magnetikoak azaleraturiko egitura batzuk georradar datuetan ere ageri direnez, alderaketa egin eta informazioa osatzeko aukera egon da. Kasu batzuetan bi sistemek igorritako irudiak bat datoz baina oro har beti dago sistema baten bidez bestearekin baino hobe ikusten den egitura edo ñabardurarik. Gainera, georradarrak hiru dimentsioko informazioa ematen duenez, zenbait kasutan egiturek sakoneran duten eboluzioa ikus daiteke.

Georradarrari dagokion ikerketa eremuaren hego-mendebaldean, adibidez, miaketa magnetikoan kontraste xumeaz ageri zen egitura batek georradar seinalearen ageriko kontrastea erakutsi du (E28 egitura, 6.14. eta 6.25. irudiak).



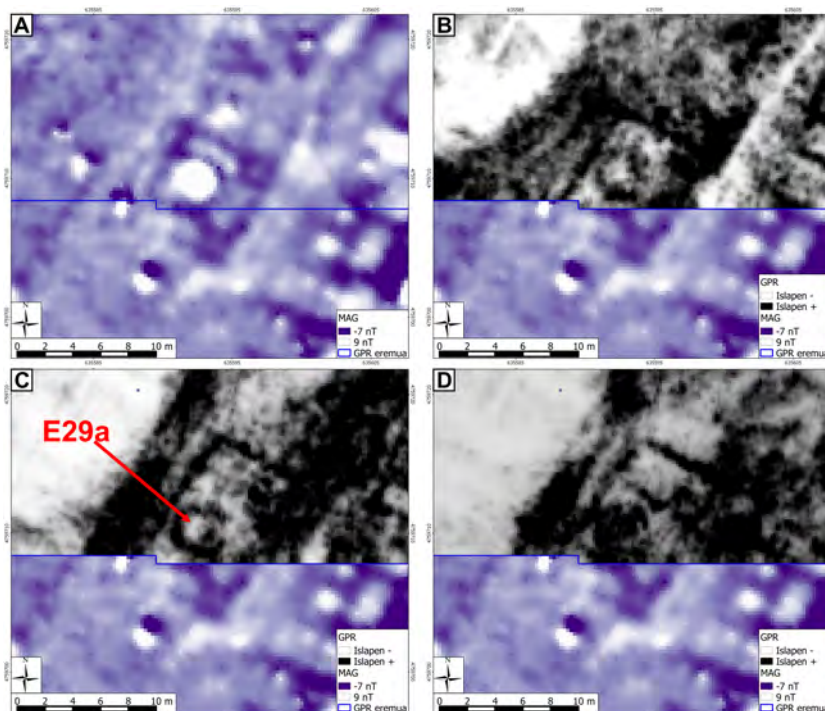
6.25. irudia: E28 egituraren interpretazioa georradar datuetan oinarrituz (urdinez) eta miaketa magnetikoan oinarrituz (gorriz). A. Georradar datuekin sorturiko 4. anplitude-maparen gainean (9,3-13,4 ns). B. Mapa magnetikoaren gainean (-4nT/4nT bitartean). 6.26. irudian erakusten diren profilen kokapena ere adierazi da.

Sakonera ezberdinetako anplitude-mapen arabera, 6,5 m x 5,5 metro inguruko laukizuzena da, eta ez da barne antolaketaren zantzurik ikusi. Anplitude-mapetan zein radargrametan sarrera mendebaldean izan dezakeela ematen du (ikus 6.26. irudia). Miaketa magnetikoen emaitzetan ere sarrera mendebaldean dagoela dirudi, bertan ez baita paretarik detektatu. Hala ere, bi miaketen emaitzak alderatzean, eta bereziki interpretazioak alderatzean, egituraren norabidea bat ez datorrela ikusten da. Kasu honetan ez dago zalantzarik georradarraren emaitzak lehenetsi behar direla, kontraste hobearekin erakustez gain egituren morfologia era leialagoan irudikatzen dutelako. Miaketa magnetikoaren interpretaziorako isoleroek markaturiko norabidea erabili zen, baina kontrastea xumea denez eta paretak ez denez homogeneouski detektatu, ez da harritzekoa norabidean desbiderakuntza hau eman izana. Georradar datuen interpretazio emaitza magnetikoaren gainean jarrita, zati batzuetan bat datozela ikus daiteke.



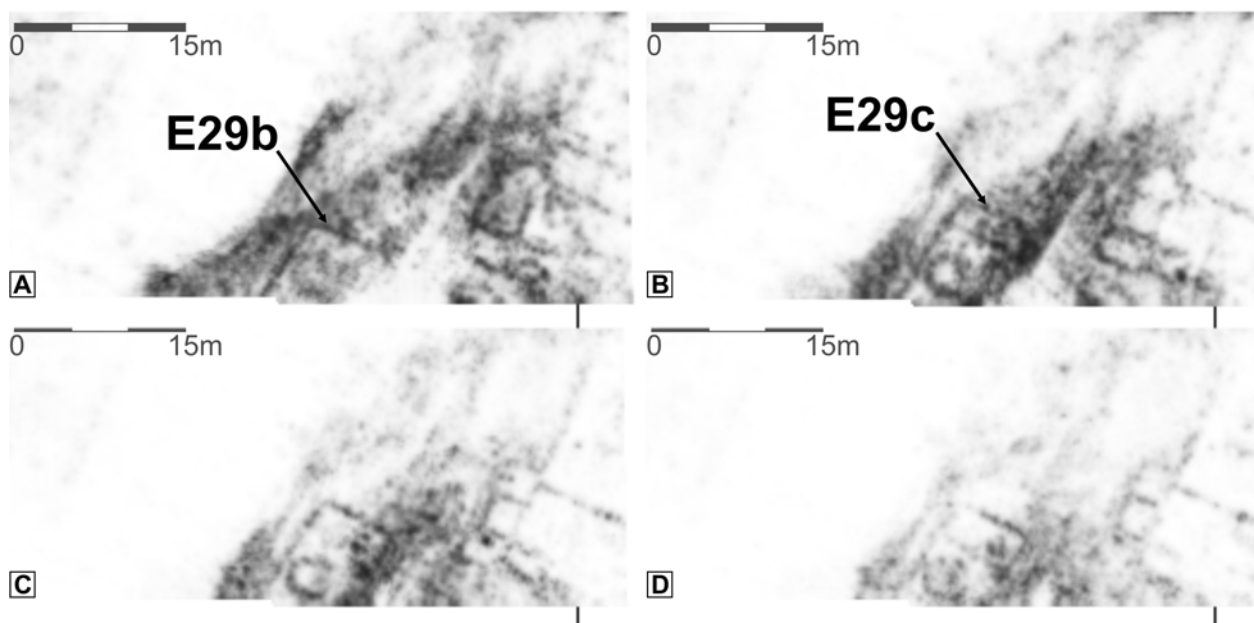
6.26. irudia: E28 egituraren balizko sarrera radargramatan. Profilen kokapena 6.25. irudian ikus daiteke. LOA20018 profileen paretak sorturiko anomalia argi ikusten den bitartean, kota berean eta balizko sarrera zeharkatzen duen LOA20014 profileen ez da hain nabaria de anomaliarik ageri. Kontserbazio mailarekin loturiko ezberdintasunak izan daitezkeen arren, baliteke sakonago dagoen anomalia sarrerako atean jarri ohi den harriak ere sortu izana.

Antzekoa gertatzen da georradarrez miaturiko eremuaren hego-ekialdean kokaturik dagoen eta E29 deitu zaion egiturarekin. Miaketa magnetikoa paret modura interpretaturiko anomalia linealak detektatu ziren. Georradar bidez ere paretak diruditen anomalia islakorrak detektatu diren arren, bi sistemen interpretazioak ez dator guztiz bat eta ez dira kokaleku berberetan azaltzen (ikusi 6.27. irudia).



6.27. irudia: Miaketa magnetikoa eta georradararen arteko alderaketa E29 egituraren. A: Mapa magnetikoa. B: 5. anplitude-mapa (12,3-16,41 ns). C: 7. anplitude-mapa (18,46-22,56 ns). D: 9. anplitude-mapa (24,61-28,71 ns).

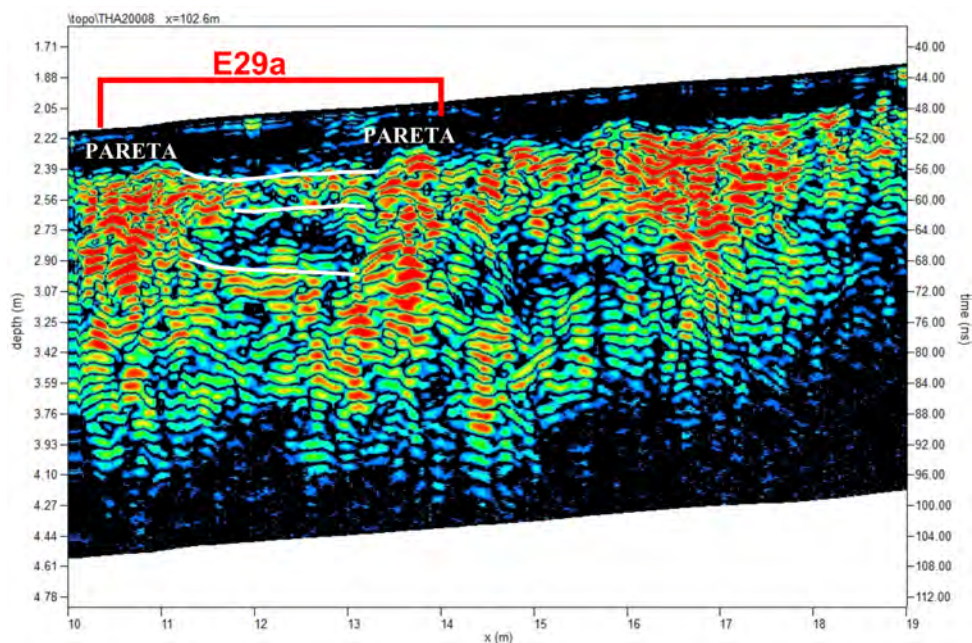
Dokumentu honetan lehenago aipatu izan den bezala, bi sistema hauen artean georradarra da egituren morfologia doitasun handiagoz deskribatzeko gaitasuna duena. Hortaz, baieztapenak heldu bitarte georradar datuetan oinarrituriko interpretazioei eutsiko zaie. Egitura hau maldan dagoen gunean kokaturik dago, eta horregatik topografiarekiko zuzenduriko anplitude-mapak ere burutu dira (ikusi 6.28. irudia). Bertan zuzendu gabeko anplitude-mapatan baino argiago ikus daiteke miaketa magnetikoan ere ikusten den E29b deituriko pareta. Hau E29c baino gertuago dago gainazaletik, baina sakonera ezberdintasuna hogeitazentimetro ingurukoa izanda, kontraste magnetikoan eragin duen beste faktoreren bat egongo dela pentsatzekoa da.



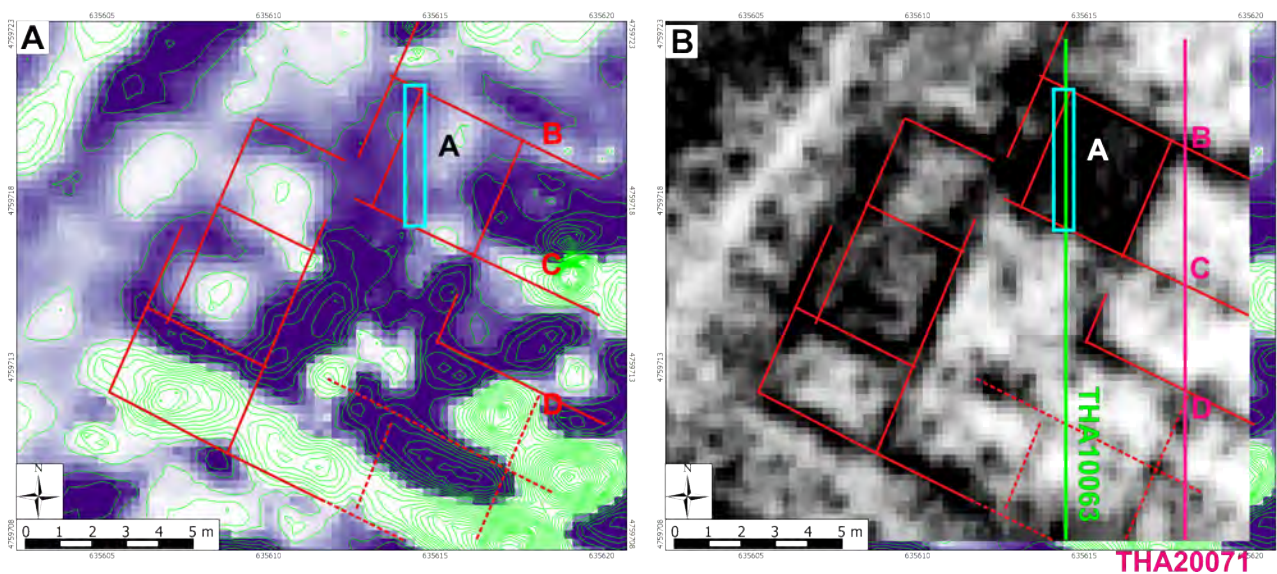
6.28. irudia: Topografiarekiko zuzenduriko perfilekin sortutako anplitude-mapak E29 egituren, sakoneraren arabera antolatuta. $v = 8,54\text{cm/ns}$.

Bestalde, miaketa magnetikoan kontraste positibodun anomalia borobila detektatu zen eraikin honen barnealdean (E29a). Georradar datuetan egitura honen perimetroak energia islatzen duela ikus daiteke, sakonera handitu ahala barnealdea islakor ageri delarik. Kontraste magnetiko positiboa suszeptibilitate handiagoko sedimentuek azalduko lukete, baina ez da konbustio batek sortua izatea espero. Izan ere, tamaina horretako konbustioak sortuko lukeen anomalia indartsuagoa izango litzateke, iparraldean kontraste negatiboko txapela karakteristikoa izango zukeena (ikusi 2.2.5.4. atala). Horregatik, gainazaleko sedimentuak pilatu izango lituzkeen egitura bat izan daitekeela uste da, baieztatu bitartean putzu bati esleitu zaiolarik. Georradar datuetan putzuaren paretak ikusiko lirateke, harrizkoak badira beste paretak lez islatzea logikoa delako. Barruko sedimentu homogeneousak, aldiz, ez luke radar energia islatuko (ikusi 6.29. irudia). Miaketa magnetikoan, berriz, barruko sedimentuak izango lirateke kontrastea sortuko luketenak.

Balitzko putzuaren ekialdean kokatzen da miaketa magnetikoan izendatu gabe geratu zen beste eraikin bat, orain E30 bezala izendatua izan dena (ikusi 6.14. eta 6.30. irudiak). Kasu honetan ere pareta bezala identifikaturiko anomaliak ez datoz beti bat bi sistemekin lorturiko irudietan, nahiz eta puntu amankomunak ere badituzten. Espero daitekeen bezala georradar datuekin sorturiko irudiek definizio hobearekin, bai sistemaren izaeragatik zein bereizmen altuagoko datuek izateagatik.

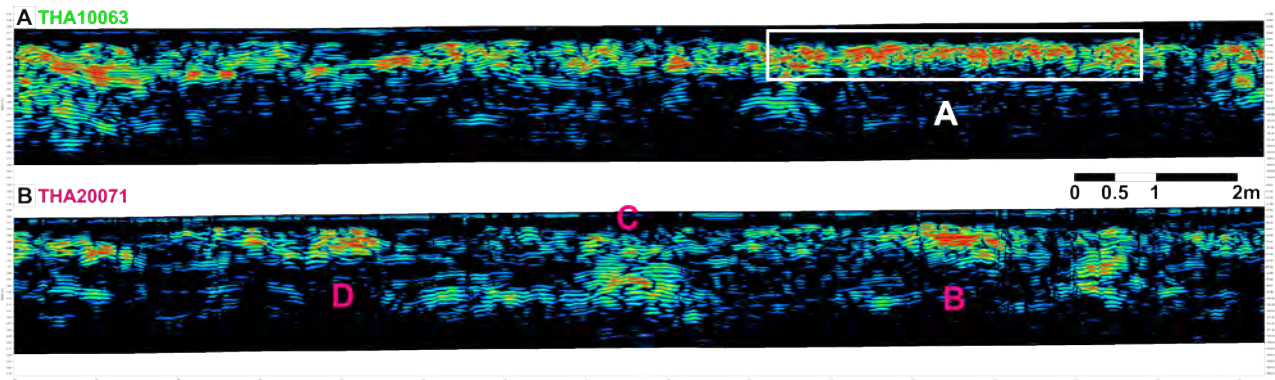


6.29. irudia: E29a egitura zeharkatzen duen profilari dagokion radargramaren zati bat. 600 megahertzeko datu multzoa, prozesaturiko eta topografiara egokitutako THA20008 radargrama ($v = 8,54\text{cm/ns}$).



6.30. irudia: E30 egitura. A. Mapa magnetikoa (-4 nT urdinez, 4 nT zuriz, isolerroak 2 nanoteslaro). B. Georradar datuekin sorturiko 5. anplitude-mapa (0,53-0,70 m). 6.31. irudiko profilen kokapena eta horietan ikus daitezkeen paretak ere adierazi dira. Lerro gorriak georradar datuetan oinarritutako interpretazio sintesiari dagozkio.

Aipatzekoa da eraikinaren balizko gelatariko batek georradar seinalea homogeneouski islatzen duela, miaketa magnetikoan kontrasterik erakusten ez duen bitartean. Izan ere, zoru edo prestaketa baten ondorio izan daiteke. 6.31. irudiko profiletan argi ikusten da gela honen eta albokoen arteko ezberdintasuna, lehenean laua den geruza islakorra ageri delako, eta besteak radar seinalea kasik islatzen ez duten gune bezala ageri direlako. Azken hauetan kontraste magnetikoa nabariagoa da, seguruenik sedimentu arkeologikoen pilaketak eragindakoa. Baieztatu bitartean, beraz, kontraste magnetiko eza baina georradar energiaren islapena darakutsan gelak harrizko edo beste material gogorreko zoruak duela ondoriozta daiteke; kontraste magnetiko positibodun baina georradar seinalea islatzen ez dutenek, berriz, prestaketa berezirik gabeko zoruak izango lituzkete.



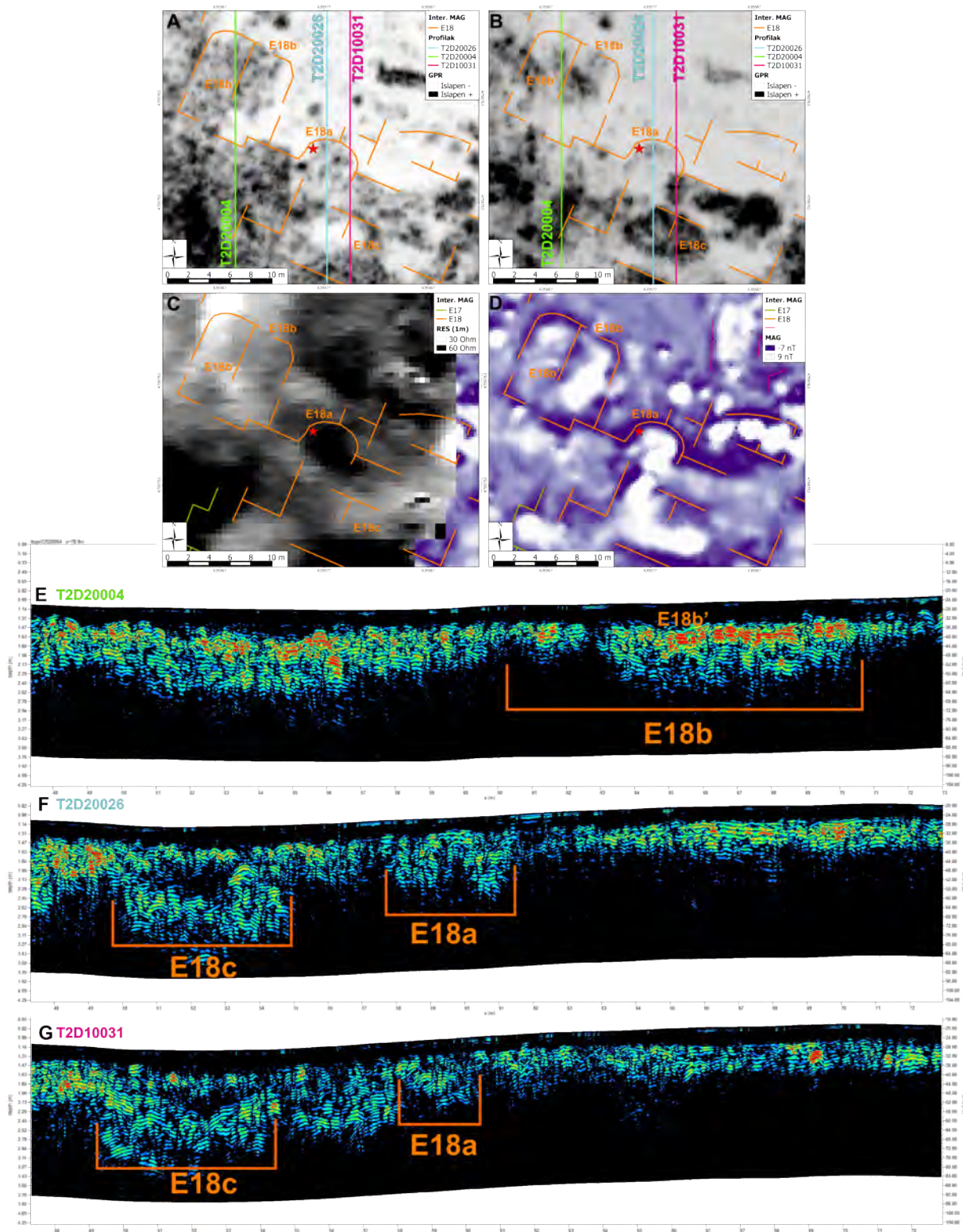
6.31. irudia: E30 egiturako gela bateko balizko zorua georradar profiletan, eta beste gelekiko alderaketa. Anplitude-mapan ageri diren egiturak radargrametan seinatu dira. C deituriko pareta sakonera handiagoan dagoenez, 5. anplitude-mapa honetan ez da ongi irudikatzen (0,53-0,70 m).

Miaketa magnetikoan E18 moduan izendaturiko anomalia multzoak harturiko eremua bereziki interesgarria da bi sistemen arteko alderaketarako. Izan ere, eremu honetan badira kontraste magnetiko nabaria erakutsi arren georradar datuetan detektatu ez diren egiturak, bietan detektatu direnak, zein georradar datuen anplitude-mapetan argi ikusi arren kontraste magnetikorik erakutsi ez dutenak (6.32. eta 6.33. irudiak). Portaera geofisiko horren jatorria, gainera, ezin izan da beti azaldu. Adibidez, miaketa magnetikoan detektaturiko konbustio zantzuak georradarraren bidez ez ikustea ez da harritzekoa, eta seguruenik horiekin erlazionaturiko eraikuntza egiturarik ez dagoenaren seinale da. Miaketa magnetikoaren emaitzetan E18a eta E18b bezala izendaturikoak georradar emaitzetan ez ikustea, aldiz, ez da hain erraz azaltzen ahal eta eraikin bezala interpretatzea zalantzan jartzen du. Abenduan burututako miaketa elektrikoak anomalia multzo hau barneratzen du, eta emaitzak ikusgarriak izan ez diren arren, kasu batzuetan lagungarri suertatu da beste sistemen osagarri bezala.

6.32. irudian erakusten diren T2D20026 eta T2D100031 profilei dagozkien radargrametan estratigrafiaren ezjarraitasuna ikus daiteke E18a egitura dagoen tokian, baina ez da pareta bati esleitu ahal zaion islapen argirik nabari. Sakoneko anplitude-mapetan ere E18a egituraren forma bera darraien etenunea ikus daiteke, egituraren barnealdeak energia gehiago islatzen duelarik. Sistema elektrikoan ere gune erresistenteagoa ikusten da kokapen honetan, bai lehen mailan (0,5 metroko alde) zein bigarrenean (1 metroko alde). Hiru sistemak bat datoz, beraz, inguruarekiko ezberdina den zerbait detektatzean, baina eraikuntza denik ezin da baieztatu. Izan ere, georradarrak estratigrafia ezberdina dagoela erakutsi du, baina ez da paretei esleitu ahal zaion islapenik detektatu. Anomalia honen gainean zulaturiko BH26 zundan 20 zentimetro eskaseko arkeologia geruza detektatu zen, eta bertan litologia ezberdineko klastoak ageri ziren (ikus kokapena 6.32. irudian). Azpiko geruzan higitutako tupak agertu ziren, buztinezko klasto handiak eta prezipitatutako manganesoa ikus zitekeelarik. Maila heterogeneoak dira, beraz, eta ondorioz georradar islapena azaldu ahal dutenak. Aldi berean, klastoek erresistentzia handiagotu izana pentsatzekoa da. Kontraste magnetikoa zerk sortu duen, aldiz, ez da argitu.

E18b egiturak, aldiz, ez du bere osotasunean georradar seinalearen islapen homogeneorik erakusten. T2D20004 profilarri dagokion radargraman ikusten da nola tarte batean oso islakorra den geruza ageri duen, beste batean apenas anomaliarik sortzen ez duelarik (6.32. irudia, D). Hala ere, kasu honetan paretak izan litezkeen egiturak sortuko luketen islapen batzuk ikusten dira profilean (E18b' kasu),

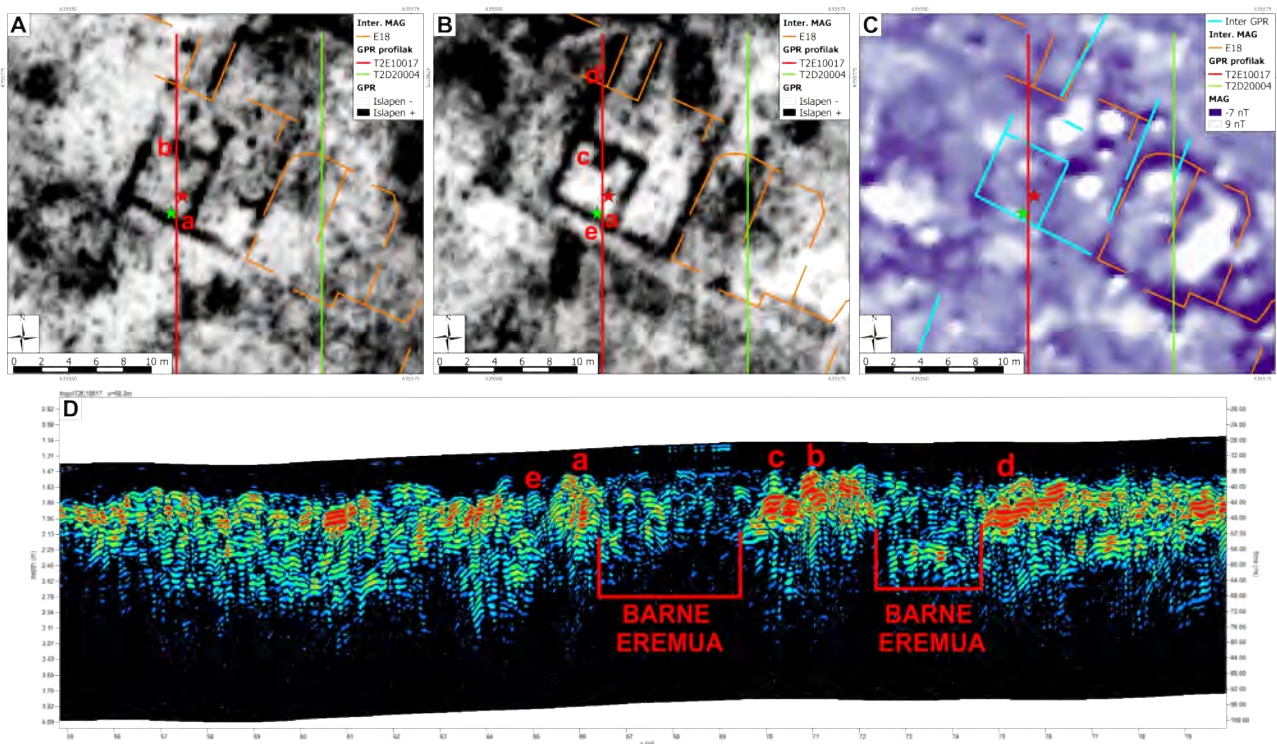
baina anplitude-mapetan ez da ongi definituriko formarik ageri. Ondorioz, erabilpen antropikoarekin loturiko aztarnak dirudite, baina ez da ongi kontserbaturiko paretadun egiturarik espero. Miaketa elektrikoan ere ez da gune honetan anomalia esanguratsurik detektatu.



6.32. irudia: E18a eta E18b egituren xehetasuna. A eta B: miaketa magnetikoan oinarritutako interpretazio eskema georradar datuekin sorturiko 7. (0,75-0,92 m) eta 10. (1,13-1,30 m) anplitude-mapen gainean hurrenez-hurren. C: miaketa magnetikoan oinarritutako interpretazio eskema miaketa elektrikoaren emaitzaren gainean (1 metroko aldea elektrodoen artean, hobetutako datuak). D: miaketa magnetikoan oinarritutako interpretazio eskema mapa magnetikoaren gainean. Izar gorriak BH26 zundaketaren kokapena adierazten du. E, F eta G: Egitura multzo hau zeharkatzen duten profilen radargramak, zuzenketa topografikoa aplikatu ostean (600 MHz; $v = 8,175\text{cm/ns}$).

Georradar datuei esker miaketa magnetikoan kontrasterik erakutsi ez zuten bi egitura berri identifikatzeko aukera egon da. E18c deritzona sakoneko anplitude-mapatan ageri da, abside itxurako 7,5 m x 4 metro inguruko gune islakor baten moduan (6.32. irudia, B). Egitura hau zeharkatzen duten profilek bi maila erakusten dituzte, tartean homogenea den geruzak ez duelarik georradar energia islatzen. Ikatzetan aberatsa den sedimentuz beterik balego kontraste magnetiko nabaria sortu izango luke, eta miaketa magnetikoan anomalia difusoak ageri diren arren ez da forma honetako ezer definitzen. Miaketa elektrikoak ere, ez du gune honetan nabarmentzeko ezer detektatu. Ondorioz, egitura honen izaera eta funtzioa ezezagunak dira.

Bestalde, E18b egituraren mendebaldean miaketa magnetikoan ageri ez zen beste egitura bat detektatu du georradarrak. 9,5 m x 12 metro inguruko laukizuzen bat da, iparraldeko limitea ikusten ez zaiona (6.33. irudia). Egitura honek P5 guneko orientazio nagusia errespetatzen du eta balizko plazaren ekialdeko mugaren lerroan ageri da (ikus 185 orrialdeko 6.14. irudia). Hego-mendebaldeko erpinean 5,5 metrotako karratu bat definitzen da, honen barnean laukizuzen itxurako beste anomalia bat ikus daitekeelarik (6.33. irudian *c* deritzona). Gaietik pasatzen den profilaren radargraman ikus daitekeenez, azken hau paretak baino sakonago dago.

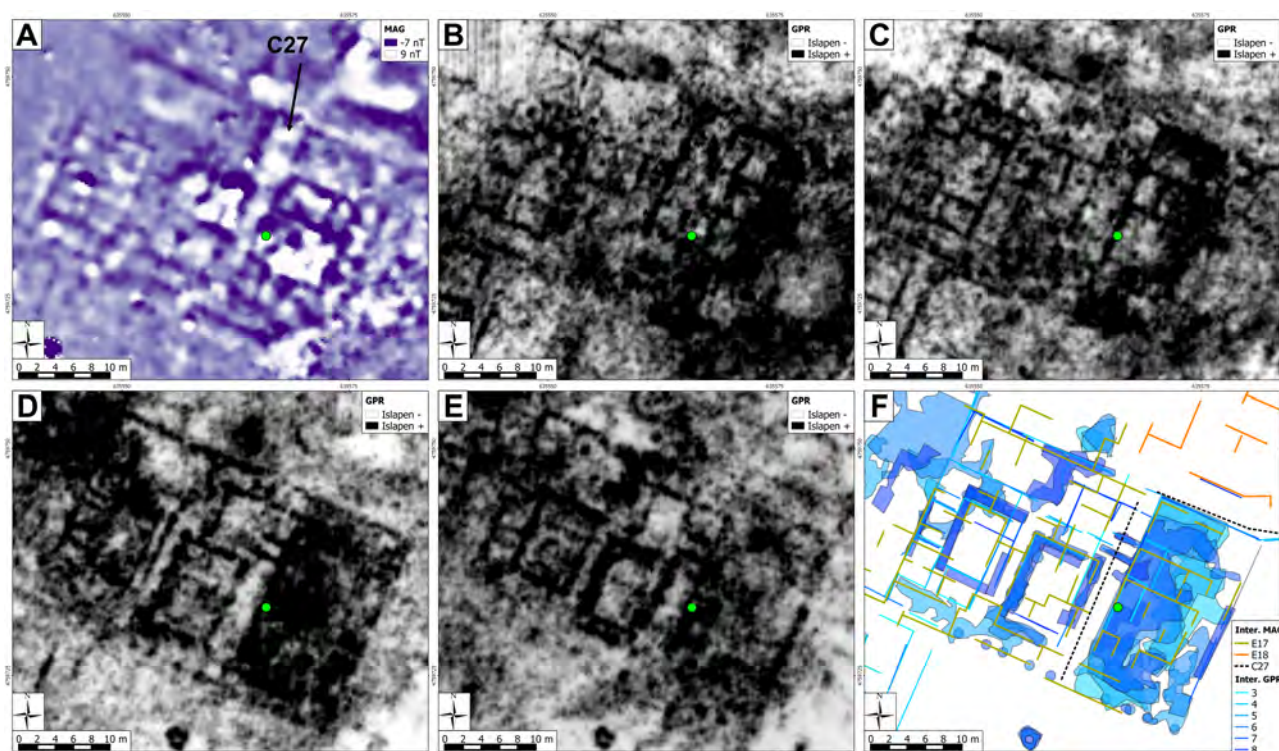


6.33. irudia: E18d egituraren xehetasuna. A. B. C. Miaketa magnetikoan oinarritutako interpretazio eskema georradar datuekin sorturiko 3. anplitude-maparen gainean (0,25-0,42 m), 5. anplitude-maparen gainean (0,50-0,67 m) eta mapa magnetikoaren gainean, hurrenez-hurren. BH22 zunda izar berdez adierazi da, eta BH22A zunda izar gorritz. D. Egitura multzo hau zeharkatzen duen T2E10017 profilar dagokion radargrama, zuzenketa topografikoa aplikatu ostean. Anplitude-mapetan ikusten diren anomalia batzuk izendatu eta radargraman ere identifikatu dira.

Eraikin honen barnealdeko espazioek ez dute radar energia islatzen, eta horregatik ez da zoru zurrunik espero beraietan. Hala ere, aztarnategiko beste guneetan gertatzen ez den bezala, barnealdeko espazio hauek ez dute kontraste magnetiko nabaririk sortzen. Bertan zulatutako BH22A zundan ikatz eta zeramika printzak zituen geruza bat ikusi zen 0,3 m eta 0,5 metro bitartean, nahiz eta ez zen geruza arkeologiko bezala erregistratu (Andrews et al. 2014). Sedimentu arkeologikoz osaturiko geruza lodirik

ez dago, beraz, eta hori izan daiteke kontraste magnetiko ahularen arrazoa. BH22 zundak oztopoa aurkitu zuen 0,30 metroko sakoneran, eraikinaren hegoaldeko paretaren kokalekuan (ikusi 6.33. irudia zunden kokapenerako). Aipatzekoa da E18d egituraren hegoaldean ikusten den islapen baxuko anomalia lineala (6.33. irudian *e* deritzona). 80 zentimetro inguruko zabalera du eta 23 metro inguruko luzeran jarrai daiteke. Bere jatorri eta funtzioa argitzeke dagoen arren, sedimentu homogenea duen egitura bat bezala interpretatu beharko litzateke.

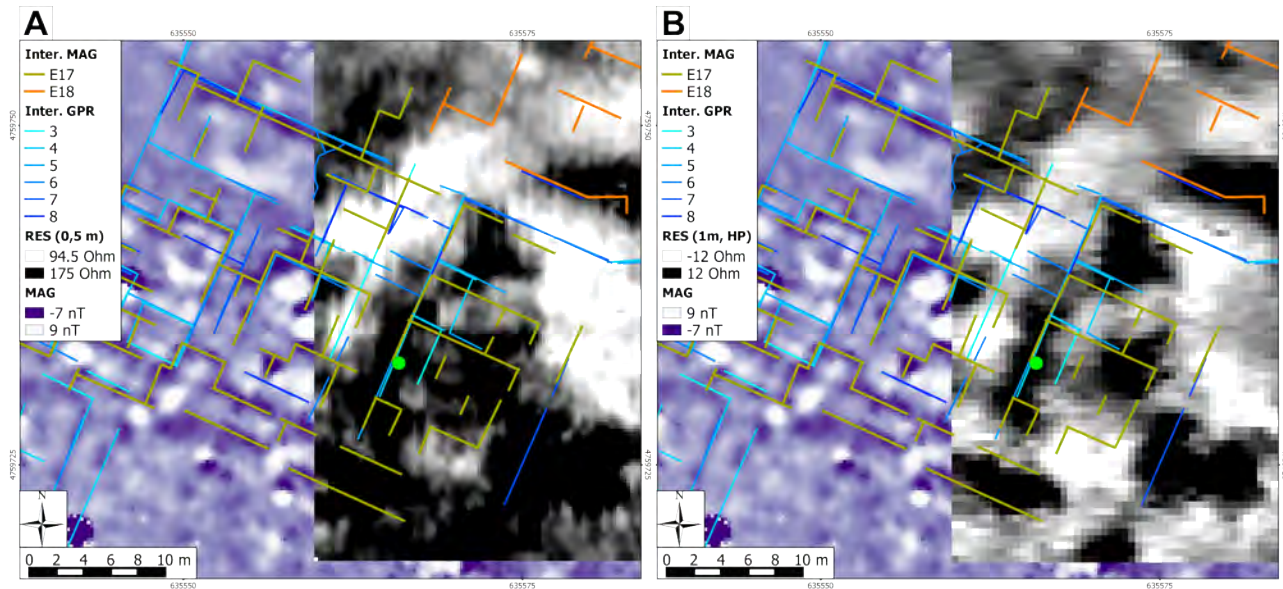
E18 multzoaren hegoaldean kokatzen da E17 multzoa. Miaketa magnetikoan oinarrituta antzeko hiru moduluz osaturiko eraikin multzo bezala interpretatu da eta, mapa magnetikoan balizko paretak ongi definitzeari esker, horien oinplanoaren xehetasun ugari lortzerik egon da. Georradar datuak erabiliz sorturiko anplitude-mapetan ere, eraikin hauen paretak definizio egokia aurkeztu dute. Hein handi batean bi sistemekin lorturiko irudiak bat datozen arren, georradarrak eskaintzen duen bereizmen altuagoari eta 3D informazioari esker xehetasun berriak lortu dira. Miaketa elektrikoan, berriz, pareta hauek ez dira ongi definitu eta anomalia zabalak ikusten dira batik bat. 17a deritzon eraikinaren ipar-ekialdean kokatzen da 2012. urtean induskaturiko BU-17/3/2012 zundaketa. Miaketa magnetikoan gertatu bezala, indusketan azaleraturiko 103 pareta bat dator georradar datuetan ageri den islapen altuko anomalia lineal batekin, gune honetan geofisika eta indusketaren arteko konkordantzia altua berretsiaz (ikusi 6.34. irudia).



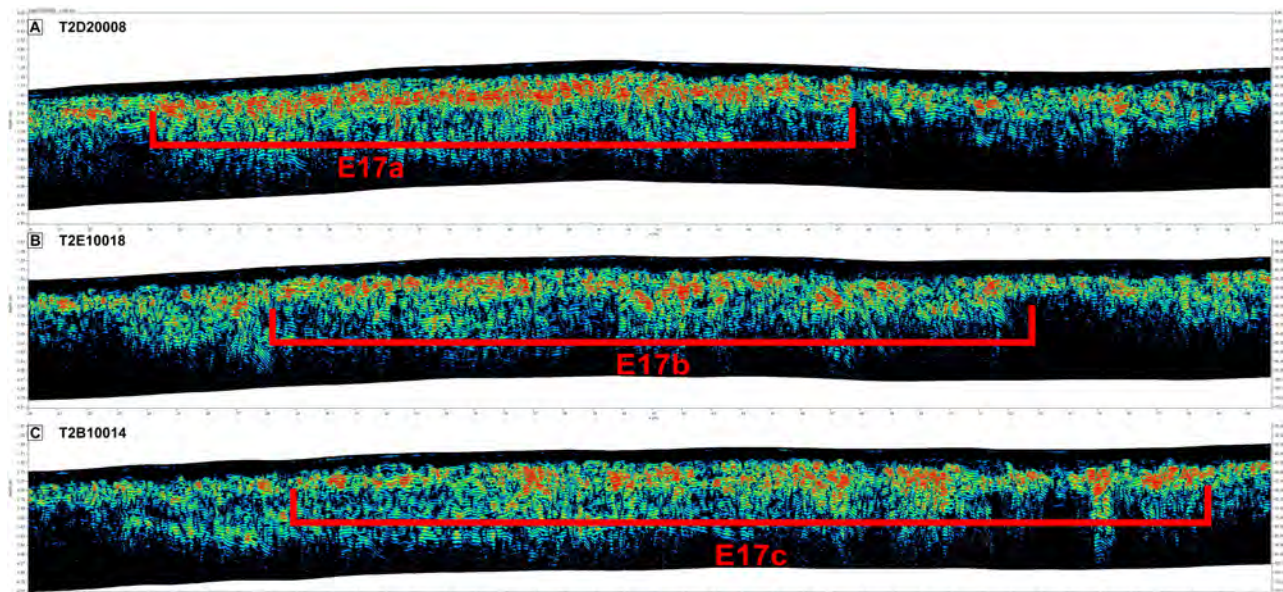
6.34. irudia: E17 egitura multzoaren ikuspegi ezberdinak. 2012an indusaturiko kata puntu berde batez seinatu da irudi bakoitzean, testuan aipaturiko 103 paretaren gainean. A: Miaketa magnetikoaren emaitza. B: Georradar datuekin sorturiko 3. anplitude-mapa (0,25-0,42 m). C: Georradar datuekin sorturiko 4. anplitude-mapa (0,38-0,55 m). D: Georradar datuekin sorturiko 6. anplitude-mapa (0,63-0,80 m). E: Georradar datuekin sorturiko 7. anplitude-mapa (0,75-0,92 m). F: Bi miaketetan oinarritutako interpretazioen alderaketa. 600 megahertzeko datu-multzoa, $v = 8,175\text{cm/ns}$.

Miaketa elektrikoan ere pareta honekin bat datorren gune erresistiboa ikus daiteke (ikusi 6.35. irudia, B). Pareta honen mendebaldeko esparruan errekarizko zorua ikusi zen indusketan. Georradarrak, sakonera batetik aurrera, islapen altuko gune bezala irudikatzen du gune hori eta E17a-ren eremua

oro har. Baliteke, beraz, eraikin honen guztiaren azpian errekarizko prestakuntza bat egin izana. Beste bietan, aldiz, georradarrak ez du horrelako seinalerik erakutsi, E17a eta besteen artean nolabaiteko ezberdintasuna azaleratuz (ikus bakoitzaren sekzioa 6.36. irudian). Miaketa elektrikoak E17a eraikina besterik barneratu ez duenez, ezin da alderaketa hau burutu. Hala ere, irudietan ez da E17a-k harturiko eremua erresistentzia altuko eremu homogeen bezala agertzen, nahiz eta oro har ingurua baino erresistiboagoa ageri den.



6.35. irudia: Miaketa elektrikoaren emaitzak E17 egitura multzoaren gainean. 2012an industuriko kata puntu berde batez seinalatu da irudi bakoitzean, testuan aipaturiko 103 paretaren gainean. A. Lehen mailari (0,5 metroko aldea) dagozkion emaitza hobetuak. B. Bigarren mailari dagozkio emaitza prozesatuak (1 metroko aldea, *hi-pass* filtoa).

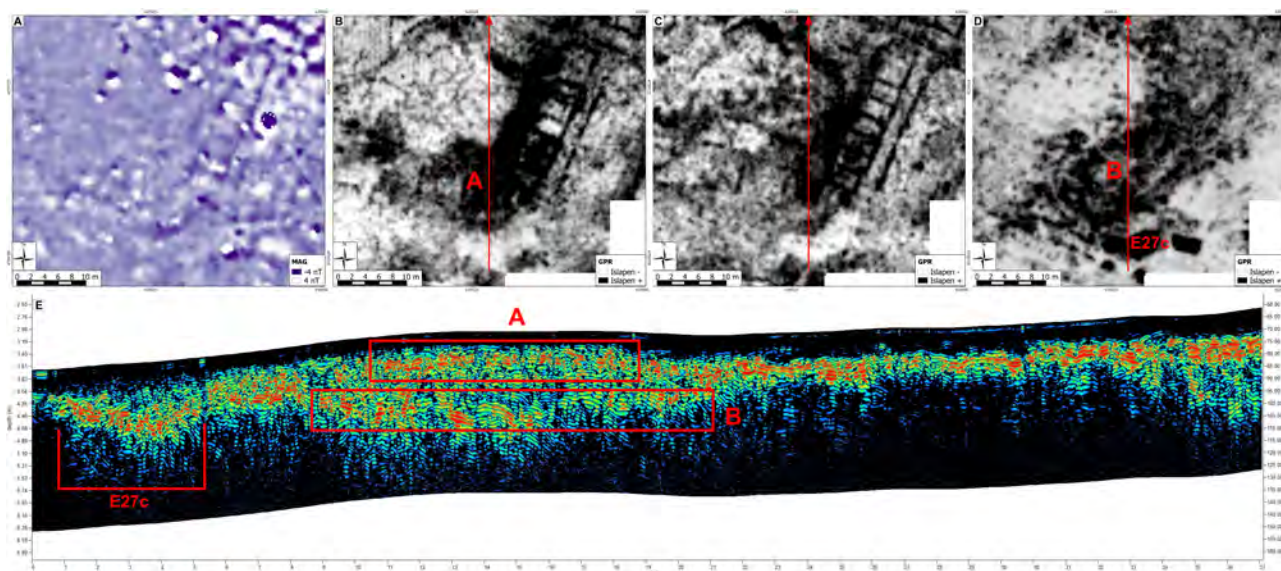


6.36. irudia: E17egitura multzoaren eraikin bakoitzaren sekzioa. A. E17a zeharkatzen duen T2D20008 profilaren radargrama, prestaketa izan daitekeen geruza islakor jarraitua erakusten duena. B. E17b eraikina zeharkatzen duen T2E10018 profilaren radargrama. C: E17c eraikina zeharkatzen duen T2B10014 profilaren radargrama. Azken bietan, anolamia islakor ugari agertzen du arren, ez da geruza jarraiturik ikusten, eta baliteke kasu horietan prestakuntza zorurik ez egotea. Radargrama guztiak 600 megahertzeko antenarekin jasoak dira, eta zuzenketa topografikoa aplikatu zaie.

Miaketa magnetikoan C27 izendaturiko balizko zirkulazio eremu bat identifikatu zen E17a eta beste bien artean, kontraste positibodun eremu lineal bat bezala ageri zela aintzat hartuta. Miaketa elektrikoan gune horretan inguruan baino erresistentzia gutxiago detektatu da, sedimentu finagoa egon daitekeela iradokiz (hezetasun altuagoa mantentzen duen gunea). Georradar emaitzetan ere islapen baxuko eremu bezala agertzen da, eta eremu hori gurutzatzen duten hiru anomalia ikusten dira (6.34. irudia, D). Horiek paretak balira zirkulazio eremuaren hipotesia ezeztatuko litzateke. Hala ere, E17a eraikinaren paretak baino sakonago ageri direnez (ikusi 6.34. irudia), eta kontuan izanda bi metro eskaseko tartea dagoela horien artean, baliteke zirkulazio mailaren azpiko beste egituraren bat izatea, adibidez isurbideren bat.

Georradarraren bereizmen altuagoak tamaina txikiagoko egiturak detektatzeko aukera eman du. Deigarria egiten da E17a eta E17b eraikinaren hegoaldean lerroan agertzen diren anomalia multzoa, beraien morfologia borobildua delako eta eraikinekiko lerrokaturik daudelako. Interpretazio posible bat zutabe zerrenda bati dagozkionarena da, baina kontuan izan behar da pareta batzuk baino kota baxuagoan ageri direla. Ondorioz, zutabeak izatekotan, baliteke oinarria besterik kontserbatu ez izana. Hala ere, sekzioan argi ikusten ez direnez, interpretazio hau zalantzakoa da.

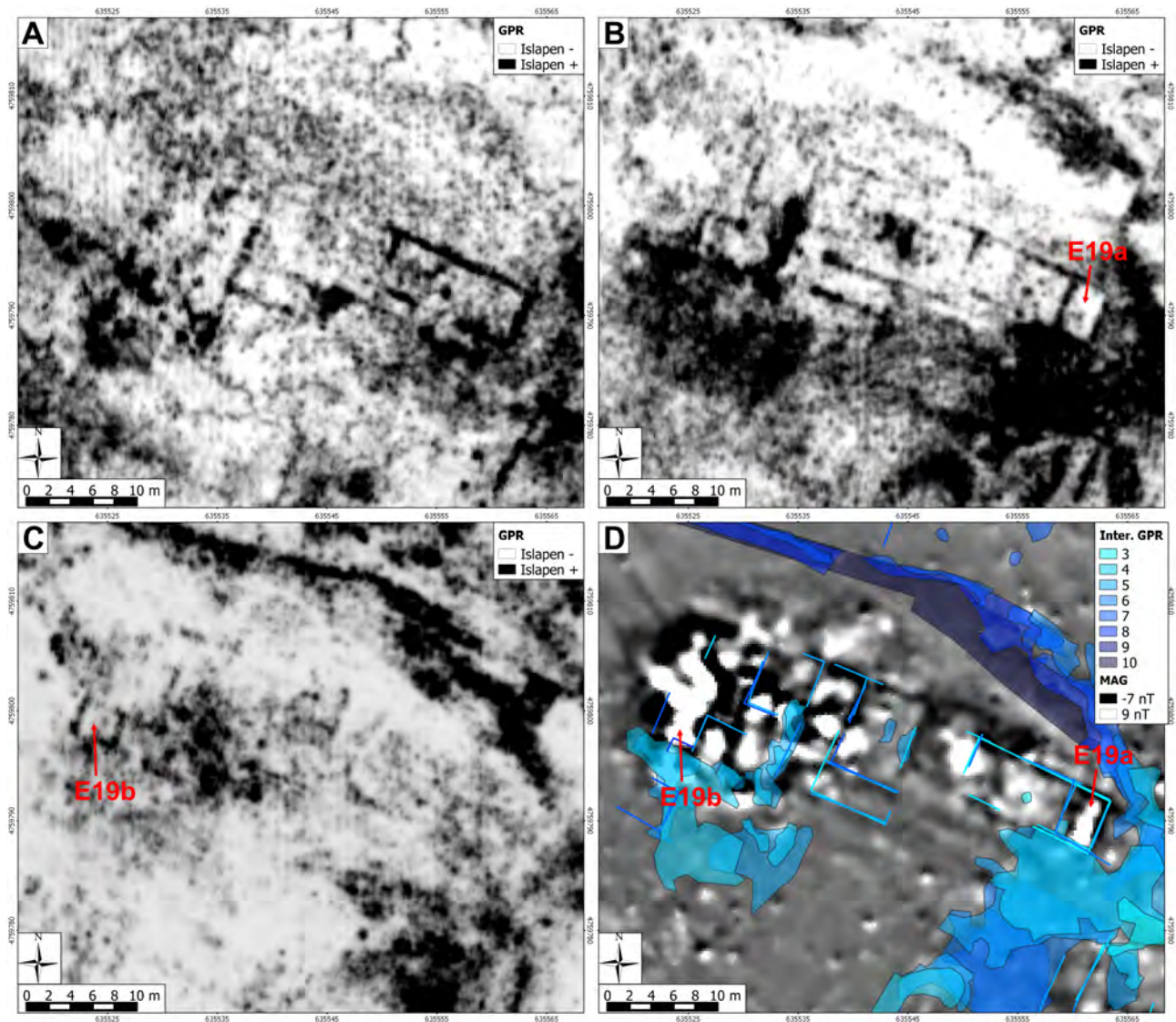
E17 multzoaren hegoaldean, P5 plazaren mugatzat harturiko anomalia linealak askoz garbiago ikusten dira georradar emaitzetan miaketa magnetikoaren emaitzetan baino. Horri eskerrak 4,5 m x 2,5 metro inguruko zazpi esparruren segida identifikatzeko aukera egon da (E31 egitura multzoa, 6.37. irudia). Kokapena eta tamainagatik *tabernae* multzo bat izan daitekeela dirudi, beste hirietan aurkitutakoaren arabera foro guneetan egon ohi zirenak (ikusi adibidez Clunia edo Segovriga hirietako foroen oinplanoak).



6.37. irudia: E31 egitura multzoa (ikusi kokapena 6.14. irudian). A: Miaketa magnetikoaren emaitza. B: Georradar datuekin sorturiko 3. anplitude-mapa (0,25-0,42 m). C: Georradar datuekin sorturiko 5. anplitude-mapa (0,50-0,67 m). D: Georradar datuekin sorturiko 8. anplitude-mapa (0,88-1,05 m). 600 megahertzeko datu-multzoa, $v = 8,175\text{cm/ns}$.

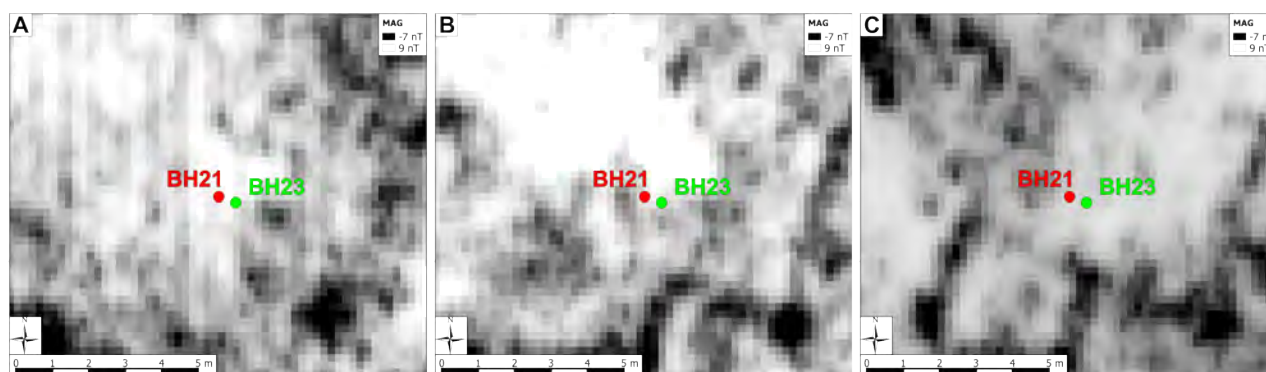
Balizko plazaren iparraldeko muga miaketa magnetikoan E19 izendaturiko egitura multzoak sortzen du. Miaketa magnetikoaren emaitzek errekontzari esleituriko seinalea detektatu zuten multzoaren mendebaldeko sektorean, eta paretei esleituriko anomalia lineal multzoa ekialdeko sektorean. Ekialdeko sektorean, georradarrak paretei esleituriko anomalia islakor linealak erakutsi ditu azaleko anplitude-

mapetan (ikusi 6.38. irudia). Horietariko batzuk berehala desagertzen dira, eta ondorioz potentzia gutxi kontserbatu dela esan daiteke. Bi sistemen emaitzak bat datoz hein handi batean, nahiz eta interpretazioen artean desplazamenduren bat ere ikus daitekeen. E19a izendaturiko eremuan miaketa magnetikoak ingurukoak baino indartsuagoa den kontraste magnetikoa darakutsan arren, georradar seinalean ez da ezberdintasun nabaririk ikusten. Mendebaldeko sektorean, berriz, eraikuntzen oinplanoa ez da argi definitu, E19b deitu zaion laukizuzenerako izan ezik. Hala ere, eraikuntza arrastoak daudena nabaria da. Kontraste magnetiko indartsua detektaturiko eremuaren gainean ez da ez paretak izan litezkeen anomalia linealik, ez eta erorketei esleia ziezaikeen anomalia islakor zabalik ikusten. Ondorioz, ez dirudi erretako eraikuntza egiturarik dagoenik, edo ez da mantendu.



6.38. irudia: E19 egitura multzoa (ikusi kokapena 6.14. irudian). A: Georradar datuekin sorturiko 3. anplitude-mapa (0,26-0,44 m). B: Georradar datuekin sorturiko 5. anplitude-mapa (0,53-0,70 m). C: Georradar datuekin sorturiko 8. anplitude-mapa (0,92-1,10 m). 17600w8. 600 megahertzeko datu-multzoa, $v = 8,54\text{cm/ns}$.

2014. urtean burututako BH21 eta BH23 zundak egitura honen ekialdean daude (ikusi 6.39. irudia). Oso gertu egon arren BH23 zundak errektuntza zantzuak zituzten geruzak aurkitu ziren, baina BH21 zundan buztin garbia besterik ez (ikusi 5.3.3.1. atala). Bi kokapenak pareta batez banatuta egotea posible zela pentsatu zen, baina georradar emaitzek ez dute horrelakorik baieztatu.



6.39. irudia: E19 egitura multzoan zulatutako BH21 eta BH23 zunden kokapena. A: Georradar datuekin sorturiko 3. anplitude-maparen gainean (0,26-0,44 m). B: Georradar datuekin sorturiko 5. anplitude-maparen gainean (0,53-0,70 m). C: Georradar datuekin sorturiko 8. anplitude-maparen gainean (0,92-1,10 m).17600w8. 600 megahertzeko datu-multzoa, $v = 8,54\text{cm/ns}$.

6.4.4. Ondorioak

Eremu honen miaketak arrasto geofisiko oso ezberdina duten egiturak azaleratu ditu. Badira kontraste magnetikorik erakutsi ez arren georradar emaitzetan argi ikusten direnak, baina badira ere kontraste magnetiko nabaria erakutsi arren georradarrak detektatu ez dituenak. Badira, noski, bi sistemetan ongi ikusten direnak ere.

Kontraste magnetiko eza geruza arkeologikoak mehegiak direlako izan daiteke. Paretak eraikitzeke erabilitako materiala harria bada, eta honek ez badu inguruan dagoen sedimentuarekiko suszeptibilitate kontraste nabaririk ez da ikusiko. Kontrastea sortzeko bide bat okupazioaren eraginez sedimentuen suszeptibilitatea areagotu izana da, eta modu honetan eraikinak kontraste magnetiko negatiboa sortuko luke. Beste bide bat egiturak oso masiboak izatea da, suszeptibilitate kontrastea ahula izan arren anomalia detektagarria sor daitekeelako. Okupazio mailak higatuta badaude eta bere garaian lurrazpian zegoena besterik geratu ez bada, pentsatzekoa da ikatz edo errautsetan aberatsa izan zitekeen sedimentua desagertua dagoela. Georradarrari honek ez dio eragiten, harrizko pareta eta gainazaleko sedimentuaren kontaktua delako islapena sortuko duena, eta kontserbaturiko potentzia ez da hain garrantzizkoa.

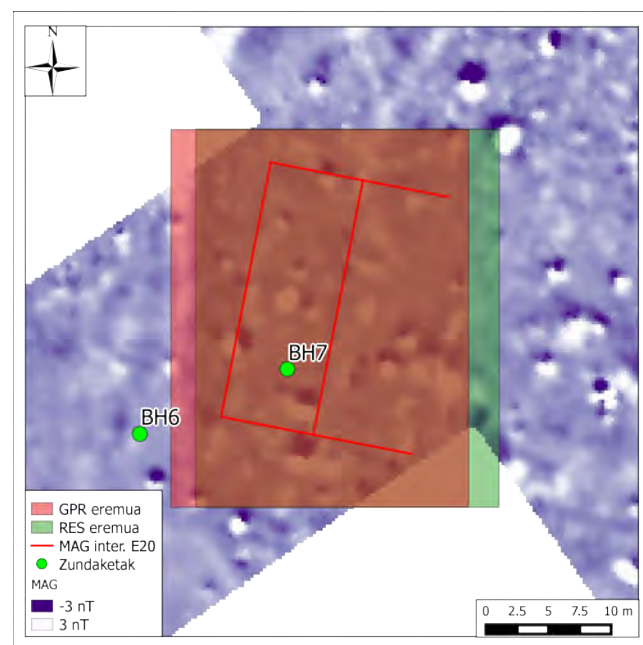
6.5. Auritz-Aurizberri aztarnategia. Zaldua. E20 eraikina

E20 izena jaso zuen aireko irudiei esker Zaldua gunearen hego-ekialdean kokatzen den eraikinak. Eraikinaren existentzia frogatua izanagatik, ez du inguruarekiko kontraste magnetikorik eta ez da mapa magnetikoan ageri (ikus 4.2.3.1.3. atala). Eraikinaren barnealdean zulaturiko BH7 zundak lohi geruza garbia erakutsi zuen, mailakatze geruza bati esleitua. Kanpoaldean zulaturiko BH6 zundak, aldiz, arkeologia geruza lodia, ikatz eta zeramika printza ugariduna. Zundaketek ez dute kontraste magnetiko ezaren jatorria argitu, eta hipotesi nagusia neguko hilabeteetan ur azpian egotearen ondorioz izan daitekeela da.

Beste sistema geofisikoek inguru honetan zuten kontrastea aztertu asmoz, miaketa elektrikoa zein georradar bidezkoa burutu ziren 2015. urteko apirilean. Bi kasuetan eraikinaren paretak kontraste nabaria erakutsi dute, eta georradarrari esker, gainera, bi okupazio maila bereizi dira.

6.5.1. Datu-bilketa eta datu-prozesua

Beste kasuetan bezala, georradar datuak *IDS* etxearen *Hi-Mod* sistema erabiliz bildu ziren, 200 megahertz eta 600 megahertzeko maiztasunetan lan egiten duten bi antenaz horniturik. Profilen arteko aldea 0,2 metrotan finkatu zen eta datuak siga-sagan bildu ziren sistema eskuz garraiatuz. Metodologia honekin 720 metro karratuko koadrikula bat miatu zen, eraikina barneratzen duena. Koadrikularen kokapena GPS diferentzial bat erabiliz burutu zen, baina miaketa magnetikoan erabilitako orientazioa erabili ordez iparraldera orientaturiko koordenatu-sistema erabili zen. Kanpaina berdinean sistema elektrikoa erabilia miatu zen eraikina. Aurrekoetan bezala, *Geoscan Research* etxeke *RM15-Mpx15* sistema erabili da dipolo-dipolo konfigurazioan eta bi datu-multzo bildu da: lehena, 0,5 metrotako separazioari dagokiona eta 0,5 m x 0,5 metrotako bereizmena duena; bigarrena, metro bateko separazioari dagokiona eta 0,5 m x 1 metrotako bereizmena duena. Metodologia honekin 24 m x 30 metrotako koadrikula bat miatu zen, georradar eremuarekiko desplazatuta dagoena (ikusi 6.40. irudia).



6.40. irudia: E20 eraikinean buruturiko miaketen eremuak mapa magnetikoaren gainean (-3 nT urdinez, 3 nT zuriz).

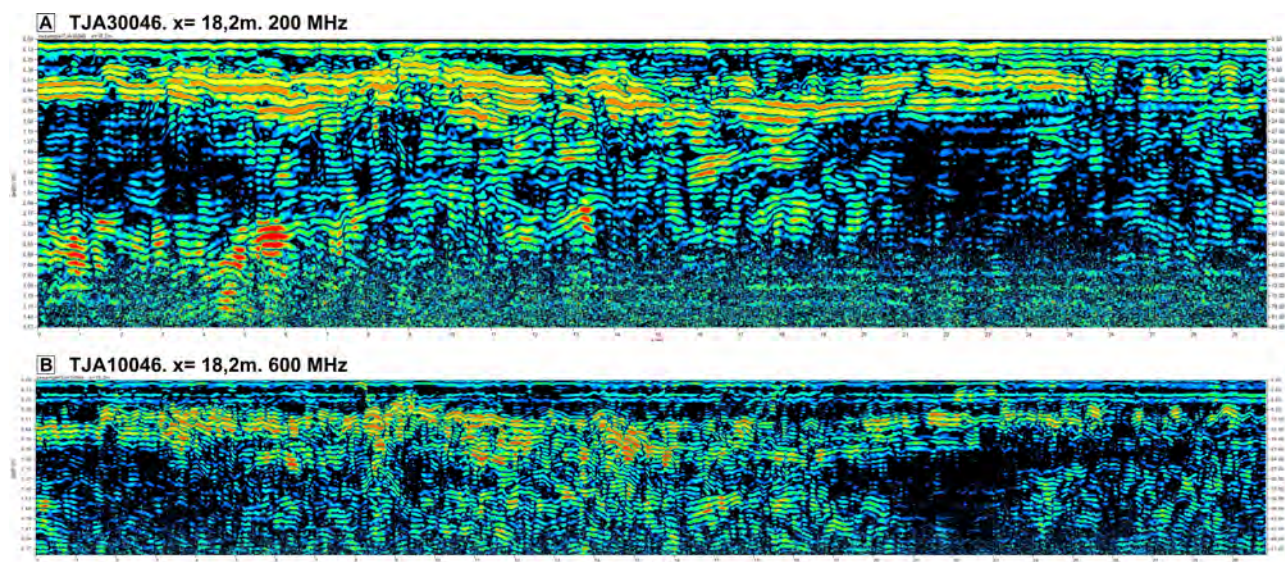
Georradar datuen artean, 600 megahertzeko antenarekin bildurikoak erabili dira anplitude-mapak sortzeko. Izan ere, arkeologia geruzak deskribatzeko adinako sakonera lortu dute, eta 200 megahertzekoak baino bereizmen altuagoa dute. Anplitude-mapak sortzeko erabilitako profilei oinarritzko prozesua besterik ez zaie aplikatu, nahiz eta ondoren *Zero Mean Line* filteroa aplikatu den. Hala ere, kasu honetan barneratze-sakonera handia izan da eta 600 megahertzeko datuak motz geratu direla ikus daiteke radargrametan (ikusi 6.41. irudia). Horregatik, arkeologia geruzen azpitik detektaturiko anomalia batzuen sekzioa aztertzeko 200 megahertzekoak ere erabili dira, hauei ere oinarritzko prozesua aplikatu ostean. Kasu honetan ez da zuzenketa topografikorik burutu, eremua laua bai da oro har. Datu elektrikoei dagokienean, berriz, ohiko prozesua aplikatu zaie. *Hi-pass filteroak* hegoaldeko gunearen xehetasunak azaleratzekok balio izan duen arren, egituraren iparraldean filtratu gabeko datuetan zuzenean ikusten dira eraikinaren paretak. Bi sistemen datu-bilketa zein datu-prozesuaren parametroak 6.6. taulan bildu dira.

GPR	
Kanpaina	2015 apirila
Azalera	720 m ²
Gailua	IDS Hi-mod
Antena kop.	200MHz eta 600MHz
Maiztasuna	2
Datu dentsitatea	0,2 m x 0,04 m
Irakurketa modua	Siga-saga
Anplitude mapak	Profilak: Ganantzia, Fasea
	34 lagineko 15 xafla (62-390). Zero Mean Line
	Anplitude karratua
Zuzenketa topo.	Ez
Abiadura	7,3 cm/ns
	Hiperbolen analisi bidez
RES	
Kanpaina	2015 apirila
Azalera	735 m ²
Gailua	RM15
Konfigurazioa	Dipolo-Dipolo
Intentsitatea	1 mA
Voltaia	100 V
Ganantzia	X 1
Elektrodoen aldea	A: 0,5 m; B: 1 m
Inf. Elektrodoena	2m
Datu dentsitatea (A)	0,5 m x 0,5 m
Datu dentsitatea (B)	0,5 m x 1 m
Irakurketa modua	Siga-saga
Prozesua (r4b05ph)	Despiking X=1, Y=1, Th=1, StDv
	Hi-pass (10,10,Wt=G)
	Interpolazioa 25cmra
Prozesua (r4b1ph)	Despiking X=1, Y=1, Th=1, StDv
	Interpolazioa Y norabidean 0,5mra
	Hi-pass (10,10,Wt=G); Interpolazioa 25cmra

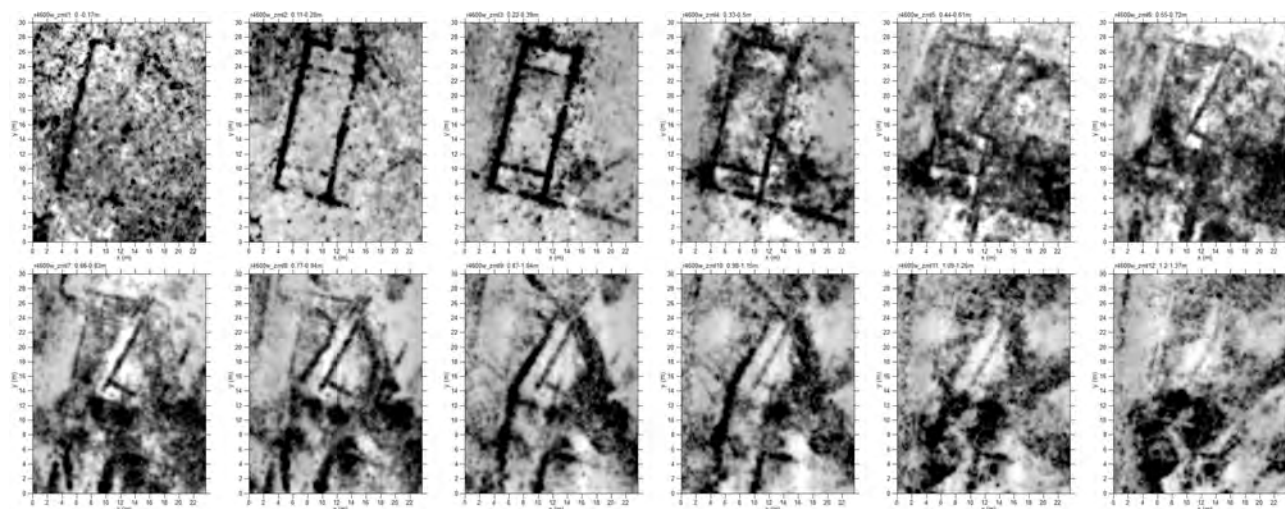
6.6. taula: Zalduko E20 eraikinaren gunean buruturiko miaketa geofisikoetan erabilitako parametroak. Miaketa magnetikoaren parametroak 90 orrialdeko 4.3. taulan daude.

6.5.2. Emaitzak

Kontraste magnetikorik erakutsi ez arren, E20 eraikina argi ikusten da bai georradar emaitzetan zein erresistentzia mapetan, eta hein handi batean aireko irudietatik ondorioztaturiko morfologia eta kokapenarekin bat dator. Georradar emaitzetan, gainera, bi okupazio maila ikusten dira, orientazio ezberdina erakusten dutenak (ikusi 6.42. irudia). Sekzioan, hala ere, bi okupazio mailak ezberdintzea ez da erraza suertatu, eta anplitude-mapen segidari esker ezberdindu daitezke soilik (ikusi 6.43. irudia).

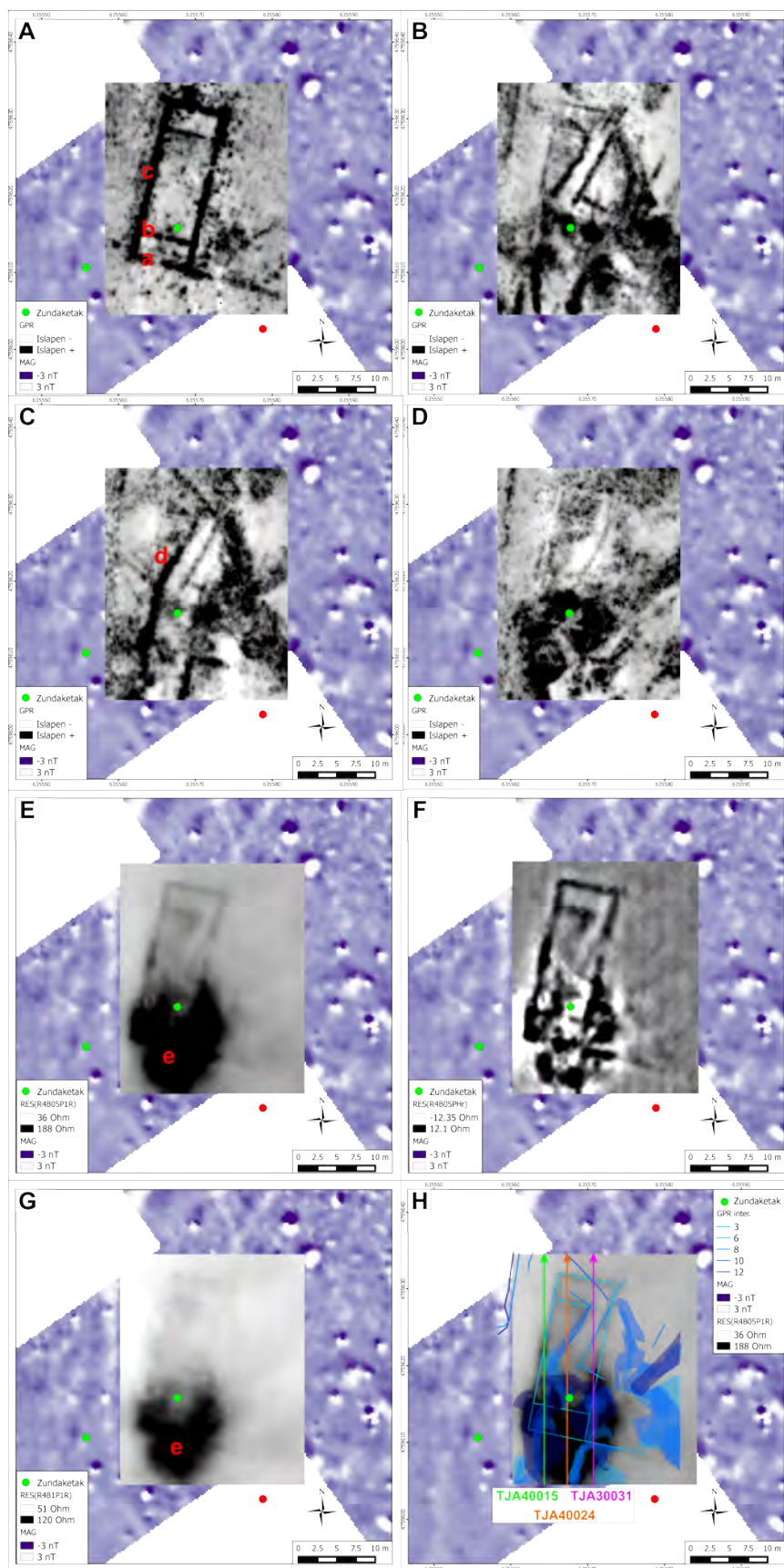


6.41. irudia: E20 eraikinaren gunean, $x = 18,2$ metrotan kokaturiko profilari dagozkion bi radargramen alderaketa, maiztasun ezberdinetako antenarekin bildutakoak. A: 200 MHz. B: 600 MHz.



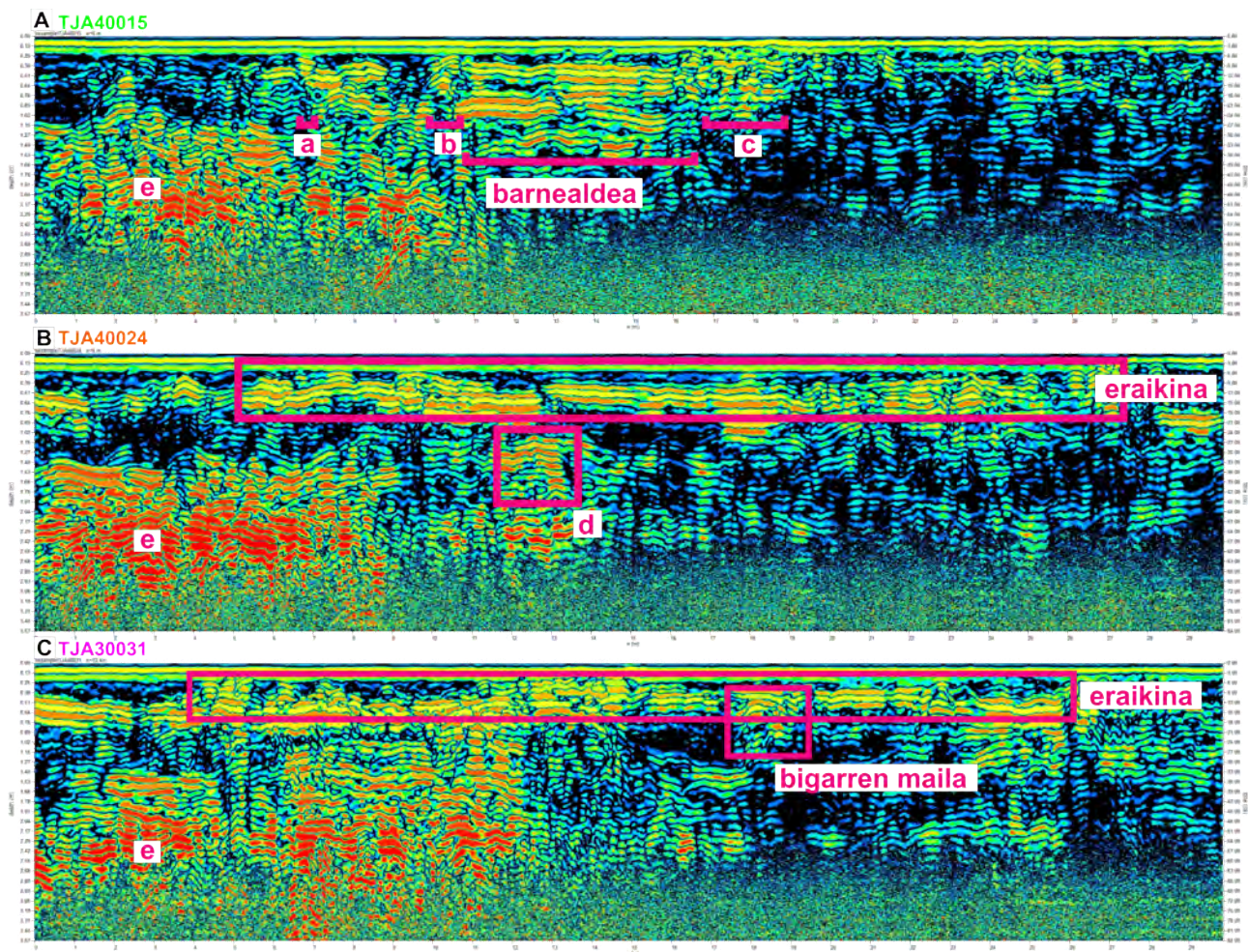
6.42. irudia: E20 eraikinaren gunean buruturiko georradar miaketarekin sorturiko amplitude mapen segida (0-1,37 metro bitartean, $v = 7,3$ cm/ns).

Eraikinak 20,5 metro luze eta 7,5 metro zabal ditu, hiru esparrutan simetrikoki banatuta ageri delarik. Ertzetako gelek 3 metroko tamaina dute, eta georradar datuetan ez da erdikora irekiune argirik ikusten. Miaketa elektrikoaren emaitzetan, berriz, iparraldeko gela banatzen duen paretan irekiune argia ikus daiteke. Eraikinaren hegoaldeko muga den paretak ekialderantz jarraitzen duela ikus daiteke georradar emaitzetan, nahiz eta gainontzeko paretak baino sakonera handiagoan detektatu izanak nolabaiteko ezberdintasun bat egongo dela iradoki du. Aireko irudietatik iparraldean ere antzeko paretak bat zegoela ondorioztatu zen arren, hau ez da geofisikako emaitzetan ikusten eta, ondorioz, beste paretak sorturiko kontrastea kontuan izanda, ez dagoela ondorioztatu da.



6.43. irudia: E20 eraikinaren gunean miaketa elektriko eta georradarraren emaitzen alderaketa. A: Georradar emaitzekin sorturiko 3. anplitude-mapa (0,22-0,39 m). B: Georradar emaitzekin sorturiko 8. anplitude-mapa (0,77-0,94 m). C: Georradar emaitzekin sorturiko 10. anplitude-mapa (0,98-1,15 m). D: Georradar emaitzekin sorturiko 12. anplitude-mapa (1,2-1,37 m). E: Miaketa elektrikoaren lehen mailari (0,5 metroko alde) dagokion emaitza hobetua. F: Miaketa elektrikoaren lehen mailari (0,5 metroko alde) dagokion emaitza prozesatuak (*hi-pass* filtroa). G: Miaketa elektrikoaren bigarren mailari (1 metroko alde) dagokion emaitza hobetua. H: Georradar datuetan oinarritutako interpretazio-eskema miaketa elektrikoaren lehen mailari (0,5 metroko alde) dagokion emaitza hobetuen gainean, non erakusten diren profilen kokapena ageri den. Anplitude-mapak 600 megahertzeko datu-multzoarekin sortu dira ($v = 7,3$ cm/ns).

Emaitza elektrikoek argi uzten dute eraikinaren hegoaldeko gunean erresistentzia altuko materialak daudela. *Hi-pass* filtroarekin lorturiko irudiek zenbait xehetasun definitzeko balio duten arren (ikusi 6.43. irudia), emaitzak ez dira georradarrarenak bezain argiak. Hegoaldeko erresistentzia altua (e hizkiarekin irudian) zerk sortzen duen ez dago argi, baina georradarraren sakoneko anplitude-mapetan etenune islakorrak ageri dira kokagune honetan, eta radargrametan argi ikusten da elementu islakorra dagoela sakonean (ikusi 6.44. irudia, e hizkiarekin). Behin-behinean egitura horrek ez duela jatorri arkeologikorik uste da, gainontzeko egiturak baino sakonera handiagoan dagoelako eta ez zaiolako forma antropikorik ikusten. Bestalde, 9. anplitude-mapatik aurrera (0,85 m inguruko sakonera) anomalia islakorrak ageri dira, linealak izan arren zuzenak ez direnak. Horien jatorria argitzeke dago, baina ikusten diren bi okupazio mailen azpitik daudela ondoriozta daiteke. Horietako baten sekzioa 6.44. irudian ikus daiteke, d izendatua.



6.44. irudia: E20 eraikinaren guneko egiturak sekzioan. A. B. eta C. TJA40015, TJA40024 eta TJA30031 profilei dagozkien radargramak, hurrenez-hurren (200 MHz, $v = 7,3$ cm/ns).

6.5.3. Ondorioak

E20 eraikinaren portaera geofisikoak argi uzten du beste behin ere aztarnategi honetako gune batzuetan miaketa magnetikoa ez dela egitura arkeologikoak detektatzeko gai izan. Aireko irudietatik ezagutu izan ez balitz, gune horretan ez litzateke beste sistema geofisikorik aplikatu izango eta E20 eraikina oharkabean pasako zen guztiz. Mapa elektrikoan ere kontraste egokia erakutsi duen arren, hegoaldean detektatu den erresistentzia altuak horko gela ongi deskribatzea eragotzi du. Hala

ere, miaketa elektrikoan iparraldean dagoen gelaren irekiunea georradarrean baino argiago ageri da. Orokorrean, hala ere, georradarra da xehetasun gehien eman dituen sistema. Kontuan izan behar da bereizmen altuagoko datuak direla, baina baita ere neurketa beste fenomeno fisikoetan oinarritzen dela eta honek morfologiak hobe deskribatzeko aukera eman ohi duela.

Georradarrean oinarrituta bi okupazio maila bereizi dira, lehenaren azalean eta bigarrenarena metro bateko sakonerara, gutxi gorabehera. BH7 zundaketan, eraikinaren barnean kokatua dagoena (ikusi 6.43. irudian puntu berdez markatua), arkeologia geruza bezala interpretatutakoa 0,66 m-0.87 metro bitartean dago, baina prestaketa moduan identifikaturiko lohi geruza garbiari zegokion. Horren azpian 23 zentimetroko graba geruza agertu zen. Baliteke azken hau zirkulazio-maila (garaian zapaltzen zutena) izatea, baina ezin da baieztatu. Baliteke prestaketa hori, hala izatekotan, bigarren okupazioa egitean burutu izana, aurrekoaren gainean mailaketa bat egin ahal izateko. Dena den, harritzekoa da inolako ikatz printzadun geruzarik detektatu ez izana, azken finean eraikin baten barnean okupazioarekin loturiko geruza egotea pentsatzekoa litzatekeelako. Arrazoi posible bat geratzen dituen aztarnak garai hartan erabiltzen zen zirkulazio-mailaren azpikoak izatea da, hau da, egituraren oinarriak besterik kontserbatu ez izana. Argi dago, dena den, lurzoruak gainezarmen konplexua duela eremu honetan, eta ezin izan dela detektaturiko anomalia guztien identifikazioa burutu.

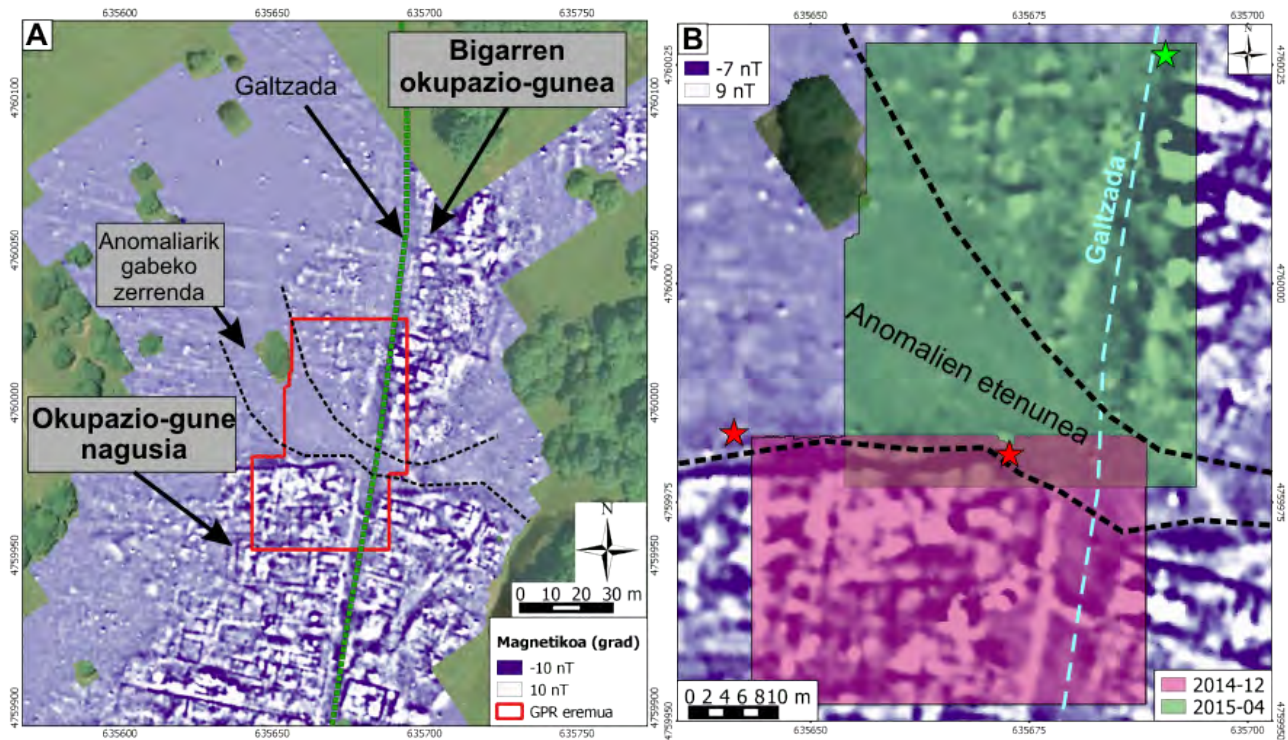
6.6. Auritz-Aurizberri aztarnategia. Zaldua. Iparraldeko muga

Mapa magnetikoan okupazioaren muga bat izan daitekeena ageri da Zaldua guneko iparraldean. Izan ere, anomalia magnetikorik gabeko zerrenda bat ikusten da, okupazio gune nagusia eta bigarren okupazio gune bat banatzen dituen. Zundaketen emaitzetan ere ez da eremu horretan zulaturikoetan inolako arkeologia geruzarik identifikatu (ikusi 5.2.1. atala). Zerrenda honen hegoaldeko mugan, gainera, pareta bat izan daitekeen anomalia ikusten da, nahiz eta intentsitatea aztarnategiko beste paretenaren antzekoa izanik, ez dirudien harresi moduko egitura masibo batek sortua denik (ikusi 6.45. irudia edo 94 orrialdeko 4.9. irudia, 1 zenbakia). Honen hegoaldean mapa magnetikoak kontraste positibodun anomalia linealak erakusten ditu, eta horien jatorria ez dago argi. Beste material batekin egindako paretak balira georradar bidez ongi detektatuko liratekeela pentsatzekoa da.

Hori guztia kontuan izanda georradar miaketa burutzea erabaki zen. Okupazioaren mugak ezagutzea helburu garrantzitsua da aztarnategiaren ikerketa-prozesuan, eta miaketa hauek kontraste magnetikorik gabeko lur-zerrenda horren ikuspuntu osagarria luzatzea espero zen. Bestalde, inguru horretako eraikinak hobeto deskribatzea espero zen.

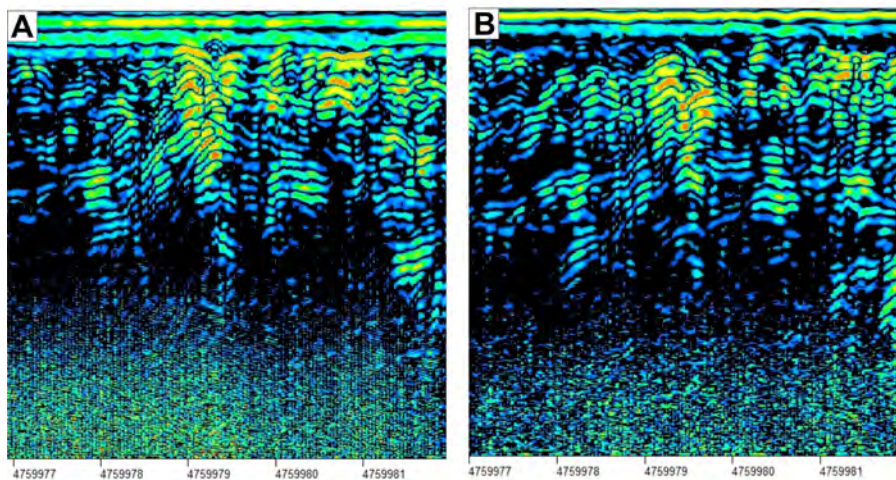
6.6.1. Datu-bilketa eta datu-prozesua

Eremu horretan miaketa magnetikoan detektatu gabeko egiturarik zegoen ikusteko georradar miaketa burutu zen 2014. urteko abenduan. Denbora faltagatik, baina, ezin izan zen zerrenda alderikalde zeharkatu eta 2015. urteko apirilean miaketa berria burutu zen (ikusi 6.45. irudia). Beste kasuetan bezala *IDS Hi-Mod* sistema erabili da, 200 megahertz eta 600 megahertzetan lan egiten duten bi antenez hornitua. Datuak siga-sagan bildu dira sistema eskuz garraiatuz (ikusi 6.7. taula parametroetarako).



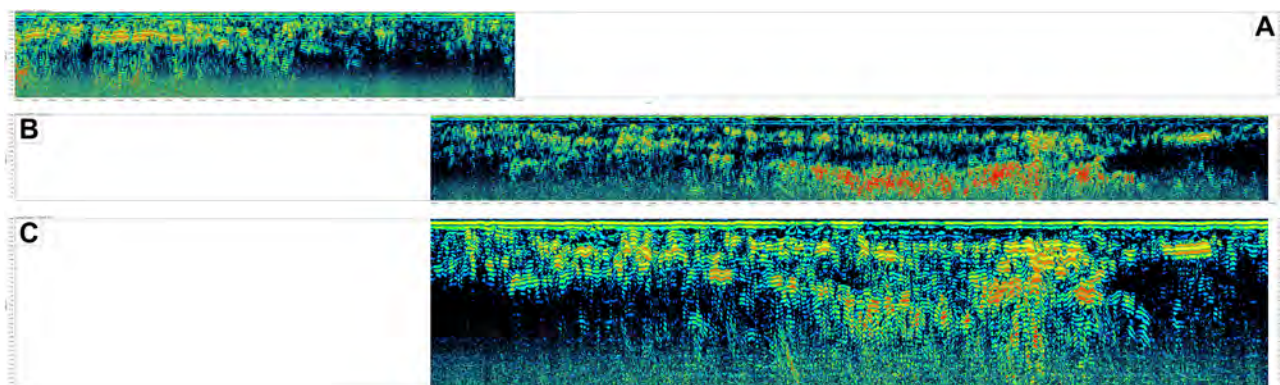
6.45. irudia: A. Zaldua iparraldeko testuingurua mapa magnetikoak (-10 nT urdinez, 10 nT zuriz). Bi okupazio gunea, anomaliarik gabeko zerrenda, galtzada eta georradarrez miaturiko eremua adierazi dira. Ortofotoaren iturria: ©*Instituto Geográfico Nacional*. B. Zaldua iparraldean buruturiko bi georradar kanpainatan miaturiko eremuak, mapa magnetikoaren gainean (-7 nT urdinez, 9 nT zuriz). Anomalia esanguratsurik gabeko zerrenda eta galtzadaren kokapena adierazi dira. Egindako zundaketak ere adierazi dira, gorri arkeologia geruzarik erakutsi ez badute eta berdez bestela.

Lehen kanpainan 0,4 metroko alde aplikatu zen profilen aldean; bigarrean, aldiz, 0,2 metrokoa. Zati bat bi kanpainatan miatu zenez, egitura bera datu-multzo bakoitzean zertxobait aldatzen dela ikus daiteke, ingurugiro baldintzak eta sistemaren parametro ezberdinak direla eta (ikus 6.46. irudia). Hala ere, alde ez da hain nabarmena eta bi datu-multzoak prozesu bera eginda lantzea ontzat jo da, nahiz eta atal bakoitzak bereizmen ezberdina izan.



6.46. irudia: Zaldua iparraldeko eremuan bi georradar kanpainetan bildutako profil zatiaren alderaketa. Bi kasuetan 600 megahertzeko antenarekin neurtu dira eta ganantzia eta fasea zuzendu zaizkie, parametro berdina aplikatuta. A: 2014. urteko abenduako kanpaina. B: 2015. urteko apirilko kanpaina.

Erabilitako maiztasuna alderatuz, bildutako bi datu-multzoez arkeologia geruza zeharkatu dute, baina 600 megahertzeko datuetan sakoneko maila horien goiko zatia besterik ez da detektatu. Kasu honetan ez da energia agortzearen ondorio, radargrametan azkeneraino ikusten baitira islapenak, eta ziurrenik denbora-leiho luzeago izan balitz ikerketa-sakonera handiagoa lortuko zen (ikusi 6.47. irudia). Anplitude-mapak sortutakoan, hala ere, antzeko irudiak lortu dira bi maiztasunekin. Interpretazioak egiteko orduan 600 megahertzeko datuekin lorturikoak erabili dira oro har, eta besteak sakoneko egitura batzuk irudikatzeko bakarrik erabili dira. Egitura batzuk hobe irudikatu direlako, prozesuetariko batean anplitude-mapak sortu aurretik *background* filtroa aplikatu zaie radargramei.



6.47. irudia: Zaldua iparraldeko eremuan bi georradar kanpainetako eta bi maiztasunetako datuen alderaketa. A: 2014. urteko abenduko kanpainan bildutako profil baten radargrama, ganantzia eta fase zuzenketarekin. B: x posizio berean baina y tarte ezberdinean kokaturiko profilari dagokio radargrama, 2015. urteko apirilean 600 megahertzeko antenarekin neurtua. C: B irudiko profil berari dagokio radargrama, 200 megahertzeko antenarekin neurtua. Hiru kasuetan ganantzia eta fasea zuzendu zaizkie, 600 megahertzeko bi datu-multzoei parametro berdinak aplikatuta.

Eremua neurri handi batean laua denez, ez da zuzenketa topografikorik aplikatu. Abiadura nanosegunduko 7,3 zentimetrotan finkatu da hiperbolen analisisa bidez ($v = 7,3\text{cm/ns}$), aldaketa esanguratsurik ikusi ez denez, bi maiztasunetarako eta bi kanpainetarako berdina. Neurketa eta datu-prozesuen parametroak 6.7. taulan bildu dira.

6.6.2. Emaitzak

Emaitzetan bi maila nagusi ikus daitezke. Alde batetik arkeologiari loturiko egiturak ageri dira azalean. Sakonera handiagoan, aldiz, behin-behinean geologiari esleituriko egitura handiak ikusten dira. Espero bezala, georradar datuek eraikinen paretak erakusten dituzte besteen artean. Emaitzak, hala ere, ez dira bereziki argiak, eta beste gune batzuetan baino definizio eskasagoa lortu da. Honen atzean arrazoi ezberdinak egon daitezke, horien artean profilen arteko aldea 0,4 metrotakoa izatea. Kasu honetan irakurketa norabideak ere ez du egituren definizio egokirako lagundu. Izan ere, helburua muga ikertzea izaki, koadrikula iparraldearekiko orientatu zen. Egitura asko norabide horretan orientatuta daude eta irakurketa norabideko paretak irudikatzea zailagoa izan ohi da, lerroen arteko homogeneizazio prozesuek (*zero mean line* edota *background* filtroek) eragiten dietelako.

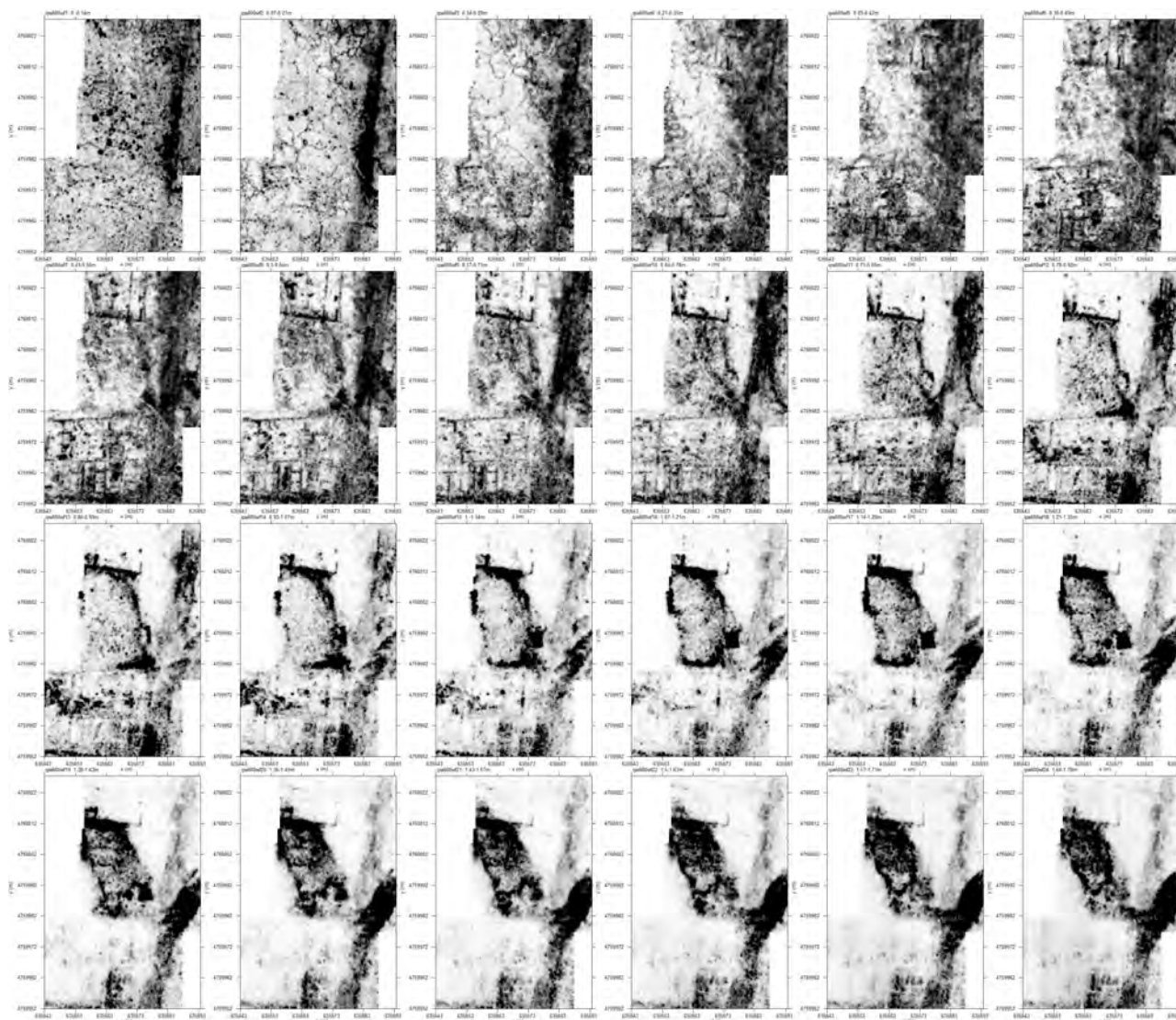
GPR	
Kanpaina	2014 abendua eta 2015 apirila
Azalera	4408 m ² (abenduan) eta 11650m ² (apirilean)
Gailua	IDS Hi-mod
Antena kop.	2
Denbora leihoa	120 ns eta 70 ns (abenduan) eta 90 ns eta 60 ns (apirilean)
Maiztasuna	200MHz eta 600MHz
Datu dentsitatea	0,4 m x 0,04 m (abenduan) eta 0,2 m x 0,04 m (apirilean)
Irakurketa modua	Siga-saga
Anplitude mapak (600 MHz)	600 MHz
	Profilak: Ganantzia, Fasea eta batzuetan <i>background</i>
	32 lagineko 25 xafla (34-450)
	Anplitude karratua
Anplitude mapak (200 MHz)	200 MHz
	Profilak: Ganantzia, Fasea
	35 lagineko 20 xafla (35-350)
	Anplitude karratua
Zuzenketa topo.	Ez
Abiadura	7,3 cm/ns
	hiperbolen analisisa

6.7. taula: Zaldua guneko iparraldean buruturiko miaketen parametroak. Miaketa magnetikoaren parametroak 90 orrialdeko 4.3. taulan daude.

Anomalien garapen bertikala azaltzeko baliagarria delako 6.48. irudian anplitude-mapen segida osoa erakutsi da. Tamaina txikia izan arren nahiko argi ikus daiteke azaleko geruzatan galtzada eta arkeologia egiturak detektatu direla, baina momentu batetik aurrera tamaina handiagoko egiturak agertzen direla, kontraste magnetikorik gabeko gunean hain zuzen. Horietako batek forma ahurra duela ondoriozta daiteke, anomaliaren perimetroa estutuz baitoa amaieran, hondoa izango denean, barnealde guztia islakor agertu arte (*a* izendatua 6.49. irudiko E eta G ataletan). Bestalde, irudi berean *b* moduan markatu den anomalia sakoneko egitura islakor bat da, eta geologiarekin lotzeko arrazoiak badaude. Izan ere, ikerketa eremuaren ekialdean kokatzen da Urrobi ibaiaren terrazatariko baten topografia jauzia, eta anomalia honek horren norabidearekin bat egiten duela dirudi (6.50. irudia).

Anplitude-mapen segidatik anomalia esanguratsuenak azaltzeko aukeratu direnak 6.49. irudian bildu dira. Bertan lehen hiru anplitude-mapetan arkeologiara esleituriko mailak ageri dira (A, B eta C azpi-irudiak), eta ondoren geologiarekin loturiko aldaera bezala interpretatu diren anomaliak ikus daitezke (D, E eta F azpi-irudiak). Arkeologiari dagokionez, miaketa magnetikoak erakutsiriko muga errespetatzen dela esan daiteke, kontrasterik gabeko gunean ez delako pareta bezala interpretatu daitekeen anomaliarik detektatu. Salbuespen bezala izango genuke *c* izendatu den egitura, *a* anomaliarekin kontaktuan egon arren duen laukizuzen formak antropikoa dela iradoki dutelako.

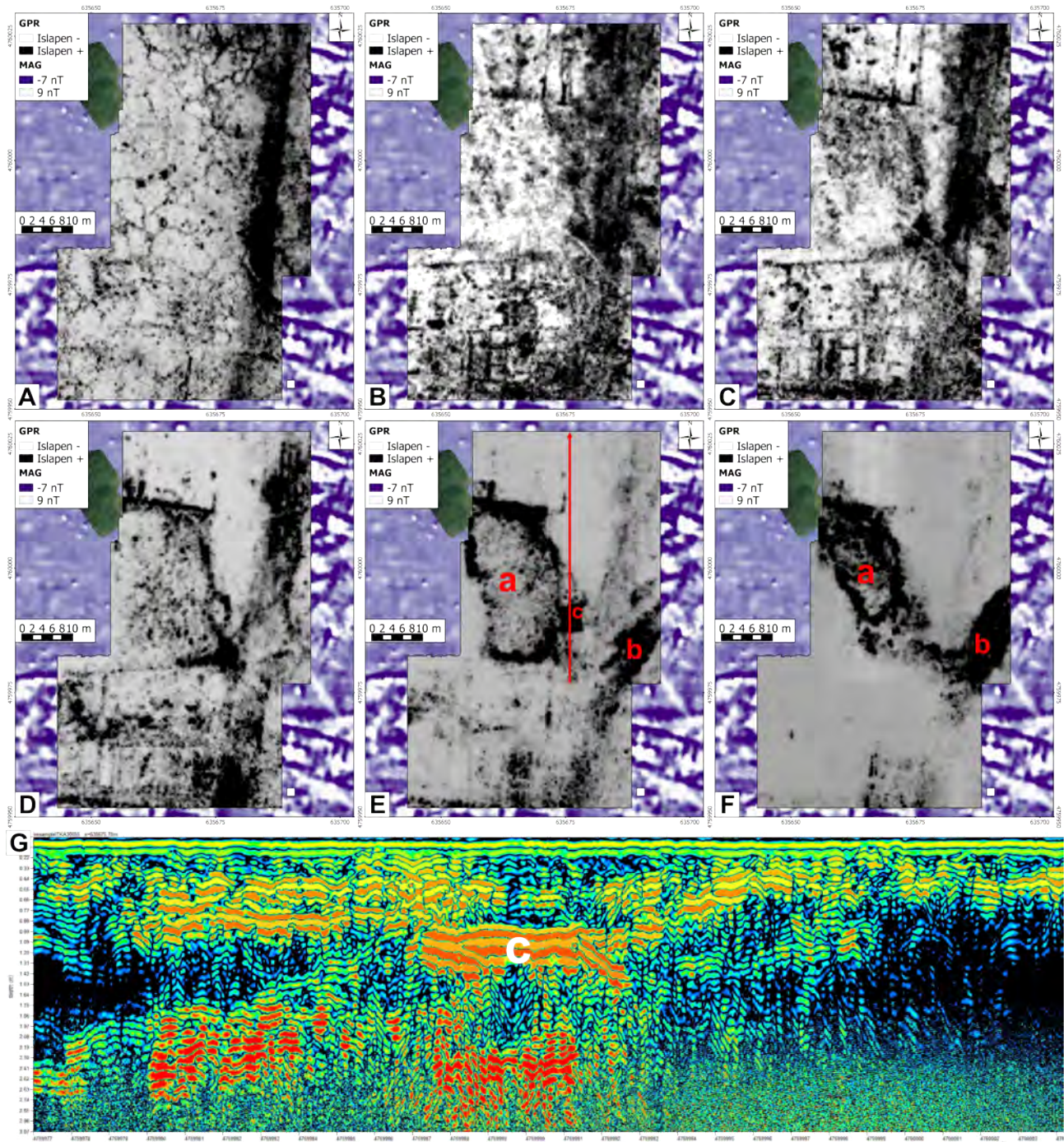
Sekzioan aztertuta, inguruko estratigrafia mozten den gune bat bezala agertzen da gainazalean, eta oso islakorra den etenune laua erakusten du ondoren (ikusi 6.49. G). Baliteke geologia geruzan ebakitako egitura izatea.



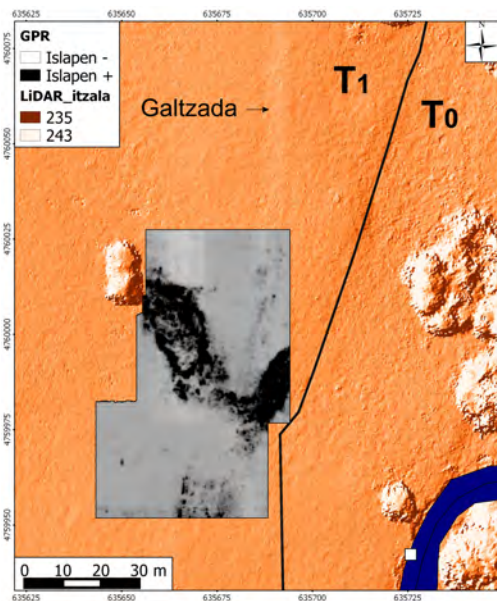
6.48. irudia: Zaldua iparraldeko eremuan georradar datuekin sorturiko anplitude-mapen segida. A-E 600 megahertzeko datu multzoarekin sortuak, profiei ganantzia, fase-zuzenketa eta *background* filtroak aplikatuta. A: 2. denbora-xafla, gainazalarekiko 0,07 m-0,21 m bitartean. B: 6. denbora-xafla, gainazalarekiko 0,36 m-0,49 m bitartean. C: 8. denbora-xafla, gainazalarekiko 0,5 m-0,64 m bitartean. D: 12. denbora-xafla, gainazalarekiko 0,78 m-0,92 m bitartean. E: 16. denbora-xafla, gainazalarekiko 1,07 m-1,21 m bitartean. F: 200 megahertzeko datu-multzoarekin sortua, profiei ganantzia eta fase zuzenketa aplikatu ostean. 16. denbora-xafla, gainazalarekiko 2,03 m-2,33 m bitartean. Kasu guztietan abiadura $v = 7,3\text{cm/ns}$ tan finkatu da.

Zalduko okupazio gune nagusiari dagokionez, detektaturiko anomalia magnetikoetariko asko georradar emaitzetan ageri ez dela ondorioztatu daiteke (ikusi 6.51. irudia, e). Ondorioz, eraikuntza egiturarik gabeko gune bat dagoela dirudi. Anomalia magnetiko horiek morfologia argirik gabeko gune zabalei dagozkie hein handi batean, eta baliteke suszeptibilitate kontraste altuko materialen pilaketek sortuak izatea, hala nola errautsa edo mineral magnetikoetan aberatsa den beste sedimenturen bat. Muga egiten duen anomalia, berriz, detektatu da magnetikoan detektaturiko posizio berdinean, eta kasu honetan ere beste paretan antzeko tamainako egitura bezala ageri da. 8. anplitude-mapan paretaren kontra bi anomalia islakor simetrikoki ikusten dira (f izendatua irudietan), beren funtzioa argi ez dagoen arren. Miaketa magnetikoan paretaren kanpoaldean ageri den kontraste negatibodun anomalia

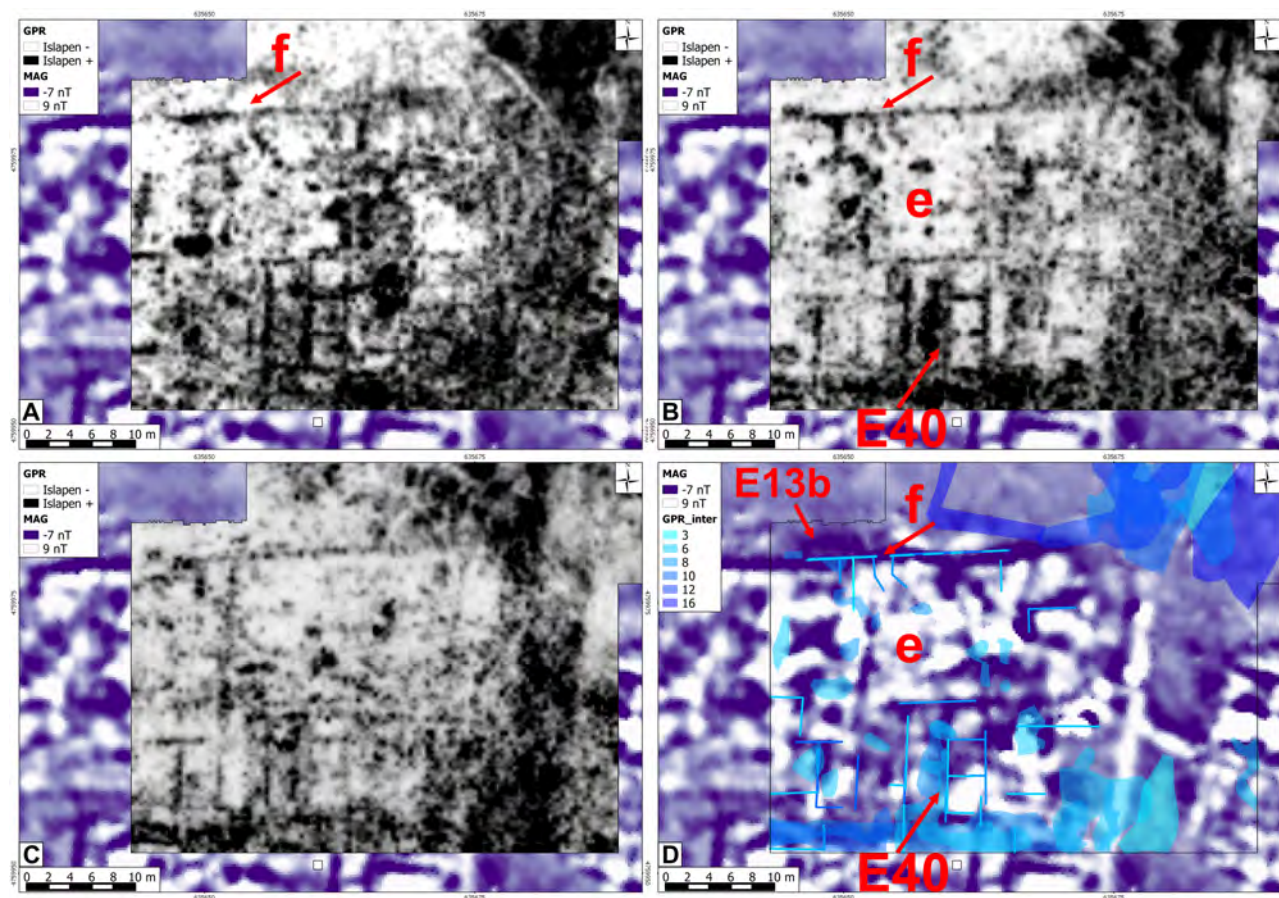
zabala ez da georradar emaitzetan ikusten, eta beraz behin-behinean eraikitako ezer denik baztertu da (13b bezala izendatua).



6.49. irudia: Zaldua iparraldeko eremuan georradar datuekin sorturiko anplitude-mapen segida. A-E 600 megahertzeko datu multzoarekin sortuak, profilei ganantzia, fase-zuzenketa eta background filtroak aplikatuta. A: 2. denbora-xafla, gainazalarekiko 0,07 m-0,21 m bitartean. B: 6. denbora-xafla, gainazalarekiko 0,36 m-0,49 m bitartean. C: 8. denbora-xafla, gainazalarekiko 0,5 m-0,64 m bitartean. D: 12. denbora-xafla, gainazalarekiko 0,78 m-0,92 m bitartean. E: 16. denbora-xafla, gainazalarekiko 1,07 m-1,21 m bitartean. Irudi honetako G atalean erakusten den profilaren kokapena adierazten du lerro gorriak. F: 200 megahertzeko datu-multzoarekin sortua, profilei ganantzia eta fase zuzenketa aplikatu ostean. 16. denbora-xafla, gainazalarekiko 2,03 m-2,33 m bitartean. G: *c* anomaliaren gainetik pasatzen den TKA30055 profilarri dagokion radargrama, 200 megahertzeko antenarekin bildua. Profil honen kokapena irudi honetako E atalean ikus daiteke. Kasu guztietan abiadura $v = 7,3\text{cm/ns}$ tan finkatu da.



6.50. irudia: Zaldua iparraldeko eremuaren testuingurua. Dronearekin egindako topografian oinarritutako itzalen mapa erakusten da, Urrobi ibaiaren oraingo terraza (T_0) eta aurrekoaren artean (T_1) dagoen topografia jauzia direlarik. Honen gainean ikus daiteke 200 megahertzeko datu-multzoarekin sorturiko denbora-axfla, gainazalarekiko 2,03 m-2,33 m bitartean ($v = 7,3\text{cm/ns}$), non b izendaturiko anomalia ageri den.



6.51. irudia: Zalduko okupazio gune nagusiaren iparraldean miaketa ezberdinen alderaketa. Georradar anplitude-mapak 600 megahertzeko datu multzoarekin sortuak dira, profilei ganantzia, fase-zuzenketa eta *background* filtroak aplikatu ostean. A: 6. denbora-axfla, gainazalarekiko 0,36 m-0,49 m bitartean. B: 8. denbora-axfla, gainazalarekiko 0,5 m-0,64 m bitartean. C: 12. denbora-axfla, gainazalarekiko 0,78 m-0,92 m bitartean. E: Georradar emaitzetan oinarritutako interpretazio eskema mapa magnetikoaren gainean.

Badira ere erabilitako bi sistema geofisikotan detektaturiko anomaliak, 6.51. irudian E40 izendaturiko eraikina esaterako. Bi sistemetan erdipurdiko definizioz agertu arren, 10,5 m x 7.5 metro inguruko eraikin bat da, alde luzea iparralderantz orientatuta eta erditik banatuta. Ekialdeko sektorean hiru espazio berdin definitzen dira georradar irudietan, nahiz eta miaketa magnetikoan ez diren argi ikusten. Mendebaldekoan, berriz, ez da ez batean, ez bestean, barne banaketarik igartzen eta georradarrean gune islakor bezala ageri da, nahiz eta islapena ez den homogenea. Baliteke zoru gogor bat duen espazio bakarra izatea, islapenaren homogeneztasun falta kontserbazio maila ezberdinak azal dezakeelarik.

E40 eraikinearen hegoaldean islapen altuko banda bat detektatu da georradarrarekin. Islapena homogenea izanagatik, galtzadarekiko perpendikularra eta ikertutako miaketaren zabalera osoa hartzen duena izatea deigarria da. Baliteke nolabaiteko zoru prestaketa bat duen pasabide bat izatea. Miaketa magnetikoan inguru hau eraikin baten barnealdean egongo balitz bezala interpretatu zen, beste arrazoien artean honekiko elkarzut diren anomaliak ageri direlako, pareta bezala interpretatuak.

Bigarren okupazio gunea bezala izendatu den eremuan, georradar emaitzetan pareta bezala identifikaturiko anomalia batzuk ikusi dira (6.49. irudia, B eta C). Gune honen hegoaldeko muga litzatekeena da horien artean kontraste nabariena erakutsi duena, irakurketa norabidearen elkarzut izatearen eraginez behar bada. Besteak, iparralderantz orientaturikoak dira oro har, eta ez da barne banaketarik detektatu. Ereku zabalak definitzen dituzte ondorioz, eta ezin da baztertu detektaturik gabeko beste paretarik egotearena. Dena den, miaketa magnetikoan ere galtzadaren mendebaldeko sektore honetan ez da anomalia esanguratsurik detektatu, eta baliteke okupazio dentsitatea baxua izatea edota eraikinik gabeko erabilera bat eman izana.

6.6.3. Ondorioak

Georradar emaitzak bat datoz miaketa magnetikoan ikusitakoarekin. Modu honetan, ez da Zaldua gunean bi okupazio gune banandu dauden hipotesia ezeztatzeko daturik bildu, georradar emaitzetan ere arkeologiari esleituriko anomaliarik gabeko gune bezala ageri delako lur-zerrenda hori (ikusitako gune honen testuingurua 6.45. irudian). Bi eremuek horrekiko muga egiten duen pareta erakusten dute, baina ez da aztarnategian zehar detektaturiko beste paretak baino handiagoa dena ondorioztatzea ahalbidetzen duen daturik bildu. Horrenbestez, harresi edo antzeko egitura masibo bat izatea baztertu beharrekoa da.

Iparraldeko okupazio-gunean oso anomalia gutxi detektatu da georradarrarekin, miaketa magnetikoan gertatu bezala. Beraz, sektore honetan eta galtzadaren alde bakoitzean okupazio dentsitatea ezberdina dela ondoriozta daiteke. Horrek ez du esan nahi erabiltzen ez zenik, baina ez dirudi erabilera eraikinekin loturik zegoenik.

Okupazio-gune nagusiari dagokionez, morfologia argirik gabeko anomalia magnetiko zabal asko ez da georradar datuetan agertzen, eta badirudi eraikinik gabeko eremu zabalak badaudela. Bestalde, E40 izendatu da bi sistemetan detektatu arren, georradarrari esker definitu ahal izan den eraikina.

Bukatzeko, georradarrak sakoneko egitura handiak erakutsi ditu, behin-behinean egitura geologikoei esleiturikoak. Anomaliarik gabeko eremuan detektatu den eta forma ahurra duen anomaliaren alboan, ahala ere, antropikoa izan daitekeen egitura detektatu da, arrokan ebakita dirudiena.

6.7. Auritz-Aurizberri aztarnategia. Otegi. Iparraldeko irla anomaloak

Otegi gunean miaketa magnetikoaren emaitzetan irla anomalo bezala izendatu diren gune batzuk nabarmendu ziren (ikusi 6.4. irudia edo 4.2.3.2. atala). Horietan kontraste magnetikoa detektatu den arren, ez da egiturarik identifikatu ahal izan. Zundaketek ez zuten okupazio arkeologikoari lotutako geruzarik azaleratu eta anomalia horiek legar geruzen gertutasunak sortua izan zitezkeela iradoki zuten (ikusi 5.3.4.2. atala).

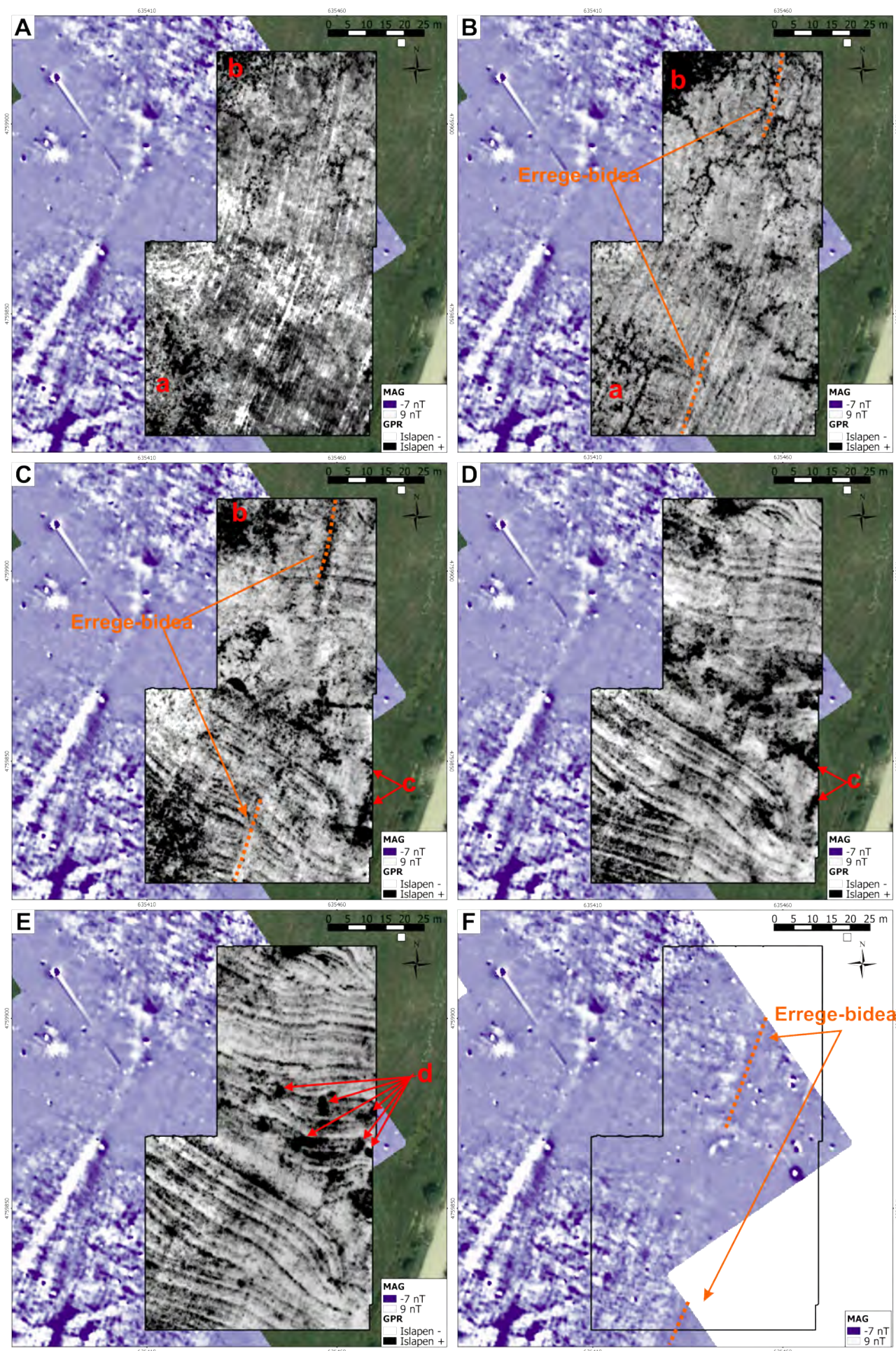
Otegi iparraldean daude horietako bi gune, kontraste magnetiko esanguratsurik erakusten ez duen eremu batek banatzen dituelarik (ikusi 6.52. irudia, F). Hegoaldekoaren forma eta tamaina deigarria suertatu da arkeologo batzuentzat kanpamendu batekin bat etor zitekeelakoan (2014. urteko kongresu eta antzeko foroetan jasotako komunikazio pertsonala). Miaketa magnetikoan oinarrituz Errege-Bidea bezala identifikaturiko anomalia lineala ere honen ekialdetik pasatzen da. Bestalde, Zaldia guneko P5 plazaren gertutasunak inguru hau ere okupatua egon daitekeela iradoki dezake.

Horiek guztiak kontuan izanda, 2015ko uztailean georradar bidez ikertzeko koadrikula bat markatu zen gune honetan. Irla anomaloen bi ertz, beraien arteko kontraste magnetikorik gabeko eremua eta balizko Errege Bidearen zati bat barneratzen ditu. Datuak *IDS* etxearen *Hi-Mod* sistema erabiliz bildu dira, 200 megahertz eta 600 megahertzeko maiztasunetan lan egiten duten bi antenaz horniturik. Sistema honekin 5148 m² miatu ziren, profilen arteko aldea 0,2 metrotan finkatuta, eta datuak siga-sagan bildu ziren sistema eskuz garraiatuz (6.8. taula).

Bi datu-multzoen artean 600 megahertzeko maiztasunari dagokionak erabili dira. Datuak oinarritzko prozesu batez landu dira dokumentuan erakusten diren anplitude-mapak sortzeko (ikusi 6.8. taula). Bertan ikusten diren anomalien sekzioak aztertzeko, aldiz, profilak topografiara egokitu dira. Horretarako 6.1.2.2. ataleko pausu berberak jarraitu dira, bai profil bakunen prozesuan, topografia koadrikularen sorreran zein zuzenketa topografikoan. Gune honetan zundaketarik burutu ez zenez, eta radar uhinaren abiadura ezagutzeko behaketa zuzeneko beste informaziorik izan gabe, profiletan ageritako hiperbolen analisiaren bitartez estimatu da uhinaren abiadura. Modu honetan, $v = 8,3$ cm/ns erabili da zuzenketa topografikoa egiteko, zein anplitude-mapen sakonera kalkulatzeko. Honela, zuzenketa topografikoaren ondoren sorturiko datu multzo berriari 1059 lagin du trazako, eta 144,5 nanosegunduko denbora-leihoa dagokio.

Emaitzetan ez da egitura arkeologikoei loturiko egitura argirik ikusi, eta egitura geologikoari esleitu zaizkion anomaliak ageri dira nagusiki. Hala ere, bada planteaturiko galderei erantzuten laguntzen duten zenbait informazio.

Lehen anplitude-mapan goldearen markari esleitu zaizkion lerroak ikus daitezke hego-iparralde norabidean (6.52. irudia, A). Azaleko anplitude-mapetan ikus daiteke alterazio magnetikodun guneetan georradar seinalea ere nahasia dela, baina ez da arkeologiari esleitu dakioken morfologiarik ezagutu (6.52. irudia, a eta b bezala markatuak). Hala ere, 4.-5. anplitude mapatik aurrera (0,35 metroko sakonera inguru), geruza geologikoen aldaerei esleitu zaizkien anomalia islakor linealak nagusitzen dira, hegoaldean bereziki. Kontraste magnetikorik detektatu ez zen gunean ere ikusten dira anomalia lineal hauek, baina ez dira sakonera handiagora arte nagusitzen, 0,7 metroko sakonera ingurutik aurrera



6.52. irudia: Otegi iparraldeko koadrikularen georradar emaitzak mapa magnetikoaren gainean ($v = 8.3 \text{ cm/ns}$) A: 1. anplitude-mapa (0-0,18 m). B: 3. anplitude-mapa (0,19-0,36 m). C: 5. anplitude-mapa (0,37-0,54 m). D: 8. anplitude-mapa (0,65-0,82 m). E: 11. anplitude-mapa (0,92-1,10 m). F: Miaketa magnetikoaren emaitza eremu berberaren gainean.

hain zuzen. Eremu honetan radar energia islatzen duten gune batzuk ere ikus daitezke, horien jatorria oso argia ez bada ere (6.52. irudia, d bezala markatuak). Miaketa koadrikularen hego-ekialdeko mugan anomalia islakor zabala ageri da, laukizuzen forma duena, baina miaketa eremutik at darrai eta ez da bere jarraipena ikusten (6.52. irudia, c bezala markatua).

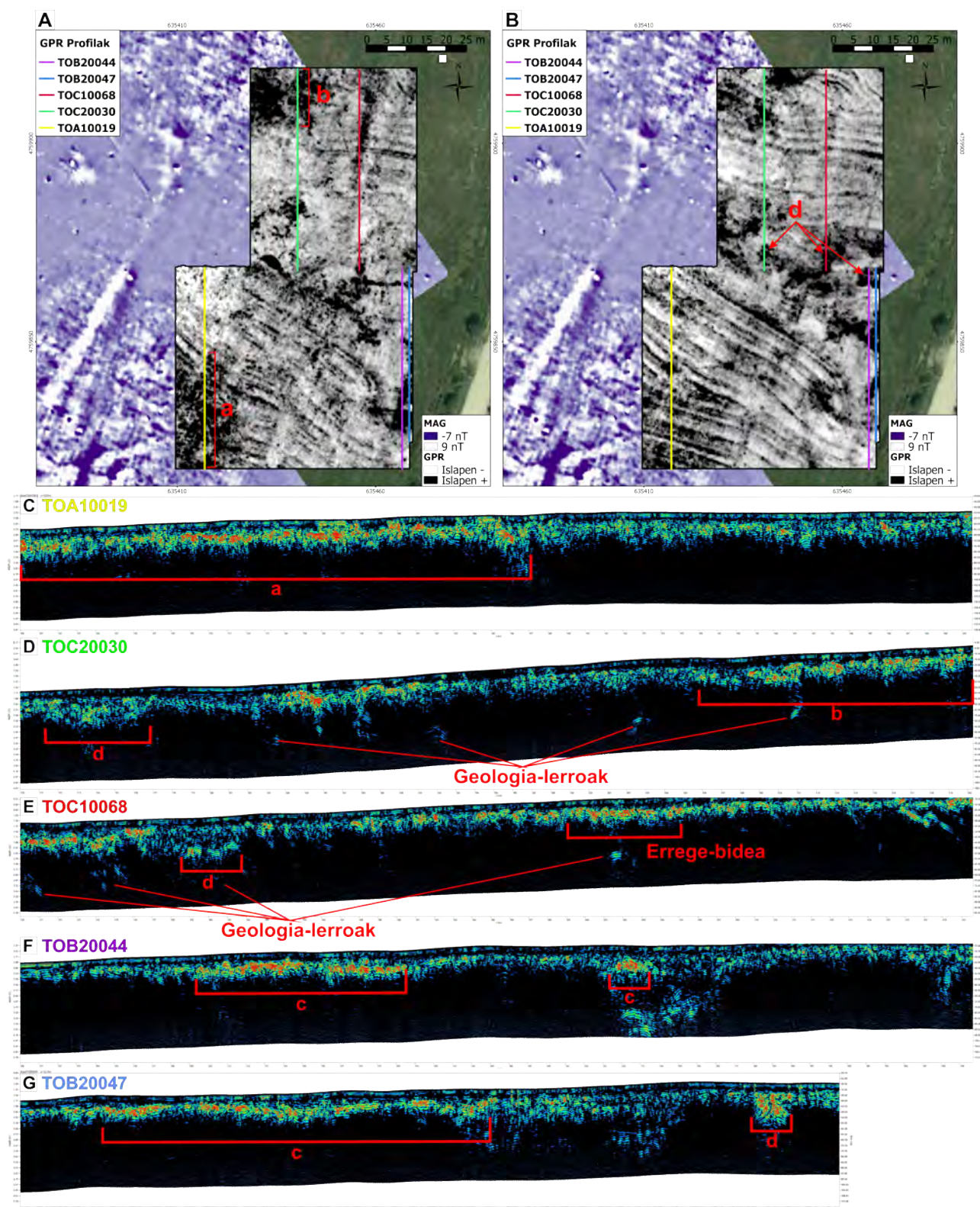
GPR	
Kanpaina	2015eko uztaila
Gailua	IDS Hi-mod
Antena kop.	2
Maiztasuna	200MHz eta 600MHz
Denbora leihoa	190 ns eta 60 ns
Datu dentsitatea	0,2 m x 0,04 m
Irakurketa modua	Siga-saga
Profilen prozesua	oinarrizkoa: Ganantzia, Fasea
Profilen prozesua	toporako: oinarrizkoa + edit + background
Denbora-xaflak	30 lagineko 20 xafla (34-350)
Parametroa	Anplitude karratua
Abiadura	8,3 cm/ns
Zuzenketa topo.	radargramatarako bakarrik
Zuzenketako parametro berriak	1059 lagin; 144,5 ns

6.8. taula: Otegi Iparraldeko georadar miaketaren parametroak. Miaketa magnetikoaren parametroak 90 orrialdeko 4.3. taulan daude.

Horietako batzuen gainetik pasatzen diren profilei dagozkien radargramak erakutsi dira 6.53. irudian. Bertan ageri den TOA10019 profilean ikus daiteke a bezala izendaturiko gunearen sekzioa, non ezaugarri ezberdinetako anomaliak ageri diren. Batzuk etenune lau eta jarraituei dagozkie, beste batzuk, aldiz, pareta edo etenune diskretuek sortuko lituzketenak dira. Honela bada, alterazio gune honek konposizio nahasia dutela esan daiteke, baina anplitude mapatan morfologiarik identifikatzen ez denez, ezin da okupazio arkeologikoak eragindakoa direnik baieztatu. Antzekoa gertatzen da b izendaturiko gunearekin, TOC20030 profilaren radargraman ikus daitekeen bezala.

C egitura, berriz, islakorra den etenune lau batek sortzen duela ikus daiteke radargrametan, nahiz eta ez den geruza homogeen bezala ageri (6.53. irudia, F eta G). Bildutako seinalea prestaturiko bide batek (edo erabiltzean zurrundutakoak) sorturikoaren antzekoa da eta anomalia lineal bezala ageri da anplitude-mapatan. Hala ere, egitura osoa detektatu ez izanak ez du bere morfologia osoa ikusteko aukerarik ematen eta interpretazioa zalantzazkoa da.

Bestalde, balizko Errege Bidearen kokapenean islapen gutxiko anomalia detektatu da hegoaldeko tartean, gune horretan sedimentua homogeenagoa dela adieraziz. Iparraldean, aldiz, anomalia islakor bezala ageri da tarte batzuetan (6.53. irudia E), agian harrizko prestaketaren bat kontserbatu duenaren seinale edota erabiltzearen poderioz zurruntzearen eraginez.



6.53. irudia: Otegi iparraldeko koadrikularen georradar emaitzak mapa magnetikoaren gainean. A eta B: 5. (0,37-0,54 m) eta 8. (0,65-0,82 m) anplitude mapak hurrenez-hurren. D-G: TOA10019, TOC20030, TOC10068, TOB20044 eta TOB20047 profilei dagozkien radargramak hurrenez-hurren. Maiztasuna 600 megahertz. Aplikaturiko prozesua: ganantzia, fase zuzenketa, zero denboraren egokitzea, *background* filteroa eta zuzenketa topografikoa ($v=8.3$ cm/ns).

Bukatzeko, d izendaturiko egituren sekzioek ezberdintasun nabariak darakutsate. 6.53. irudiko TOB20047 profilean ikus daiteke horietako bat oso islakorra den etenune bati dagokiola, egitura heterogoneo handi batek sortuko lukeenaren antzera. Besteek, aldiz, ez dute horrelako etenune islakorrik erakusten, eta beraien kontraste altua sakonera horretan dauden beste islapenen gabeziak sortua dela dirudi (ikusi 6.53. irudiko D eta E radargramak). Antzekoa gertatzen da anplitude mapatan argi ikusten diren lerro islakorrekin: radargramatan kasik ageri ez arren, anplitude-mapak sortzean sakonera horietan beste egiturarik ez egoteak, eta radargrama askotan detektatuak izateak ematen dien jarraitasunak, ahalbidetzen du plano horizontalean ongi deskribatzeko aukera izatea (ikusi 6.53. irudiko D eta E radargramak).

6.8. Auritz-Aurizberri aztarnategia. Otegi. Galtzadaren jarraipena

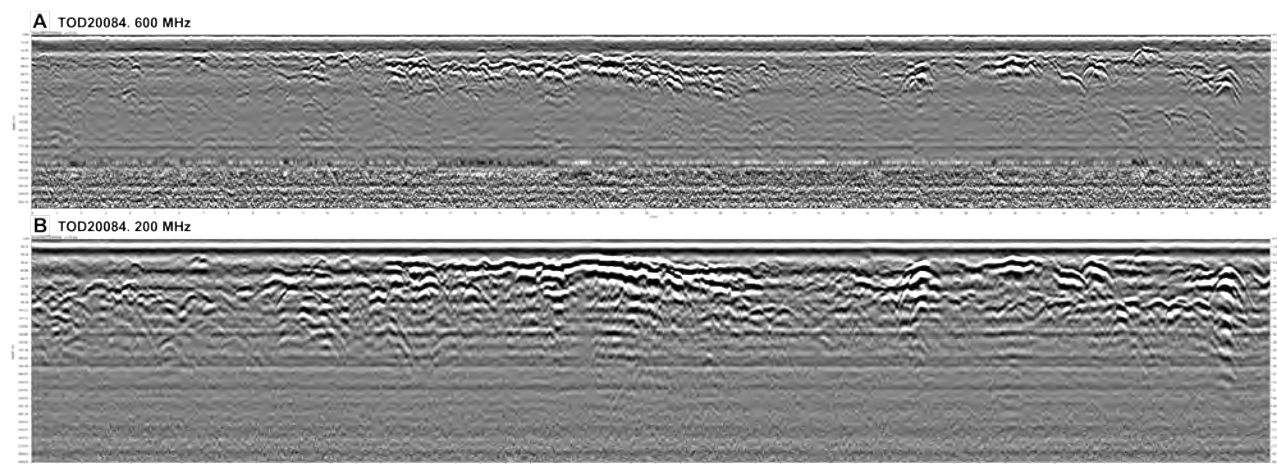
Galtzada erromatarra Otegi gunearen hegoaldetik pasatzen da. Mapa magnetikoan haren arrastoa jarraitzea zaila izan den arren, bere ibilbidea ezaguna da aireko irudiei zein indusketa arkeologikoei esker (Agirre-Mauleon et al. 2012b). Zundaketa geoarkeologikoan, hala ere, Otegi guneko hegoekialdeko zatian ez zen galtzada aurkitu, nahiz eta egia den zundak balizko ibilbidetik behar baino aldenduagoak zeudela (ikusi 5.7. irudia). Ondorioz, eremu honetan galtzadaren ibilbidea baieztatzeke zegoelako, eta georradar seinalean kontraste altua sortuko zuelakoan, 2015. urteko uztailan koadrikula bat markatu zen (ikusi kokapena 172 orrialdeko 6.4. irudian). Lehen eguneko emaitzak interesgarriak suertatu zirelako, jatorrizko koadrikula egunez-egun handitu zen, azkenean 8075 metro karratu ikertu zirelarik. Datuak bi antena erabiliz bildu ziren, profilen arteko aldea 0,2 metrotan finkatuta. Miaketaren momentuan belarra hazia zegoen sistema garraiatzeko erresistentzia sortzen zuelarik, nahiz eta ez den datuetan eragin duenik uste (ikusi 6.54. irudia).



6.54. irudia: 2015. urteko uztailako datu-bilketaren argazkia, Otegi guneko galtzadaren eremuan. Argazkia: Rafa Zubiria.

6.8.1. Datu-Prozesua

Radargramen behaketak argi uzten du gune honetan georradar miaketan ez dela sakonera handiko informaziorik lortu (ikusi 6.55. irudiko radargramak). Izan ere, sakonera batetik aurrera (1,60 m inguru) zarata besterik ez da ikusten eta baliteke lurzorua konposizio eroaleak radar energiaren transmisioa eragotzi izana (ikusi teoria kapituluko 2.3.3.2. atala). Erabilitako bi maiztasunetan antzekoa gertatzen da, eta ondorioz 200 megahertzeko maiztasunekoak ez dira sakonera handiagora iritsi. Hala ere, maiztasun honi dagokion radargramak sinpleagoak dira eta, informazioa hobeto ulertzen dela iritzita, hauek izan dira egituren sekzioa aztertzeko erabilitakoak. Anplitude-mapak, berriz, 600 megahertzeko datuekin sortu dira.



6.55. irudia: Otegi guneko profil batean antena bakoitzarekin jasotako datuen alderaketa. A. 600 MHz eta B. 200 MHz. $v=8,1$ cm/ns.

Anplitude-mapak sortzeko oinarritzko prozesua burutu da profil solteen gainean. Bertan ikusitako anomalien sekzioa aztertzeko, berriz, topografiara egokituriko profilak erabili dira. Horiek sortzeko 200 megahertzeko datuak erabili dira eta, oinarritzko prozesuaz gain, profilen zero-denbora doitu da eta ondoren *background* filtoa aplikatu zaie. Uhinaren abiadura maiztasunaren arabera aldatzen delako, abiaduraren estimazioa bi maiztasunetarako egin da hiperbolen analisiaren bitartez. Honela, abiadura nanosegunduko 8,1 zentimetrotan finkatu da 600 megahertzeko datu-multzorako eta nanosegunduko 9,9 zentimetrotan 200 megahertzeko datu-multzorako. Datu-bilketaren zein prozesuaren parametroak 6.9. taulan bildu dira.

6.8.2. Emaitzak

Georradar emaitzek espero ez zen egitura ugari azalatu dute, beste behin ere gune batzuetako kontraste magnetiko eza agerian utziaz. Esan beharra dago, hala ere, hauetariko batzuk miaketa magnetikoak barneratu ez zuen eremuan detektatu direla, eta ondorioz ez dugula horien kontraste magnetikoaren gaineko informaziorik. Egitura hauek azaleko geruzetan ageri dira oro har, eta garapen bertikal urria erakusten dutenez, potentzia arkeologikoa eskasa dela esan daiteke. Otegi iparraldean zein Zaldua guneko P5 eremuan gertatu bezala, sakonera batetik aurrera (0,80 m inguru) etenune geologikoei esleitu zaizkien anomalia linealak nagusitzen dira (6.56. irudia). Hauek azalera detektatu

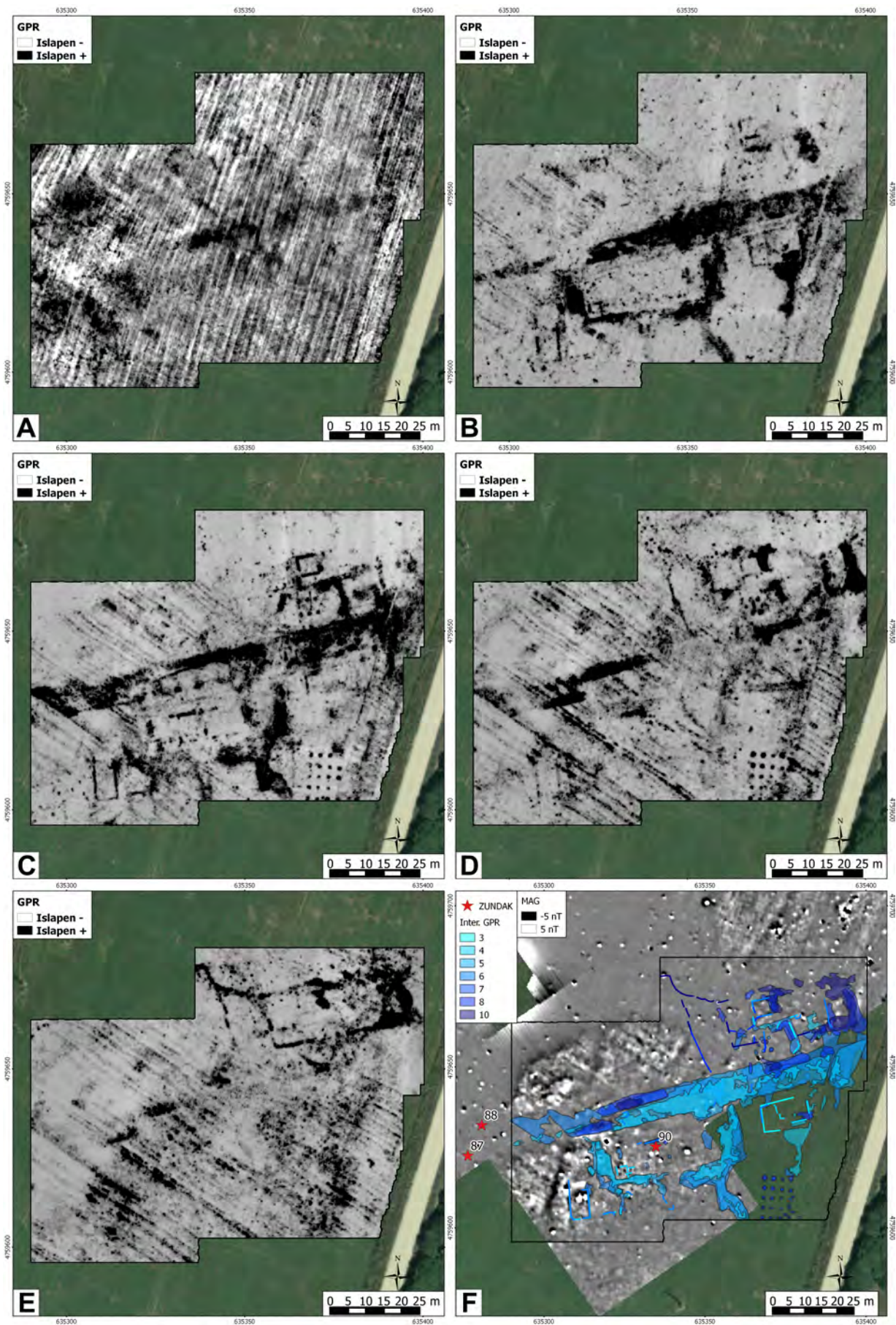
GPR	
Kanpaina	2015eko uztaila
Azalera	8075 m ²
Gailua	IDS Hi-mod
Antena kop.	2
Maiztasuna	200MHz eta 600MHz
Denbora leihoa	190 ns eta 60 ns
Datu dentsitatea	0,2 m x 0,04 m
Irakurketa modua	Siga-saga
Anplitude mapak	600 MHz
	30 lagineko 20 xafila (34-375)
	Profilak: Ganantzia, Fasea
	Anplitude karratua
Zuzenketa topografikoa	200 MHz
	Ganantzia, Fasea
	zero-denbora doiketa
	<i>background</i>
Abiadura	600MHz: 8,1 cm/ns / 200MHz: 9,9 cm/ns
	Hiperbolen analisi bidez

6.9. taula: Otegi gunean galtzadaren jarraipena aztertzeko burututako georradar miaketaren parametroak. Miaketa magnetikoaren parametroak 90 orrialdeko 4.3. taulan daude.

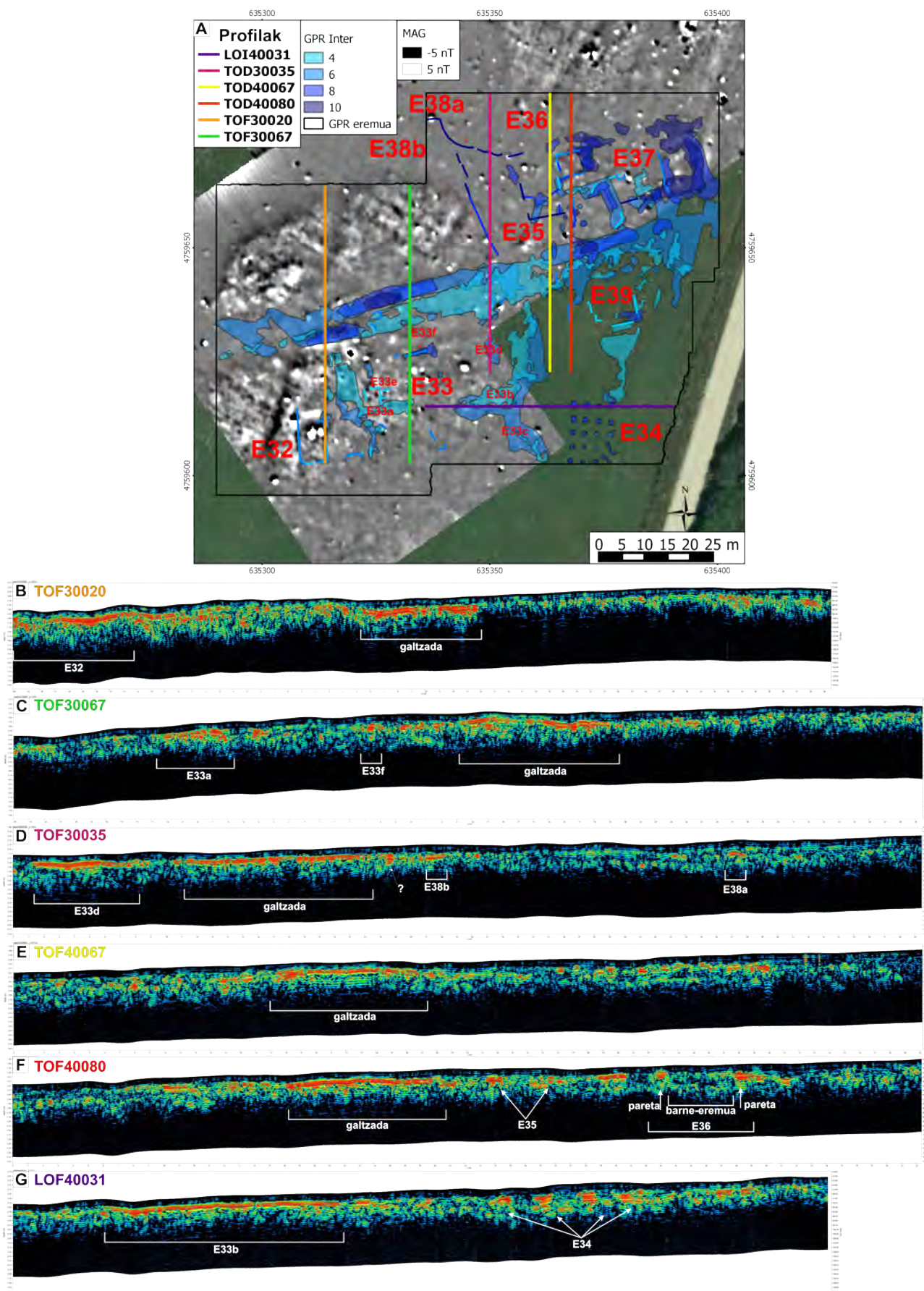
dira kontraste magnetiko nahasiko guneetan (0,40 m inguru), galtzadaren iparraldean bederen, eta horrek gune horietan sedimentu gutxiago dagoela ondorioztatzea ahalbidetzen du.

Galtzadaren ibilbidean honi esleituriko anomalia islakorra ageri da. Hala ere, bere mugak ez daude ongi definituta, eta anplitude-mapa bakoitzean zabalera ezberdina erakusten du. Jakina da urtetan goldea erabiltzearen poderioz galtzadako harrixkak barreiatuak izan direna (Agirre-Mauleon et al. 2012b), eta baliteke ikusten diren aldaketak horren adierazgarri izatea. Sekzioan egitura nahiko laua dela ikus daiteke, nahiz eta batzuetan erdigunean lodiagoa denaren itxura duen (ikusi 6.57. irudiko E). 2012. urteko indusketan bi lekutan ireki zen galtzada. Otegi gunean irekitako katan kontserbaturiko harri pakete meheagoa agertu zen Zaldua guneko katan azaleratuarekin alderatuz. Aldi berean, Zaldua gunean erdigunean lodiagoa zela argi ikusten zen arren (dilista erdi baten formakoa), Otegi guneko katan ezberdintasuna ez zen hain nabaria. Honela, georradar emaitzetan ikusitakoa bat letorke barreiatzearen poderioz mugak gaizki definituta dituen galtzadarekin.

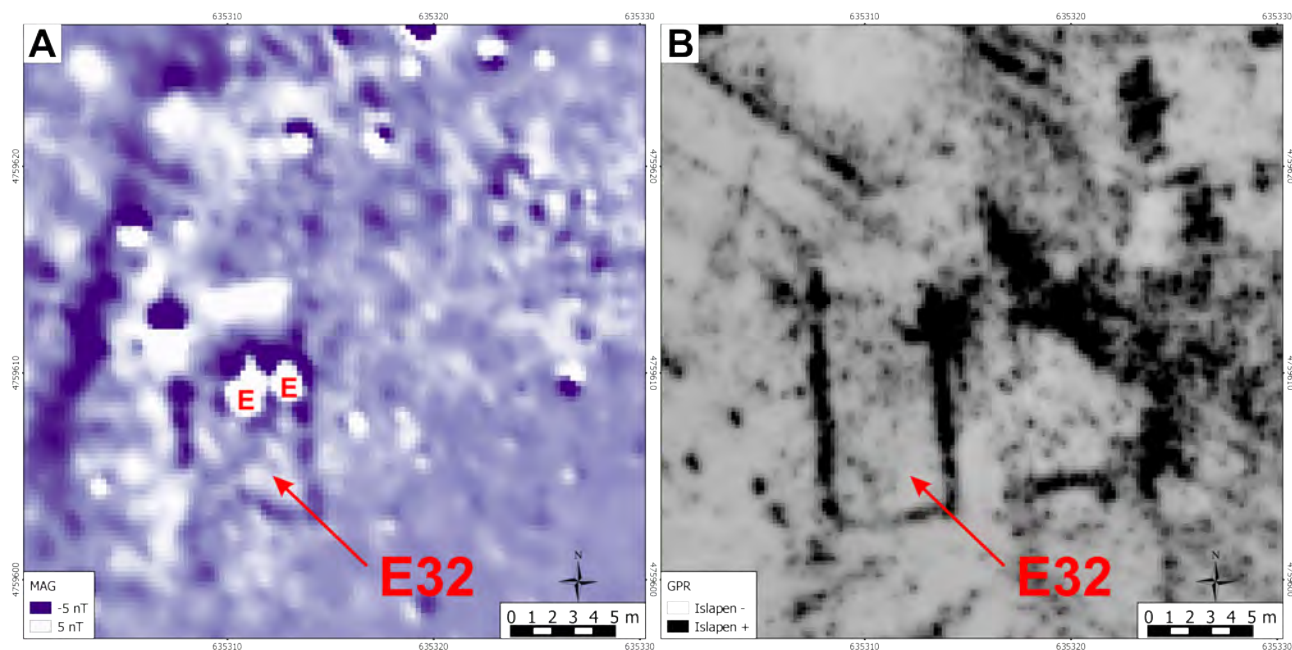
Galtzadaren hego-mendebaldean kokatzen da miaketa magnetikoaren emaitzetan ere ikusi ahal den egitura bakarrenetarikoa, E32 izendatu dena (izenetarako ikusi 6.57. irudia, A). Georradar emaitzetan pareta bezala identifikaturiko anomalia islakorrak bat datoz miaketa magnetikoan detektaturiko kontraste negatibodun anomaliekin, eta 8,6 m x 6 metro inguruko laukizuzen bat definitzen dute. Honen barnealdean kokatzen dira miaketa magnetikoaren emaitzetan errekontzarekin identifikaturiko bi anomalia, egitura honen barnean egon zitezkeen errekontza prozesuen isla izan litezkeenak (ikusi 6.58. irudia).



6.56. irudia: Otegi guneko galtzadaren eremuan buruturiko georradar miaketaren emaitzak 2013ko ortofotoaren gainean. A-E: Anplitude-mapen segida, hurrenez-hurren: 1(0-0,12 m); 4 (0,28-0,40 m); 6 (0,48-0,59 m); 8 (0,66-0,78 m); 10 (0,85-0,97). F: Georradar emaitzetan oinarritutako interpretazio-eskema sakoneraren arabera antolatuta mapa magnetikoaren gainean. Inguru horretan zulatutako zunden kokapena ere adierazi da. Horietan ez zen inolako arkeologia zantzurik ikusi. Ortofotoaren iturria: ©*Instituto Geográfico Nacional*.



6.57. irudia: Otegi guneko galtzadaren eremuko egituren sekzioak. A. Profilen kokapena georadar emaitzetan oinarritutako interpretazioa eta mapa magnetikoaren gainean, non egituren izenak ageri diren. B-G. Profile horietan bildutako 200 megahertzeko maiztasunari dagozkion radargramak, filtratuta eta topografiara egokituta.



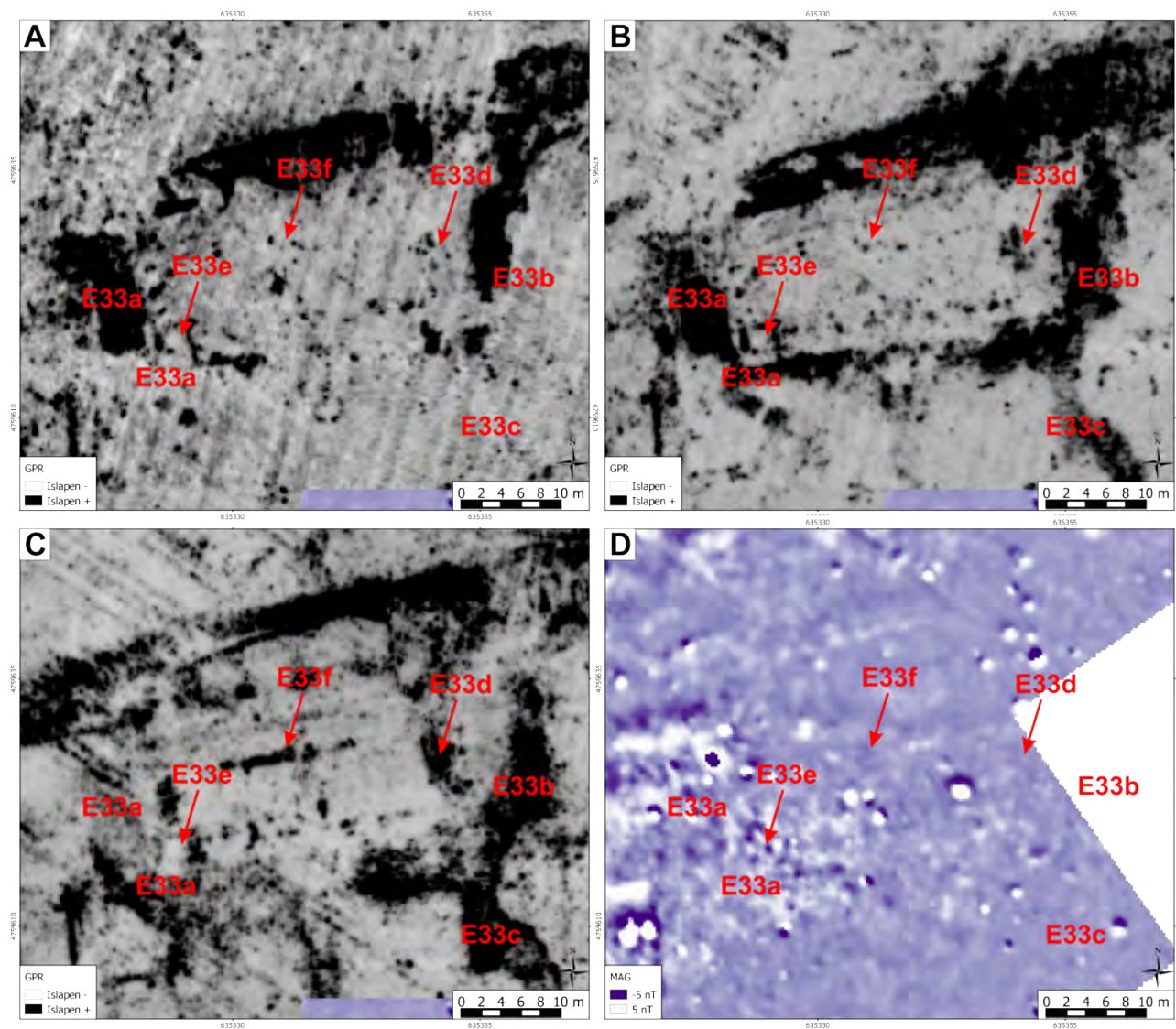
6.58. irudia: E32 eraikina. A. Miaketa magnetikoaren emaitza non balizko errekuntzen kokapena E hizkiz adierazi den (-5 nT urdinez, 5 nT zuriz). B. Georradar datuekin sortutako 6. anplitude-mapa (0,48-0,591 m. $v=8,1$ cm/ns).

Eraikin honen ekialdean kokatzen da E33 egitura multzoa. Anomalia islakor zabalek (E33a,b,c) 37 m x 16 metro inguruko eremu bat definitzen dute, non beste anomalia batzuk ere detektatzen diren (6.59. irudia). Horien artean E33e da morfologia argiena erakusten duena, 3,5 m x 2,5 metroko laukizuzena hain zuzen. Besteek, gune islakor bezala detektatu diren arren, ez dute identifikatzeko aukerarik ematen duen formarik erakusten (E33d eta E33f adibidez). Eremu honen muga diren anomalia zabalak etenune lau bezala ageri dira sekzioan, galtzadak sortutakoaren antzekoa den seinalea bildu delarik (ikusi 6.57. irudia, G). Honek, nolabaiteko prestaketa duen zoru bat izan daitekeela iradokitzen du, bere funtzioa oso argi ez dagoen arren.

Egitura honen hego-ekialdean, zaldua gunean detektatutakoaren antzeko anomalia islakor zirkularrak ageri dira (6.56. irudia eta kokapenerako ikusi 6.57. irudia, E34). Kasu honetan 20 anomaliako multzoa detektatu da, launakako bost errenkadetan antolatuta. Miaketa eremuaren muga bertan dagoenez, baliteke egitura multzo honek jarraipena izatea hegoalderantz. Anomaliatan oinarrituz 1,1 metro inguruko diametroko egiturak direla esan daiteke, eta errenkadan kokatuta egonik zutabeei esleitu zaizkie behin-behinean. Galtzadaren iparraldean ere detektatu da anomalia islakor zirkularren beste multzo bat, antzeko ezaugarriak erakusten dituena (E35). Kasu honetan seiko multzoa da, hirunako bi zerrendatan kokatuta.

E35 multzoaren inguruan egitura arkeologikoei esleituriko anomalia ugari ageri da, baina horien irudiak ez dira beti ongi definitzen, agian kontserbazio-maila baxua dutelako. E36 izendaturiko egitura salbuespena litzateke, ongi definituriko eta 5 m x 5 metro inguruko laukizuzen bat bezala agertzen baita anplitude-mapetan. Laukizuzenak irekiuneak erakusten ditu bi puntutan, eta ez dago jakiterik berezkoa duen edo kontserbazio txarraren ondorio den. Honen ekialdean dagoen anomalia multzoari E37 izena eman zaio, nahiz eta ez dagoen argi unitate arkeologiko bakarra denik. Izan ere, egiturak sakonera ezberdinetan ageri dira (ikusi 6.56. irudiko segida eta 6.60. irudia), nahiz eta orokorrean antzeko ezaugarriak erakutsi. Gehienek orientazio amankomuna dute eta anomalia islakor zabalei

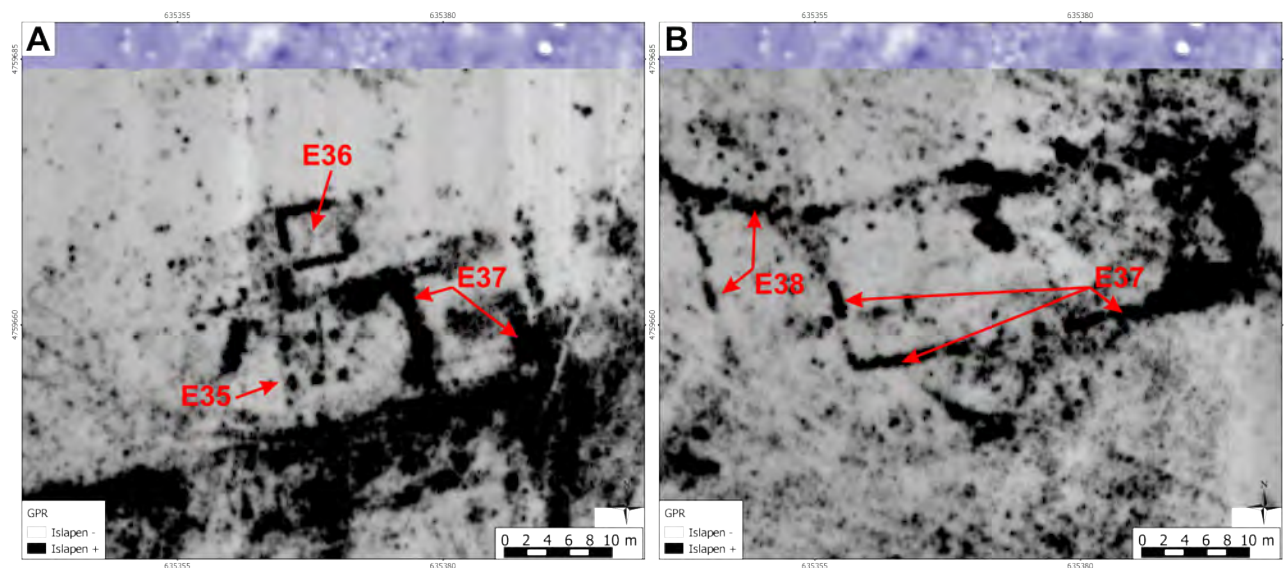
dagozkie, E33 eta galtzada beraren antzeko seinalea darakutsatelarik. E35, E36 eta E37 egitura multzoen azpian anomalia linealak ageri dira, aurreko egituren mugak errespetatzen ez dituztenak (E38 izendatuak. Ikusi 6.60. irudiko B eta 6.57. irudiko A eta D). Baliteke beste okupazio maila bati egokitzea, edota fase berarekin loturiko baina kota baxuagoan kokaturiko egiturak izatea, kanalizazioak adibidez. Indusketa arkeologikorik gabe, baina, ezin da horrelakorik baieztatu.



6.59. irudia: E33 eraikina. A., B. eta C. Georradar datuekin sortutako 3. (0,19-0,3 m), 4. (0,28-0,40 m) eta 6. (0,48-0,59 m) anplitude-mapak, hurrenez hurren ($v=8,1$ cm/ns). D. Miaketa magnetikoaren emaitza non agerian geratzen den egitura hauek ez dutela kontraste magnetikorik (-5 nT urdinez, 5 nT zuriz).

6.8.3. Ondorioak

Eremu honen georradar miaketak hasera batean espero ez ziren egiturak azaleratu ditu. Horiatariko batzuen funtzioa argitzez egon ez arren, okupazioaren existentzia frogatzeko adina informazio bildu da. Honela, galtzadaren inguruan bederen beste egitura batzuk badaudela ondoriozta daiteke. Zaldia gunean ere, miaketa magnetikoaren emaitzek galtzadaren inguruan azaleratu dituzte egitura nagusiak, galtzadak berak asentamenduaren ardatz gisa jokatzen duela irudikatuz. Otegi gunean, miaketa hau gauzatu arte, 80. hamarkadan induskaturiko nekropolia besterik ez zen ezagutzen (Unzu eta Peréx 2010). Hau, georradarrez miaturiko gunearen mendebaldean kokatzen da, galtzadaren



6.60. irudia: E35, E36, E37 eta E38 eraikinak. A. Georradar datuekin sortutako 6. anplitude-mapa (0,48-0,59 m). B. Georradar datuekin sortutako 10. anplitude-mapa (0,85-0,97 m). 600MHz, $v=8,1$ cm/ns.

jarraipenean. Emaitza berriek nekropolia eta Zaldua gunearen arteko tartean ere egiturak egon badaudela erakutsi dute, eta oraindik aztertu gabeko gunean okupazioa egongo denaren susmoa indartu dute. Interesgarria da gune honetan detektaturiko egiturek ez dutela Zaldua guneko okupazio-eremu nagusian detektatutakoen antzik, hau da, ez dutela etxebizitza bezala erabilitako egiturek utzitako arrastoen itxurarik. Honek, nekropoliaren gertutasunarekin batera, inguru hau hirigunetik at kokatzen dela iradoki du.

Metodologiari dagokionez, agerian geratu da sistema ezberdinak erabiltzearen abantaila nagusienetarikoa: propietate fisiko ezberdinak neurtzeari esker, kontraste geofisikoa ezberdina da sistema bakoitzean, eta batek irudikatu ezin duena beste batek detektatzeko gaitasuna izatea gerta liteke. Kasu honetan, miaketa magnetikoak ez du georradar bidez detektaturiko egiturak irudikatzeko gaitasunik eduki, E32 egituraren kasuan izan ezin. Ikerketa gehiagorik gabe honen zioa behin-betiko argitzerik ez dagoen arren, badira egoera hau azalduko luketen zenbait fenomeno.

Lehenengo eta behin, Otegi gunea urtetan zehar izan da goldatua, eta jakina da honek arkeologia geruzari eragin diola. Horren adibide dira nekropoli gunean egindako indusketak, zein galtzadaren sekzioa aztertzeko 2012an egindako miaketa-zuloa. Honela, pentsatzekoa da kontserbazio-maila eskasak kontraste magnetikoan eragin izana, suszeptibilitate altuagoko sedimentu arkeologikoen desagertzeagatik.

Bestetik, gera daitezkeen harrizko egituren potentzia urria bada eta erabilitako materialek inguruarekiko duten suszeptibilitate-kontrastea ahula, intentsitate apaleko anomalia magnetikoa sortzen dute, detektagarritasuna zalantzan jarriz. Horri guztiari gehitzen zaio, gainera, Otegi gunean egondako eraldaketa guztiek zarata magnetikoa areagotu dutela: lursailen mugen aldaketak, ur-hobiaren instalazioa, tentsio-altuko sarea, metalezko elementu modernoak, gaineratu ahal izan diren ongarriak,... Georradarrak, aldiz, sedimentua eta harriaren arteko etenunea detektatzen du eta, horregatik, potentzia urria izan arren, gai da harrizko egiturak irudikatzeko. Lehenago aipatu den E32 egituraren kasuan, miaketa magnetikoan ere detektatu dira balizko paretak. Nabarmentzekoa da egitura horren barnealdean errekontzari esleituriko anomaliak identifikatu direla. Baliteke suaren

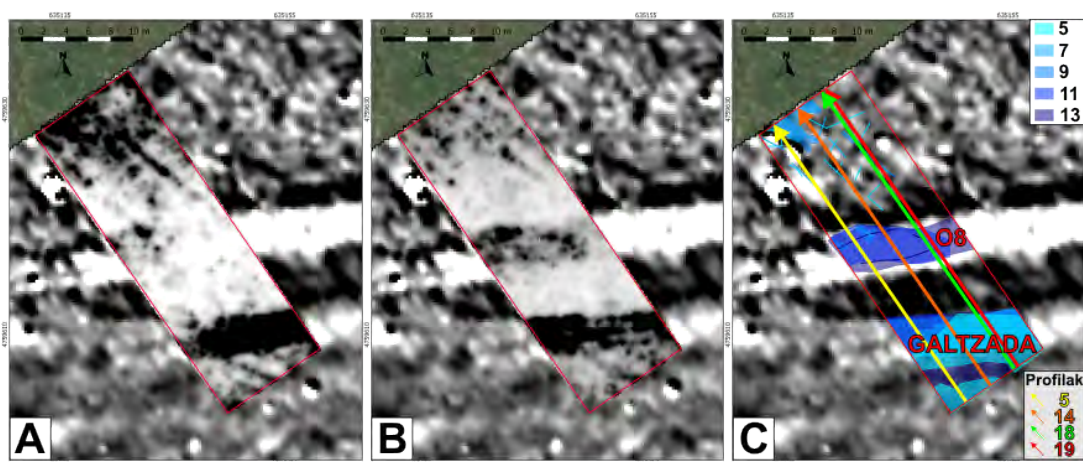
eraginez, inguru hori suszeptibilitate altuko mineraletan aberatsagoa izatea, eta horrek harrizko pareta eta inguruaren arteko kontraste magnetikoa areagotu izana.

6.9. Auritz-Aurizberri aztarnategia. Otegi. Galtzadaren ondoko O8 anomalia lineala

Otegi gunean, nekropoliaren inguruan kontraste positibodun anomalia magnetiko indartsua agertu zen 2013. urteko miaketan. Galtzadarekiko paraleloa denez eta honekin kontaktuan dagoenez interesgarria zela iritzi, eta urte hartan bertan georradar miaketa burutu zen anomalia honen zati bat barneratzen duen 30 m x 10 metroko koadrikulan (6.4. orrialdeko 172 irudia). Eremua antena bakarrarekin eta profilen arteko aldea 0,40 metrotan finkatuta miatu zen (ikus 6.10. taula). Emaitzetan kontraste positibodun anomaliak radar energia islatzen duela ikus daiteke, naiz eta islapenaren intentsitatea ez den eremu guztian berdina (6.61. irudia).

GPR	
Kanpaina	2013ko urria
Azalera	10 m x 30 m
Gailua	IDS Hi-mod
Antena kop.	1
Denbora leihoa	90 ns eta 60 ns
Maiztasuna	200MHz eta 600MHz
Datu dentsitatea	0,4 m x 0,02 m
Irakurketa modua	Siga-saga
Anplitude mapak	600 MHz
	Profilak: Ganantzia eta Fasea
	35 lagineko 25 xafla (62-350)
Zuzenketa topo.	Anplitude karratua
Abiadura	Ez
	9 cm/ns
	hiperbolen analisia

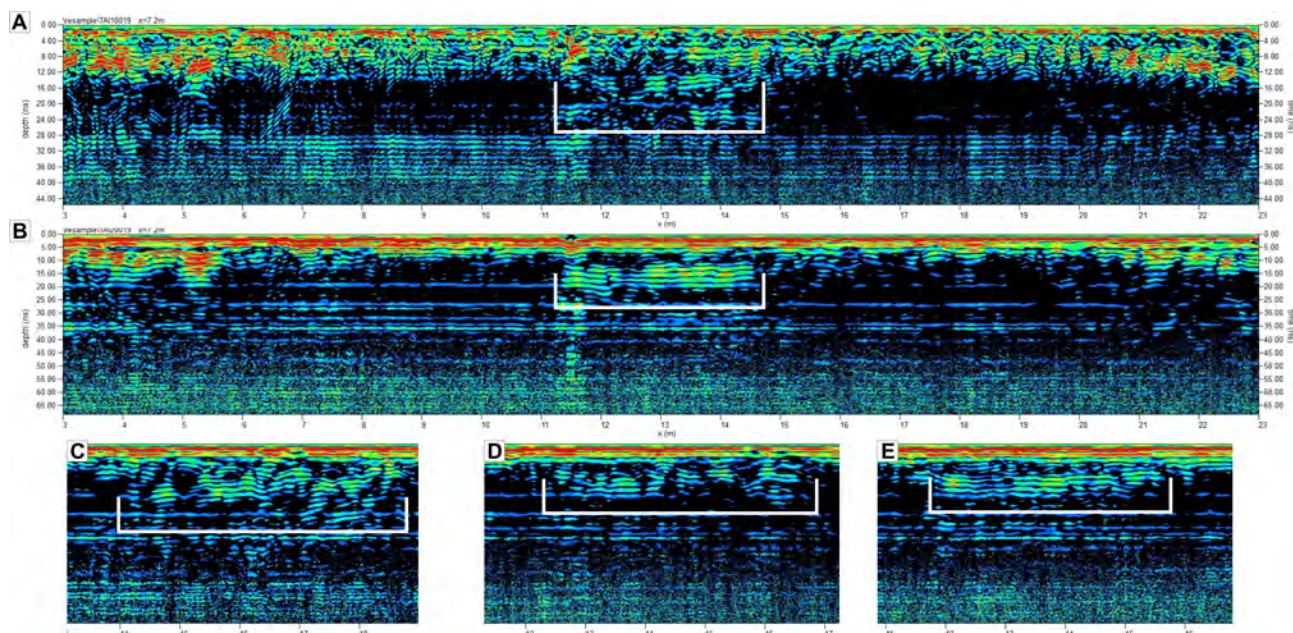
6.10. taula: Otegi guneko O8 anomaliaren azterketarako parametroak. Miaketa magnetikoaren parametroak 90 orrialdeko 4.3. taulan daude.



6.61. irudia: Otegi gunearen hego-mendebaldean galtzadaren ondoko O8 anomaliaren gainean buruturiko georradar miaketaren emaitza mapa magnetikoaren gainean (-5 nT beltzez, 6 nT zuriz). A: 7. anplitude-mapa gainazaletik 0,36 m eta 0,55 metro bitartean. B: 11. anplitude-mapa gainazaletik 0,61 m eta 0,8 metro bitartean. C: Georradar emaitzetan oinarritutako interpretazio-eskema, non 6.62. irudian erakutsi diren profilen kokapena adierazi den. 600 megahertzeko datu-multzoa, $v = 9$ cm/ns.

Erabilitako bi maiztasunen emaitza oso antzekoa izan arren sorturiko anplitude-mapetan, anomalia sekzioan aztertuz 200 megahertzeko antenarekin islapena argiagoa dela ikus daiteke (ikusi 6.62. irudian A eta B). Islapena sortzen duen etenunea irregularra izateak maiztasun altuan puntuz-puntuko islapen ezberdina sorraraztea ekar dezake, eta honek egituraren osotasuna ikustea zailtzea. Honetaz gain, anplitude-mapetan ikusitakoarekin bat radargrama ezberdinetan islapen ezberdina erakusten duela ikus daiteke, anomalia sortzen duen egituraren homogeneotasun falta agerian utziaz (6.62. irudia, C-E).

Erabilitako bi sistema geofisikoen emaitzak kontuan izanda kontrastea sortzen duen egitura bat dagoela nabaria da. Miaketa magnetikoan oinarrituz 47 metro luze eta 3,5 metro zabal dituela esan daiteke, baina egitura horren izaera ez da argitu. Zundaketa geoarkeologikoez ez dute arkeologia geruzarik detektatu puntu honetan eta, georradar islapena azal lezakeen geruza gogorra erakutsi duten arren, kontraste magnetikoa zerk sortzen duen argitzeke dago oraindik.

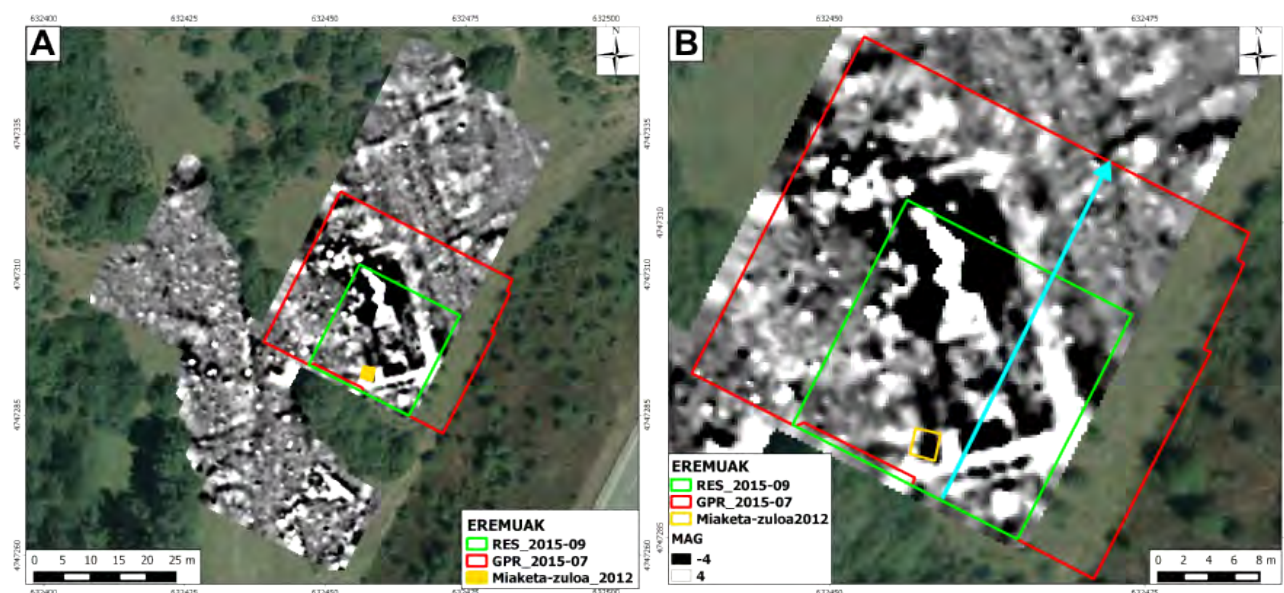


6.62. irudia: O8 anomalia zeharkatzen duten profil batzuen radargramak (profilen kokapena 6.61. irudiko C atalean adierazi da). A eta B: 19. profilari dagozkion radargramak 600 megahertz eta 200 megahertzeko antenarekin bilduta hurrenez-hurren. C-E: 5. 14. eta 18. profilei dagozkien radargramen tartea, non O8 anomaliaren seinale ezberdinak ikusten diren (200 MHz).

6.10. Artzibarreko aztarnategia

Artzibarreko aztarnategian miaketa magnetikoak eraikin bati esleituriko anomalia multzoa azaleratu zuen 2014. urteko uztailan (ikusi 6.63. irudia edo 4.3. atala). Hortaz gain, kontraste magnetiko altuko gunea detektatu zen eraikinaren iparraldeko sektorean, behin-behinean errekontza prozesu bati esleitu zaiona. 2012ko miaketa-zuloa eraikinaren hegoaldean kokatu zen, eta bertan Erromatar Garaiko materialak agertu zirenez, eraikina bera garai horretakoa dela pentsatzea zilegi da. Hurrengo kanpainetan beste sistema geofisikoak aplikatu ziren aztarnategi honetan (ikusi 6.63. irudia).

2015. urteko uztailan georradar miaketa burutu zen. Beste kasuetan bezala, datuak *IDS* etxearen *Hi-Mod* sistema erabiliz bildu ziren, 200 megahertz eta 600 megahertzeko maiztasunetan lan egiten duten bi antenaz horniturik. Profilen arteko aldea 0,2 metrotan finkatu zen eta datuak siga-sagan bildu



6.63. irudia: Artziko aztarnategian burututako miaketa geofisiko ezberdinek barneraturiko eremuak mapa magnetikoaren gainean (-4 nT beltzez, 4 nT zuriz). 2012an burututako miaketa-zuloa ere erakusten da, non erromatar garaiko materialak agertu ziren. A. 2014an miaketa magnetikoak barneratutako eremu osoa ikusten da. B. Eraikin baten arrasto bezala interpretaturiko gunea, non beste sistema geofisikoak aplikatu diren. Lerro urdinak 6.64. irudian erakusten den profilaren kokapena adierazten du. Ortofotoaren iturria: © *Instituto Geográfico Nacional*.

ziren sistema eskuz garraiatuz (6.11. taula). Metodologia honekin 30 m x 36,6 metrotako koadrikula bat miatu zen, eraikina barneratzen duena. Koadrikularen kokapena GPS diferentziala erabiliz burutu zen, miaketa magnetikoan erabilitako orientazio eta koordenatu-sistema bera erabiltzearen.

2015. urteko irailean, berriz, sistema elektrikoa erabilia miatu zen eraikina. Aurrekoetan bezala, *Geoscan Research* etxeko *RM15-Mpx15* sistema erabili da dipolo-dipolo konfigurazioan eta bi datu-multzo bildu da: lehena, 0,5 metrotako separazioari dagokiona eta 0,5 m x 0,5 metrotako bereizmena duena; bigarrena, metro bateko separazioari dagokiona eta 0,5 m x 1 metrotako bereizmena duena (6.11. taula). Metodologia honekin 20 m x 20 metrotako koadrikula bat miatu zen, eraikinaren gunea nagusia barneratzen duena.

6.10.1. Datu-Prozesua

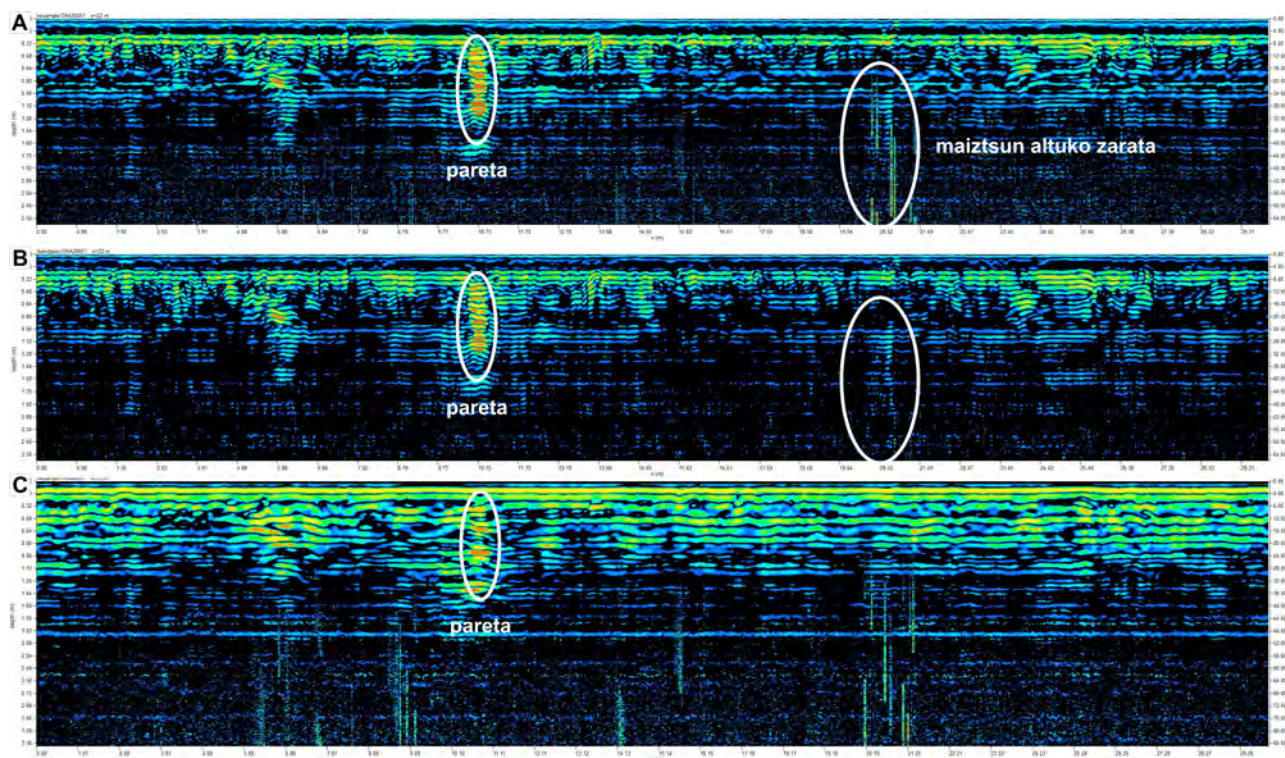
6.10.1.1. Georradar datuen datu-prozesua

Artziko georradar miaketako datuak zaratatsuak direla ikus daiteke radargramak begiratuaz. Maiztasun altuko zarata bereziki nabarmena da, eta maiztasun espektroa aztertzean momentu batzuetan maiztasun altuko interferentzia bildu dela ikus daiteke. Hortaz gain, antena eta lurrazalaren arteko kontaktu ezegokia ere ikus daiteke han-hemenka, honek ere seinalearen kalitatean eragin duelarik. Bestalde, georradar energiaren barneraketa eskasa izan da, edo radargrametan bederen sakonera batetik aurrera zarata besterik ez da ikusten. Erabilitako bi maiztasunen alderaketak argi utzi du 600 megahertzeko antenarekin bilduriko datuek egiturak hobe deskribatu dituztela, eta ez dutela sakonera gutxiagorik lortu (ikusi 6.64. irudia). Hori dela eta, 600 megahertzeko datuak izan dira bai anplitude-mapak sortzeko zein sekzioak aztertzeko erabili direnak.

Anplitude-mapak sortzeko oinarritzko prozesuaz gain (ganantzia aplikatu eta fasea zuzendu), maiztasun filtroa zein *background* filtroa aplikatu zaizkie profilei. Izan ere, proba ezberdinak

MAG	
Kanpaina	2014ko uztaila
Azalera	3304 m ² (1) + 1800 m ² (2)
Gailua	Bartington Grad-601 dual
Sentsore kop.	2
Datu dentsitatea	0,5 m x 0,25 m
Irakurketa modua	Siga-sagan, denboran
Prozesua	Clip -100nT/100nT
	Zero Mean line
	Zero Mean Grid (0,25 stdv)
	Zero Mean line (-5nT/5nT)
	Interpolazioa 25cmra
GPR	
Kanpaina	2015eko uztaila
Azalera	1098 m ²
Gailua	IDS Hi-mod
Antena kop.	2
Maiztasuna	200 MHz eta 600 MHz
Denbora leihoa	190 ns eta 60 ns
Datu dentsitatea	0,2 m x 0,04 m
Irakurketa modua	Siga-saga
Anplitude mapak	600 MHz
	30 lagineko 15 xafla (30-300)
	Profilak: Ganantzia, Fasea, <i>Bandpass</i> (171-685 MHz), <i>Background</i>
	Anplitude karratua
Zuzenketa topo.	Ez
Abiadura	6,4 cm/ns
	Hiperbolen analisi bidez
RES	
Kanpaina	2015 iraila
Gailua	RM15
Konfigurazioa	Dipolo-Dipolo
Intentsitatea	1 mA
Voltaia	100 V
Ganantzia	X 1
Elektrodoen aldea	A: 0,5 m; B: 1 m
Inf. Elektrodoena	2m
Datu dentsitatea (A)	0,5 m x 0,5 m
Datu dentsitatea (B)	0,5 m x 1 m
Irakurketa modua	Siga-saga
Prozesua AR05PHi (A)	Despiking X=1, Y=1, Th=1, StDv
	Hi-pass (10,10,Wt=G)
	Interpolazioa 25cmra
Prozesua AR1Pi (B)	Despiking X=2, Y=1, Th=1, StDv
	Interpolazioa Y norabidean 0,5mra
	Interpolazioa 25cmra

6.11. taula: Artzibarreko aztarnategiko datu-bilketa eta datu-prozesuaren parametroak

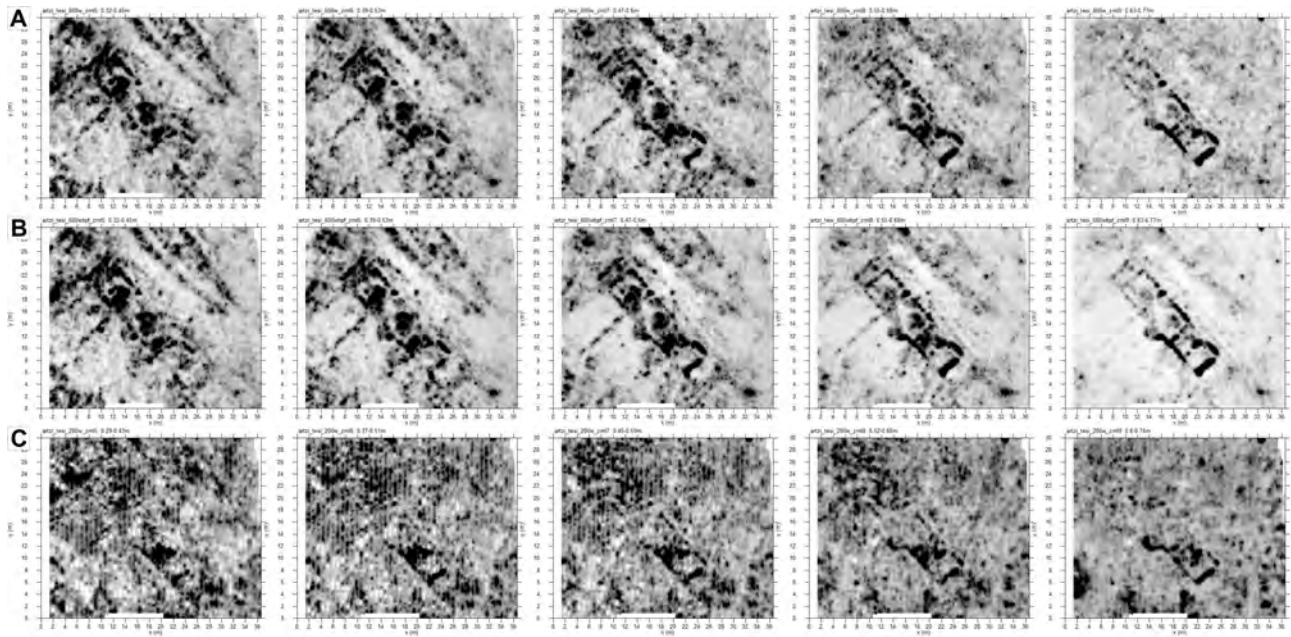


6.64. irudia: Georradar profilak Artziko aztarnategi erromatarrean. Erakusten diren hiru radargramak posizio berdineko eta momentu berean bildutako profilari dagozkio. A: 600 megahertzeko maiztasuna, ganantzia eta fase-zuzenketa aplikatuta. Maiztasun altuko zarata puntuala ikus daiteke radargraman. B: A irudiko profil berdina *bandpass* filtoa aplikatu ostean, maiztasun altuko zarata ezabatzeko. C: 200 megahertzeko maiztasuna, ganantzia eta fase-zuzenketa aplikatuta.

burutu ostean prozesu honen bidez loturiko irudiak argiagoak direla iritzi da (ikusi 6.65. irudia). Antenaren maiztasuna 600 megahertzetan finkatuta dagoen arren, bildutako datuen maiztasun espektroa 171 - 685 megahertz bitartean kokatzen da oro har, eta horiek izan dira *bandpass* filtoa aplikatzeko parametroak. Uhinaren abiadura hiperbolen analisiaren bitartez estimatu da, nanosegunduko 6,4 zentimetrotan finkatu delarik ($v=6,4$ cm/ns). Kasu honetan ez dugu drone bidezko topografia daturik, eta LiDAR datu librean zehaztasuna bost metrotakoa dela kontuan izanda, aski ez dela erabaki eta ez da zuzenketa topografikorik aplikatu. Datu-bilketaren zein prozesuaren parametroak 6.11. taulan bildu dira.

6.10.2. Emaitzak

Georradar emaitzek miaketa magnetikoan detektaturiko A multzoaren beste ikuspegi bat eman dute (ikusi 6.66. irudia). Espero zitekeen bezala, paretak kontraste hobea erakutsi dute eta, ondorioz, eraikinaren planta hobe definitu da. Miaketa elektrikoak, aldiz, ez du pareta eta inguruaren artean kontraste esanguratsurik detektatu, eta emaitzak pobreak dirudite georradarrarekin lorturikoen aldean (6.67. irudia). Dena den, eraikinaren zati batzuk erresistentzia elektriko altuagoa duela erakusten dute datuek, baina eremua ez dator guztiz bat beste sistemek azaleratutakoarekin eta sistema elektrikoan soilik oinarrituz ez litzateke posiblea izango eraikinaren presentzia baieztatzea. A egitura multzoaren perimetroa definitzen duen kontraste positibodun anomalia, aldiz, bat dator eroankortasun elektriko altuagoko gune batekin. Erresistentzia mapan koadrikularen ipar-mendebaldeko aurpegian gune eroankorragoa ikus daiteke, agian miaketaren momentuko hezetasun mailarekin lotua egon

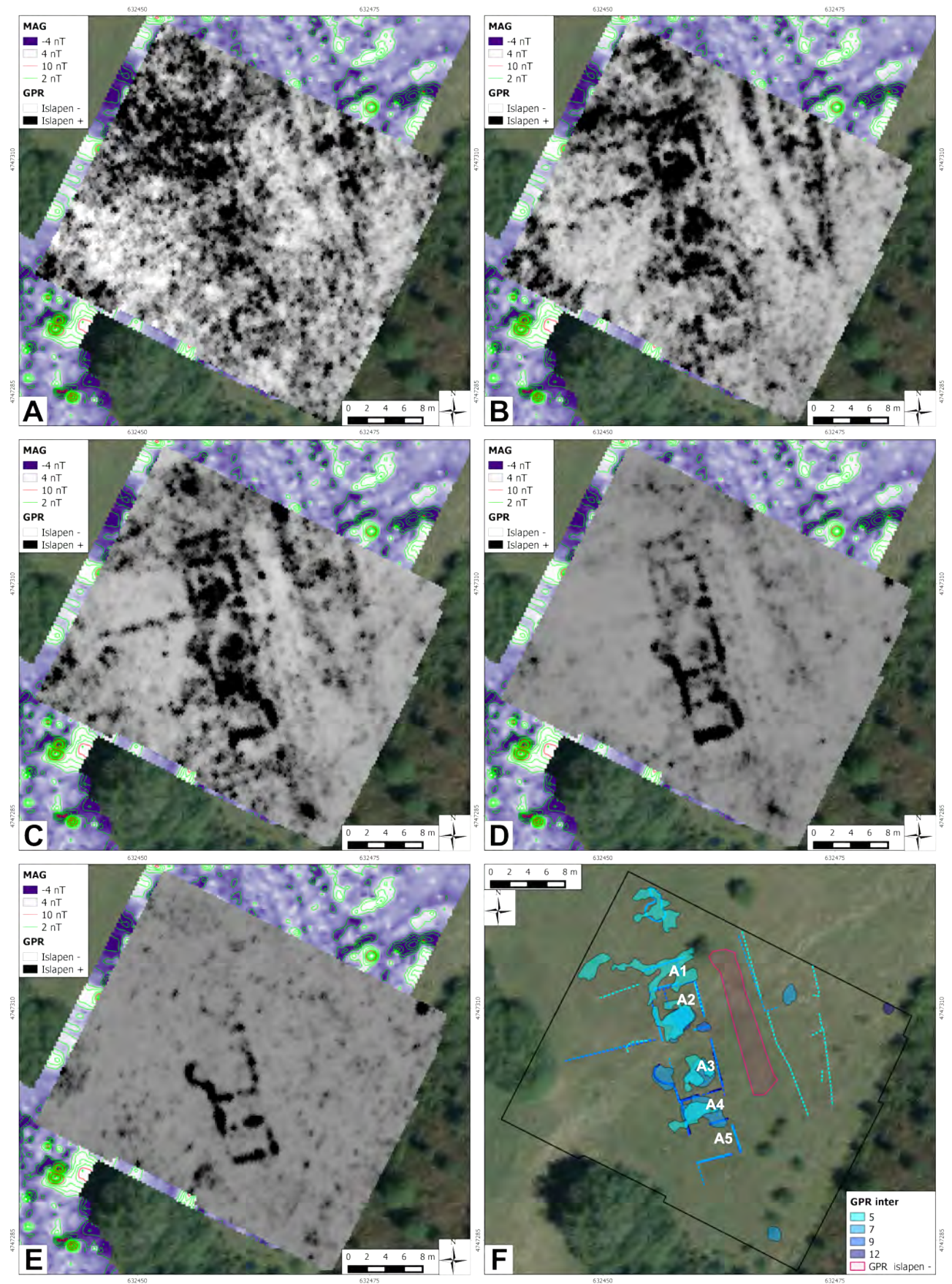


6.65. irudia: Georradar datuekin sorturiko anplitude-mapa ezberdinak. Ez da segida guztia erakutsi, anomaliarik nabarmenenak ageri diren tartea baizik, 0,3 metro eta 0,75 metro inguruko sakonerari dagokiona. Denbora-xaflak sortzeko parametroak baliokideak dira hiru kasuetan, baina profil ezberdinak erabili dira. A: 600 megahertzeko maiztasuna, ganantzia eta fase-zuzenketa aplikatuta. B: 600 megahertzeko maiztasuna, ganantzia eta fase-zuzenketaz gain *bandpass* eta *background* filtroak aplikatuta. C: 200 megahertzeko maiztasuna, ganantzia eta fase-zuzenketa aplikatuta.

daitekeena. Izan ere, beste sistemek ez dute anomalia baliokiderik erakutsi eta, nahiz eta egia den georradar energiaren islapenik ere ez dela jaso gune horretan, ez da geometria horretara mugatzen.

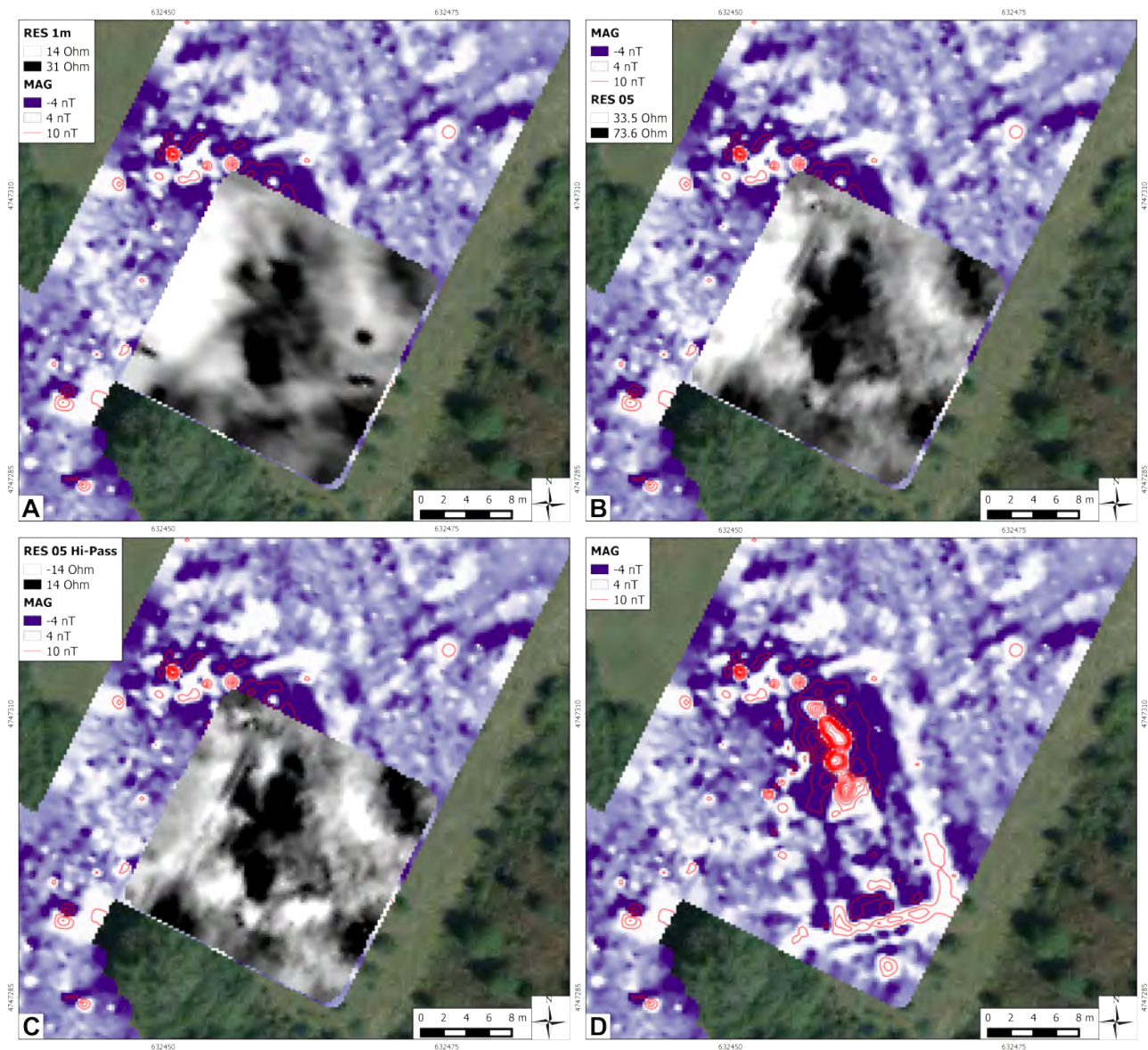
Hau kontuan izanda, georradar datuak izan dira miaketa magnetikoaren emaitzak osatzeko erabilitakoak, sistema elektrikoaren zehaztasun batzuetarako soilik erabili direlarik. Honela, anplitude-mapetan oinarrituta tamaina ezberdinetako bost gela bereizten dira errenkadan jarrita, A1-A5 moduan izendatuak iparraldetik hegoalderantz (ikusi 6.66. irudia, F atala). Gela hauek kontuan izanda eraikinak 5 metroko zabalera eta 21,50 metro inguruko luzera ageri ditu. Nabarmentzekoa da A3 deituriko gelan lerrotik 1,75 metro inguru ateratzen den apsidea (itxuran, behintzat) ageri dela, nahiz eta iparralderago beharko lukeen erdia ez den detektatu. Gela hau da guztien artean handiena, 7 metro luze baititu. Miaketa magnetikoan banaketa bat sumatu arren ez da georradar emaitzetan ikusten eta, alterazio magnetikoa bortitza denez, artefaktu bat izan daitekeelako ez da kontuan izan. Miaketa elektrikoak gela honen barnealdean erresistentzia altuko guneak daudela erakutsi du (ikusi 6.68. irudia, C). Gune honetan errekontza gune bat egon daitekeela iradoki du miaketa magnetikoak, eta beraz baliteke horrekin loturiko errauts eta materialek areagotu izana erresistentzia.

A1 deiturikoa da detektatutakoen artean txikiena, 2,5 metro luze besterik ez du. Iparraldeko eta hegoaldeko muga diren paretak bi sistematan detektatu dira. A2 izendaturikoan ez da miaketa magnetikoan ongi mugatua ageri, bertan errekontzari esleituriko alterazio magnetiko bortitza detektatu delako. Georradar emaitzek gela honen ipar-ekialdeko sektorean beste banaketa bat egon daitekeela iradoki dute, nahiz eta ez den beste pareta batzuk bezain ongi definitzen (ikusi 6.66. irudia, D). Gainera, erdigunean anomalia islakorra ageri da, anomalia magnetikoaren fokuarekin bat egiten duena. Baliteke biak erlazionaturik egotea eta errekontza egituraren batekin lotuta egotea, edota radar energiaren islapena suak gogorturiko zoruak sortu izatea. Gainera pasatzen den profilaren sekzioan



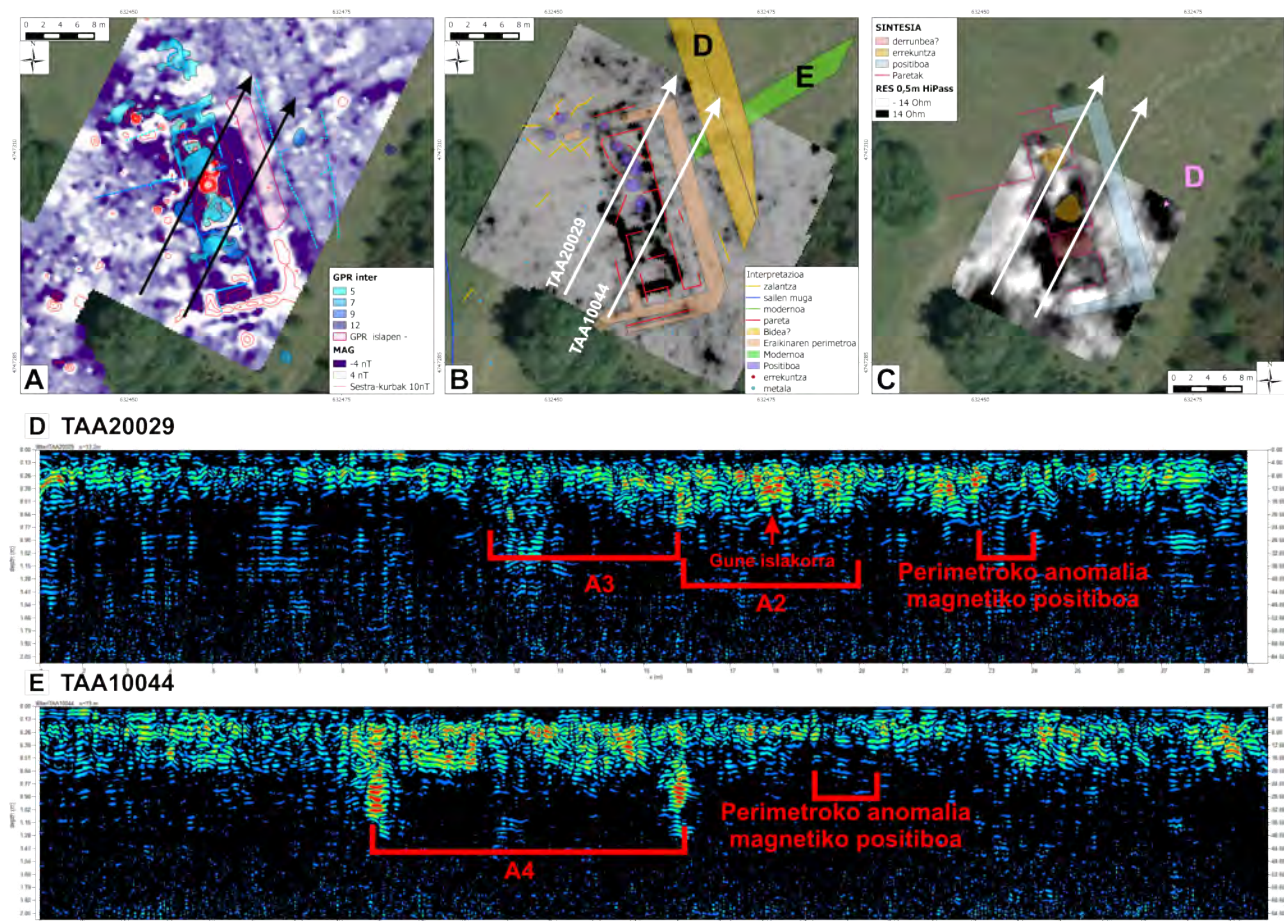
6.66. irudia: Georradar datuekin sorturiko anplitude-mapen segida Artziko aztarnategian. A: 3. xafila (13-29 cm). B: 5. xafila (32-45 cm). C: 7. xafila (47-60 cm). D: 9. xafila (63-77 cm). E: 12. xafila (87-100 cm). F: Georradar datuetan oinarrituriko interpretazio-eskema, koloreka antolatua (zenbat eta ilunago orduan eta sakonago), non eraikinean identifikaturiko gelen izenak adierazi diren.

gelaren erdigunean dagoen anomalia islakorra ikus daiteke, baina ez da interpretazio definitibo bat egiteko nahikoa informazio (ikusi 6.68. irudia, D).



6.67. irudia: Miaketa elektrikoaren emaitzak Artzin. A: Elektrodoen artean 1 metroko aldea, 6.11. taulan AR1Pi izendatua. B: Elektrodoen artean 0,5 metroko aldea, 6.11. taulan AR05PHi izendatuakoaren baliokidea baina Hi-pass filteroa aplikatu aurretik. C: Elektrodoen artean 0,5 metroko aldea, 6.11. taulan AR05PHi izendatua. D. Miaketa magnetikoaren emaitza (-4 nT urdinez, 4 nT zuriz, isolerroak 10 nanoteslaro). Ortofotoaren iturria: ©*Instituto Geográfico Nacional*.

A4 gelaren barnean ere radar energia islatzen duen guneak ageri dira. Gela zeharkatzen duen profileen bi sektore balitu bezala ageri da sekzioa. Hegoaldeko sektorean etenune laua ikus daiteke, agian zoru bati eslei dakiokena. Iparraldekoan, aldiz, islapenak ez dira horrelakorik ikusten, eta betekin heterogeneoa duela dirudi (ikusi 6.68. irudia, E). Bi sektoreak banatzen dituen gunean ez da paretan nabarmenik ikusten, ez anplitude-mapetan, ez eta sekzioan. Baliteke gela honetan eroritako materiala egotea barreatuta, nahiz eta erresistentzia alturik erakutsi ez izanak zalantzan jartzen duen ondorio hori. Bestalde, A5 izendaturiko gelaren barnealdean ez da georadar seinalearen islapen nabarmenik detektatu. Gela hau da, gainera, miaketa elektrikoan paretak detektatu dituen kasu bakarra. Bi argumentu horietan oinarrituz betekin homogenea izango duela ondorioztatu da.



6.68. irudia: Georadar eta magnetikoaren alderaketa Artzin. A: Georadar datuekin sorturiko interpretazio-eskema mapa magnetikoaren gainean. B: Mapa magnetikoan oinarrituriko interpretazio-eskema georadar datuekin sorturiko 9. anplitude-maparen gainean (63-77 cm). Testuan aipatutako *D* eta *E* anomalien kokapena adierazi da. C: Interpretazio-eskemaren sintesia AR05PHi erresistentzia maparen gainean. D: TAA20029 profilaren radargrama prozesatua. E: TAA10044 profilaren radargrama prozesatua. Ortofotoaren iturria: ©*Instituto Geográfico Nacional*.

Miaketa magnetikoan detektaturiko perimetro positiboaren kokalekuan ez da georadar seinalearen islapen esanguratsurik detektatu. Izatez, inguruak baino islapen gutxiago erakusten du zona batzuetan (ikusi 6.66. irudia, C eta D). Sekzioan begiratuta, kontrastea oso nabaria izan ez arren ikus daiteke inguruarekiko estratigrafia ezberdina duela. TAA20029 profilaren radargraman etenune lau batzuk nabari dira, agian sedimentazio edo trinkotze faseen adierazgarri izan litekeena (6.68. irudia). Laburbilduz, miaketa magnetikoan detektaturiko anomaliak georadar energiaren islapen indartsurik sortzen ez duela esan daiteke. Modu honetan, ez dirudi anomalia magnetikoa egitura zurrun batek sortua denik, eta suszeptibilitate altuagoko sedimentuen pilaketak sortu duela pentsatzea zilegi da. Hala ere, mapa magnetikoan ageri duen forma karratua eta definituak sedimentu horiek pilatuko dituen egitura bat egongo dela iradokitzen du. Hau bat dator miaketa elektrikoaren emaitzekin. Izan ere, eroankortasun altuagoko gune bezala ageri da mapa guztietan, hezetasun gehiago metatuko lukeen sedimentu finekin gertatzea espero den bezala.

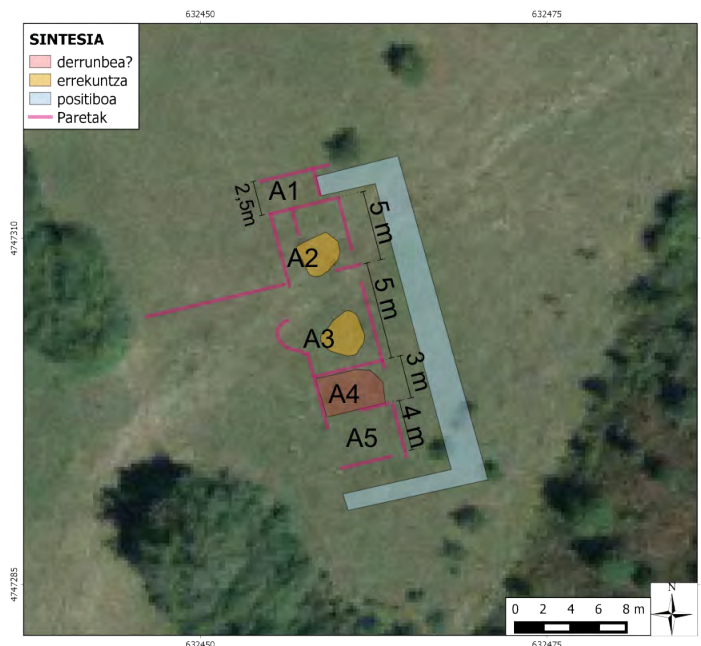
Beste egituren artean, miaketa magnetikoan D izendaturikoa ere georadar emaitzetan ageri dela ikus daiteke, anomalia honen ertzek radar energia islatzen dutelako (ikusi 6.68. irudia, A eta B). Miaketa elektrikoak anomalia honen zati bat besterik barneratu ez duen arren, erresistentzia altuko gune bezala ageri da (ikusi 6.68. irudia, C). Anomalia xume hau zerk sortu duen ez dago argi, baliteke eraikinarekin loturiko bide baten aztarnak izatea, edota uraren bideak sorturiko arrastoa. Azken hau, hala ere, ez da

justifikatzen erraza, maldaren norabidearekin bat ez datorrelako, eta gainera erresistentzia altuagoa izatea ez zelako azalduko. Bukatzeko, miaketa magnetikoan ageri den E anomalia, aldiz, ez da beste sistemetan detektatu. Anomalia honek errepidearen eraikuntza lanetan erabilitako kamioiek utzitako arrastoek sortua izan daitekeenaren ustea dago, datu-bilketan ikusitako oinatzekin bat datorrelako.

6.10.3. Ondorioak

Artziko aztarnategia sistema geofisiko ezberdinen ezaugarriak aztertzeko adibide egokia da. Izan ere, oso irudi ezberdinak lortu dira, beraien artean ezaugarri amankomunak eduki arren. Miaketa magnetikoan beroarekin loturiko prozesuen presentzia dagoela ikusi da. Honi esker, eraikinak suaren eragina pairatu duela ondorioztatzeko aukera egon da, sutea ala kontrolaturiko jarduerak eragina diren argitu ez bada ere. Miaketa magnetikoaren osagarri egokia izan da georradar datuekin lorturiko informazioa. Izan ere, seinalearen islapena orokorrean xumea izan arren, paretak argi detektatu ditu eta eraikinaren planta definitzeko oso baliagarria izan da. Ez da hala gertatu miaketa elektrikoarekin, eta oso informazio puntuala luzatu du. Hala ere, puntu konkretu batzuetan beste sistemetatik ateratako ondorioak kontrastatzeko balio izan du. Onartu behar zaio, gainera, oso eremu txikia ikertu dela sistema honekin eta horrek beti zailtzen duela interpretazioa. Hala ere, aztarnategi honetan miaketa elektrikoan soilik oinarrituz ezin izango litzateke eraikin baten aurrean gaudela baieztatu. Ez da hala gertatzen beste bi sistemekin, elkar osatzen duten arren, norberak bere aldetik informazio garrantzitsua eman baitu.

Miaketa geofisiko guztiak uztartuko dituen interpretazio sintesia egiteko, eraikinaren perimetroa georradar emaitzetan oinarrituz definitu da. Miaketa magnetikoak alterazio handiko gunek markatzen dituen, horretan oinarrituz balizko erreketak gunek markatu dira. Eraikinaren kanpoaldean dagoen perimetroa ere, kontraste magnetiko positiboduna, miaketa magnetikoan oinarrituz definitu da. Interpretazio sintesiaren emaitza 6.69. irudian ikus daiteke.



6.69. irudia: Artziko aztarnategian geofisika emaitzetan oinarrituz buruturiko interpretazio sintesia. Ortofotorearen iturria: © Instituto Geográfico Nacional.

6.11. Miaketa sistema-anitzaren ondorioak

Kapitulu honetan aztertutako miaketa sistema-anitzek metodologia honen aspektu ezberdinen adibide bezala balio izan dute. Izan ere, aurkitutako kasuistika zabala izan da. Kasu batzuetan, erabilitako sistemak bat datoz eta osagarriak dira (Artzibarreko aztarnategia adibidez). Beste batzuetan, kontraste magnetiko nabaria erakusten duten gunetan ez da georradar bidez anomalia esanguratsurik detektatu (Zalduako P5 guneko E18a anomalia kasu). Alderantziz ere, kontraste magnetikorik gabeko gunek batzuetan egitura arkeologikoen presentzia probatuta gelditu da beste sistema geofisikoei esker (Zalduako E20 eraikina edota Otegiko galtzadaren inguruan gertatua, adibidez).

Aztertutako hiru sistemen artean, georradarra eta magnetikoa dira nagusiki erabili direnak. Horien aldean miaketa elektrikoa oso eremu txikian aplikatu da (ikusi 6.12. taula). Horren arrazoi nagusia georradarrak emandako emaitza positiboetan datza, izan ere, sistema elektrikoak honen aldean ez du hainbesteko informaziorik luzatu. Miaketa elektrikoaren datu-bilketak, gainera, beste bi sistemenak baino denbora gehiago behar du, bereziki eskuz eramaten diren gailuetan. Horregatik, sistema elektrikoa eremu jakinetan soilik aplikatu da.

Aztarnategia	MAG	GPR	RES
Auritz-Aurizberri	189.938 m ²	33.000 m ²	6.540 m ²
Artzibar	5.104 m ²	1.100 m ²	400 m ²
Sorohandi (Luzaide)	1.053 m ²	0	0
Ibañeta (Orreaga)	1.800 m ²	0	0
Ateabaltsa (Aurizberri)	1.800 m ²	0	0
Berrotxipi (Auritz)	1.360 m ²	0	0
Munoaundi (Azkoiti-Azpeiti)	1.260 m ²	0	0
GUZTIRA	203.455 m²	34.520 m²	6.940 m²

6.12. taula: Ikerketaren baitan sistema bakoitzarekin miatutako eremuak.

Hala ere, muga horiek buruan, badira metodologiaren ikuspuntutik baliagarriak diren ondorioak. Horietariko batzuk orokorrak izan daitezke, baina beste aztarnategietara hedatzea ez da zuzenean egin daitekeen zerbait. Izan ere, hainbeste dira sistema geofisikoen erantzunean eragiten duten faktoreak, non lekuan-lekuko baldintzen menpekotasuna bortitza den.

Metodologiari so eginez, lehen miaketarako sistema magnetikoa erabiltzea baliagarria suertatu da kasu gehienetan. Hala ere, ikertutako adibideek agerian utzi dute arrasto arkeologikoen presentzia ezin dela horretan soilik oinarrituz determinatu. Alde batetik, interferentzia iturri nabarmenak daudenean sistema honen baliagarritasuna deuseztatu egiten da. Hori da Artzibarreko aztarnategi erromatarreko Artzi 2 gunean gertaturikoa, non miaketa magnetikoak ez duen inolako informazio arkeologikorik lortzeko balio izan. Auritz-Aurizberriko aztarnategian, aldiz, metalek edota egitura modernoek sorturiko interferentziak ere egon arren, eremu jakin batzuetara mugatu direnez ez da hain kaltegarria suertatu. Sistema magnetikoa erabiltzean ageriko interferentzia iturriek izango duten eragina, beraz, miatutako eremuarekiko hartzen duen zatiaren arabera dela esan daiteke.

Interferentzia modernoek eragina, hala ere, agerikoa da emaitzetan eta, horregatik, berehala ondorioztatzen da datu horietan oinarritzerik ez dagoela. Kontraste magnetikorik ez dagoenean, aldiz, tentagarriagoa suerta liteke arrasto arkeologikoen presentzia ezeztatzea, bereziki aztarnategiko beste gune batzuetan egitura arkeologikoak kontraste egokiz detektatu badira. Auritz-Aurizberriko

aztarnategia da horren adibide, non gune batzuetan egituren kontraste magnetikoa oso agerikoa den, baina beste batzuetan ez diren sistema honekin detektatu. Galtzadak berak ez du kontraste magnetiko esanguratsurik sortu, eta detektatu denean inguruko eraikinek utzitako espazioagatik izan da. Era berean, georradarra erabili izan ez balitz, Otegiko galtzadaren inguruan dauden egitura arkeologiko interesgarriak, adibidez, ez lirakeke ezagutuko. Aztarnategiaren mugatzea egiterakoan, beraz, kontuan izan beharrekoa da detektatu ez diren egiturak egon daitezkeela. Kontraste magnetikoaren falta ulertzeko gakoak hurrengo kapituluetan landuko dira, indusketa arkeologikoekin alderatzean. Hala ere, geruza arkeologikoak meheak diren kasuetan kontraste magnetikoa ahula izateko aukera dagoela ondoriozta daiteke. Hau kontserbazio maila oso baxua duten aztarnategiak ikertzerako orduan kontuan izan beharrekoa da eta, sistema magnetikoa erabili nahi izatekotan, detektatu nahi diren egiturek kontraste egokia dutela egiaztatu.

Aztertutako guneetan miaketa elektrikoaren emaitzak eskasak izan dira oro har, salbuespen modura Zalduako E20 eraikinaren kasua izanik. Georradarraren ordeztu sistema hau erabili izan balitz miaketa magnetikoaren osagarri gisa, lorturiko informazio arkeologikoa nabarmen murriztagoa litzateke. Bibliografian, hala ere, emaitza baliagarriak erakusten dituzten adibide asko dago (Bossuet et al. 2012; Dabas 2016; Garcia et al. 2012; Neubauer eta Eder-Hinterleitner 1997b). Horregatik, ezin da sistema honen baliagarritasun eskasa beste aztarnategietara zabaldu. Aldi berean, hezetasun mailarekiko oso sentsiblea da sistema hau, eta baliteke beste baldintza batzuetan kontrastea egokiagoa izatea.

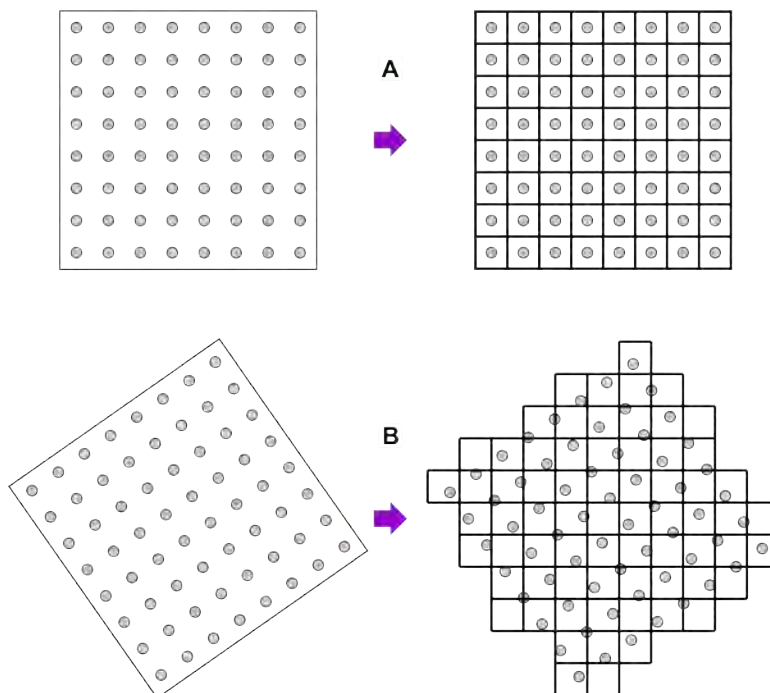
Georradarrari dagokionez, oso emaitza positiboak eman ditu eta miaketa magnetikoaren osagarri egokia izan da. Espero bezala, eraikuntza egituren deskribapen zehatzagoa zein sakonera ezberdinetako arrastoen artean ezberdintzeko aukera eskaini ditu. Horretan oinarrituz miatutako gune gehienetan okupazio-maila bakarra dagoela ondoriozta daiteke. Zalduako E20 eraikina salbuespena da, eraikin honen azpian (0,60 metro inguruko sakoneran) orientazio ezberdineko beste egitura bat dagoenaren zantzuak daudelako (ikus 208 orrialdeko 6.42. irudia). Era berean, Zalduako P5 gunean egitura batzuk gainazalean (0,39-0,56 metro inguruan) eta beste batzuk sakonago (1 metro inguruan) daudela adierazi du georradarrak (ikus 184 orrialdeko 6.13. irudia). Hala ere, ezin da baieztatzea okupazio mailen gainezarmena dagoenik, oro har kokapen ezberdinetan agertu direlako sakonera ezberdinetan dauden egiturak. Horren salbuespena litzateke E21 egitura multzoa, non agertu diren elementu ezberdinak gainezarrita dauden (ikus 186 orrialdeko 6.15. irudia). Horren arabera E21c eta E21b egiturak anomalia zirkularren gaineratik daude, baina orientazio bera dute eta ezin da ziurtatu bi okupazio maila ezberdin direnik.

Nabarmenezkoa da georradar miaketan erabilitako bi maiztasunen artean 600 megahertzekoa izan da kasu gehienetan egokiagoa suertatu dena. Hala ere, 200 megahertzekoa ere eskura edukitzeak zenbait anomalia hobeto aztertzeko eta ulertzeko aukera luzatu du, Otegiko O8 anomalia kasu.

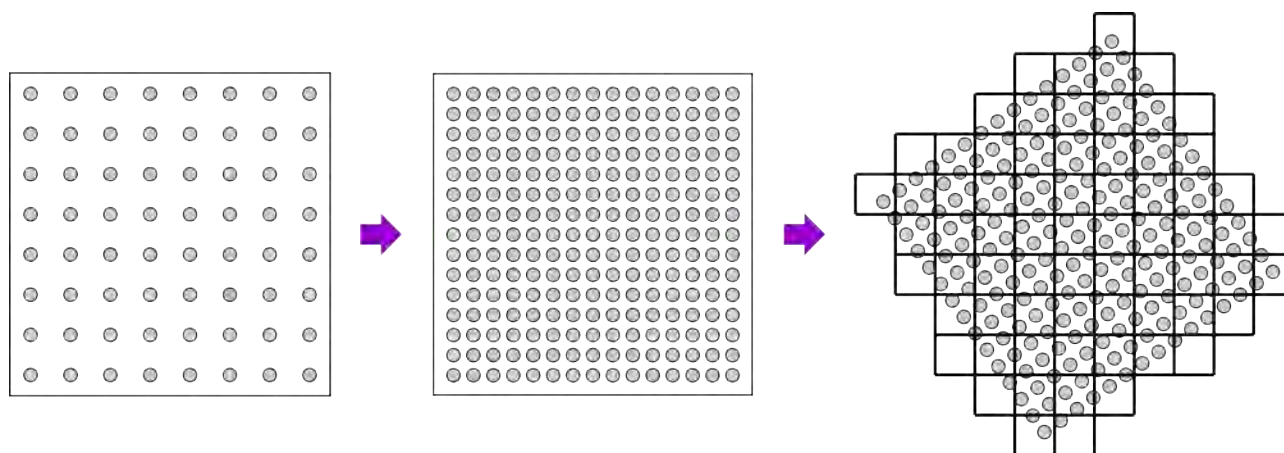
Bestalde, georradarrak geologiarekin loturiko lerro paraleloak irudikatzeke balio izan du Auritz-Aurizberriko aztarnategian. Lerro horiek geruza gogor eta bigunagoen txandakapena ematen dute aditzera, eta hori bat dator bertako izaera geologikoarekin, tertziarioko flisch bezala ageri dena Nafarroako mapa geologikoan.

Bukatzeke, koadrikulen orientazioarekin loturiko ondorioa aipatzea interesgarria da. Erabilitako metodologian, datu espazial guztiak GIS softwarean bateratu dira eta hor burutu da interpretazio lana.

Sistema hauetan irudiak ipar-hego norabidean orientatuta daude, eta datu geofisikoak txertatzean pixelak ere horrela orientatzen ditu. Miaketa ez bada norabide horretan egin, neurketak ez dira homogeneouski banatuta egonen, eta pixela sortzeko interpolazioa egin beharko da (ikusi 6.70. irudia). Horrek irudiak zertxobait aldatzen ditu, eta batzuetan okerrago ikusten dira. Hori murrizteko era bat georreferentziatu baino lehen interpolazio asko burutzea da, honela datu kopurua biderkatu egiten delako. Ondoren, GIS sistemara eramatean berriz ere jatorriko tamainako pixela kalkulatzeko eska dakiok, eta puntu gehiago egongo direnez, banaketa homogeneouskoa izanen da (ikusi 6.71. irudia). Hala ere, irtenbiderik onena datuak ipar-hego norabidean hartzea da. Miaketa-eremuaren formak edota egituren disposizioak ez badu eragozpenik sortzen, hau litzateke aukerarik errazena.



6.70. irudia: Datuen distribuzioa pixelak sortzeko momentuan koadrikularen orientazioaren arabera. A. Datuak ipar-hego norabidean biltzean pixel bakoitza datu bati dagokio. B. Datuak beste norabide batean bildu badira, ipar-hego norabideko pixelak sortzean datuen distribuzioa ez da homogeneouskoa.



6.71. irudia: Koadrikularen orientazioak eragin dezakeen distortsioa txikiagotzeko aukera bat. Datuak interpolatu ostean, puntu gehiago egotea lortzen da. Errotazioaren ostean sortuko diren pixeletan datu distribuzioa homogeneouskoa izatea ahalbidetzen du horrek.

Laburbilduz, miaketa geofisiko sistema-anitzen baliagarritasuna frogatuta geratu dela esan daiteke. Sistema magnetikoarekin lortutako emaitzak positiboak izan arren, beste sistemen informazioa osagarria izan da eta, kasu batzuetan, espero ez ziren egitura berriak ezagutzeko balio izan du.

7. kapitulua

Indusketa arkeologikoen emaitzen alderaketa

Atal honek miaketa geofisikoen ondorioak eta ondorengo indusketa arkeologikoen emaitza alderatzea du helburu. Era horretan, miaketa geofisikoen baliagarritasuna agerian jarriko da, aurreikusitako emaitzak zein espero ez zirenak mahaigaineratzeko balioko duelako. Atal honetan aurkeztu da ere Auritz-Aurizberriko aztarnategian egindako zundaketa geoarkeologiko kanpaina berrian ikusitakoa.

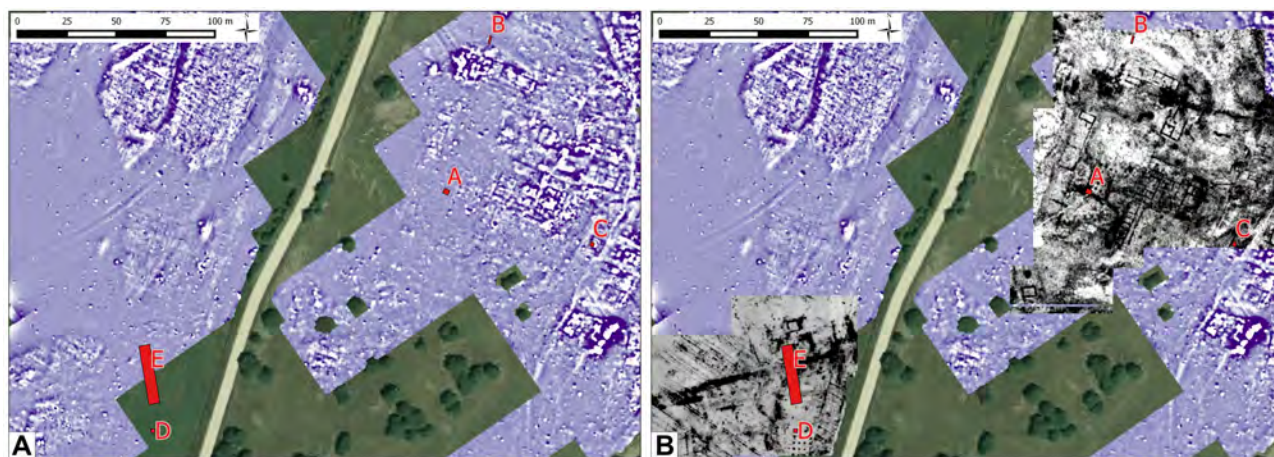
2015. urteko indusketa kanpainen suszeptibilitate magnetikoa neurtzeko gailu bat erabiltzeko aukera egon zen, eta horri esker zenbait unitate estratigrafikoren suszeptibilitatea ezagutu ahal izan da. Bide batez, 2014. urteko zundaketa kanpainen gordetako zenbait lagin ere neurtu dira. Honek miaketa magnetikoaren emaitzak hobeto ulertzen lagundu du, nahiz eta, oinarri teorikoaren atalean azaldu bezala, anomalia magnetikoek beste faktore batzuen menpekotasuna ere baduten.

Auritz-Aurizberriko aztarnategia erabili da adibide nagusi gisa, hori izan delako miaketa geofisikoetan oinarrituz gehien induskatu den aztarnategia. Horrez gain, Artzibarreko aztarnategian indusitakoa ere erabili da.

7.1. Auritz-Aurizberriko aztarnategi erromatarra

Aztarnategi honetan bi indusketa kanpaina burutu da miaketa geofisikoen ostean, 2015 eta 2016 urteetan. Horietan, Aranzadi Zientzia Elkarteko kideez gain, Londresko arkeologia museoko (*Museum Of London Archaeology, MOLA*) kideek ere hartu dute parte. Indusketak Juantxo Agirre Mauleon eta Julian Hill arkeologoen zuzendaritzapean burutu dira, urte bakoitzean hamabost egunez.

Lehen urtean lau miaketa-zulo ireki ziren, lehen hiruak (A, B eta C) Auritzeko Zaldia gunean eta azkena (D) Aurizberriko Otegi aldean (7.1. irudia). Miaketa-zuloen kokapena emaitza geofisikoen arabera erabaki zen, bakoitzak helburu propioa zuelarik. Bigarren urtean zabalean induskatu zen Aurizberriko Otegi aldean (E), galtzada aldez-alde zeharkatzen duen eremuan. Kasu guztietan erpinen kokapena GPS diferentzial bat erabiliz burutu zen.



7.1. irudia: Auritz-Aurizberri aztarnategi erromatarrean 2015ean burututako miaketa-zuloen kokapena. A. Mapa magnetikoaren gainean (-5 nT / 5 nT). B. Georradar emaitzekin sortutako anplitude mapen gainean (D eta E miaketa-zuloentzat 9,75 ns-13,75 ns; A, B eta C miaketa-zuloentzat: 9,3-13,41 ns).

Indusketarako MOLAk erabiltzen duen metodologia aplikatu zen (Museum of London Archaeology Service 1994). Lehen urtean prozesu guztia eskuz burutu zen eta elementuak aurkitu ahala atera egin ziren azpiko geruzak aztertu ahal izateko, betiere segida estratigrafikoa mantenduaz. C deituriko miaketa-zuloan izan ezik, besteetan geruza geologikoetaraino iritsi zen eta amaitutzat eman dira bertako lanak. Miaketa-zulo guztiak *geotextilez* estali eta ateratako lurrez bete ziren, makina hondeatzaile baten laguntzaz.

2015. urtean suszeptibilitate magnetikoa neurtzen duen SM30 gailua erabiltzeko aukera egon zen (7.1. taula). Gailu txiki honek arroken suszeptibilitatea lekuan bertan neurtzeko aukera ematen du, eta modu honetan kontraste magnetikoan eragiten duen faktoretariko bati buruzko informazioa jasotzerik egon zen. Aukera ezberdinen artean *oinarrizko B funtzioa* erabili zen (ZH Instruments 2008).

2016. urtean lurraren jabegoak ez du Zaldia gunean industeko baimenik eman, eta horregatik ezin izan da C miaketa-zuloarekin jarraitu. E sektorea Aurizberriko Otegi gunean kokatu da, galtzada aldez-alde zeharkatuz eta alde bakoitzean dagoen egituraren bat barneratuz. Lehen belar geruza makina hondatzaile baten laguntzaz atera, eta ondoren prozedura osoa eskuz burutu da. Kasu horretan aurkitutako egiturak bertan utzi dira oro har, eta indusketa agortutzat emanda, geotextilez estali eta zuloa bertako lurrarekin estali da.

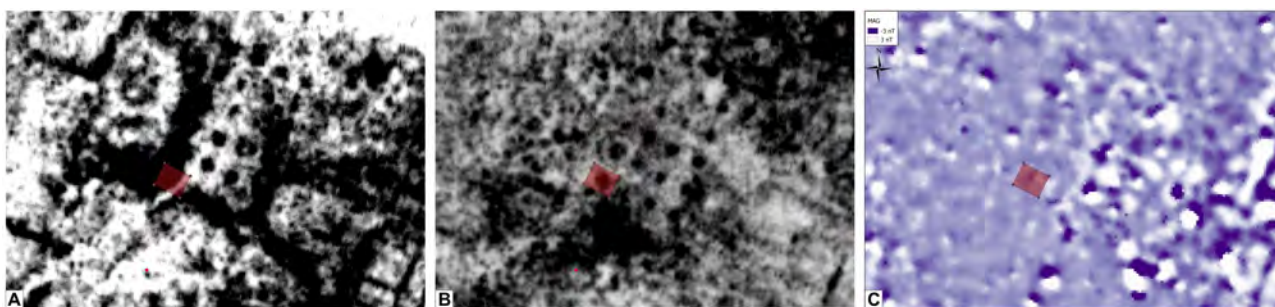
SM-30 gailua	
Doitasuna (B funtzioan)	1×10^{-6} SI
Maiztasuna	8 kHz
Neurketarako denbora	5 s baino gutxiago
Harilaren diametroa	56 mm
Tamaina	100×65×25 mm
Pisua	0.180 kg

7.1. taula: SM-30 gailuaren zehatasunak.

7.1.1. A miaketa-zuloa (2,5 m x 3 m)

A deituriko miaketa-zuloa Zalduako P5 guneko E21 eraikin multzoan kokatu zen. Georradarrak borobil formako eta laukizuzen bat osatzen duten 24 anomalia detektatu zituen bertan, zutabez osaturiko eraikin baten arrasto bezala identifikatua izan zena (ikusi 6.4.3.2. atala). Balizko eraikin hori baino kota txikiagoetan (gainazaletik gertuago), islapen altuko guneeek definitzen duten laukizuzena, E21b, eta islapen gutxiko anomalia lineala, E21c, ikusten dira emaitzetan. Horregatik, miaketa-zuloaren helburu nagusia anomalia borobilen jatorria argitzea zen arren, zuloa hego-mendebaldeko erpinean kokatu zen, beste elementuak eta horien arteko harreman estratigrafikoa ere argitzeko asmoz (ikusi 7.2. irudia).

Baimen arkeologikoak hala eskatuta haserako miaketa-zuloak 2 m x 2 metro neurtzen zuen arren, egiturak agertzean 3 m x 2,5 metrora zabaldu zen. Miaketa bi fasetan irekitzea ez da metodologiarik egokiena baina arkeologia baimenera egokitzeko beharrak bultzatu du. Geofisikan oinarrituz metro inguruko potentzia arkeologikoa espero zen. Indusketak, hala ere, potentzia arkeologiko urriagoa erakutsi du jarraian ikusiko den bezala.



7.2. irudia: A miaketa-zuloaren kokapena (3 m x 2,5 m) emaitza geofisikoen gainean. A. eta B. Georradar emaitzekin burututako 4. anplitude mapa (9,3-13,4 ns; 600 MHz) eta 6. anplitude mapa (15,45-19,55 ns; 600 MHz) hurrenez hurren (islapen altuak beltzez eta baxuak zuriz). C. Mapa magnetikoa (-3 nT urdinez, 3 nT zuriz).

7.1.1.1. Emaitza arkeologikoak

Miaketa-zuloa ireki berritan eta lurrazaletik oso distantzia gutxira, lur begetalaren azpian, [201] deituriko unitate estratigrafikoa agertu zen, lur eta harriz osaturikoa (7.2. taula). Unitate honek ez du, hala ere, miaketa-zulo guztia betetzen, eta hego-ekialdean ez da ageri (7.3. irudia). Era berean, ipar-mendebaldean agerturiko harriak handiagoak izanik, beste unitate estratigrafikoa esleitu zaie, [202]a hain zuzen. Horiek lerrokatuta ageri direnaren zantzuak daude eta beste egituraren baten oinarria

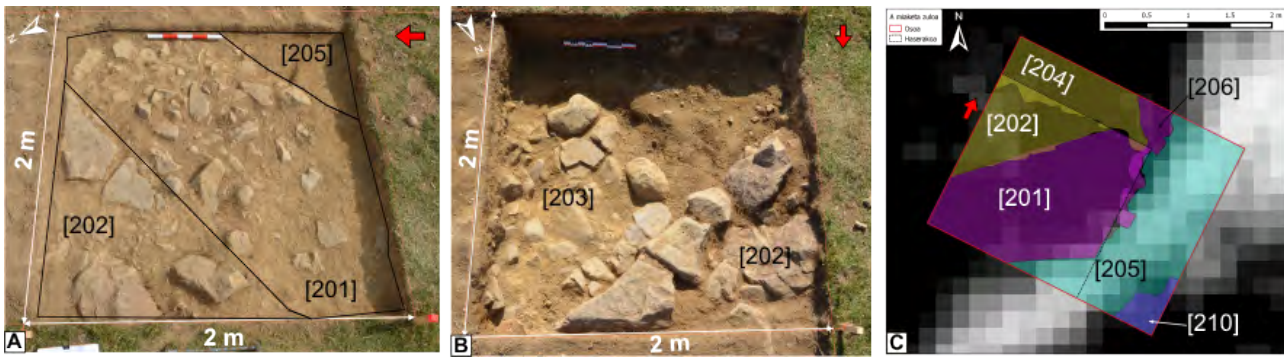
izan zitekeela interpretatu da. Miaketa-zuloa zabaltzean [204] eta [206] unitateak horien jarraipena direla ikusi zen. Unitate hauek bat datoz georradarrak erakutsitako gune islakorrarekin, E21b deritzon laukizuzenaren hego-ekialdeko mugarekin, hain zuzen.

UE	Deskribapena
201	Tamaina ezberdineko harriak, lohi buztintsu matrizean (sendoa, hauskorra, marroi horixka argia). Eraispena
202	Lerroatutako harri handiak (50 cm), lohi buztintsua (marroi marroixka erdikoa, sendoa eta hauskorra). Argamasarik ez. Oinarria izan daiteke
203	Borobil itxurako forma sortzen duten harriak, borobilduak batzuk. Argamasarik ez. Georradarrak erakutsitako egitura
204	Ipar-mendebaldeko izkinako harri handiak, batzuk >50 cm, [202]ren baliokidea (kata handitzean)
205	Lohi buztintsu geruza (marroi marroixka erdikoa, sendoa eta hauskorra), oso aldikako hartxintzarrekin
206	Eraispin harri solteak, <20 cm, [201]en baliokidea (kata handitzean)
207	Lohi buztintsu metakina (sendoa, hauskorra, marroi erdikoa tanto horixkekin). Harri txintzar ugari, ikatz eta zeramika printzak. [208]ren baliokidea
208	Lohi buztintsu metakina (sendoa, hauskorra, marroi erdikoa tanto horixkekin). Aldikako hartxintzarrek, oso aldikako ikatz eta zeramika printzak. [208]ren baliokidea
209	[203]ren ebaketa borobila geologikoan, 1,14-1,18 metroko diametroa eta 0,5 metro inguruko sakonera. Oinarri laua.
210	Zuloaren hego-ekialdeko gunean dagoen harri multzoa, 20-30 cm, honen azpian [208+ unitatea
211	[214] ebaketaren betekina. Lohi buztintsua (Erdiko sendotasuna, hauskorra, marroi marroixka erdikoa, tamaina erdiko klasto ugari eta hartxintzar ugari). Oso aldikako ikatz printzak iparraldean, hegoaldean ez. Erdigune eta hegoaldean aldikako harriak (20-30cm).
212	[213] ebaketaren betekina. Buztin hareatsua (marroi horixka erdikoa, erdiko sendotasuna). Aldikako harri borobilak, aldikako ikatz printzak. [207]ren baliokidea.
213	[212]ren ipar-mendebaldean dagoen ebaketa lineala
214	Miaketa-zuloaren ekialdeko ebaketa lineala
215	[216] ebaketaren betekina. Lohi buztintsua (erdiko sendotasuna, hauskorra, marroi marroixka erdikoa), aldikako ikatz printzak.
216	Miaketa-zuloaren hego-mendebaldeko ebaketa
217	Maila geologikoa, miaketa-zuloaren amaiera. Buztina (gogorra eta hauskorra, marroi horixka argia), inklusiorik gabea.

7.2. taula: A miaketa-zuloaren unitate estratigrafikoen zerrenda.

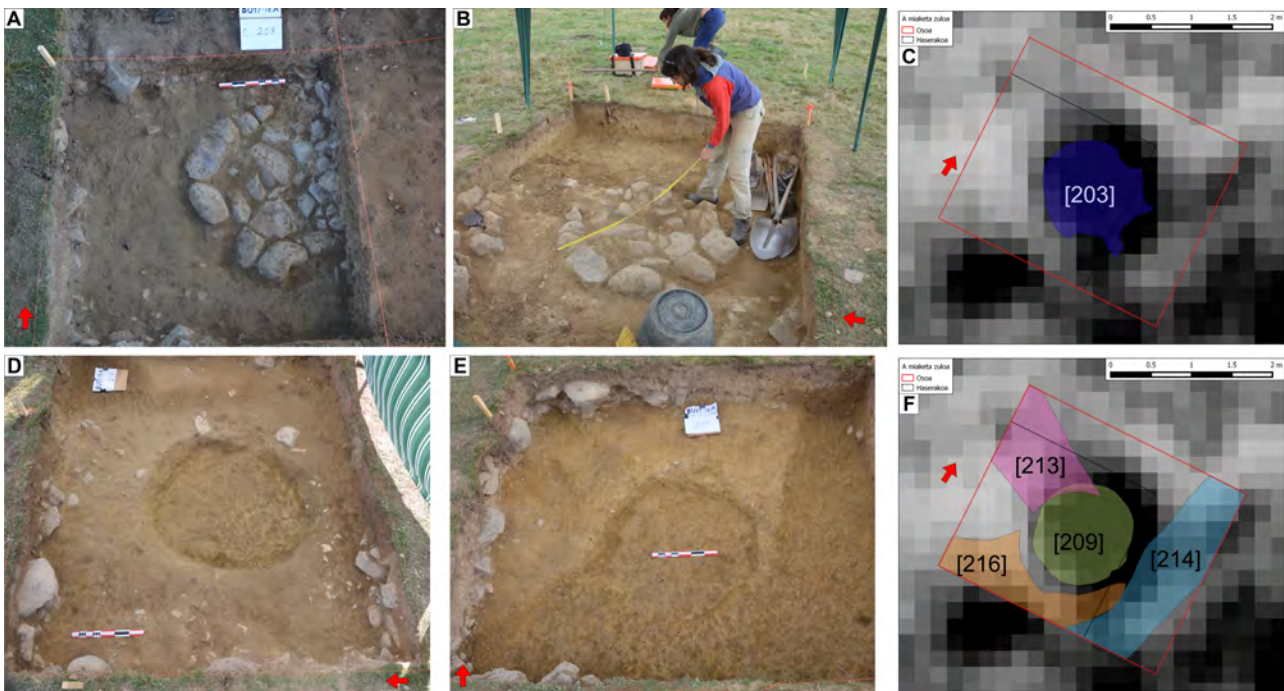
Miaketa-zuloaren ekialdean harririk agertu ez den gunea ikusi da, [205] unitatea. Hego-ekialdeko kantoian harri multzo bat agertu da, [210] unitatea, eta honek [205] unitatea mugatzen du. Honela, georradar emaitzatan agertutako islapen baxuko E21c egitura, balizko kanalizazioa, bat dator [205] unitatearekin. Modu honetan, azaleko geruzetarako georradar emaitzak bat datoz indusketan ikusitakoarekin (ikusi 7.3. irudia).

Azaleko egitura horien azpian agertu da [203] unitatea deitu zaion egitura borobila. Tamaina ezberdineko errekarri osaturik dago, inolako argamasarik gabe, eta georradarrean ikusitako egiturari dagokio (7.4. irudia). Errekarriak kendu ahala geologikoan egindako ebaketa bat betetzen dutena geratu da agerian, [209] unitatea hain zuzen. Zuloak 22 zentimetroko sakonera du, eta 1,3 metro inguruko diametroa. [203] unitatearen harri garaiena eta zuloaren oinarriaren artean 0,47 metroko aldea dago, eta hori da harriz beteriko bolumena.



7.3. irudia: A miaketa-zuloaren azaleko egiturak hasieran irekitako 2 m x 2 metroko zuloan. A. [201] eta [202] unitateen argazkia, hego-ekialdean harririk gabeko gunea ikusten delarik. B. [202] unitatea indusketaren fase aurreratuagoan. Horren azpian [203] unitatearen lehen zantzuak ageri dira. C. Azalean aurkitutako unitateen kokapena georradar emaitzekin sorturiko 4. anplitude maparen gainean (9,3-13,4 ns; 600 MHz). Haserako miaketa-zuloak (2 m x 2 metrokoa) hartutako eremua markatu da. Argazkiek ikuspuntu ezberdina dutenez, alderaketa errazteko gezi gorriak erabili dira. Argazkiak: Rafa Zubiria.

Honez gain, geologikoan egindako beste ebaketa batzuk ere identifikatu dira, [213], [214] eta [216] hain zuzen (7.4. irudia). Hauek sakontasun urriko ebaketak dira (0,15 m eta 0,20 metro bitartean) eta hondo laua dute. Ebaketa hauen betekinak baliokidetzat jo dira, eta lohi buztintsuzko matrizean hartxintzar eta ikatz printzen inklusioak erakusten dituzte. Ebaketen betekinak eta horien gainetik dagoen metakina, [207] eta [208] unitateak, baliokidetzat jo dira era berean. Estratigrafiari dagokionez, [214] ebaketak [216] ebaketa mozten duela ikusi da, baina [213] ebaketarekin duten erlazioa ez da argi geratu. Indusketa bukatutzat eman da [217] unitatean, eraldatu gabeko buztin geruzan. Geruza horretan 0,6 m x 0,4 metroko zuloa egin da eta gainazalarekiko 0,65 metrora aurkitu da arroka naturala.



7.4. irudia: A miaketa-zuloaren sakoneko egiturak. A. [203] unitateen argazkia, miaketa-zuloa handitu baino lehen. B. [203] unitatea osorik. C. [203] unitatearen eskema georradar emaitzekin sorturiko 6. anplitude maparen gainean (15,45-19,55 ns; 600 MHz). D. [203] unitateko harriak kendu ostean kubeta itxurako ebaketa agertu da, [209] deitua. E. Geologikoan ebakitako egiturak. Kataren amaierako egoera. F. Ebaketa unitateen eskema georradar emaitzekin sorturiko 6. anplitude maparen gainean (15,45-19,55 ns; 600 MHz). Argazkiek ikuspuntu ezberdina dutenez, alderaketa errazteko gezi gorriak erabili dira. Argazkiak: Rafa Zubiria.

Emaitza hauek bi, edo agian hiru, okupazio fase eman dituzte aditzera. Georradarrak detektaturiko egitura borobilak bigarren faseari dagozkio eta hura desegin ostean beste egitura bat eraiki dela iradoki dute [202] eta [204] unitateek. Hala ere, aurkitutako material eskasak ez du inolako dataziorik ahalbidetu eta ez du zertan erromatar garaikoa izan.

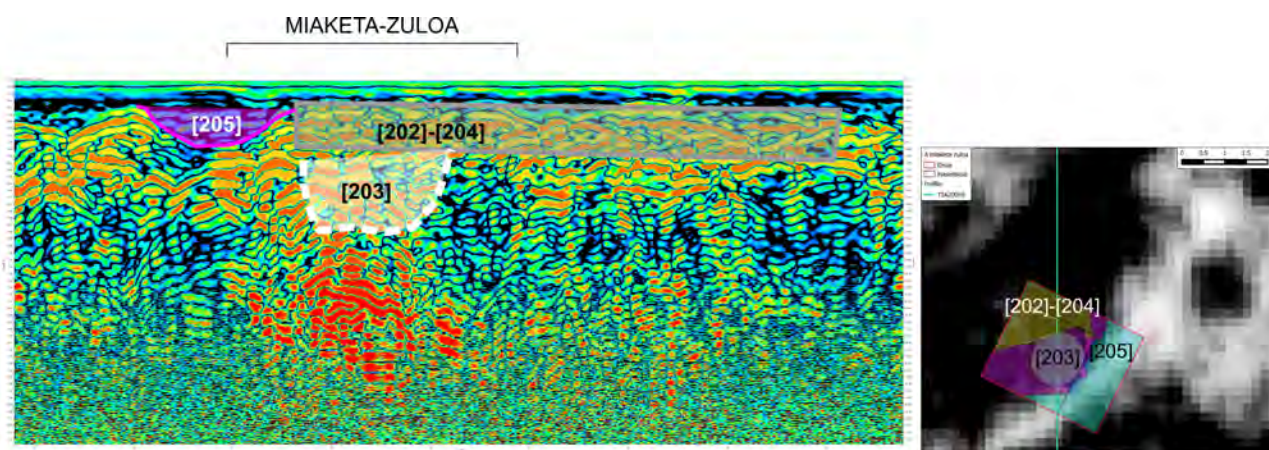
7.1.1.2. Interpretazio geofisikoa

Indusketak georradar emaitzak baieztatu ditu, beraien arteko korrelazioa oso altua izanik. Azaleko anplitude-mapetan agertzen diren gune islakorrak eraispen mailak direla ikusi ahal izan da, nahiz eta balitekeen pareta egituraren bat ere mantendu izana, [202] eta [204] unitateena. Georradarrak ez du hori ondorioztatzeko balio izan eta, espero bezala, ez da eraispena eta balizko paretaren artean ezberdintasunik ikusi.

E21 anomalia multzoko egitura zirkularrak errekarritz osatutako oinarri borobilei dagozkiela ikusi ahal izan da. Ez da, ondorioz, inolako zutaberik mantendu eta garaian zapaltzen zuten zirkulazio mailatik beherako egiturak soilik kontserbatu direla dirudi.

Islapen baxuko E21c anomalia linealari dagokionez, harririk gabeko sedimentuarekin bat datorrela ikusi da. Izan ere, kokapen horretan ez da harririk topatu inolako momentutan. Geologikoan aurkitutako [214] ebaketa antzeko posizioan egon arren, georradar irudian ikusten den anomalia gainazaleko kotatan dago, eta [205] unitateari dagokiola esan daiteke (ikusi 7.3. irudiako C atala). Eraikinaren irudi orokorra kontuan izanda (ikusi 7.2. irudia), bere funtzioa ez da argi geratu. Izan ere, [201] eta [210] unitateen jarraipena ikusita, eta horiek eraispen bezala interpretatuta, ez da azaltzen zergatik geratuko litzatekeen honelako egitura luzea harririk gabe (egitura osoa 7.1. edo 6.17. irudietan ikus daiteke). Baliteke beranduagoko ekintzaren baten ondorio izatea. Dena dela, sedimentu homogeneozko egitura bat dator georradarrean detektaturiko seinalearekin.

Zutabearen oinarriaren gainetik pasatzen den georradar profil baten radargrama aztertuta, agerikoa da bertan unitateak ezberdintzeko zailtasuna. Aurkitutako egituren posizioa zehazki ezagututa ere, ez da erraza suertatu [201] eraispena eta [203] oinarriaren harrien arteko muga aurkitzea (ikusi 7.5. irudia). Bestalde, aurkitutako sakonerak eta georradar islapenenak alderatuz, estimatutako abiadura azkarregia zela ondorioztatu da. Kalkulu zehatza egitea baztertu da, besteen artean islapenak zehazki identifikatzeko ezintasunagatik.



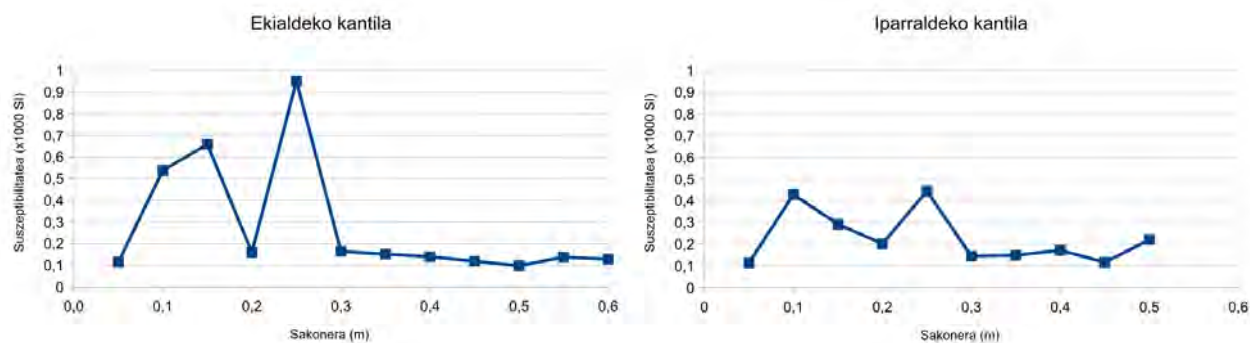
7.5. irudia: Ezkerrean, A miaketa-zuloko zutabe oinarriaren gainetik pasatzen den profilari dagokion TIA20069 radargrama hobetua (600 MHz). Eskuinean, profilaren kokapena aurkitutako unitate arkeologikoen gainean.

Miaketa magnetikoari dagokionez, gune honetan kontraste magnetikoa hain da ahula non ez den inolako egiturarik ikusi. Egindako suszeptibilitate neurketek agerian utzi dute unitate ezberdinen artean ez dagoela alde nabaririk (ikusi 7.3. taula eta 7.6. irudia). Lehen egunetan induskaturiko unitateetan neurketarik egin ez arren, [203] eta [210] unitateen harrietan egindakoek horien eta inguruko sedimentuaren artean dagoen kontrastea oso baxua dela adierazten dute. Amaierako egunetan ekialdeko eta iparraldeko kantiletan suszeptibilitate profilak egin ziren, neurketak 5 zentimetroko eginez. Bertan ikus daiteke suszeptibilitate altuena lehen 30 zentimetrotako lurri dagokiola, gainazaleko lur organikoari beraz.

UE	n	μ 10 ⁻³ S.I.	Konposizioa	UE	n	μ 10 ⁻³ S.I.	Konposizioa
203	1	0,005	Harria	209	1	0,071	ebaketaren oinarria
	2	-0,010	Harria		2	0,074	ebaketaren oinarria
	3	0,006	Harria		3	0,099	ebaketaren oinarria
	4		Harria		4	0,083	ebaketaren oinarria
	5	0,059	Harria		5	0,074	ebaketaren oinarria
	6	-0,100	Harria	214	1	0,148	ebaketaren oinarria
	7	-0,002	Harria		2	0,096	ebaketaren oinarria
207	1	0,121	Sedimentua		3	0,139	ebaketaren oinarria
	2	0,117	Sedimentua		4	0,112	ebaketaren oinarria
	3	0,131	Sedimentua		5	0,116	ebaketaren oinarria
	4	0,165	Sedimentua		6	0,119	ebaketaren oinarria
	5	0,173	Sedimentua		7	0,126	ebaketaren oinarria
	1	0,146	Sedimentua		8	0,162	ebaketaren oinarria
	2	0,146	Sedimentua		9	0,157	ebaketaren oinarria
208	3	0,059	Sedimentua	217	1	0,273	Buztin garbia
	4	0,089	Sedimentua		2	0,209	Buztin garbia
	5	0,177	Sedimentua		3	0,183	Buztin garbia
	6	0,048	Sedimentua		4	0,098	Buztin garbia
210	1	-0,002	Harria		5	0,170	Buztin garbia
	2	0,011	Harria		6	0,111	Buztin garbia
	3		Harria		7	0,167	Buztin garbia
	4	0,072	Harria		8	0,126	Buztin garbia
	5	0,035	Harria		9	0,099	Buztin garbia
211	1	0,110	Sedimentua		10	0,094	Buztin garbia
	2	0,118	Sedimentua		11	0,136	Buztin garbia

7.3. taula: A miaketa-zuloaren unitateetan egindako suszeptibilitate magnetikoaren neurketak.

Informazio guztia kontuan hartuz, kontraste magnetiko ezaren arrazoia egitura eta inguruko sedimentuak antzeko suszeptibilitatea dutela da. Aztarnategiko beste gune batzuekin alderatuz kontserbaturiko potentzia arkeologikoa baxua da eta, aurkituriko egiturak oinarriak badira, garaiko zirkulazio maila ez dela mantendu ondoriozta daiteke.



7.6. irudia: A miaketa-zuloko kantiletan neurtutako suszeptibilitate profilak. Sakonera gainazalarekiko neurtuta dago, eta suszeptibilitatea sistema internazionallean.

7.1.2. B miaketa-zuloa (1 m x 4 m)

P5 gunearen iparraldean georradarrak 60 metro luze dituen anomalia islakorra erakutsi zuen metro inguruko sakoneran, E26 izendatu dena (ikusi 6.4.3.3. atala). Anomalia honek adarkatze ezberdinak ditu nahiz eta mendebaldeko tartean 60 metro inguruko ibilbide zuzena egiten duen, E26a izendatua. Tarte horretan uve itxurako sekzioa duela ere erakutsi du georradarrak. Guzti hori kontuan izanda, kanal antzeko egitura bat dela uste da, eta baliteke asentamenduaren ur-hornidurarekin loturik egotea.

B miaketa-zuloaren helburua egitura horren jatorria ezagutzea da. Horretarako, 1 m x 4 metroko laukizuzena ireki da, anomaliaren norabidearekiko elkarzut orientatuta (ikusi 247 orrialdeko 7.1. irudia eta 7.7. irudia, A).

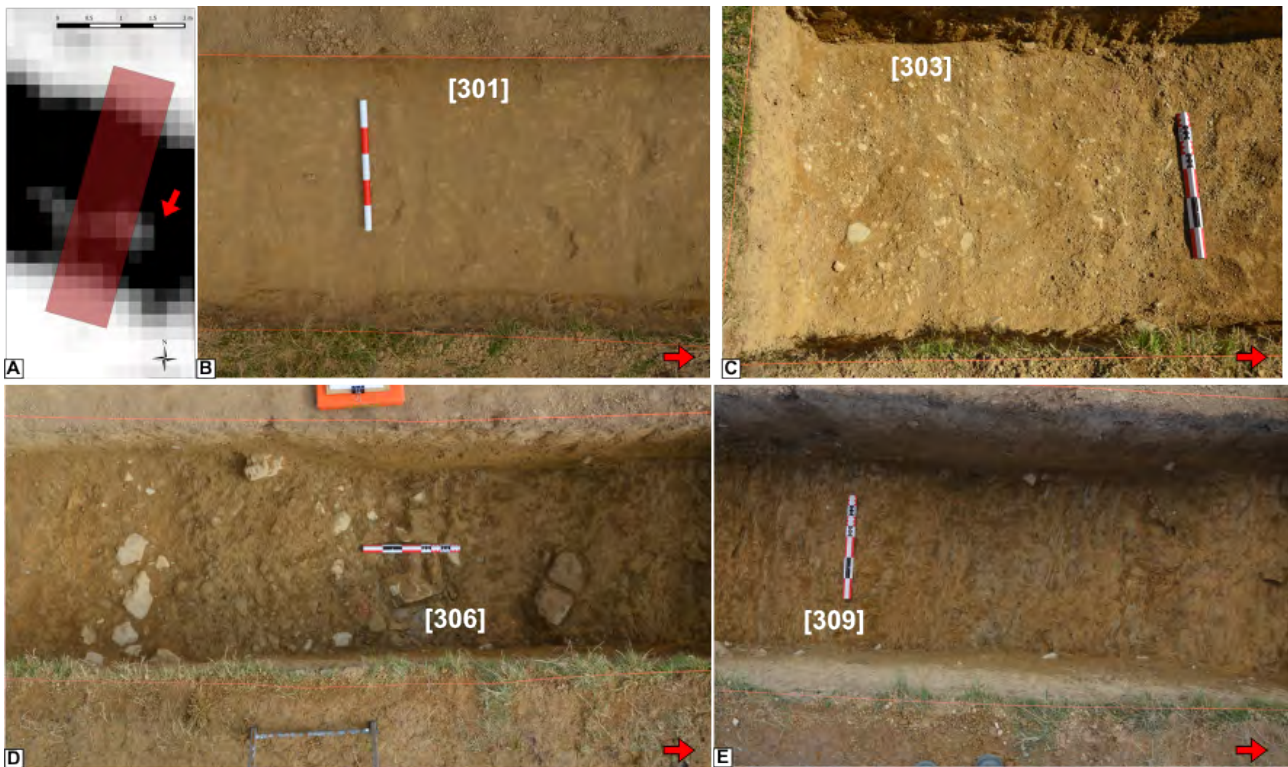
7.1.2.1. Emaizta arkeologikoak

Miaketa-zulo honetan egitura bakarra aurkitu da, georradarrean ikusitako kokapenarekin bat egiten duen arrokan naturalean egindako ebaketa ([308] unitatea). Zuloaren oinarrian agertzen den substratu naturala oso sendoa eta trinkoa den tupa da. Kolore ezberdinak ikusten zaizkio, marroi horixka, gris argia, urdin argia eta marroi berdexka argien artean aldatuz doalarik. Substratuan E26 anomaliaren paraleloa den laminazio argia ikus daiteke, eta kasu batzuetan geruzak bertikalean ageri dira. Horren gainean betekin ezberdinak ikusi dira (7.4. taula eta 7.7. irudia).

Ebaketa mailakatua da (ikusi 7.8. irudia) baina oinarri irregularra du, eta horrek erosio prozesuak sortua dela iradokitzen du, uraren ibilbideak ziurrenik. Hala ere, ez dago argi zehazterik ea egitura naturala den ala gizakiak moldatutakoa, ez delako inolako ekintza antropiko argirik ikusi, nahiz eta oso zati txikia ireki den (Harrison et al. 2015).

Ebaketa hau sedimentu geruza ezberdinek bete dute egungo zoruaren mailaraino. Azpiko mailatako [307] eta [306] unitateek ebaketaren erdiko gunea betetzen dute eta baldintza hezetan emandako sedimentazioak sortuak direla ondorioztatu da. Bi kasuetan borobildutako harri ugari aurkitu da, eta ebaketaren erdigunean geruzaren lodiera handiagoa da. Bietan aurkitu da zeramika, behin-behinean erromatar garaikoa dirudiena, eta horrek zalantzan jartzen du sedimentazio-prozesua erabat naturala izatea.

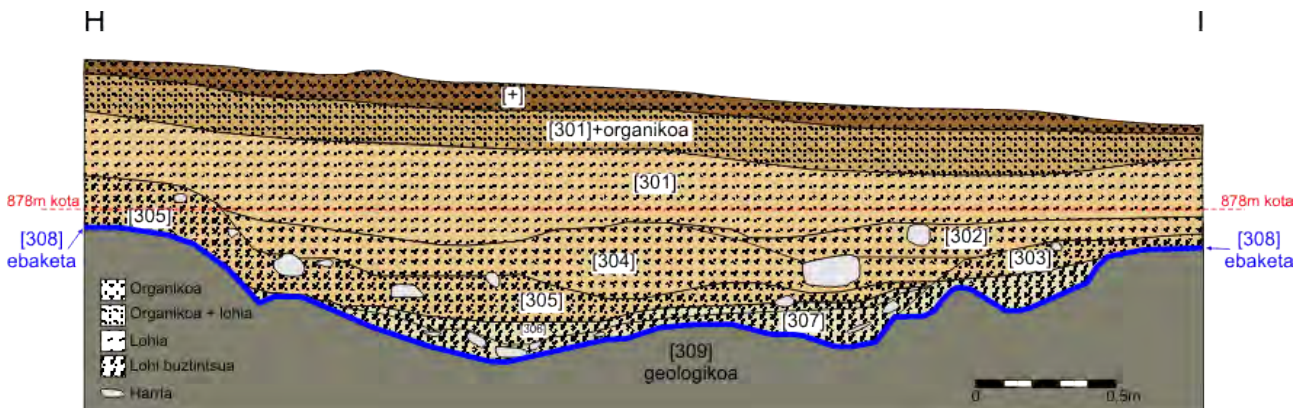
Hauen gainean aurkitutako geruza ezberdinen artean ezberdintzea ez da erraza izan indusketa prozesuan zehar, horien arteko antzekotasun eta muga difusoak direla eta. [305] unitatearen muga,



7.7. irudia: B miaketa-zuloan aurkitutako unitateen argazkiak. A. Georradar emaitzen sortutako 10. anplitude mapa (1,19-1,36 m; 600 MHz; $v = 8$, 54 cm/ns). B. [301] unitatea. C. [303] unitatea. D. [306] unitatea. E. [309] unitatea, substratu naturalari dagokiona, laminazioak ageri direlarik. Argazkiak: Rafa Zubiria.

bereziki, zalantzazkoa da. Horren balizko azalpena, grabitateagatik (malda behera hego-mendebaldetik ipar-ekialdera doa), zenbait depositu desplazatu izana da, ondoren uraren eraginez eraldatzean [305] deritzona sortu izango zelarik (Harrison et al. 2015). [303] eta [304] unitateen arteko muga ere ez da era argian definitu, nahiz eta [305] unitatearen gainean daudela argi ikusi den. Deigarria da [303] unitatea eta [308] ebaketaren arteko estratigrafia zalantzazkoa izatea. Izan ere, lehena bigarrenaren betekina izan ordez, ebaketa [303] unitatean egindakoa izan daitekeela aipatu da txostenean.

[301] unitatea da zundaketa osoan agertu den bakarra, eta lodiera garrantzitsuena duena. Gaineko maila organikoaren eta azpiko maila harritsueneren artean trantsizioa ematen du, unitate honen goialdean sustriak eta behealdean hartxintxarrak agertu direlarik. [302] unitatea oso antzekoa den arren, aldikako harriak direla-eta beste zenbaki bat eman zaio.



7.8. irudia: B miaketa-zuloaren ekialdeko kantilaren eskema. Harrison et al. 2015 txostenetik moldatua.

UE	Deskribapena	Materiala
+	Lur begetala	ez
301	Lohia (marroi horixka argia, hauskorra), aldikako hartxintzar inklusioekin	bai
302	Lohia (marroi horixka erdikoa, hauskorra) hartxintzar eta harri ertainekin (15 cm)	bai
303	Lohia (marroi horizka erdiko, hauskorra), hartxintzar ertain (5 cm) eta erdi-borobilduekin	ez
304	Lohia (marroi horizka erdiko, hauskorra), hartxintzar ertain eta erdi-borobilduekin eta harri ertainekin (8-12cm)	ez
305	Buztin lohitsu (sendoa, marroi horixka erdikoa), aldikako hartxintzar ertainekin. Muga garbia	bai
306	Buztin lohitsu (sendoa, gris marroixka erdikoa), hartxintzar ertain eta luze ugarirekin. Muga garbia	bai
307	Lohi buztintsua (sendoa eta trinkoa, laranja/urdin/gris/horia), 10-15 cm-ko harri borobildu ugarirekin	bai
308	Alde irregularreko ebaketa lineala	-
309	Lohi buztintsua, oso sendoa, horixka/grisa/berdea/urdina, aldikako manganeso izpiekin. Arroka naturala, laminazioekin (Ekialde-mendebalde)	-

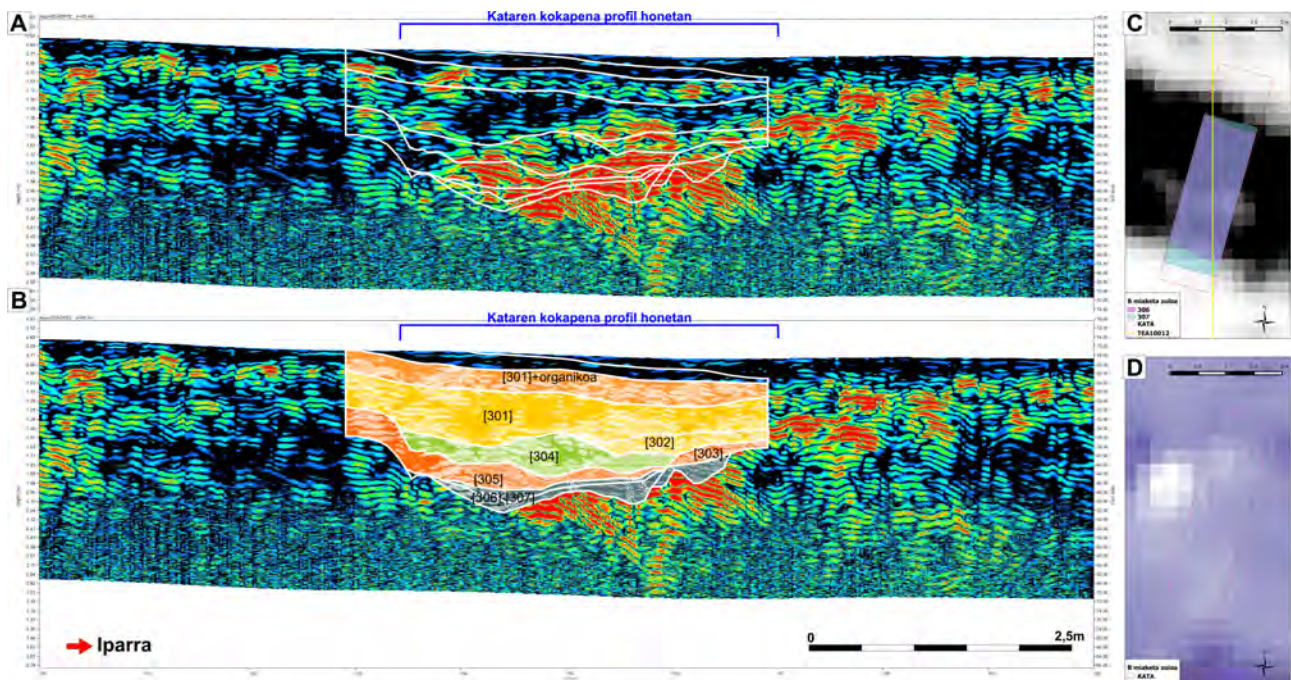
7.4. taula: B miaketa-zuloan aurkitutako unitateen deskribapena.

7.1.2.2. Interpretazio geofisikoa

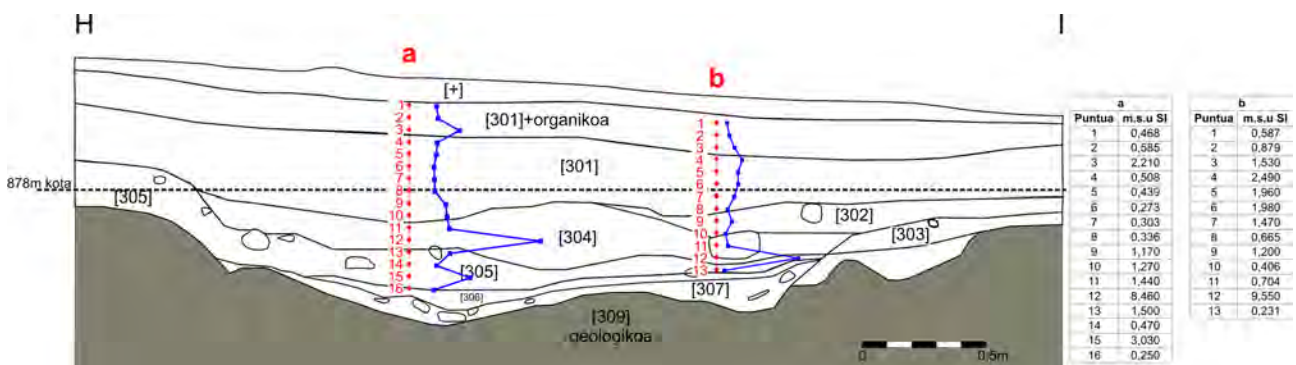
Georradar datuak bat datoz indusketan ikusitakoarekin, nahiz eta ez den inolako eraikuntza egiturarik ikusi. Izan ere, seinalea geruza ezberdinen arteko etenuneek sorturiko kontrasteari dagokio. Azaleko geruzak homogeenak direla kontsidera daiteke georradarraren ikuspuntutik (ikusi deskribapena 7.4. taulan). Hartxintzar kopurua eta tamaina aldatu arren, eta horrek zenbait islapen sortu ditzakeen arren, aldaketa nagusia hurrengo geruzatan ematen da. [305] unitatean konposizioa aldatu egiten da, buztintsuagoa da, eta bereziki [306] eta [307] unitateetan, harri ugari eta hezetasun maila nabariarekin. Horiek dira, ziurrenik, georradar seinalearen islapen nagusia sortu duten unitateak.

Mendebaldeko sekzioa eta E26a anomaliaren gainera pasatzen den TEA10012 profilaren alderaketa ikus daiteke 7.9. irudian. Kontuan izan behar da kokapenak ez direla guztiz baliokideak, irudi horretako C atalean ikus daitekeen bezala. Izan ere, profilak hegoalde-iparralde norabidean hartuta dauden bitartean, miaketa-zuloa anomaliarekiko elkarzut kokatu da, eta, horregatik, alderaketa ezin da puntuz-puntukoa izan baizik eta unitate orokorra. Bertan ikus daitekeenez, islapen nagusiak [305] unitatearekin bat datoz.

Miaketa magnetikoari dagokionez, mendebaldeko kantilean bi suszeptibilitate profil neurtu ziren. Horien emaitza egindako sekzio arkeologikoarekin alderatuta 7.10. irudian bildu da. Bertan ikus daitekeenez, suszeptibilitatea oso antzekoa da unitate gehienetan, baina [304] unitateari dagozkion neurketetan oso balio altua neurtu da bi profiletan. Sekzio arkeologikoa marraztean harturiko notetan, [304] unitatean manganeso printzak zeudela ageri da, eta erretako lur zati txikiak. Horrek agian azal lezake neurturiko suszeptibilitate balio altua, baina ezin da zehaztu ea neurketa puntualak izan diren edo orokorra den. Geruza honek 0,3 metroko lodiera maximoa erakutsi du eta bere gainaldea 0,74 metrora aurkitzen da, beraz ez da harritzekoa suszeptibilitate kontrastea izan arren adierazgarria den kontraste magnetikorik sortu ez izana (ikusi 7.9. irudiko D atala).



7.9. irudia: B miaketa-zuloaren gainetik pasatzen den TIA20012 profila (zuzenketa topografikoaren ostean, 600MHz) eta mendebaldeko kantilean burututako sekzioen alderaketa. A. Profila, sekzioen identifikaturiko unitateak lerro bidez adierazita. B. Irudi berdina, baina unitateak koloretan adierazita eta izenekin. C. [306] eta [307] unitateak georradar emaitzekin sorturiko 10. anplitude-maparen gainean. Profila eta kataren kokapenak ere adierazi dira.



7.10. irudia: B miaketa-zuloaren ekialdeko kantilean burututako suszeptibilitate magnetikoen neurketak. Neurketen kokapena puntu gorriek ematen dute, eta urdinez adierazi da dagokien kurba. Neurturiko balioak tauletan ageri dira.

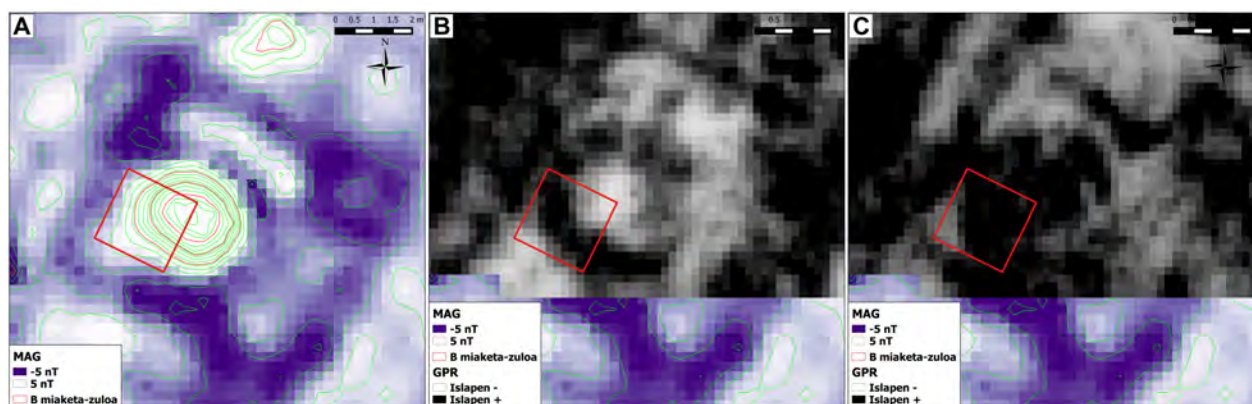
7.1.3. C miaketa-zuloa (2 m x 2 m)

E29 anomalia multzoa Zaldua eremuan kokatzen da, P5 gunearen hego-ekialdean (ikus 6.4.3.4. atala). Georradar eta miaketa magnetikoaren emaitzek suszeptibilitate kontraste altuko egitura borobil bat identifikatzea ahalbidetu dute, balizko putzu bezala identifikatua izan dena. Putzu batean aztarnategiari buruzko galderak erantzuten lagun dezaketen materialak aurki daitezkeelakoan, C miaketa-zuloa anomalia honen gainean kokatu da. Baimen arkeologikora egokitzeko beharrak 2 m x 2 metroko eremura mugatzera behartzen duenez, egituraren hego-mendebaldeko koadrantea aukeratu da (ikus 7.11. irudia).

7.1.3.1. Emaitza arkeologikoak

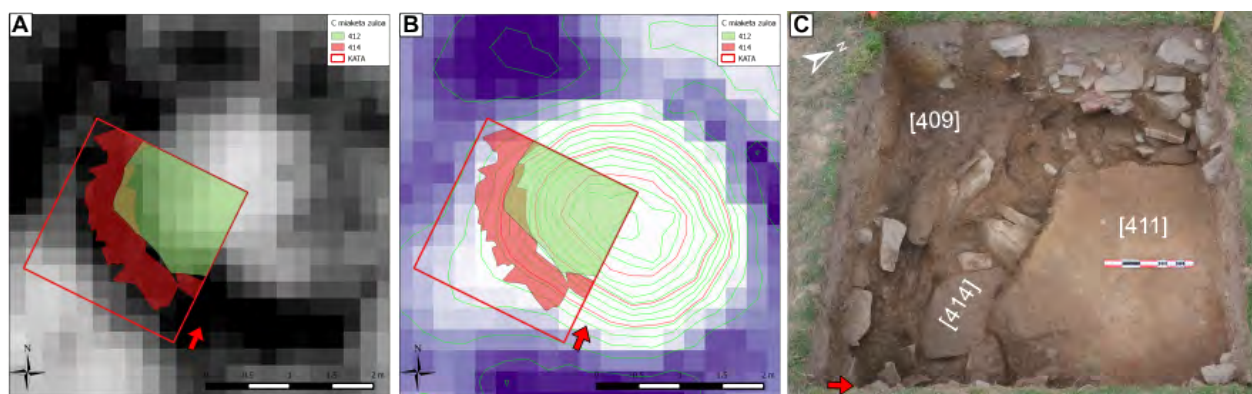
Miaketa-zulo honetan ez da estratigrafia guztia agortu eta ondorioz ezin izan da sekuentzia guztia aztertu. Dena den, emaitza geofisikoetan oinarritutako interpretazioa aldatzeko adina informazio bildu

da. Izan ere, georradarrean ikusitako egitura borobilari dagokion pareta agertu den arren, barruko sedimentuak erakutsi duen rubefakzioa eta aurkitutako zepa ugariak putzu bat izatea baztertzen dute. Funtzio zehatza argitzeke dagoen arren, suarekin erlazionatutako gunea dela nabaria da, eta labea edota forja denaren ustea dago orain.

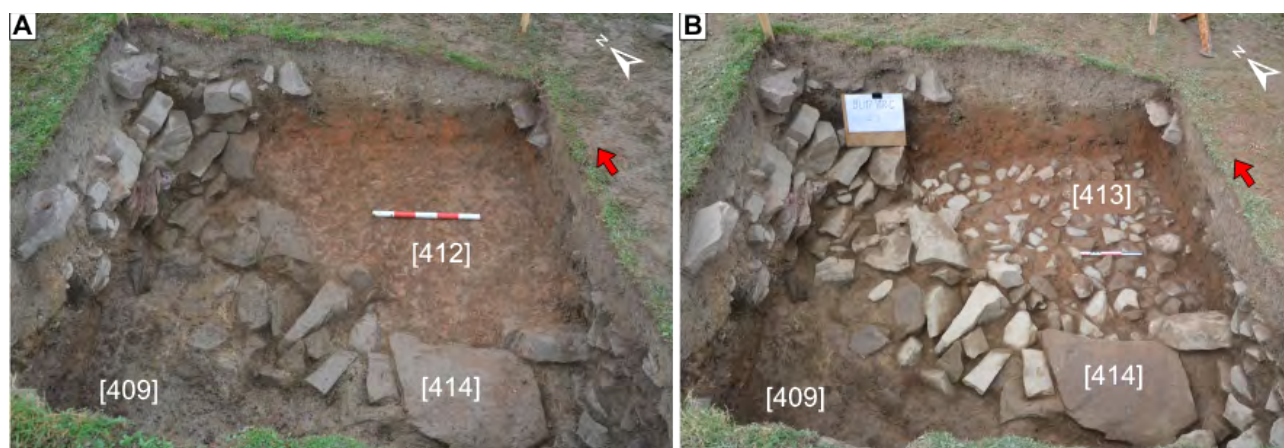


7.11. irudia: C miaketa-zuloaren kokapena emaitza geofisikoen gainean. A. Miaketa magnetikoaren emaitza (-5 nT/5 nT). Isolerroak 3 nT (berde) eta 10 nT (gorri). B. Georradar datuekin sortutako 6. anplitude maparen gainean (15,45-19,55 nT; 0,66-0,83 m, $v = 8, 54$). C. Georradar datuekin sortutako 9. anplitude maparen gainean (24,61-28,71 nT; 1,05-1,23 m, $v = 8, 54$)

Aurkitutako unitate estratigrafikoen deskribapena 7.5. taulan bildu da. Azaleko geruzatan eraspian bezala identifikatutako mailak aurkitu dira, eremu osoa hartzen duten harri eta buztin nahasizko [401] eta [402] unitateak. Horien azpitik estratigrafia konplexua aurkitu da, kolore ezberdineko buztin "partxeekin", ikatz kopuru handiagoko geruzekin, eta harri solteekin. Hala ere, hori egitura zirkularretik kanpo dagoen eremuan gertatu da. Izan ere, barnealdean erretako buztin geruza biren segida aurkitu da (espazio bera betetzen duten [411] eta [412] unitateak. 7.12. irudia). Horiek [414] deituriko paretak banatzen ditu kanpoaldetik, georradarrean ikusitako egitura borobilarekin bat datorrena. Gutxi landutako kareharriz osatuta dago, argamasarik gabe lotuak, eta 0,45 metroko zabalera du. Momentuz 0,3 metroko sakonera aurkitu da, baina baliteke indusketak aurrera egitean potentzia handiagokoa dela ikustea. Erretako buztin geruzen azpian, prestakuntza geruza bezala interpretaturiko harri txikiko maila bat aurkitu da, [413] deritzona (ikusi 7.13. irudia). Geruza hau gainazalarekiko metro inguruko sakoneran aurkitzen da.



7.12. irudia: C miaketa-zuloan aurkitutako [411]-[412] eta [414] unitateak. A. georradar emaitzekin kokapena emaitza geofisikoen gainean. A. Georradar datuekin sortutako 6. anplitude maparen gainean (15,45-19,55 nT; 0,66-0,83 m, $v = 8, 54$). B. Miaketa magnetikoaren emaitzaren gainean (-5 nT/5 nT). Isolerroak 3 nT (berde) eta 10 nT (gorri). C. Unitate hauek agertzen diren argazkia. [411] eta [412] unitateek espazio bera betetzen dute, eta argazkian gainean dagoen [411] ageri da. Argazkiak: Rafa Zubiria.



7.13. irudia: C miaketa-zuloaren argazkiak indusketaren momentu ezberdinetan. A. [412] unitatea, kantilean honezkero kendutako [411] unitatearen traza ikus daitekeelarik. B. Erretako buztinaren azpian agertutako [413] harri geruza. Argazkiak: Rafa Zubiria.

UE	Deskribapena	Materiala
401	Buztina (marroi grisaxka erdikoa, sendoa), hartxintzar handiekin. Eraispena.	M, Z
402	Buztina (marroi horixka erdikoa, sendoa), hartxintzar handiekin. Eraispena.	M, Z, B
403	Harri handi eta ertainak, bertako hareharria. Badago ertzak landuta dituen bat. Eraispena.	Z
404	Buztina (marroi horixka erdikoa, sendoa), ikatz inklusioekin. [405] unitatearen atzekoa.	Z, EM
405	Buztina (marroi laranjatsu erdikoa, sendoa), ikatz inklusioekin. [404] unitatearen atzekoa.	M, Z, B, EM
406	Gutxi landutako harri ertain eta handiak.	M, Z, B, EM
407	Gutxi landutako harri txiki eta ertainak. [406]en oso antzekoa baina azpirago. [408] unitatearen baliokidea	ez
408	Gutxi landutako harri handiak, buztin lohitsu (marroi gorrixka, erdiko sendotasuna) eta ikatz printzak. [407] unitatearen baliokidea.	Z
409	Ikatza eta buztina (beltz marroixka iluna, biguna). Errekuntza geruza egituraren kanpoaldean.	Z, B
410	Lohi buztintsua (marroi grisaxka erdikoa), harri ertain eta ikatz printzekin, eta aldikako erretako buztin zatiekin. Zoru baten arrastoa izan liteke.	M, Z, B
411	Buztin lohitsu (laranja marroixka erdikoa, sendoa eta hauskorra), hartxintzarrekin eta oso aldikako ikatz printzekin. Labearen inarria izan litekeen erretako buztin geruza.	M(z), Z
412	Buztin lohitsu (laranja marroixka erdikoa, sendoa eta hauskorra), aldikako hartxintzarrekin. Labearen azpiko oinarria, [411]ren oso antzekoa baina zepa gehiagorekin.	M(z), Z
413	Kareharri eta hareharri irregularrak (max 0,19 m x 0,13 m x 0,50 m), buztinean sartuta. Labearen harrizko oinarria.	ez
414	Kareharrizko egitura borobila (max 0,55 m x 0,46 m x 0,14 m), batzuk gutxi landuta, buztinarekin. Paretaren oinarria.	ez

7.5. taula: C miaketa-zuloan aurkitutako unitateen deskribapena. M: metala; M(z): zepa; Z: zeramika; B: beira; EM: eraikuntza materiala.

7.1.3.2. Interpretazio geofisikoa

Kasu honetan indusketek mahaigaineratutakoa bat dator erantzun geofisikoarekin, baina jatorriko interpretazio arkeologikoa ez zen zuzena izan. Bildutako kontraste magnetikoa errekontza egitura batengatik esperotakoa baino baxuagoa da, eta horregatik aukera hau baztertu eta putzu bat betetzen duen sedimentuak sortua izan zitekeela proposatu zen. Hala ere, egindako suszeptibilitate magnetikoaren neurketek agerian utzi dute erretako buztinak ez duela beste errekontza guneetan neurtutako bezainbesteko balio alturik (7.6. taula). Ikusi, adibidez, 260 orrialdeko 7.7. taulako balizko labeetan neurturiko balioak.

UE	n	μ 10^{-3} S.I.	Konposizioa	UE	n	μ 10^{-3} S.I.	Konposizioa
404	1	0,48	Buztina + ikatz inklusioak	411	1	0,954	Erretako buztina
	2	0,555	Buztina + ikatz inklusioak		2	0,775	Erretako buztina
	3	0,333	Buztina + ikatz inklusioak		3	0,677	Erretako buztina
405	1	0,947	Buztina + ikatz inklusioak		4	0,629	Erretako buztina
	2	0,302	Buztina + ikatz inklusioak	412	1	1,89	Erretako buztina
	3	1,33	Buztina + ikatz inklusioak		2	0,583	Erretako buztina
406	1	0,041	Harriak		3	2,37	Erretako buztina
	2	0,041	Harriak		4	1,96	Erretako buztina
	3	0,037	Harriak	413	1	0,696	Oinarriko harriak
	4	0,118	Harriak		2	0,243	Oinarriko harriak
407	1	0,018	Harriak		3	1,440	Oinarriko harriak
	2	0,1	Harriak		4	0,183	Oinarriko harriak
	3	0,117	Harriak		5	0,261	Oinarriko harriak
	4	3,8	Harriak		6	0,357	Oinarriko harriak
408	1	0,479	Harriak		7	0,536	Oinarriko harriak
	2	0,288	Harriak	414	1	0,182	Paretako harriak
	3	0,647	Harriak		2	0,016	Paretako harriak
	4	0,036	Harriak		3	0,019	Paretako harriak
409	1	0,389	Ikatza + buztina		4	0,035	Paretako harriak
410	1	1,21	Lohia, agian zorua		5	0,086	Paretako harriak
	2	1,04	Lohia, agian zorua		6	0,024	Paretako harriak

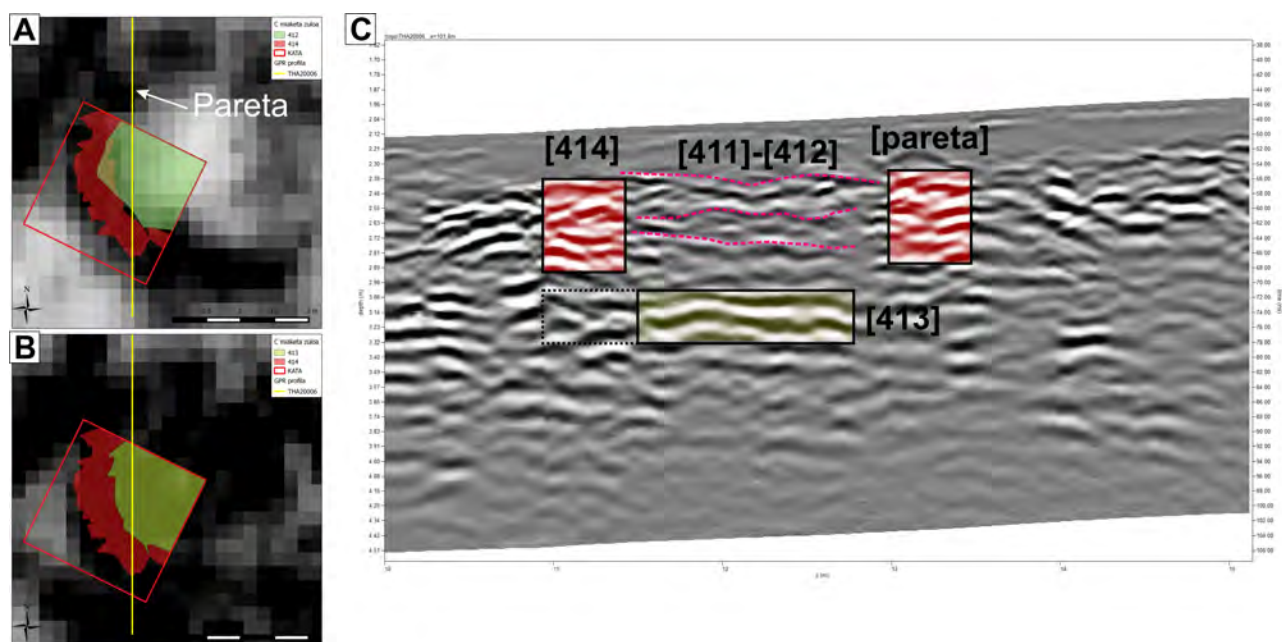
7.6. taula: C miaketa-zuloan aurkituriko unitateetan neurturiko suszeptibilitate magnetikoaren balioak.

Hala ere, suszeptibilitateak induzituriko anomalian besterik ez du eragiten, eta errekontza egitura batean magnetizazio termoiraunkorraren eragina garrantzitsua izan ohi da. Jakina da ere errekontza anomalia sortzen duen osagai garrantzitsuenetarikoa errautsa dela, eta hori desagertuz gero anomaliaren intentsitatea galdu egiten dela (Linford eta Canti 2001). Hala ere, kontserbaturiko buztin geruzaren lodiera ikusita, lurrak berak magnetizazio termoiraunkor garrantzitsua ez duela dirudi. Baliteke erabilitako tenperatura beste prozesuetan erabilitakoa baino baxuagoa izatea. Izan ere, kolore gorria tenperatura baxuetan ere ematen da (English Heritage 2007), eta kasu horietan suszeptibilitatearen hazkuntza mugatua izan daiteke (Linford eta Canti 2001). Kontuan hartzekoa da aurkitutako buztina gorrituta egonagatik, ez dela gogortuta agertu, ez behintzat labeen paretetan gertatu ohi den moduan. Kasu horietan adreiluarekin gertatzen den bezala buztin gogortuak magnetizazio iraunkor indartsua bereganatu ohi du (beste aztarnategietan aurkitutako labe zatiak magnetometroarekin neurtzean jasotako esperientzia pertsonala).

Georradarrari dagokionez, emaitzak bat datoz indusketan ikusitakoarekin. Erretako buztina, [411] eta [412] unitateak, homogenea dela kontsidera daiteke, eta bat dator georradar seinalearen islapen faltarekin. Anplitude mapetan ikusten den egitura zirkularra bat dator [414] paretarekin. Sakonera handiagoan, [413] harrizko oinarriak radar energia islatzen du espero bezala, 7.14. irudiko C atalean ikus daitekeen bezala.

Zunda	lagina	$\mu 10^{-3}$ S.I.	Deskribapena	Goi muga	Behe muga
BH12	14-004	2,64	L1 balizko labearen barneko lurra	0,2	0,4
	14-005	10,8	L1 balizko labearen barneko lurra	0,4	0,6
	14-006	18,1	L1 balizko labearen barneko lurra	0,6	0,8
	14-007	1,07	L1 balizko labearen barneko lurra	0,8	0,9
	14-008	0,4	L1 balizko labearen barneko lurra	0,9	1
BH23	14-010	2,78	L6 anomaliaren barneko balizko lur errea	0,35	0,5
	14-011	1,51	L6 anomaliaren barneko lurra. Ikatz askodun maila	0,55	0,65
	14-012	3,44	L6 anomaliaren barneko lurra. Bigarren ikatz maila matrize berdinarekin barnean	0,7	0,8
	14-013	0,04	L6 anomaliaren barneko lurra. Lur garbia	0,8	0,9
BH33	14-023	6,88	L5 anomaliarekin loturiko lur errea	0,1	0,2
	14-024	0,38	Erretakoaren azpian dagoen erreferentziarako lurra	0,2	0,3
BH36A	14-027	58,9	Lur errearen gaineko zepa(k)	0,55	0,55
	14-028	30,6	Erretako lurra	0,6	0,6
	14-029	0,54	Hareharri gorriaren azpiko buztik eta ikatz geruza	1,9	2
BH40	14-037	0,1	Buztin eta ikatz maila	0,7	0,7
BH42	14-039	3,62	Morteroa edo erorketaren gaineko geruza arkeologikoa	0,3	0,5
	14-040	0,19	Morteroa edo erorketa geruza	0,53	0,72
	14-041	1,8	Morteroa edo erorketaren azpiko geruza arkeologikoa	-	-
BH53	14-043	0,03	Ezin zeharkatutako beheko materiala	0,46	0,46
BH60	14-047	17,2	Zepa handia	0,68	0,68
BH83	14-048	0,94	Nekropoli inguruko geruza arkeologikoa	0,3	0,4
BH89	14-051	0,1	GPRarekin detektaturiko geruza reflektantea esplika dezakeen manganeso oxidodun geruza gogorra	0,8	0,8
	14-052	0,23	Geruza gogorraren gainean zegoen lur biguinagoa	0,7	0,7

7.7. taula: 2014. urtean zulatutako zundatan harturiko laginetan neurturiko suszeptibilitate balioak.



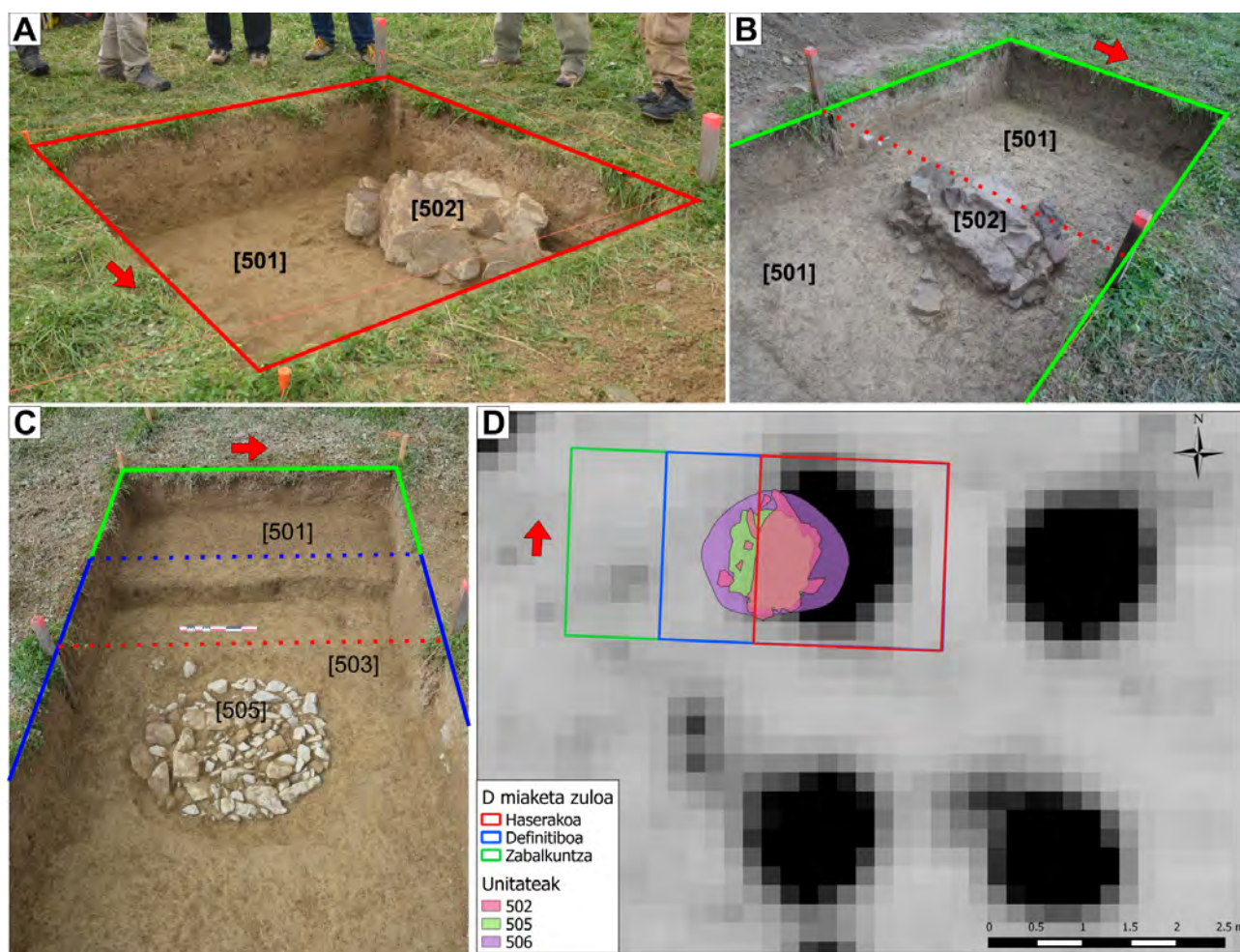
7.14. irudia: Georradar emaitzen alderaketa C miaketa-zuloan. A. THA2006 profila eta [414] eta [412] unitateen kokapena georradar datuekin sortutako 6. anplitude maparen gainean (600 MHz). B. THA2006 profila eta [414] eta [413] unitateen kokapena georradar datuekin sortutako 9. anplitude maparen gainean (600 MHz). C. THA2006 profilari dagokion radargrama, zuzenketa topografikoaren ostean.

7.1.4. D miaketa-zuloa (3 m x 2 m)

D miaketa-zuloa Otegi deritzon gunean kokatu da, 2014. urteko georradar miaketak aditzera emandako anomalia zirkular baten gainean. Galtzadaren hegoaldean E34 deitutako anomalia multzoa detektatu zen, balizko zutabe bezala interpretatuak, launakako bost errenkadetan jarrita (ikusi 6.8. atala). Horietako batean kokatu da miaketa-zuloa, 2 m x 2 metrokoa, interpretazio arkeologikoa baieztatu asmoz. Bide batez, gune honetako kontraste magnetiko eza ulertzen lagunduko duten informazioa lortzeko aukera egon zitekeela uste zen. Balizko egitura goldatutako mailaren azpian dago, sakonera gutxira.

Miaketa-zuloa anomalia zirkularra geratzeko moduan kokatu arren, indusketak aurrera egin ahala argi geratu zen desplazamendua zegoela. Izan ere, harri handi bat agertu zen baina mendebaldeko kantilak harrapatua (ikusi 7.15. irudia). Hori dela eta, miaketa-zuloa mendebalderantz zabaltu zen 2 metroz. Egitura osorik agertu zenean, hainbeste zabaltzea ez zela beharrezkoa ikusi zen eta azkenean 3 m x 2 metrokoa izan zen geruza geologikoetaraino induskatutako eremua.

Desplazamendu horren jatorria ez da 2016ko indusketen ostera arte argitu. Izan ere, hasiera batean topografia neurketetako errorea izan zitekeela pentsatu zen. Miaketa-zuloaren erpinen kokapena zein georradar miaketarako erabilitako hesolen kokapena neurtu ostean alde horretatik dena ongi zegoela ikusi ahal izan zen. Georradar datuak berriz prozesatu ziren, landa oharrak ongi errepasatuz, eta alde horretatik ere ez zen deus argitu. 2016ko indusketetan, desplazamendua beste norabide batean zela ikusteak eman zuen arazoaren jatorria argitzeko pista. Izan ere, errorea perfilaren norabidearekin loturik zegoela iradoki zuen horrek, hau da, ipar-hego norabideko perfilen gunean desplazamendua iparralderantz zen; mendebalde-ekialde norabideko perfilen gunean, aldiz, desplazamendua ekialderantz. Odometroaren arazoa dela ondorioztatu da, horrek kontrolatzen duelako



7.15. irudia: D miaketa-zuloaren kokapena eta argazkiak. A. [502] unitatearen argazkia jatorrizko miaketa-zuloaren mendebaldeko kantilean. B. [502] unitatea miaketa-zuloa zabaldu ostean, harri handiaren inguruko harrietariko batzuk dagoeneko kenduta. C. [505] unitatearen argazkia. D. miaketa-zuloaren kokapena eta aurkituriko unitateak jatorrizko prozesuarekin sorturiko 7. anplitude maparen gainean, non esperotakoa eta aurkitutakoaren arteko desplazamendua nabaria den (600 MHz; 57 cm-57,59 cm bitartean; $v = 8.1 \text{ cm/ns}$).

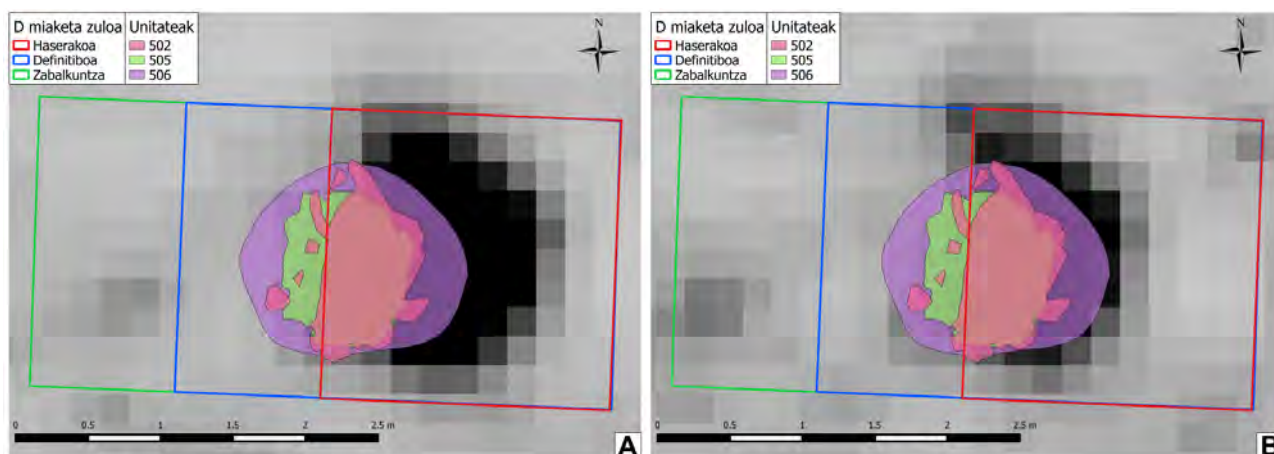
perfilean zeharreko posizioa eta gainera datu bilketa bitartean zenbait momentutan neurtzeari utzi baitzion inolako justifikaziorik gabe.

Arazoa guztiz konpontzea ezinezkoa den arren, badago moduren batean konpentsatzerik. Izan ere, prozesuaren hasieran sortzen den *informazio dokumentua* edo *infoa* da profilen inguruko informazioa biltzen den lekua. Bertan odometroak neurtutako balioak erabili ahal dira, ondo kalibratu eta funtzionatu badu zehaztasun gehiago dutenak, baina badago eskuz teorian izan beharko lukeen luzera sartzerik. Hori da egin dena, profilak artifizialki tokatzen zaizkien luzerara behartuta, eta emaitza nabari ezberdina dela baieztatu da (ikusi 7.16. irudia). Doiketa hau, hala ere, ez da guztiz egiazkoa eta profilak eremuaren formara moldatu diren gunean, luzera teorikoa neurtzerik ez dagoenez, artifizialagoa da. Tamalez, hori da D miaketa-zuloaren kasua eta horregatik luzera ezaguneko profiletan ikusitako batez-besteko desbideratzea eskuz txertatu da.

7.1.4.1. Emaitza arkeologikoak

Indusketak zutabe baten oinarria izan daitekeena azaleratu du. Zalduako A miaketa-zuloaren antzeko egitura aurkitu den arren, ezberdintasunak agerikoak dira. Alde batetik, D zuloan ez da eraispen

geruzarik agertu, eta egitura lohi homogeen txertatuta ageri da (7.8. taula). Lur begetalaren azpian [501] deituriko geruza agertu da, goldearekin mugitutako geruza dena. Honen azpian ageri dira harrizko egiturak zein [503] lohi geruza, azken hau degradaturiko arroka natural bezala interpretatua. Honen gainean ebaki da harrizko egitura barneratzen duen [506] ebaketa. Miaketa-zuloaren ertz batean egindako zuloan, [503] geruzak 15 zentimetro inguru dituela ikusi da, eta azpian agertu da [507] arroka naturala.



7.16. irudia: D miaketa-zuloan aurkitutako unitate nagusiak. A. Georradar datuen jatorrizko prozesua. B. Georradar profiletan odometroaren akatsaren konpentsazioaren ostean. Bi kasuetan 7. anplitude mapa (600 MHz; 57 cm-57,59 cm bitartean; $v = 8.1 \text{ cm/ns}$).

Egitura arkeologikoei dagokienez, [502] unitateko harri handiaren morfologiak gainean zuen zutabea ziurrenik egurrezkoa izango zela iradoki du, lau izan arren ez delako harrizko zutabe bat akoplatzeko bezain egokia. Harriaren gainaldea lurrazalarekiko 0,26 zentimetrorra aurkitu da, goldearen mugan beraz, eta baliteke horrek zartarazi izana. Inguruan dituen harriak harri nagusiari egonkortasuna emateko direnaren ustea dago. Honen azpian aurkitutako [505] errekarriko oinarria, bestalde, geruza bakarrekia da, hau da, A miaketa-zuloan aurkitutako [203] unitateak baino potentzia gutxiago du, eta harriak ere txikiagoak dira (10 cm ingurukoak). [504] unitateak beste bien arteko tartea betetzen du, ziurrenik harri handia jartzeko oinarria leuntzeko. [504] unitatearen gainaldea lurrazalarekiko 0,51 metroko sakoneran aurkitu da.

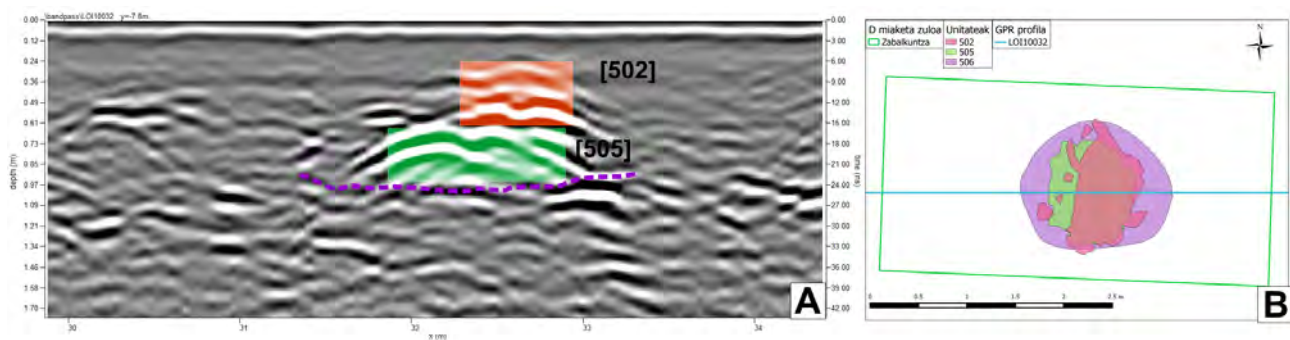
7.1.4.2. Interpretazio geofisikoa

Kasu honetan interpretazio geofisikoaren arazo nagusia anomalien kokapena izan da. Aurkituriko desbideratzea ez da onargarria eta miaketa-zuloaren jatorrizko kokapena egokia ez izatea ekarri du. Arazoa ulertu eta moduren batean konpondu den arren, honek agerian uzten du datu bilketaren momentuko arazoek ondorio garrantzitsuak ekar ditzaketela.

Hori alde batera utziz, georradar datuak bat datoz indusketak azaleratutakoarekin. Egitura borobilen definizio altua ongi ulertzen da inguruko lohi homogeen ikusita, ez baitago radar energia islatu duen beste elementurik. Sakonerari dagokionean, aurkituriko egiturak bat datoz (zentimetroa batzuk gora-behera) georradar emaitzetan ikusitakoarekin, eta ondorioz estimaturiko abiadura egokia dela onar daiteke. Aurkituriko bi harri mailak, [502] eta [505], radargraman ikustea posiblea izan da (7.17. irudia). Hala ere, informazio arkeologikoa izan gabe zaila litzateke interpretazio hau egitea.

UE	Deskribapena	Materiala
+	Lur begetala + belarra.	ez
501	Lohia (marroi horixka, hauskorra). Oso-oso aldikako zeramika gorri biguin oso txikiak, aldikako hartxintxarrak (< 2cm).	B, M, Z
502	Zartatutako kareharria handia gainalde lauarekin, eta inguruan harri gehiagorekin (10-15cm).	ez
503	Lohi buztintsua (horia-grisa, sendoa eta trinkoa). Aldikako magnaneso klasto/printzak, oso aldikako hartxintxarrak (<2 cm).	ez
504	Lohia (zertxobait buztintsua, marroi-gris horixka oso argia, biguina baina trinkoa). Aldikako manganeso eta hareharri zatiak, [505] unitatearen gainean eta tartean harrien arteko hutsuneak betetzen.	Z, M
505	Harri borobilduzko oinarria, gehienbat kareharri eta hareharria.	ez
506	Alde irregularreko ebaketa borobila. 1,6 m (E-W); 1,13 m (N-S); 0,16 m sakon.	ez
507	Lohi buztintsua (trinkoa, gris argia). Manganeso noduloak. Arrokararte egindako zundaketa txikia.	ez

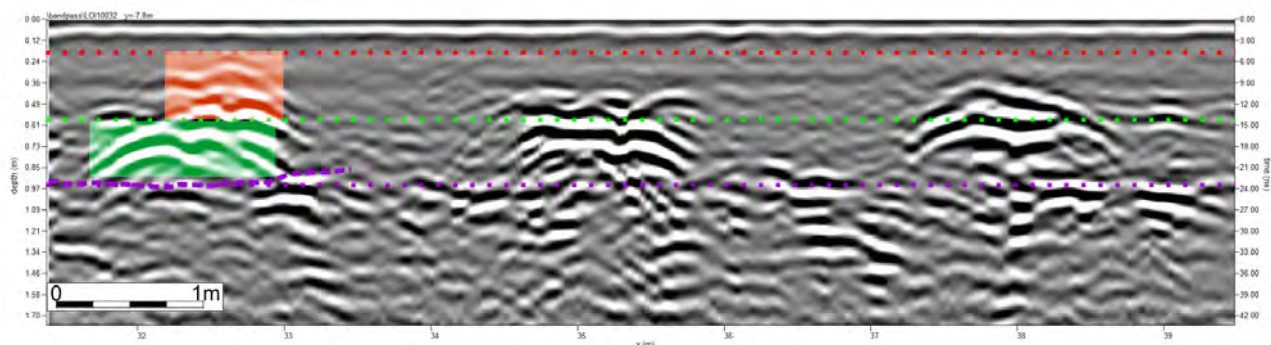
7.8. taula: D miaketa-zuloan aurkitutako unitateen deskribapena. M: metala; M(z): zepa; Z: zeramika; B: beira; EM: eraikuntza materiala.



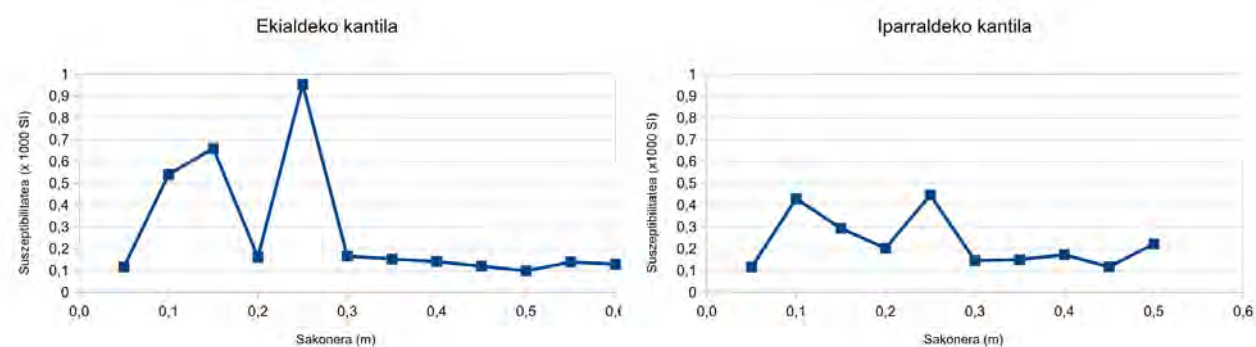
7.17. irudia: D miaketa-zuloaren sekzio ikuspegia. A. Profilaren kokapena plantan, unitate estratigrafikoen eskemaren gainean. B. miaketa-zuloaren gainetik pasatzen den LOI10032 profilari dagokio radargrama (600 MHz, *bandpass* filtoa, $v = 8.1$ cm/ns).

Beste zutabeetariko batzuk emandako seinalea 7.18. irudian ikus daiteke. Alderaketa eginez, erdian agertzen denak ez du bi unitate izan ditzakenaren zantzurik erakusten, eta baliteke kontserbazio eskasagoa izatea. Eskuinean ageri denak, berriz, islapen batzuk erakusten ditu [505] unitatearen mailaren baliokidea litzatekeenaren gainean, eta beraz D miaketa-zuloan ikusitakoaren antz handiagoa du. Hala ere, seinalea faktore ugari eragiten dute eta interpretazio hauek indusketa bidez baieztatu beharko liriteke.

Gune hau 2013. urteko miaketa magnetikotik at egon arren, honen segidan dagoen beste egiturek (galtzada berak zein balizko eraikinek) ez dute kontraste magnetiko adierazgarrikerik erakutsi. Pentsatzekoa da berdina gertatu izanen zela E34 egiturako anomalia borobilekin. Kantiletan egindako suszeptibilitate neurketek agerian uzten dute lur begetalaren azpitik dagoen lohiak oso suszeptibilitate baxua duela (7.19. irudia). Kasu honetan ez da [502] eta [505] unitateko harrien gainean neurketarik burutzeko aukerarik izan, baina beste miaketa-zuloetan aurkitutako kareharri eta hareharrien baliokideak direnez, inguruarekin suszeptibilitate kontrasterik izanen ez dutela pentsatzekoa da.



7.18. irudia: E34 egituraren parte diren 3 zutaberen gainetik pasatzen den LOI10032 profilari dagokio radargrama (600 MHz, *bandpass* filteroa, $v = 8.1 \text{ cm/ns}$). D miaketa-zuloan ikusitakoa ezkerrekoa da. Radar seinaleak alderatuz baliteke erdian dagoenak [502] unitatearen baliokidea den harririk ez kontserbatu izana, eta eskuinekoan ez da argi ikusten.



7.19. irudia: D miaketa-zuloko kantiletan buruturiko suszeptibilitate magnetiko neurketak. Sakonera gainazalarekiko neurtua dago.

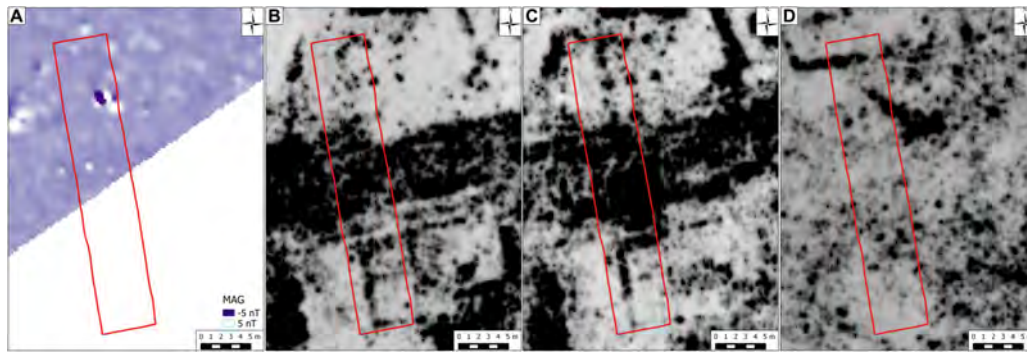
7.1.5. E eremuaren indusketa (5,5 m x 30 m)

E eremua a 2016. urteko uztailean induskatu da Otegi gunean. Kasu honetan ez da miaketa-zulo kontsideratu, baizik eta zabaleran ikerturiko indusketa eremua. Miaketa magnetikoak indusketa eremuaren iparraldeko zatia besterik ez du barneratu, baina 2015eko uztailean buruturiko georradar miaketak guztia barneratu du (7.20. irudia). Eremuak galtzada alderik alde zeharkatzen du, eta iparraldean dagoen E35 anomalia borobil multzoaren zati bat eta hegoaldean dagoen E39 balizko eraikinaren zati bat barneratu ditu. Helburua sektore honetan geofisikak erakutsitako balizko eraikinak ikertzea, galtzadaren eraikuntzari buruz informazioa lortzea eta ahal den neurrian hiriaren inguruko informazio orokorra biltzea izan dira.

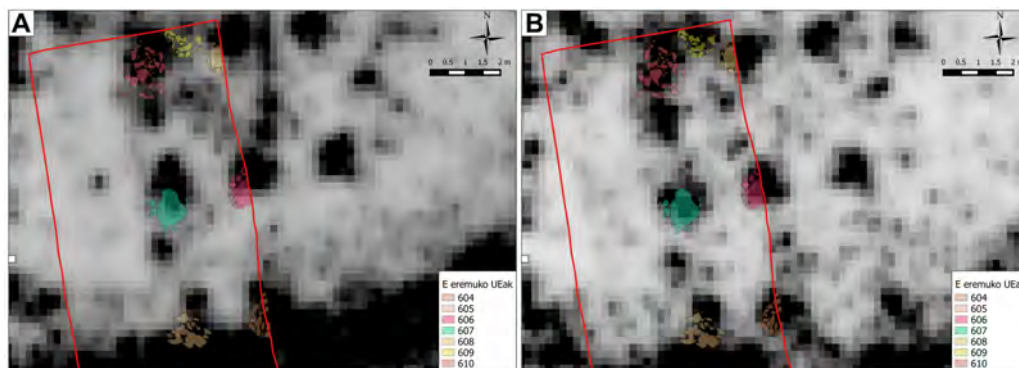
Aurreko miaketa-zuloaren kasuan bezala, georradar emaitzen kokapena ez dator bat indusketan aurkitutakoarekin, nahiz eta bigarren datu prozesuaren ostean arazoa nolabait konpondu den (ikus 7.21. irudia).

7.1.5.1. Emaitza arkeologikoak

Indusketa arkeologikoak esperotako egiturak azalerratu ditu, desplazamendua kontuan izan gabe. Eremua hiru sektoretan banatu da: Iparraldea (galtzadatik iparraldera), erdia (galtzada) eta hegoaldea (galtzadatik hegoaldera). Aurkituriko unitate estratigrafikoen deskribapena 7.9. 7.10. eta 7.11. tauletan bildu da.



7.20. irudia: E indusketa eremuaren kokapena emaitza geofisikoen gainean. A. Miaketa magnetikoaren emaitza (-5nT/5nT). B., C. eta D. Georadar datuekin burututako 5. (0,38-0,49 m), 6. (0,48-0,59 m) eta 10. (0,85-0,97 m) anplitude mapen gainean hurrenez hurren (600 MHz, $v=8,1$ cm/ns, kokapena zuzenduriko emaitzak).



7.21. irudia: E indusketa eremuko iparraldeko sektorean agertutako unitate estratigrafiko batzuen kokapena georadar datuekin sortutako 6. anplitude maparen gainean (0,48-0,59 m; 600 MHz). A. Jatorrizko datu prozesuarekin. B. Odometroaren arazoa zuzendu ostean.

Kasu guztietan kontserbaturiko potentzia arkeologikoa eskasa da, eta garaian zapaltzen zuten zirkulazio mailaren azpikoa besterik kontserbatu ez denaren ustea dago. Salbuespen bakarra, hegoaldeko E39 eraikinean aurkitutako balizko zorua da, [620] unitatea, nahiz eta eraispena ere izan daitekeen. Goldearekin landutako lurraren azpian ageri dira egiturak (40 zentimetroko sakoneran iparraldeko sektorean eta 25-40 cm inguruan hegoaldeko paretak), eta materialik gabeko geruzak gainazalarekiko 60-70 zentimetro ingurura. Potentzia arkeologikoa, beraz, 30 zentimetro ingurukoa da kasurik onenean. Hala eta guztiz ere, bi eraikuntza mota ezberdin dokumentatu ahal izan da, eta material ugari bildu. Bereziki, aurkitutako iltze kantitateak egurraren presentzia nabaria izango zela iradoki du.

Iparraldean dauden poste oinarriak, [604] unitatetik [610] unitatera artekoak, ez dira aurreko miaketa-zuloetan aurkitutakoaren berdinak (ikusi 7.22. irudia). Alde batetik, [606], [607] eta [608] unitateetan kontserbaturiko harri nagusiak zabalak eta ez oso altuak dira D miaketa-zuloan aurkitutakoarekin alderatuz. Besteetan ez da horrelako harririk aurkitu, baina ez dira ere A eta D miaketan aurkituriko errekarritz osatutako oinarri borobilak bezain uniformeak. [610] unitateko harri multzoa desmuntatu egin zen eta azpian ere ez zen horrelakorik aurkitu. Beraz, ez dakigu harri handien azpian errekarritzko oinarriarik dagoen, baina ez dirudi kasu honetan horrelako prestaketarik egin zutenik.

UE	Deskribapena	Sektorea
600	Lur begetala.	Osoa
601	Lohi buztintsua (marroi-gris horixka argia pinporta gorriekin, hauskorra). Aldikako harri erdi-borobilduak, aldikako zeramika, oso aldikako ikatz printzak.	Iparraldea
604	Forma borobilean kokaturiko tamaina ezberdineko harriak (txikiak eta ertainak), gehienak kareharriak, morterorik gabe. 1 m (N-S), 0,6 m (E-W); 0,18 m sakon. Erdia bakarrik agerian, bestea indusketa eremutik kanpo. Zutabe oinarriaren zati bat.	Iparraldea
605	Forma borobil-antzean dauden tamaina ezberdineko harriak (txikiak eta ertainak), gehienak kareharriak, morterorik gabe. 1,1 m (N-S), 1,26 m (E-W); 0,14 m sakon. Zutabe oinarria hego-mendebaldean.	Iparraldea
606	Hareharri handi nagusia (60 cm x 45 cm x 15 cm) eta tamaina txikiagokoak inguruan, morterorik gabe. Ez da osorik industu katatik at doalako. 1,28 m (N-S), 1,26 m (E-W); 0,14 m sakon. Zutabe oinarria erdi-ekialdean.	Iparraldea
607	Hareharri handi nagusi laua (103 cm x 80 cm x 11 cm), ertzak landuta duena, eta tamaina txikiagokoak inguruan, oro har hareharriak baina kareharria ere bai, morterorik gabe. Elipse itxura: 1,30 m (N-S), 1,15 m (E-W); 0,14 m sakon. Zutabe oinarria.	Iparraldea
608	Hareharri handi nagusia (80 cm x 42 cm x 12 cm), itxura borobila emateko landua, eta tamaina txikiagokoak inguruan, morterorik gabe. Ez da osorik industu katatik at doalako. 0,90 m (N-S), 0,57 m (E-W); 0,14cm sakon. Zutabe oinarria ipar-ekialdean.	Iparraldea
609	Itxura borobilean kokaturiko tamaina ezberdineko harriak (txikiak eta ertainak), gehienak kareharriak, morterorik gabe. 0,85 m (N-S); 0,9 m (E-W); 0,11 m sakon. Ez dago besteeiko lerrokatuta. Zutabe oinarria ipar-erdialdean.	Iparraldea
610	Itxura borobilean kokaturiko tamaina ezberdineko harriak (txikiak eta ertainak), gehienak kareharriak, morterorik gabe. Batzuk agian goldeak mugituak. 1,55 m (N-S); 1,35 m (E-W); 0,04 m sakon. Zutabe oinarria ipar-mendebaldean.	Iparraldea
627	Nahiko sendoa den lohi buztintsua, hegoalderantz hareatsuagoa, marroia pinporta gorriekin eta noizbehinkako manganeso eta ikatz printzak. Hartxintzar txiki ugari, ertain batzuk eta prezipitazioko manganesodun tupa nodulu ugari.	Iparraldea
628	[610] unitatearen ebaketa [627] unitatean. Ez da oso sakona, eta zati batzuk ondo definituta dituen arren bestek ez dira hain argiak. Borobil itxurakoa (1,63 N-S; 1,24 E-W).	Iparraldea
645	Lohi buztintsua (marroi grisa, nahiko trinkoa), harri txiki ugari, aldikako tupa harriak eta manganeso printzak, aurkitutako zeramika zatia sator zulotik iritsi izan ahal da. [627] unitatearen baliokidea izan daiteke, baina tuparri gehiagorekin. Naturala denaren ustea	Iparraldea
646	Lohi buztintsua (gris-marroi horixka, sendoa eta trinkoa), tuparri eta hartxintzar ugari, zati batzuetan arrokaaren betak diruditena. Arroka naturala.	Iparraldea

7.9. taula: E indusketa eremuaren iparraldeko sektorean aurkitutako unitate estratigrafikoen deskribapena.

UE	Deskribapena	Sektorea
602	[601] unitatearen baliokidea.	Hegoaldea
612	Pareta ekialde-mendebalde norabidean. Hareharrizko harri txikiak eta oso aldikako kuartzitazkoak, morteriorik gabe (lohi buztintsu marroi-gris erdiko bigunaz lotuak). 65 cm zabal, oso kontserbazio baxua.	Hegoaldea
613	Pareta iparralde-hegoalde norabidean. Hareharrizko harri txikiak eta oso aldikako kuartzitazkoak, morteriorik gabe (lohi buztintsu marroi-gris erdiko bigunaz lotuak). Ipar-mendebaldean erregularragoa. 75 cm zabal bataz bestean, oso kontserbazio baxua.	Hegoaldea
614	Pareta ekialde-mendebalde norabidean. Hareharrizko harri txikiak eta oso aldikako kuartzitazkoak, morteriorik gabe (lohi buztintsu marroi-gris erdiko bigunaz lotuak). 65 cm zabal, oso kontserbazio baxua.	Hegoaldea
615	Eraikinaren barneko banaketa-pareta. Hareharri txikiak, lohi buztintsu gris marroi ilunaz lotuak. Ez da homogeneoki kontserbatu. Ekialderantz darrai katatik kanpo. 0,34 m zabal.	Hegoaldea
616	Agian eraikinaren barneko egitura baten oinarria, eraispena dirudi baina harri batzuen dispozizioak intenzionala dela iradokitzen du, ipar-mendebaldeko izkinan. Hareharri txikiak, lohi buztintsu gris marroi ilunaz lotuak. Ez da homogeneoki kontserbatu. Ekialderantz darrai katatik kanpo. 0,34 m zabal.	Hegoaldea
617	Eraikinaren barneko zeozer edota eraispena.	Hegoaldea
618	Zutabe oinarria izan litekeen harrizko egitura borobil txikia (25 x 16 cm), eraikinaren barnean. Landugabeko eta morteriorik gabeko hareharri txikiak.	Hegoaldea
619	Zutabe oinarria izan litekeen harrizko egitura borobil txikia (43 x 39 cm), eraikinaren barnean. Landugabeko eta morteriorik gabeko hareharri txikiak.	Hegoaldea
620	Eraispena edota zoru baten arrastoa izan daitekeen harri+buztina, eraikinaren barnealdean.	Hegoaldea
621	Lohi buztinttua (marroi horixka erdikoa burdin oxidoekin, sendoa). Aldikako ikatz printzak, aldikako hartxintxarrak. Paretek ebakitako metakina.	Hegoaldea
622	Lohi buztintsu biguna ikatz askorekin. Poste-zuloaren betekina.	Hegoaldea
623	[622] Poste-zuloaren ebaketa. Borobil itxurakoa 0,24 m x 0,20 m x 0,12 m.	Hegoaldea
624	Pareten eraispena izan daitekeen harri multzoa.	Hegoaldea
626	Lohi buztinttua (marroi horixka argia, sendoa). Aldikako ikatz printzak eta hartxintxarrak. 8-10 mm sakon. Eraikinaren barnealdeko geruza, paretek moztua.	Hegoaldea
630	Induskatu ez den ebaketa eraikinaren paretak eraikitzeke.	Hegoaldea
631	Induskatu ez de ebaketa barne pareta eraikitzeke.	Hegoaldea
632	Lohi buztinttua (gris-horia). Aldikako hartxintxarrekin eta ikatz printzekin. Eraikinaren kanpoaldean, 0,11 cm sakon.	Hegoaldea
633	Lohi buztinttua (marroi grisaxka erdikoa, nahiko sendoa, printza laranja-ilun ugarirekin). Aldikako hartxintxarrak, ikatz printzak eta manganeso harriak. Degradatutako depositu naturala.	Hegoaldea

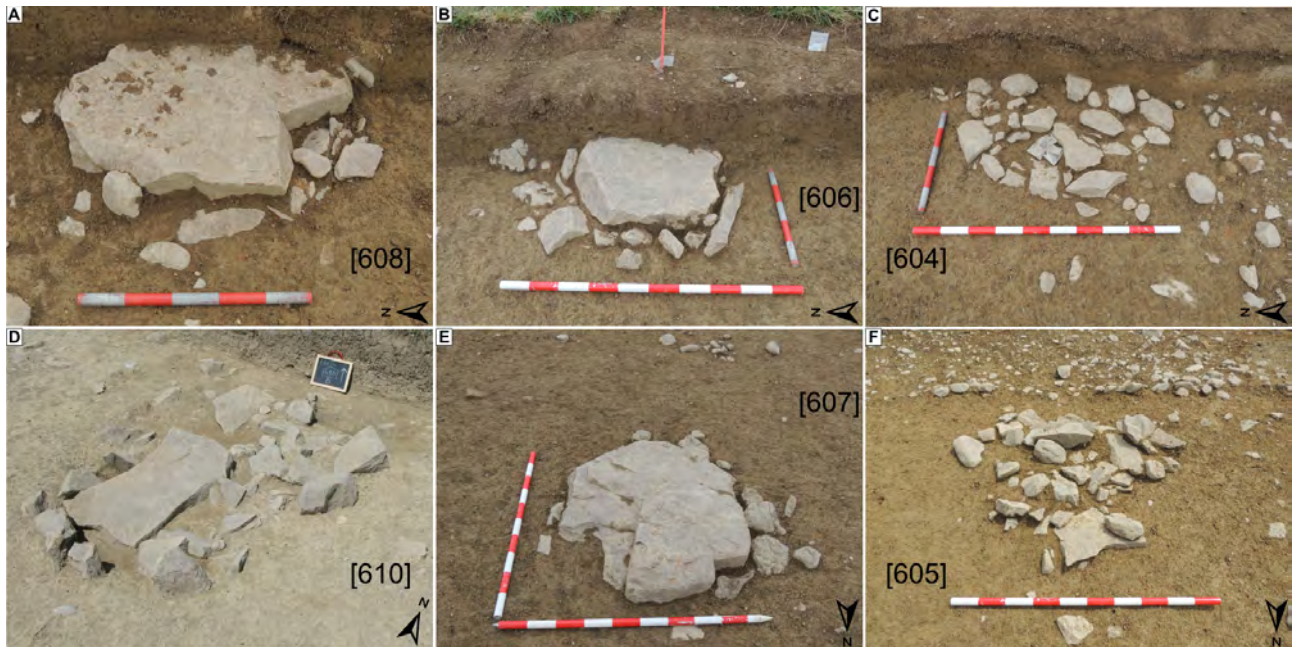
UE	Deskribapena	Sektorea
634	[635] poste-zuloaren betekina. Lohi buztintsuko matrizean (marroi horixka erdikoa, hauskorra) dauden harri ertainak. 0,6 m x 0,4 m 0,16 m.	Hegoaldea
635	Agian poste zuloa izan zitekeela induskatuta, baina induskatu ostean baztertu egin da (indusketa-prozesuan zuloa artifizialdu egin delakoan).	Hegoaldea
636	[637] poste-zuloaren betekina. Lohi buztintsuko matrizean (marroi horixka erdikoa, hauskorra) dauden harri ertainak. 0,22 m x 0,18 m 0,12 m.	Hegoaldea
637	Azaleko poste zuloa izan daitekeena edota besterik gabe harrien pisuagatik sorturiko sakonunea.	Hegoaldea
638	[639] poste-zuloaren betekina. Harri ertainak oso buztin gutxirekin (laranja horixka erdikoa).	Hegoaldea
639	Agian poste zuloa izan daitekeenaren zatia, katatik kanpo darraio. Borobil antzekoa 46 cm N-S; 20 cm E-W; 18 cm sakon.	Hegoaldea
640	Lohi buztintsua (sendoa, marroi argia), aldikako manganeso printzekin, 20 cm sakon. Bioturbaturiko geruza naturala. Mendebaldean egindako “barne-miaketa-zuloa”.	Erdi-hego
641	Lohi buztintsua (hori grisaxka, oso sendoa), manganeso printzekin. Geruza naturala, mendebaldean egindako “barne-miaketa-zuloan” egindako konprobazio katan ikusia.	Hegoaldea
642	[618] unitatearen ebaketa.	Hegoaldea
643	[619] unitatearen ebaketa.	Hegoaldea
644	[616] unitatearen ebaketa.	Hegoaldea
603	[601] unitatearen baliokidea.	Erdia
611	Lohi buztintsua (marroi horixka argia, hauskorra). Harri handi batzuk eta ertain ugari, aldikako zeramika eta metala. Katatik at doa ekialde eta mendebaldean, iparraldeko muga definitu gabea. Hegoaldeko eraikinaren eraispena izan daiteke.	Erdia
625	Galtzada. 9,25 m zabal, 0,3 m sakon. Gainaldeko harriak handiagoak dira puntu batzuetan.	Erdia
629	Galtzada eraikitzeke ebaketa (edo galtzadaren eraikuntza ulertzeko ebaketa artifiziala?).	Erdia
640	Lohi buztintsua (sendoa, marroi argia), aldikako manganeso printzekin, 20 cm sakon. Biotrubaturiko geruza naturala. Mendebaldean egindako “barne-miaketa-zuloan”.	Erdi-hego

7.11. taula: E indusketa eremuko hegoaldeko (2. zatia) eta erdialdeko sektorean aurkitutako unitate estratigrafikoen deskribapena.

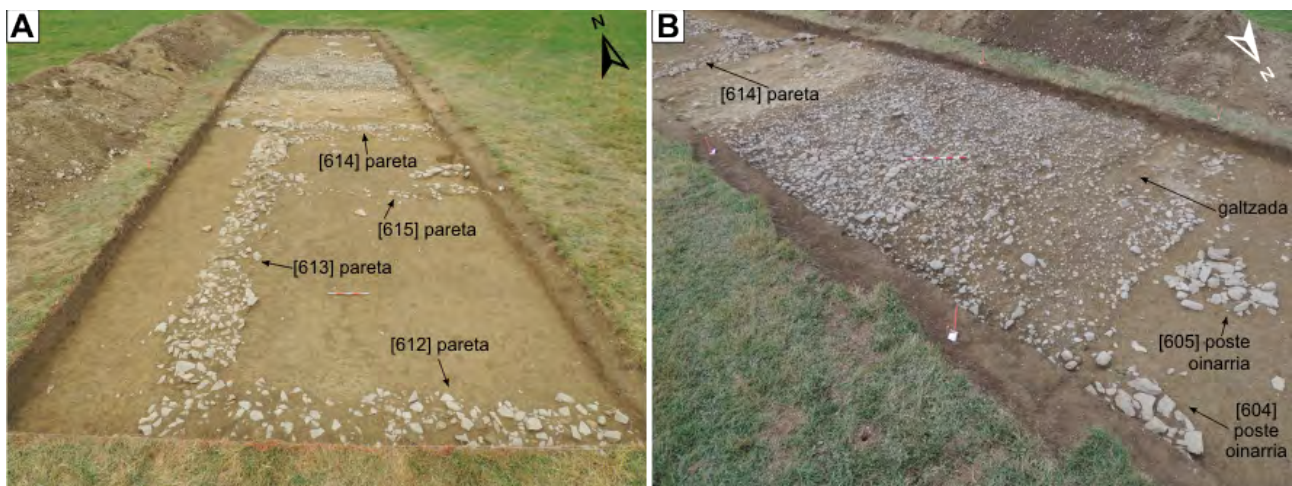
Hegoaldeko eraikinari dagokionez, aurkituriko paretek oso kontserbazio maila baxua dute, eta aurkituriko harriak ez dira era ordenatuan ageri (ikusi 7.23. irudia). Eraikina bi zatitan banatzen duen pareta are eskasagoa da, eta ez da luzera osoan agertu. Paretek mugatutako eremuan tamaina

txikiko poste zuloak izan daitezkeen egitura batzuk ere agertu dira. Beste harri multzo batzuk eraispen edo pareta ez den beste egituraren baten oinarri bezala interpretatu dira (ikusi 7.10. eta 7.11. taulak).

Galtzada bera tamaina ezberdineko harriz osatutako geruza bezala aurkitu da, ez zaiolarik areka edota beste nolabaiteko egiturarik antzeman. Kontserbaturiko lodiera 30 zentimetro ingurukoa da, eta ardatzean aldeetan baino zertxobait lodiagoa da.



7.22. irudia: E indusketa eremuko iparraldeko sektorean aurkitutako poste oinarrien argazkiak. A. [608]. B. [606]. C. [604]. D. [610]. E. [607]. F. [605]. Argazki bakoitzaren norabidea iparraldea markatuz adierazi da. Argazkien kokapena katan dagokien kokapenaren araberkoa da, ekialdeko kantilerantz begiratzuz gero. Argazkiak: Antonietta Lerz eta Ekhine Garcia.



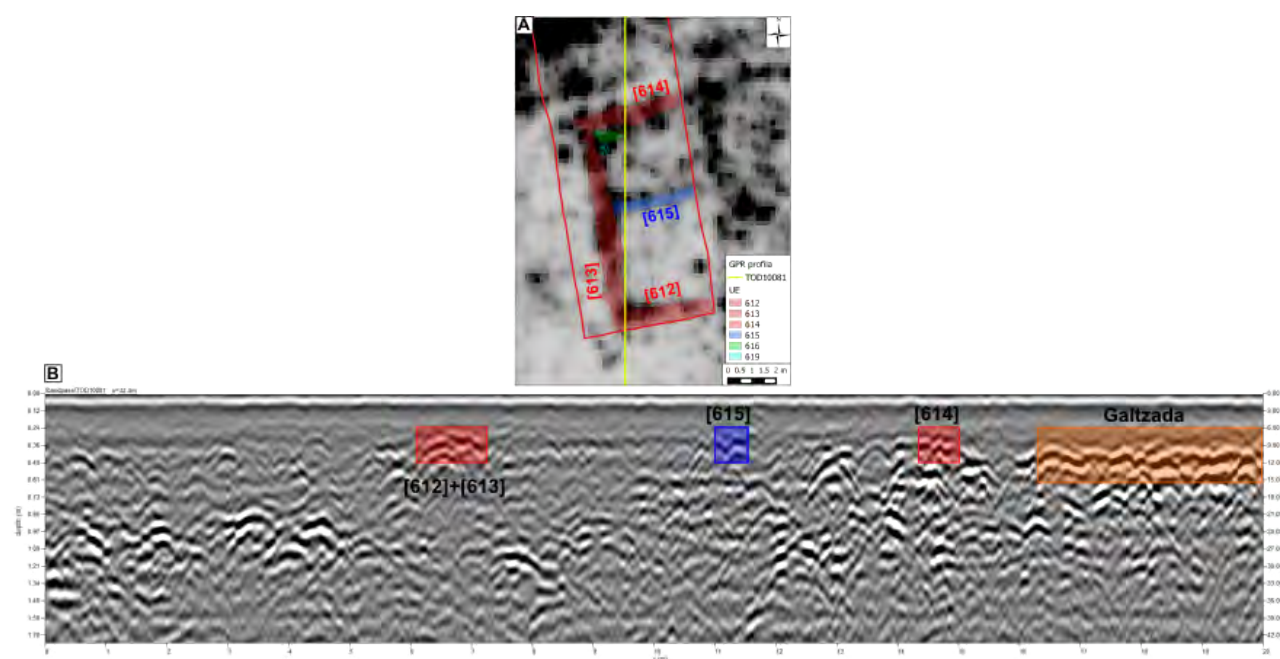
7.23. irudia: E indusketa eremuko argazkiak. A. Hegoaldeko sektorea non E39 eraikina ageri den. B. Galtzadaren eta [604] eta [605] poste oinarrien ikuspegia. Argazkiak: Antonietta Lerz.

7.1.5.2. Interpretazio geofisikoa

Miaketa magnetikoak indusketa eremua guztiz barneratu ez arren, iparraldeko sektoreko poste oinarriak ez dira detektatu, ez eta galtzada bera ere. Kasu honetan ez da suszeptibilitate magnetikoa

neurtzeko aukerarik egon, baina ez da harritzekoa harri handien eta inguruko sedimentuaren arteko kontrastea oso altua ez izatea, hori delako D miaketa-zuloan gertaturikoa.

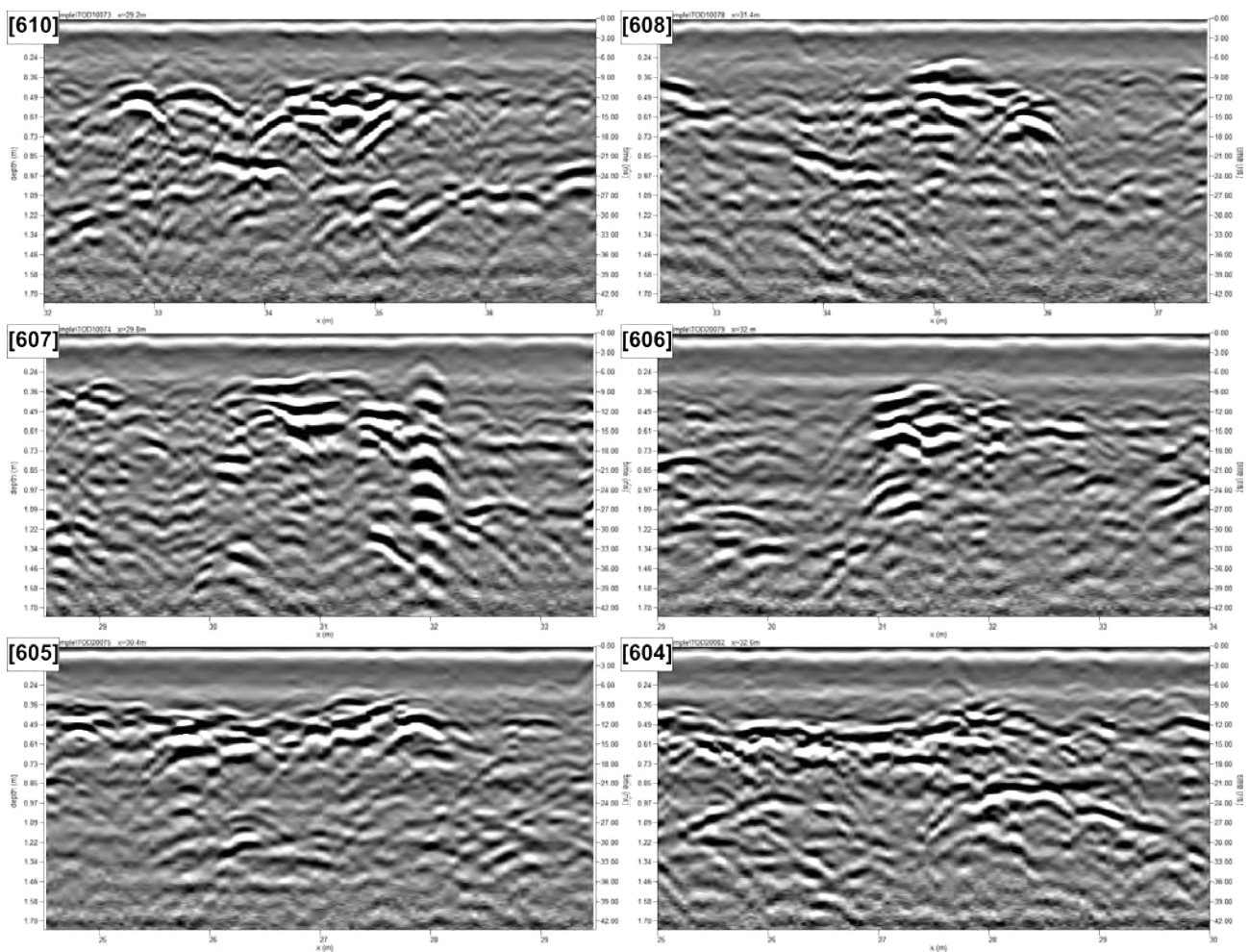
Lehen aipatu bezala, georradarraren emaitzetan oinarrituta esperotako egiturak dira indusketan azaleratutakoak. Hegoaldeko E39 eraikinak, kontserbazio maila oso kaskarra izan arren, anplitude mapetan identifikatzeko erraza den seinalea islatu du. Horren arrazoi nagusiak inguruan dagoen sedimentuaren homogeneousutasuna eta eraipen geruzarik ez egotea dira, pareta horiek direlako seinaleak aurkitutako etenune bakarrak. Eraikina banatzen duen pareta okerrago definitzen da anplitude mapetan eta, indusketan ikusi ahal izan den bezala, kontserbazio maila are eskasagoa da, zati batzuetan guztiz galdua dagoelarik. Radargramei so eginez, pareta hauek sortzen duten seinalearen anplitudea beste egitura batzuek sortzen dutenarena baino ahulagoa dela ikus daiteke (7.24. irudia). Adibide honek agerian jartzen du anplitude mapak erabiltzearen abantailatariko bat, izan ere, seinalea ahula izanagatik plantan duen koherentziak eraikin moduan interpretatzea ahalbidetu duelako.



7.24. irudia: E indusketa eremuko hegoaldeko sektorea zeharkatzen duen TOD10081 profilaren radargrama, E39 eraikinaren paretaren seinaleak adierazita (600MHz, *bandpass* filtoa, $v = 8,1 \text{ cm/ns}$). Eskuinean profilaren kokapena ikus daiteke plantan, georradar datuekin sortutako 5. anplitude maparen gainean (0,38 m eta 0,54 m bitartean; $v = 8,1 \text{ cm/ns}$).

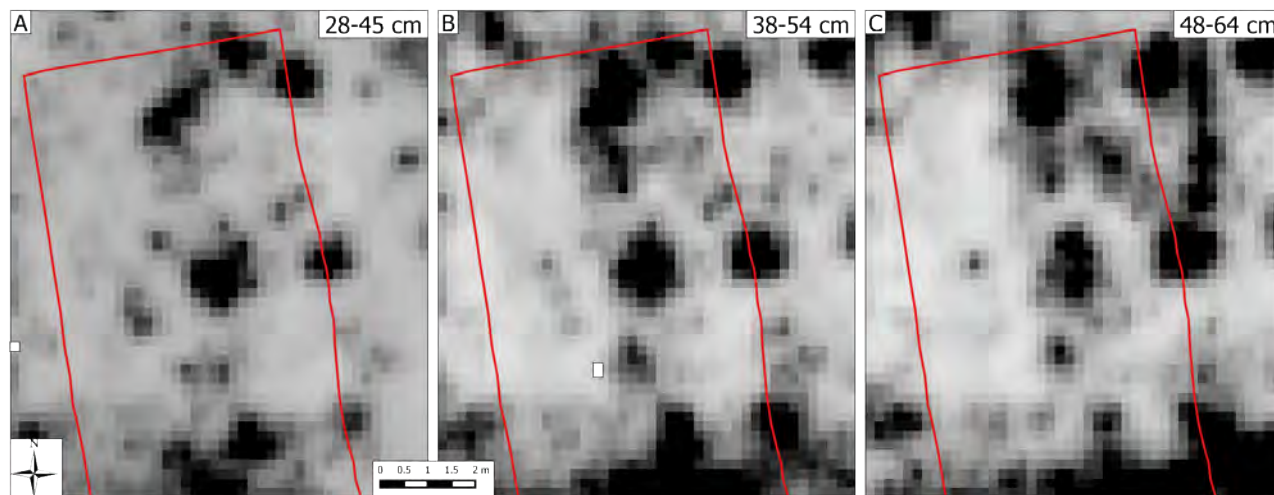
Iparraldeko sektoreko poste oinarrien sekzioak 7.25. irudian erakusten dira. Alderaketak agerian uzten du seinalea aldakorragoa dela [604], [605] eta [610] unitateen gainetik pasatzen diren profiletan. Hauek dira, hain zuzen, harri txikiz osatuta daudenak. Besteetan, gaineko harri handiak sorturiko islapena homogeneoagoa dela ikus daiteke, nahiz eta inguruko harriek sorturiko islapenak gainezartzen zaizkien. Anplitude mapetan, hala ere, ez da hainbesteko alderik ikusten egitura hauek sorturiko irudian (ikusi 7.26. irudia).

Azaleko irudiak arkeologiarekin bat datozen arren, ez da berdina gertatu georradar irudietan ikusten den eta pareta bezala interpretatutako anomalia lineal batekin. Balizko pareta honek E37 egitura multzoa mugatzen du hego-mendebaldean, eta 9. eta 10. anplitude mapetan ikus daiteke, 0,70-0,90 metro bitartea gutxi gora-behera (ikusi 7.27. irudia). Indusketa eremuaren barnean miaketa-zulo berezi bat egin zen pareta honen bila, [646] unitatea, baina metro beteko sakonerara heldu arren

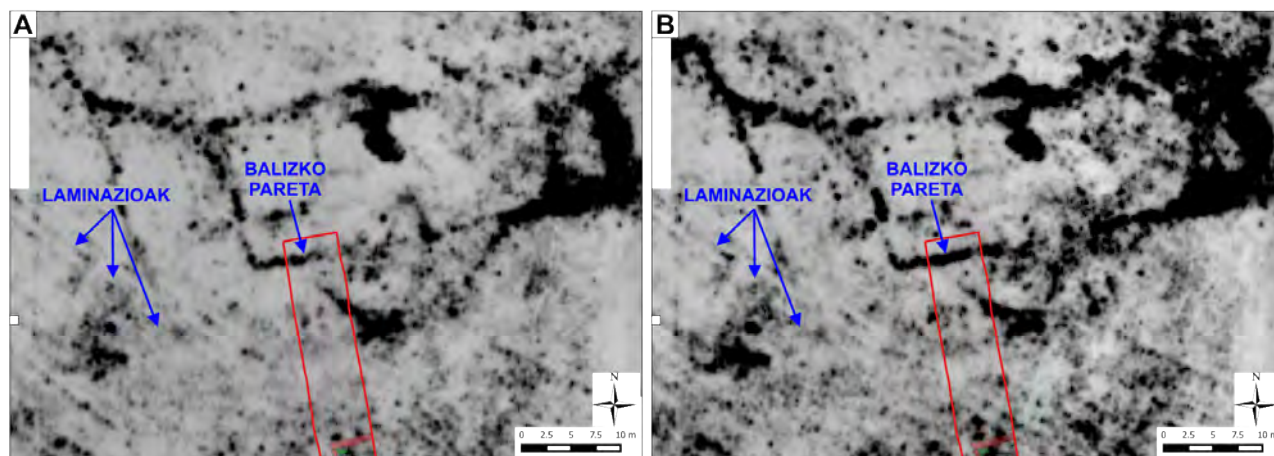


7.25. irudia: E indusketa eremuaren iparraldeko sektorean dauden poste oinarriak zeharkatzen dituzten profilen radargramak (600MHz, *bandpass* filtroa, $v = 8,1 \text{ cm/ns}$).

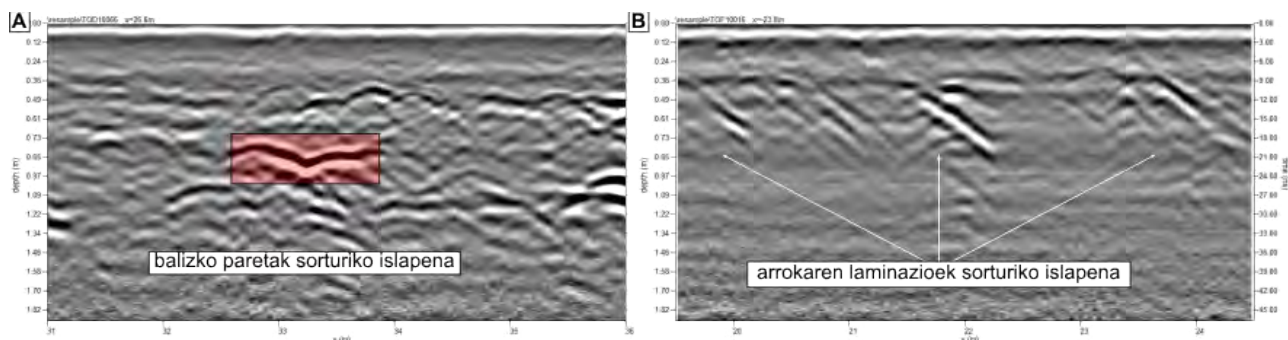
ez zen aurkitu. Esan beharra dago, indusketa momentuan lerrotutako harri batzuk azaldu zirela, baina oso entitate gutxi zuten eta, garrantzirik gabekoak zirelakoan, ez ziren ez kontuan izan, ez erregistratu. Indusketa geruza naturalera iritsi zen, oso sendoa den eta laminazioak ageri dituen tupak aurkituz. Indusketa momentuan georradarrean ikusitako anomalia arrokaren laminazioek sortua izan zela uste izan arren, ondorengo alderaketak zalantzan jartzen du interpretazio hau. Alde batetik, E37 egitura multzoaren morfologiak antropikoa izatearen itxura osoa du, eta duen tamaina ikusita ez dirudi prozesuan sorturiko artefaktu bat izan daitekeenik. Bestalde, georradar datuekin sorturiko anplitude mapetan arrokaren laminazioei esleituriko lerro islakorrak ageri dira miaketa eremu osoan, eta horien seinalea zein norabidea ez datoz bilatzen zen balizko paretarekin bat (ikus 7.28. irudia). Honela, islapena indusketan bazterturiko harri horiek sortu izana posiblea da, baina tamalez ez dago horien sakonera, ez eta kokapen zehatza berreskuratzerik, eta ezin da hipotesia kontrastatu.



7.26. irudia: E indusketa eremuaren iparraldeko sektorean dauden poste oinarrien irudia 4. (0,28-0,40 m), 5. (0,38-0,49 m) eta 6. (0,48-0,59 m) anplitude-mapetan hurrenez hurren (600MHz, $v = 8,1$ cm/ns).



7.27. irudia: E37 anomalia multzoa georadar emaitzetan. A. 9. anplitude mapa (0,76-0,92 m bitartean). B. 10. anplitude mapa (0,95-1,02 m bitartean). E indusketa eremua gorritz adierazi da eta bilatzen zen balizko pareta, zein arrokaren laminazio bezala interpretatutako lerroak adierazi dira. Bi kasutan 600MHz datu-multzoa eta $v = 8,1$ cm/ns.



7.28. irudia: A. E37 anomalia multzoaren hegoaldeko mugaren islapena radargraman. Kokapen hori E indusketa eremuaren barnean dago, nahiz eta ez zen indusketan hori azalduko lukeen UErrik deskribatu. B. Arrokaren laminazioek sorturiko islapena indusketatik kanpo dagoen gune batean. (Bi kasutan 600MHz, *bandpass* filtroa, $v = 8,1$ cm/ns).

7.1.6. Analitikak egin ahal izateko zundaketa berriak

2014. urteko udazkenean burututako zundaketa kanpainan zenbait anomalia geofisikoren jatorria ulertu zen arren, zenbait galdera erantzun gabe geratu zen. Bigarren kanpaina honek Otegi guneko irla anomaloen eta O8 anomaliaren jatorria azaltzea du helburu. Horretarako, gune horietan zundaketa ezberdinak egin eta bildutako materiala laborategian aztertzeko asmoa dago. Jatorrian Zaldua guneko E20 anomalia ere barneratu zen miaketan, baina baimenak lortzeko orduan izandako atzerapenarengatik ezin izan zen bertan zulatu.

Erabilitako zundaketa sistema berdina izan da (ikusi 5.1.1. atala), baina oraingoan ikusitako geruzak 4 multzotan sailkatu dira: Gainazaleko geruza organikoa (A), gainazaleko eragina pairatzen duen geruza (B), fisikoki erosionatutako tupa (C), kimikoki erosionatutako tupa (R) eta sedimentua (S) (ikusi 7.29. irudia). Kanpaina honetan identifikatutako geruzetan laginak bildu dira laborategian aztertu ahal izateko. Laborategiko analisisen helburua laginen propietate magnetikoak aztertzea da, kontrastean eragin duten faktoreak argitze aldera. Zundaketen posizioak GIS sisteman erabaki dira eta estazio total bat erabiliz kokatu dira landan zundaketak egiten hasi aurretik. Hori posible izan da 2016ko uztailean egindako indusketarako puntu finkoak oraindik bertan daudelako.



7.29. irudia: A. O8_2 zundako B geruzaren xehetasuna. B. O8_4 zundako R geruzaren xehetasuna. C. Irl_10 zundako S geruzan aurkitutako legartxo baten xehetasuna.

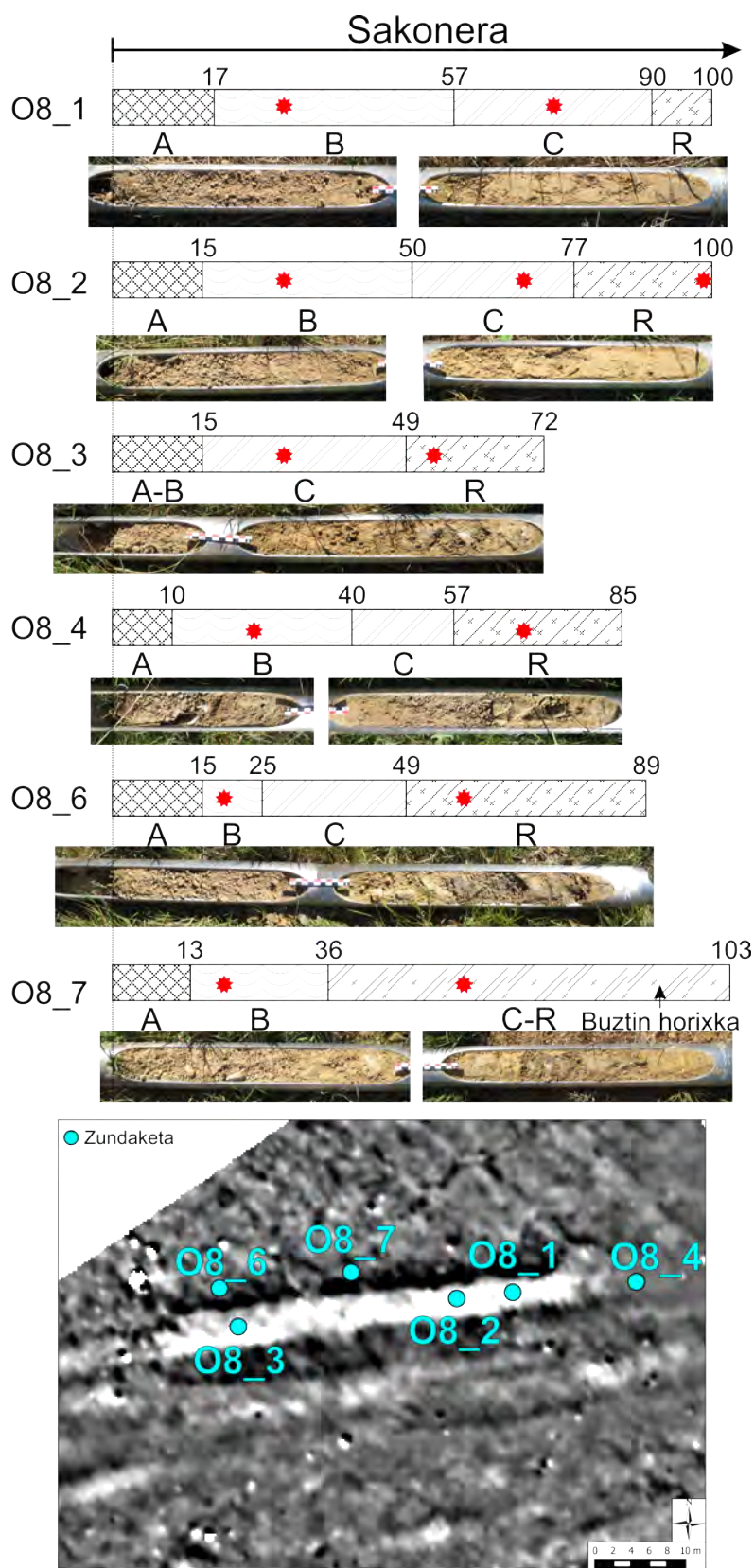
Jasotako laginak ezin izan dira momentuz laborategian aztertu, eta hori posible egin bitartean landan behatutako deskribapenak eta horietatik eratorritako ondorioak azalduko dira. Analisisien emaitzak interesgarriak badira publikazio batean aurkeztuko dira etorkizunean.

7.1.6.1. Otegiko O8 anomalia

Otegi gunean kontraste altuko anomalia detektatu da miaketa magnetikoan, baina 2014 urteko zundaketetan ez da arkeologiara esleiri dakioken geruzarik identifikatu, ez eta kontraste magnetikoa justifikatuko zuen beste geruzarik ere (ikusi 5.3.5. atala). Hori argitu nahian sei zundaketa berri egin dira anomalia honen inguruan, batzuk kontraste magnetiko positiboa detektaturiko guneeetan (O8_1, O8_2 eta O8_3) eta besteak kontraste magnetiko nabaririk ez dagoen guneeetan (O8_4, O8_6 eta O8_7, ikusi 7.30. irudia). Badaezpada behar baino zundaketa gehiago markatu ziren baina ez ziren guztiak burutu, eta horregatik ez da O8_5 zerrendan agertzen.

Lorturiko emaitzetan ikus daiteke 3, 6 eta 7 zenbakidun zundetan tupak sakonera gutxiagoan daudela (ikusi 7.30. irudia). Horietan oso kontraste magnetiko ezberdina detektatu denez, ezin da ondorioztatu anomalia tuparen sakoneraren aldaerek sortua denik.

Baliteke jasotako laginen analisisiek konposizio ezberdineko guneak direla erakustea, baina momentuz ez da argitu zer den anomalia sortzen duena.



7.30. irudia: Otegi guneko O8 anomaliaren inguruan zulatutako zunden argazkiak, interpretazio-eskema eta kokapena mapa magnetikoaren gainean (-7 nT beltzez, 9 nT zuriz). Jasotako laginen kokapena adierazten du izar gorriak. Interpretazio-eskemak eskalan marraztuta daude, eta argazkiak ahal izan den neurrian eskala horretara egokitu dira. Argazkiak Rafa Zubiria eta Ekhine Garcia. Argazkiak neurri handiagoan aurki daitezke dokumentu honi erantsitako 4. planoan.

7.1.6.2. Otegiko irla anomaloak

Otegi gunean alterazio magnetikoa erakusten duten eremu zabalak detektatu dira. Horiek sortzen dituen jatorria argitu gabe dagoen arren, behin behinean prozesu geologikoei esleitu zaizkie (ikusi 5.3.4.2. atala). Kanpaina berri honetan sei zundaketa burutu dira fenomenoaz azaldu nahian. Beste behin ere zulatutakoak baino kokapen gehiago markatu zirenez, zenbakiak ez dira korrelatiboak.

Burututako zunden kokapen, argazki eta interpretazio-eskemak 7.31. irudian ikus daitezke. Magnetikoki egonkorra den gunearen ezaugarri nagusia buztin gehiago eta sedimentua duena da (legartxoak ikusi zitezkeen), eta horrekin batera tupak sakonago agertzen direla. Irl_8 zundan ez da halakorik identifikatu baina, lehenengo zundatu zenez, baliteke B-C bezala deskribaturikoa S bati egokitzea, notetan buztin trinkoa zela apuntatu zelako. Dena den, zunda horretan tupak sakonera gutxira agertzen dira kontraste magnetiko homogeenoko beste guneekin alderatuz, eta beraz araua apurtzen duen zunda da. Irl_23 zundan legar handiak agertu dira sedimentuaren azpiko mailan. Zunda hau miaketa magnetikoan balizko bide bezala identifikatutako gunearen gainean dago, eta beraz baliteke legarrak horrekin lotuta egotea (ikusi 106 orrialdeko 4.23. irudian 5 zenbakiarekin).

Analitikak egin ez arren, badirudi *irla anomaloak* tupen gertutasunak sortzen dituela, eta sedimentua dagoen lekuetan berriz kontraste magnetikoa homogeenoa dela. Hau bat dator irla anomaloak garaiago dauden guneetan egotearekin. Egungo ubidearen egitura modernoa da, ez baita 1956-1957 urteetako aireko argazkietan agertzen (ikusi 73 orrialdeko 3.5. irudia). Pentsatzekoa da ura bideratuta egon aurretik negu garaian eremu zabalagoa hartuko zuela, eta beraz gune baxuetan sedimentazioa emango zela.

7.1.6.3. Arkeologiara bideratutako zundak

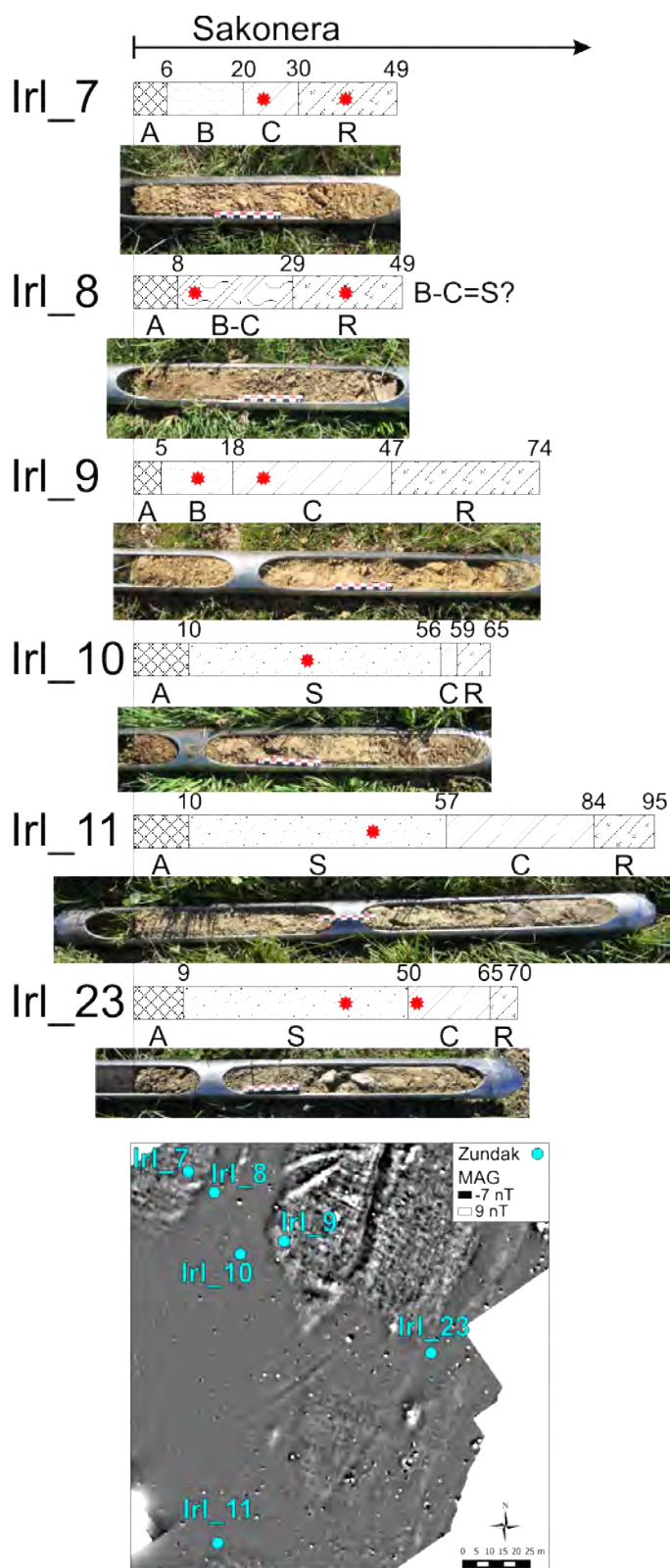
Kanpaina probestuz hiru zundaketa egitura arkeologikoen gainean kokatu ziren. Izan ere, zundaketa hauek georradar miaketak eta indusketa kanpainak egin ostean burutu direnez, 2014ko kanpainan ezagutzen ez ziren egitura batzuk ezagunak dira orain (ikusi 6.8. atala). Burututako zunden kokapen, argazki eta interpretazio-eskemak 7.32. irudian ikus daitezke.

Ark_24 zunda Zunda hau georradar emaitza islatzen duen anomalia zabal baten gainean kokatu da (ikusi 6.8.2. atalean E33 deituriko anomalia). Honen seinalea galtzadak berak sortzen duenaren antzekoa da eta baliteke zoruaren prestaketa batekin loturik egotea, baina ez da funtzioa argitu.

Zundan legar txikizko maila bat aurkitu da gainazalarekiko 35 cm ingurura, zeharkatu ez arren eskuekin biltzerik izan genuena. Georradarrak erakusten duen gune islakorra geruza honek sortzen duela esan daiteke, eta nolabaiteko prestaketa dagoela baieztatu da, nahiz eta bere funtzioa ezezaguna den oraindik.

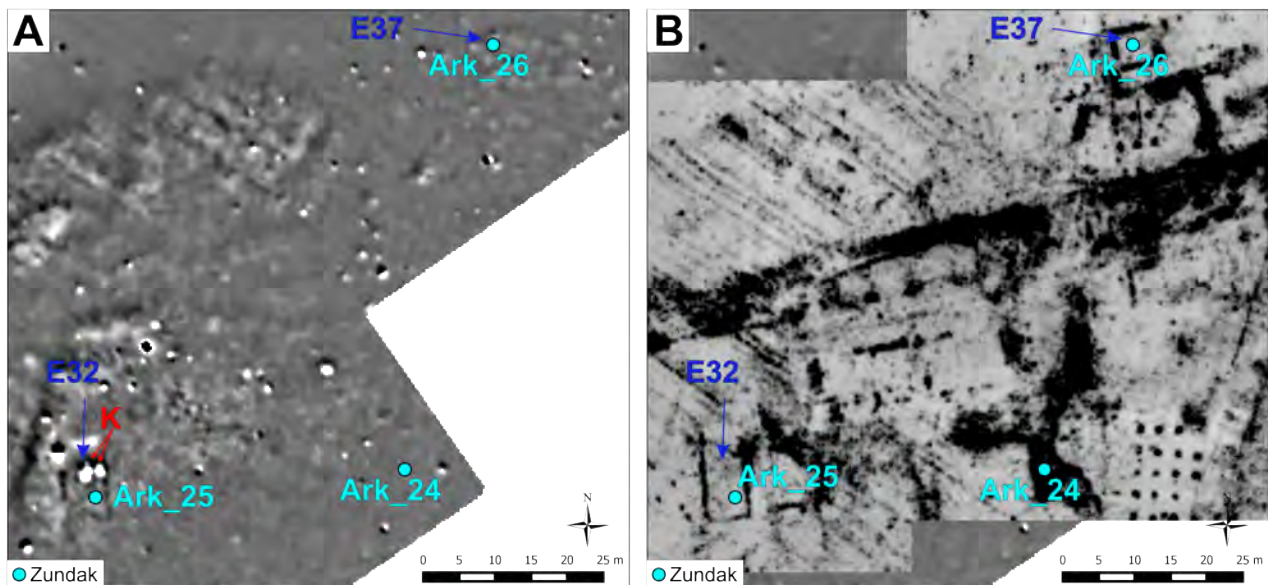
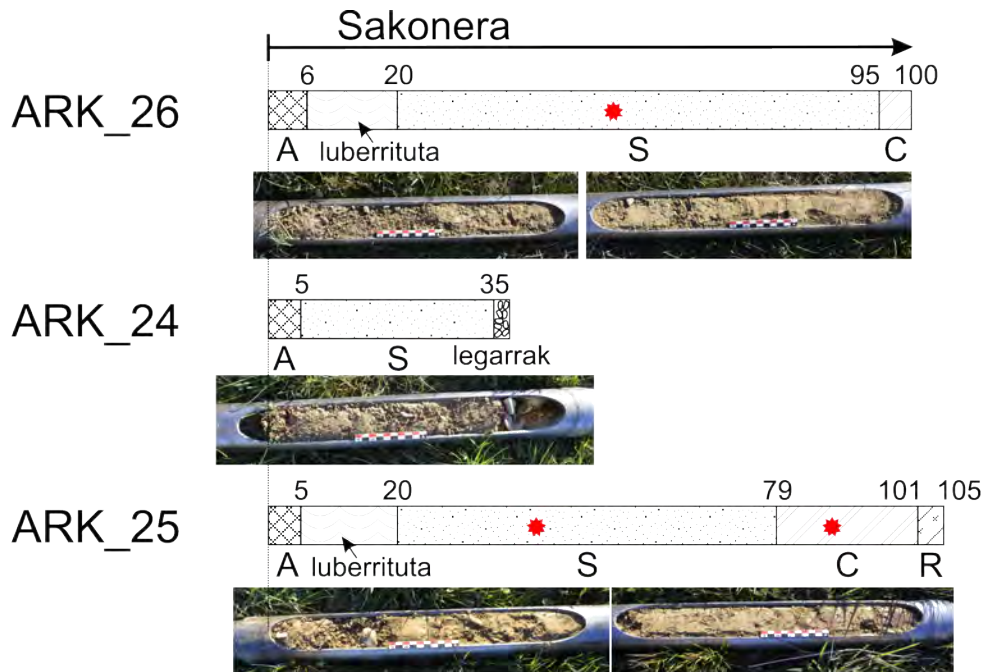
Ark_25 eta Ark_26 zundak Zunda hauek eraikinen barnealdean kokatu dira, E32 eta E37 egituren barnean hurrenez hurren (ikusi 7.32. irudia eta azalpen gehiagorako 6.8.2. atala). Eraikin hauek georradar emaitzetan ongi ikusten diren arren, ez dute kontraste magnetikorik, eta zunda hauen helburua okupazioarekin lotu daitekeen geruzarik ikusten den aztertzea da. Bi egituren artean, hala

ere, badago aldea, E32 egituraren mendebaldeko eta ekialdeko paretak mapa magnetikoan ikusten baitira, xumeki bada ere.



7.31. irudia: Otegi guneko irla anomaloen inguruan zulatutako zunden argazkiak, interpretazio-eskemak eta kokapena mapa magnetikoaren gainean (-7 nT beltzez, 9 nT zuriz). Jasotako laginen kokapena adierazten du izar gorriak. Interpretazio-eskemak eskalan marraztuta daude, eta argazkiak ahal izan den neurrian eskala horretara egokitu dira. Argazkiak Rafa Zubiria eta Ekhine Garcia. Argazkiak neurri handiagoan aurki daitezke dokumentu honi erantsitako 4. planoan.

Zundetan ez da, ez batean ez bestean, okupazioari esleli dakioken geruzarik identifikatu. 2016ko uztailean indusketan gertatu bezala, litekeena da kontserbazio maila baxua izatea eta pareten oinarriak besterik ez geratzea. E32 egituraren ipar-ekialdeko izkinan konbustio egituren arrastoa ikusten da mapa magnetikoan. Baliteke horren eraginez inguruko suszeptibilitatea zertxobait altuagoa izatea, eta horrek paretek kontraste magnetikoa izatea eragitea. Ikusteko dago laginen azterketak hori baieztatzen duen.

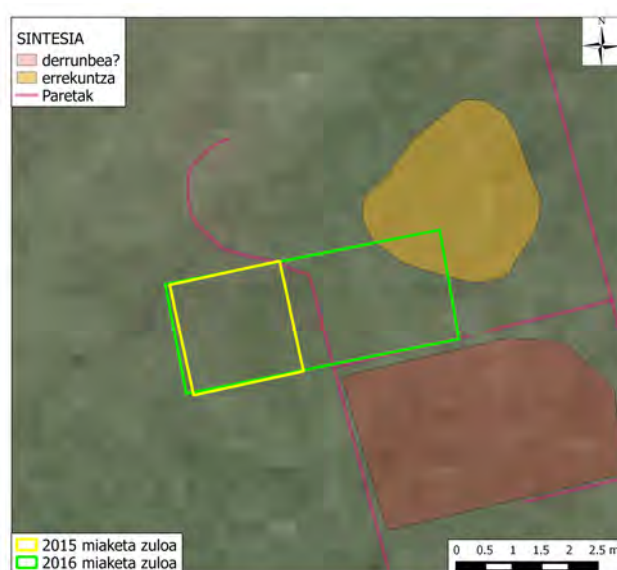


7.32. irudia: Otegi guneko egitura arkeologikoen gainean burututako zunden argazkiak, interpretazio-eskemak eta kokapena. Interpretazio-eskemak eskalan marraztuta daude, eta argazkiak ahal izan den neurrian eskala horretara egokitu dira. A. Mapa magnetikoaren gainean (-7 nT beltzez, 9 nT zuriz). K hizkiarekin adierazi dira konbustio egiturak lirategiak. B. Georadar emaitzekin sorturiko 6. anplitude-maparen gainean (0,48-0,59 m, $v = 8,1\text{cm/ns}$). Zunden interpretazio-eskeman jasotako laginen kokapena adierazten du izar gorriak. Argazkiak Rafa Zubiria eta Ekhine Garcia. Argazkiak neurri handiagoan aurki daitezke dokumentu honi erantsitako 4. planoan.

7.2. Artzibarreko aztarnategi erromatarra

Artzibarreko aztarnategi erromatarrean bi indusketa kanpaina burutu dira miaketa geofisikoen ostean, 2015 eta 2016 urteetan. Horietan, Aranzadi Zientzia Elkarteko kideek hartu dute parte Juantxo Agirre Mauleon arkeologoaren zuzendaritzapean, urte bakoitzean astebetez.

Lehen urtean 2 m x 2 metroko miaketa-zuloa ireki zen, georradarrak deskribaturiko eraikinaren kanpopareta mugatzat hartuz. 2016. urtean zuloa luzatu egin da, eraikinaren barnealdea ere ikertu asmoz. Lehen urtean erpinen kokapena GPS diferentzial bat erabiliz burutu zen eta, erreferentziako hesolak ere jarri ostean, altuerak mira optikoarekin hartu ziren. Bigarren urtean, aldiz, zuloaren zabalpena eskuz proiektatu zen aurreko urtekoaren arabera. Hala ere, berriz irekitzean kantilak zertxobait aldatu zirenez, miaketa-zuloak ez dira guztiz paraleloak (ikusi 7.33. irudia).



7.33. irudia: Artziko aztarnategi erromatarrean irekitako miakera zuloak emaitza geofisikoetan oinarritutako interpretazio sintesiaren gainean.

2016. urtean indusketa Estazio Total baten laguntzaz burutu zen. Estazioa aurreko urteetan utzitako hesolak baliatuz erreferentziatu zen (x, y) planoan. Altuerak doitzeko aurreko urtean mira optikoarekin hartutako pareta bat erabili zen. Pareta horren itsas-mailarekiko altuera ezaguna izanik, kenketa arrunt batekin beste puntuen altuera finkatu zen.

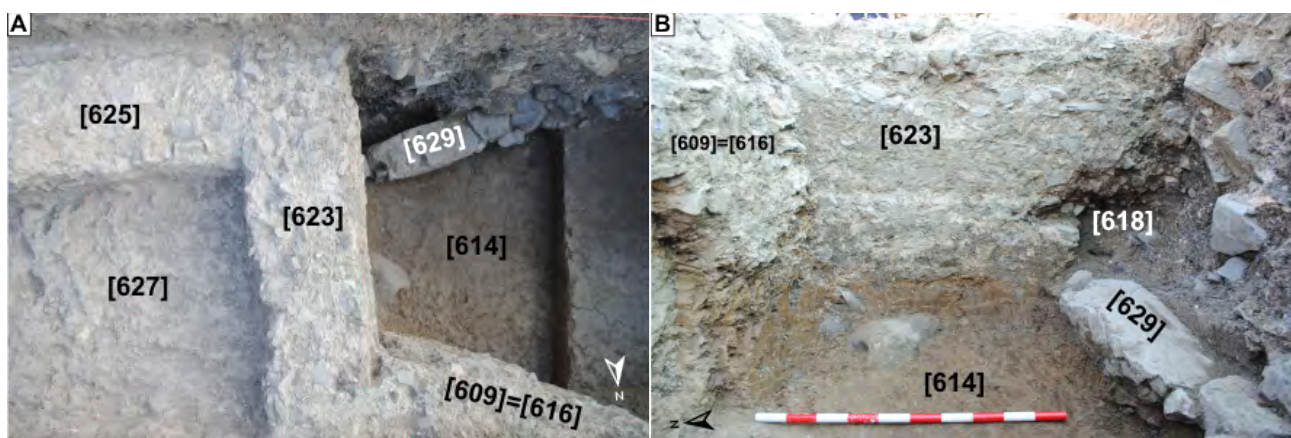
Auritz-Aurizberri aztarnategian ibilitako lantalde bera izanik, indusketarako metodologia bera aplikatu zen, MOLAk erabiltzen duena hain zuzen (Museum of London Archaeology Service 1994). Lehen urtean prozesu guztia eskuz burutu zen eta geruza geologikoetaraino iritsi ez zenez indusketa irekita utzi zen ingurua hesiz itxiz. Hilabete batzuk beranduago, hesiak erorita zeudela eta, larreak ustiatzen dituenak zuloa estali zuen, lehenago *geotextilez* estali gabe. Aurreko urteko mailak berreskuratzea ez da, hala ere, zaila suertatu, lur askea eta trinkoaren arteko aldea nabaria baizen. Honela, 2016. urtean makina hondeatzaile bat erabili da zuloa irekitzeko. Aurreko urteko arazoa ekidin asmoz eta inplikaturiko guztien artean adostu ostean, zuloa hesi sendoago batez itxi da.

7.2.1. Emaidza arkeologikoak

Artzibarreko aztarnategiko indusketa lanek orain arte geofisikari esker besterik ezagutzen ez zen eraikin bat azaleratu dute. Aurkitutako unitate estratigrafikoen deskribapena 7.12. taulan bildu da. Datuak oraindik lantze bidean egon arren, zenbait ondorio interesgarri lortzerik egon da. Eraikinaren paretak, edota oinarriak bederen, *opus caementicium*-ezkoak dira (ikusi 7.34. irudia). Kanpoaldetik inklusio askodun lur buztintsu batekin estalita daude, [604] eta [622] unitateak hain zuzen. Paretak enkofratu bidez eraiki izanaren zantzuak argiak dira, bereziki ipar-hego norabidean dagoen [623] paretan, non eraikuntza fase ezberdinen lerroak ikusten diren. Paretan oinarria naturala dirudien buztin gogorrean dago, [614] unitatea, eta horren gainetik aurkitutako unitate estratigrafikoak, kanpoaldeko E sektorean, bete-lan edo eraipen bezala interpretatu dira. Horietan eraikuntza material ugari aurkitu zen 2015eko kanpainan, besteak beste paretak zein lurrerako adreiluak, beira lau zatiak, *opus signinum* zatiak eta zepak (ikusi 7.35. irudia). Eraikinaren barnealdean oso gutxi induskatu da momentuz, eta eraispena diruditen geruzak besterik ez dira aurkitu. Hor ere eraikuntza material ugari agertu da, besteen artean *bipedalis* motako adreiluak, hipokaustoen lurra eraikitzeke erabili ohi zirenak (Adam 1995: 289).

Eraikinaren kanpoaldean eta paretan oinarriaren azpitik, kanalizazioa izan daitekeen egitura aurkitu da, nahiz eta zati bat besterik ez egon miaketa-zuloaren barnean. Lerrotutako harri batzuek ([629]) mugatzen dute iparraldean, eta horiei hegoaldetik atxikita ikatz, mortero eta zeramika inklusio asko duen buztin guria azaldu da ([618] unitatea). Unitate horrek [623] paretaren "zulo" batekin egiten du bat, eta honen azpitik jarraitzen duela dirudi, E-W norabidean (ikusi 7.34. irudia). Itxura guztien arabera paretak baino lehen eraikitako egitura bat da, behin behinean kanalizazio bat bezala interpretatu dena.

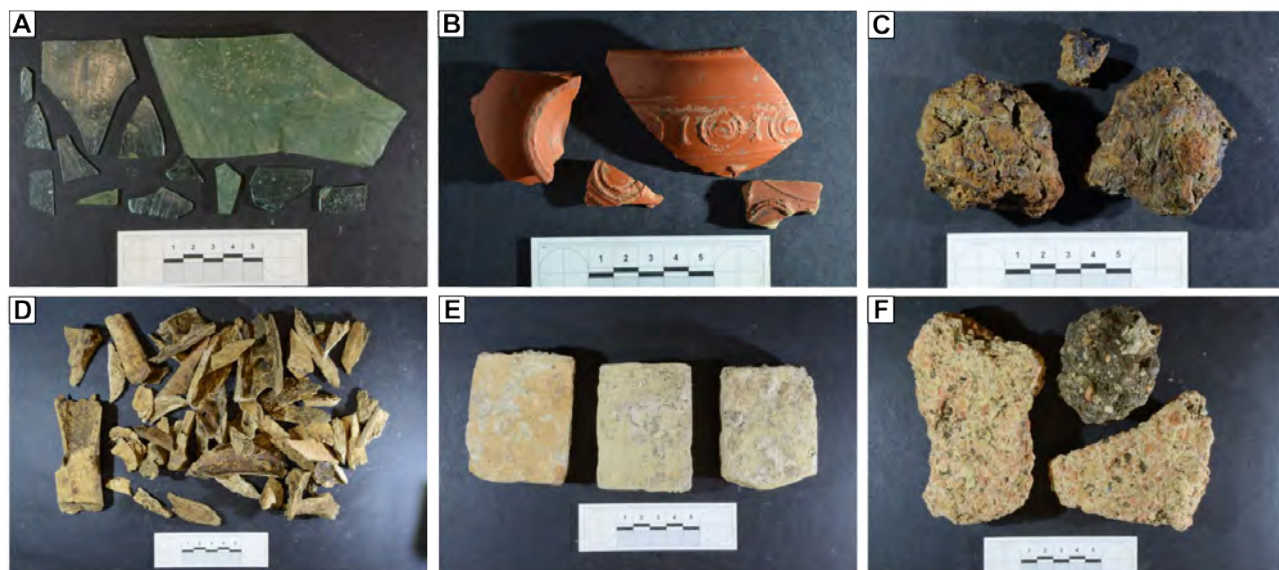
Informazio arkeologiko guztia kontuan izanda, eraikina terma gunea zenaren ustea dago. Izan ere, georradarrari esker deskribaturiko eraikinaren morfologia zein aurkituriko eraikuntza materialak ohikoak dira funtzio hori betetzen duten egituretan. Ondorio horrek aztarnategiaren ikuspuntua zabaldu du, termak izatekotan beste nolabaiteko asentamendu bati atxikita behar dutelako. Horregatik, inguruan miaketa geofisiko gehiago egiteko saiakera egingo da, ea balizko asentamendua aurkitzen den.



7.34. irudia: Indusketan azaleratutako paretan argazkiak. A. Bista zenitala. B. Eraikinaren kanpoaldetik ateratako argazkia, paretaren sekzioa ikus daitekeelarik. Argazkiak: Oihane Mendizabal.

UE	Deskribapena	Sekt.	Urtea
600	Zoia.	W	2015
601	Lur begetalaren azpiko lur geruza.	W	2015
602	Argamasa hori gogorra.	W	2015
603	Lur marroia, harriekin eta morterorik gabe.	W	2015
604	Lur marroia ikatz zati txiki eta zeramika zatiekkin.	W	2015
605	Eraispena. Harriek morteroa dute atxikita.	W	2015
606	Lur buztintsu gogorra, harri handirik gabea.	W	2015
607	Ikatz asko eta tesela batzuk.	W	2015
608	Lur buztintsu oso gogorra harri txikiekin.	W	2015
609	Ipar-mendebaldeko izkinako paretaren oinarria, morteroa eta harriekin egina.	W	2015
610	Pareta/zimentazioaren ebaketa.		
+	Zoia.	E	2016
611	2015eko kataren lur betekina.	W	2016
612	Lohi buztintsu iluna.	W	2016
613	Hego-mendebaldeko harriak. [605] unitatearen baliokidea.	W	2016
614	Lohi buztintsu argia.	W	2016
615	Pareta/zimentazioaren ebaketa.	W	2016
616	Forma zirkularreko mortairu betekina (opus caementicium).	W	2016
617	Lur buztintsu eta harritsua inklusiorik gabe. [608] unitatearen baliokidea.	W	2016
618	[609] balizko kanalizazioaren betekina.	W	2016
619	623 paretaren tabloien aztarnak	W	2016
620	Lur betekina (zoiaren azpikoa), nahiko soltea. [601] unitatearen baliokidea.	E	2016
621	Lur buztintsu harriekin	E	2016
622	Lur buztintsu inklusio askorekin (zeramika+mortero+ikatz). [605] unitatearen baliokidea.	E	2016
623	Mortero txuriarekin loturiko harriak (erdian, N-S).	E	2016
624	Mortero eta lurrarekin nahasturiko harriak.	E	2016
625	Mortero txuriarekin loturiko harriak (E-W).	E	2016
626	Harri solteak lotura gabe lurrarekin (Ipar-mendebaldeko izkinan).	E	2016
627	Opus signinum + harri geruzak.	E	2016
628	E-W paretaren hegoaldeko betekina.	E	2016
629	Sedimentu marroi argian oinarritutako harri egitura (2 harri).	W	2016

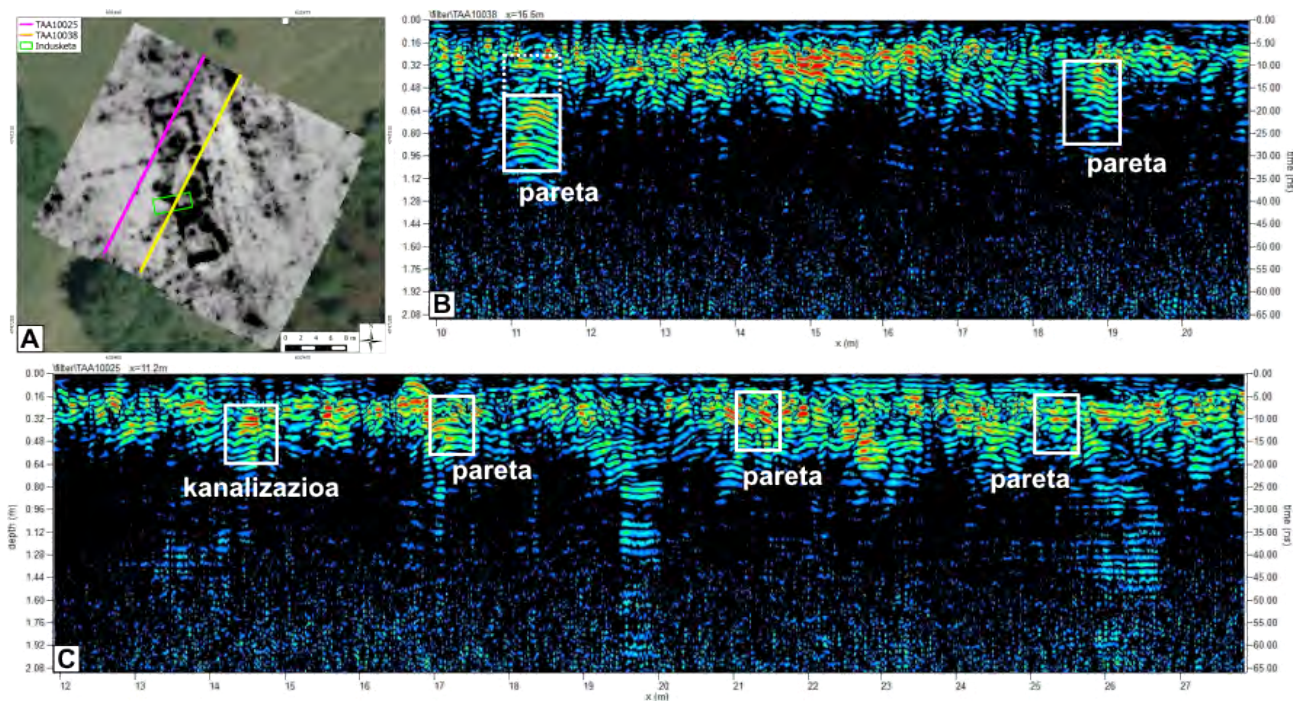
7.12. taula: Artzibarreko miaketa-zuloan aurkitutako unitate estratigrafikoen deskribapena. Ekialdeko sektorea (E) eraikinaren barnealdekoa da, eta mendebaldekoa (W) kanpoaldekoa.



7.35. irudia: 2015. urteko kanpainan aurkituriko materialetariko batzuk. A. Beira zatiak. B. *Sigilata* motako zeramika zati dekoratuak. C. Zepak. D. Hezurak. E. *Opus spicatum* motako eraikuntza egiteko adreiluak. F. *Opus signinum* zatiak. Argazkiak: Rafa Zubiria.

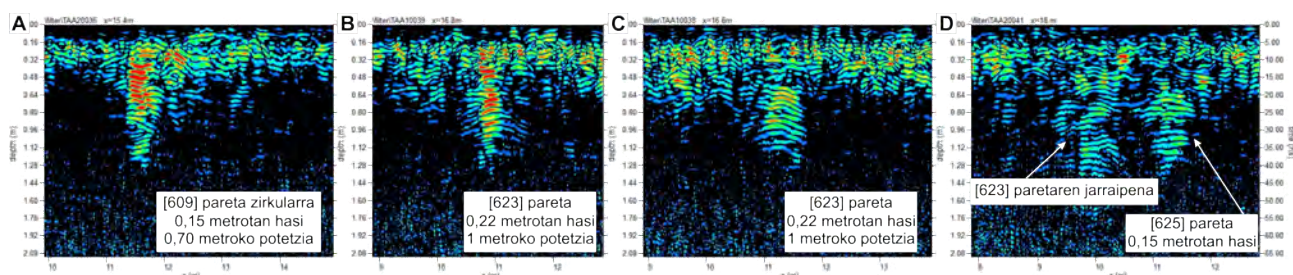
7.2.2. Interpretazio geofisikoa

Geofisikan oinarrituta ondorioztatutakoa bat dator orain arte indusketan azaldutakoarekin. Alde batetik, georradar emaitzetan ikusitako balizko paretak baieztatu egin dira, abside itxurakoa barne. Bestetik, azaleko anplitude mapetan jasotako seinalea eraispen mailek sortua izan daitekeela ikusi da. Indusketa eremuan dauden paretan islapena bereziki nabaria da radargrametan, eta sakoneko anplitude mapetan paretak horiek dira hobekien definitzen direnak (ikus 237 orrialdeko 6.66. irudia). Indusketak argitara eman du horien kontserbazio maila altua dela, hau da, metro inguruko potentzia kontserbatu dela. Eraikinaren iparraldean, aldiz, paretak ez dira sakoneko anplitude mapetan ikusten, eta radargrametan ere inguruko islapenekin nahasita agertzen dira, ezberdintzen zaila direlarik (ikus 7.36. irudia). Hori kontuan izanda, paretak horien kontserbazio maila ezberdina izatea espero daiteke.



7.36. irudia: Paretak eta balizko kanalizazioa zeharkatzen dituzten profilei dagozkien radargramak (600 MHz; *bandpass* eta *background* filtroak; $v=6,4$ cm/ns). A. Profilen kokapena georradar datuekin sortutako 8. anplitude maparen gainean (0,87-1 m). B. TAA10038 profilari (horiz) dagozkion radargrama, non [623] paretak sortutako eta sakonera handiagora arte irauten duen islapena ikus daitekeen. C. TAA10025 profilari (arrosaz) dagozkion radargrama, non iparraldeko paretak sorturiko islapenak ikus daitezkeen. Horiek ez dira sakonera handian proiektatzen.

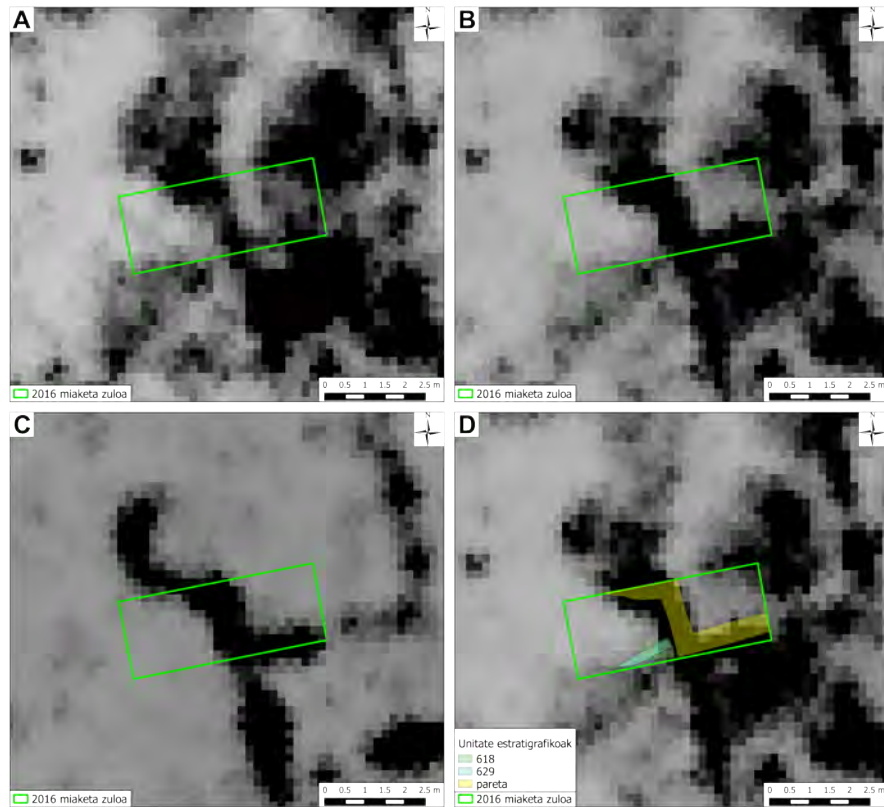
Oro har, georradar emaitzetan aurreikusitako sakonerak bat datoz indusketan agertutakoarekin, eta uhinaren estimatutako abiadura egokia dela ondoriozta daiteke (6,4 cm/ns, hiperbolen analisisian oinarrituta). Hala ere, indusketa eremuaren barnean dauden paretan seinalea ez da homogenea, eta kasu batzuetan azaleko islapena baino indartsuagoa da sakonera handiagoan sorturikoa. Hori gertatzen da, adibidez, [623] paretaren gainetik pasatzen den TAA10038 radargraman, non islapen nagusia 0,5 metroko sakoneratik aurrerakoa den, nahiz eta paretak 0,22 metroko sakoneran agertu den (ikus 7.37. irudia). Indusketan enkofratuaren fase ezberdinek sorturiko lerroak ikusi ziren, eta baliteke horien arteko etenunean radar energia islatzea (enkofratuaren lerroak paretaren hasierarekiko 0,22 m eta 0,45 m ingura daude). Hala ere, fenomeno hau batzuetan soilik ageri da eta aldaera lokalek sortu izatea ere baliteke.



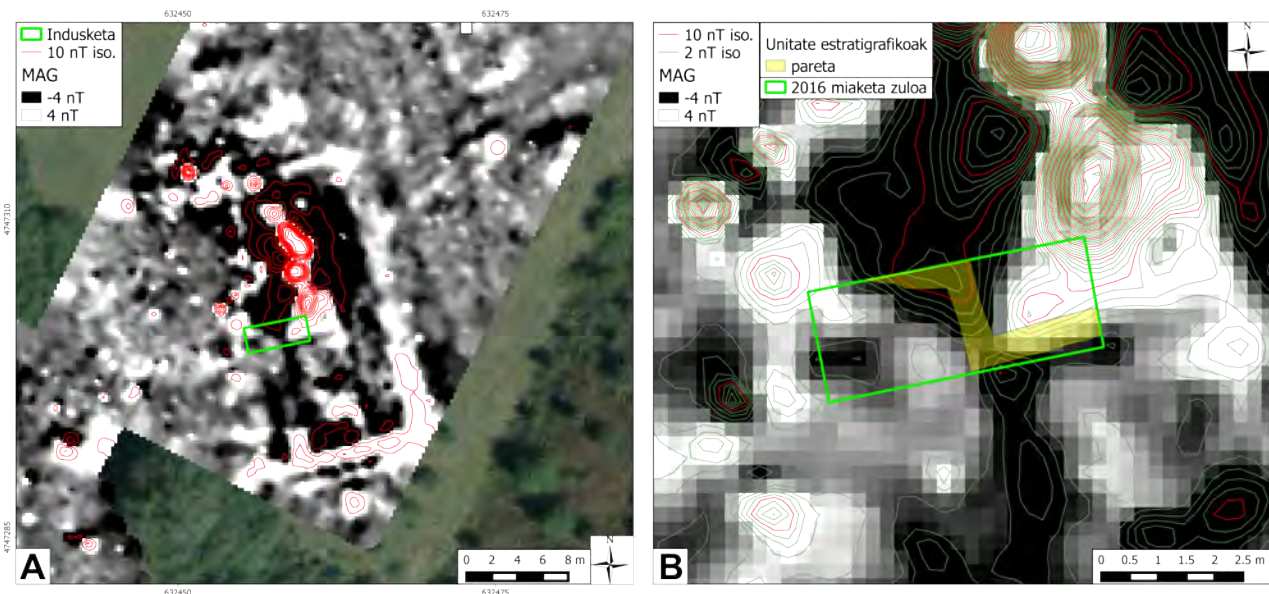
7.37. irudia: Indusketako paretan gaitetik pasatzen diren profil batzuei dagozkien radargramak (600 MHz; *bandpass* eta *background* filtroak; $v=6,4$ cm/ns). A. [609] paretaren zirkularren seinalea ikus daiteke, indusketan ateratakoarekin bat egiten duena. B. Indusketan azaleratutako [623] zeharkatzen duena. Paretaren seinalea indusketan azaldutako sakoneratik ikusten den arren, 0,40 metro inguruan intentsitatea handitu egiten da. C. Paretaren berdina zeharkatzen duen beste profil baten radargrama, non aurreko fenomeno nabariagoa den, baina 0,50 metroko sakoneran. D. Indusketa eremutik at geratzen den [623] paretaren jarraipena eta [625] paretaren islapenak erakusten dituen radargrama. Kasu honetan seinalea sakoneran mantendu arren intentsitate baxukoa dela ikusten da, eta azalean ingurutik jasotako islapenetatik bereiztea zaila suertatzen da.

Bestalde, indusketan azalduko balizko kanalizazioari dagokionez, [629] unitatea, ez da georradar emaitzetan argi ikusten. Egia da 8. anplitude mapan intentsitate baxuko islapena ageri dela kokapen horretan (ikusi 7.38. irudia, B), baina kontuan izan behar da indusketan zehar gune horretan harri pilaketa aurkitu zela [629] unitatea baino altuagoko kotetan ([613] unitatea). Islapen hori, beraz, harri metaketak sortua izango da ziurrenik. Kontuan izanda balizko kanalizazioa metro bat baino sakonago dagoela, eta gainean eraispen mailak agertu direla, ez da harrizkoa ikusi ez izana, are gehiago lorturiko ikerketa sakonera urria denean (ikusi 6.10.1.1. atala). Georradar emaitzek eraikinetik haratago doazen anomalia linealak erakutsi dituzte indusketa eremutik kanpo (ikusi 7.36. irudia, A) eta baliteke horiek ere kanalizazio egiturak izatea.

Miaketa magnetikoaren emaitzak alderatzea konplexuagoa da, indusketak ez duelako sistema horretan oinarritutako interpretazio garrantzitsuenak baieztatu edo ezeztatze aukera ematen duen gunerik barneratu (ikusi 7.39. irudia, A). Egia da eraikinaren paretan definizioa ez dela georradarrarekin bezain egokia izan, eta paretaren borobila ez litzateke espero izanen miaketa magnetikoaren emaitzetan soilik oinarrituz. Hala ere, paretaren kontraste negatiboko anomalia linealak ikus daitezke mapa magnetikoan (ikusi 7.39. irudia, B). Bestalde, indusketan zehar traza magnetiko altua duten materialak agertu izanak (zepak, adreiluak eta *opus signinum* zatiak), kontraste altuko guneen beste azalpen posiblea luzatu du. Izan ere, adreilu asko duen eraispena egonez gero, honek kontraste handiko gunea sortu, eta egon daitezken paretan seinalea estali dezake (Neubauer eta Eder-Hinterleitner 1997b). Hala ere, eraikina terma gunea bada, ura berotzeko labeak izango zituen ziur. Honela bada, kontraste magnetiko altua zerk sortu duen argitzeko indusketa beharrezkoa izango da.



7.38. irudia: Georadar emaitzekin sorturiko anplitude mapa batzuk. A. 7. anplitude mapa (0,47 m-0,60 m). B. 8. anplitude mapa (0,55 m-0,68 m) C. 12. anplitude mapa (0,87 m-1 m). D. Indusketan aurkitutako paretak, [627] balizko kanala eta [618] eraispenaren kokapeba 8. anplitude maparen gainean. Kasu guztietan 600 MHz eta $v=6,4$ cm/ns.



7.39. irudia: Miaketa magnetikoa Artzin. A. Mapa magnetiko orokorra (-4 nT/ 4nT; isolerro gorriak 10 nanoteslaro) miaketa-zuloaren eremua kokatzeko. Kontraste altueneko gunea indusketa eremuaren iparraldean dagoela ikus daiteke bertan. B. Hurbilagoko irudia non indusketan agertutako paretak adierazi diren. Itxura borobila definitu ez arren, indusketan agertutako paretan zantzuak ikusten dira miaketa magnetikoan.

7.3. Indusketarekin alderatzearen ondorioak

Eremu txikiak induskatu diren arren, emaitza geofisikoekin alderaketa oso aberasgarria suertatu da. Interpretazio geofisiko batzuk baieztatu egin dira, baina beste batzuetan erantzun geofisikoa espero ez zen egiturek sortu dutela ikusi izan da. Honek agerian utzi du emaitza geofisikoen interpretazio arkeologikoa egiteak dakarren arriskueteriko bat. Izan ere, emaitzak objektiboak diren arren, interpretazioa subjektiboa da, eta norberaren esperientzian zein aztarnategiaren proiektzioan oinarritzen da. Roger Sala geofisikariak esan ohi duen bezala, makinek ez dute gezurrik esaten, gu gara interpretazioan erratzen garenak. Hori gertatu da, adibidez, Auritz-Aurizberriko aztarnategiko A, B eta D miaketa-zuloetan, non aurkitutakoak baino ikusgarriagoak ziren egiturak espero ziren. A eta D miaketa-zuloetan zutabeak aurkitzeko ikusmira zegoen, eta B zuloan urak bideratzeko eraikuntzaren bat. Hori horrela, eta aurkitutakoa geofisikan ikusitakoarekin bat etorri arren, frustrazio sentimendua hedatu zen lantaldean. C miaketa-zuloan ere interpretazioa okerra izan arren, agerturiko egitura interesgarria delako edo, ez da ezkortasunez bizi izan. Artzin, berriz, geofisikak aurreikusitakoa agertu den arren, esperotakoa baino aberatsagoa izan da. Izan ere, aurkitutako materialek, erabilitako eraikuntza sistemak eta geofisikan ikusi gabeko balizko kanalak, behin-behinean terma gune bezala identifikatzea ahalbidetu dute.

Bestalde, indusketari esker Otegi guneko miaketan georradarrak izandako kokapen arazoa ikusi ahal izan da. E indusketa eremuan aurkitutakoa geofisikan ikusitakoarekin bat datorren arren, indusketarik egin izan ez balitz ez ginateke ohartu izanen desplazatuta dagoela.

Adibide horiek argi uzten dute zein den garrantzitsua miaketa geofisikoen ondorioak indusketa bidez baieztatzea. Hala ere, prozesu honetan badago beste zailtasun bat. Izan ere, ikuspuntu geofisikotik garrantzitsua denak ez du zertan arkeologiarako garrantzitsua izan, eta batzuetan ez da dokumentatzen. Auritz-Aurizberriko aztarnategiko E indusketa eremuan gertatu da hori, non ez den argi geratu georradarrean ikusitako anomalia lineala zerk sortu duen (ikus 7.1.5.2. atala). Kasu horretan kontuan hartu gabeko harri batzuk agertu zirela baldin badakigu, nik neuk indusketan parte hartu nuelako da eta, hala ere, ez nuen dokumentatzeko aukerarik izan. A miaketa-zuloan ere antzeko zerbait gertatu zen 2015. urtean, azaleko mailak industen ari ginela. Miaketa-zuloa bukaerako tamainara zabaldu baino lehen, eraispenak eremu ia osoa hartzen zuen, hego ekialdeko izkina izan ezik. Irudi geofisikoak buruan, izkina horrek georradarrean islapen baxuko anomalia bezala agertzen zen E21c egitura luzearekin bat egiten zuela banekien, eremua txikia izan arren. Hala ere, zuzendaritza arkeologikoa ez zuen beharrezkoa ikusten zati batean harririk ez zegoela dokumentatzea, eraispenean hausaz sortua zelakoan. Kasu horretan, hala ere, dokumentatzea lortu nuen eta unitate stratigrafiko bat ematea. Indusketak aurrera egin ahala, eta bereziki zuloa zabaldu ostean, gune horretako harri gabezia stratigrafia guztian zehar mantendu zela ikusi genuen, eta zuzendaritzako haserako zalantzak desagertu ziren. Gauzak horrela, geofisikan ikusitakoa zer sortu duen argitzeko lagungarria suertatzen da interpretazioa burutu duenak indusketan parte hartzea.

Kontrakoa ere gerta daiteke, hau da, irudi geofisikoan oinarrituta sorturiko interpretazioaren bila industea. Horrek ere badu bere arriskua, indusketa bera interpretazioan oinarritzen delako, eta beraz bilatu nahi dena agerrarazteko joera egon daitekeelako. Edota alderantziz, egitura konkretu baten bila aritzean ager litezkeen beste unitateetan arretarik ez jartzea. Hala ere, inolako aurreiritzirik gabe

induskatzea arraroa dela iruditzen zait, beti dagoelako indusketa egitera bultzatzen duen arrazoi bat, askotan geofisikarekin zerikusirik ez duena. Kronologia bakoitzak ditu bere egitura karakteristikoak, adibidez, eta normala da aztarnategi batean arkeologoaren burua espero diren horietara bideratuta egotea.

Gakoa aurkitu nahi dena eta aurkitzen denaren artean ezberdintzen jakitean datza, geofisika erabili ala ez. Baina geofisika erabili denean ezinbestekoa da horretan aditua den norbaitek indusketan parte hartzea, ondoren alderaketa egiteko aukera egotea bermatu nahi bada. Izan ere, arkeologian erabiltzen diren propietateek (kolorea, testura, gogortasuna, inklusio motak eta inklusio kopurua) ez dute zertan izan erantzun geofisikoa baldintzatu dutenak eta, are nabariagoa dena, inolako garrantzi arkeologikorik ez duten aldaketek emaitza geofisikoan eragin dezakete. Horregatik, seinale geofisikoari eragin ahal dioten faktoreei ere garrantzia ematea eta aldaketa horiek ere dokumentatzea ezinbestekoa da lorturiko emaitza geofisikoak ulertu nahi badira.

8. kapitulua

Ondorioak

Ikerketa honetan sistema geofisikoak, zundaketa geologikoak eta indusketa arkeologikoak erabili dira Antzinaroko zenbait aztarnategitan, erantzun geofisikoa baldintzatzen duten faktoreak aztertu eta interpretazioa hobetzeko giltzak aurkitu nahian.

Kapitulu bakoitzaren bukaeran landutako gaiari loturiko ondorioak aipatu dira. Azken atal honetan, ikerketa guztia aintzat hartuta eratorritako ondorioak bilduko dira.

Alde batetik Auritz-Aurizberriko eta Artziko aztarnategi erromatarrei dagozkien ondorio arkeologikoak bildu dira. Izan ere, ikerketa honen helburu nagusia metodologikoa izan arren, informazio arkeologiko ugari biltzeko aukera ere eman du, bereziki bi aztarnategi hauetan. Kapitulu ezberdinetan aipatu izan diren arren, amaieran informazio arkeologikorako gakoak aipatzea garrantzitsua zelakoan, aipamen berezia egin zaio kapitulu honetan.

Bestalde, ondorio metodologiko bezala sailkatutakoak bildu dira. Lehenengo eta behin aztarnategien mugatzeari buruz ikusitakoak aipatu dira. Ondoren, datu bilketaren momentuan koadrikulen orientazioarekin loturiko ondorioak, miaketa sistema-anitzen kapituluan honezkero aipatuak, berriz ere mahaigaineratu dira. Bukatzeko, egitura jakinak sistema ezberdinetan nola detektatu diren aipatu da.

Amaitzeko, anomalia geofisikoaren interpretazioaren baieztatze prozesuan bizitakoan oinarrituz, horrekin lotutako zenbait gogoeta bildu da.

Tesi hau amaitutzat eman arren, aztarnategi hauetan sistema geofisikoaren erantzunaren ikerketak aurrera jarraituko du miaketa edota indusketa berriak egiten diren heinean. Horregatik, etorkizuneko erronkak zeintzuk izan daitezkeen aipatu da azken zatian.

8.1. Ondorio arkeologikoak

Miaketa geofisikoei esker informazio arkeologiko aberatsa lortu da lehenago apenas ezagutzen ziren aztarnategi batzuetan. Informazio nagusia aztarnategiaren zabalera eta egituren morfologiaren deskribapenaren inguruan da, baina horrek salto kualitatiboa ekar dezake jarraian ikusiko den bezala. Auritz-Aurizberri eta Artziko aztarnategien ondorio arkeologikoak soilik azalduko dira. Izan ere, beste aztarnategietan miaketa magnetikoa soilik burutu da, eta hortik eratorritako ondorioak sinpleagoak izateaz gain, sistema honen baliagarritasuna aztertu duen 4. kapituluan aurki daitezke.

8.1.1. Auritz-Aurizberri

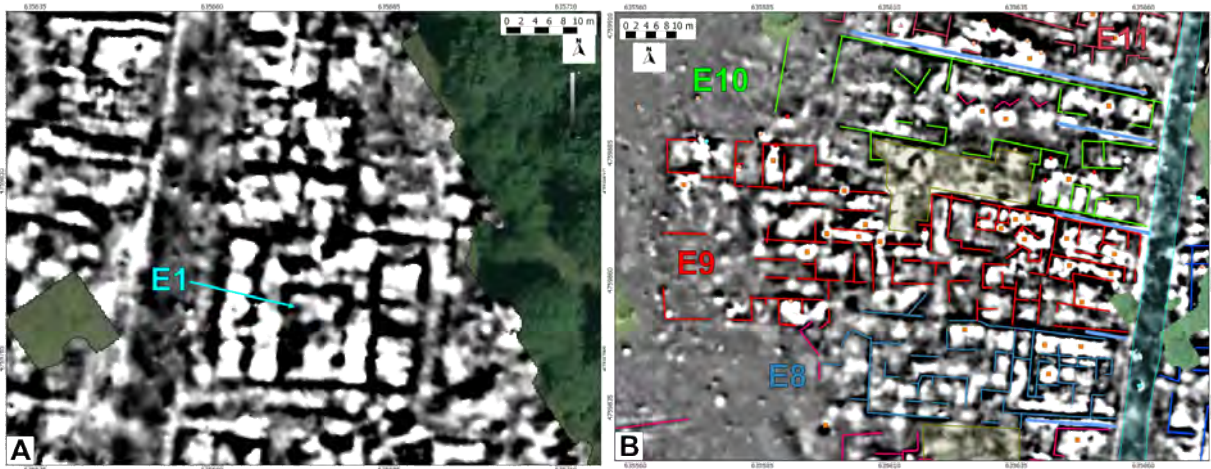
Miaketa magnetikoari esker aztarnategiaren ikuspegi orokorra lortu da eta horretan oinarrituz galtzadaren inguruan antolatutako asentamendua dela ikusi da. Hiriaren oinplanoa ez da erregularra eta eraikinen orientazioak asentamenduaren ardatza galtzada bera izan dela iradoki du. Hori horrela, galtzada lehenagokoa izango dela ondoriozta daiteke, eta horri egokituta hazi zela hirigunea. Bigarren mailako kaleak edo pasabideak identifikatzea ez da erraza suertatu ez direlako mapa magnetikoan era argian agertu, eta galtzadarekin elkartzen diren gunean soilik ikusi dira. Informazio partzial horren arabera galtzadarekiko elkarzut dira eta ez daude tarte erregularretan antolatuta. Beste modu batera esanda, egungo Auritz eta Aurizberri herriek duten antzeko antolamendua izango luke, non etxeak errepide nagusiaren inguruan antolatuta dauden eta etheen artean pasabide estu eta irregularrak dauden (8.1. irudia).



8.1. irudia: A. Auritz-Burguete herriaren aireko argazkia. B. Aurizberri-Espinal herriaren aireko argazkia. C. Zalduako okupazio-gune nagusiko eraikinen interpretazio-eskema. Ortofotoen iturria: © *Instituto Geográfico Nacional*.

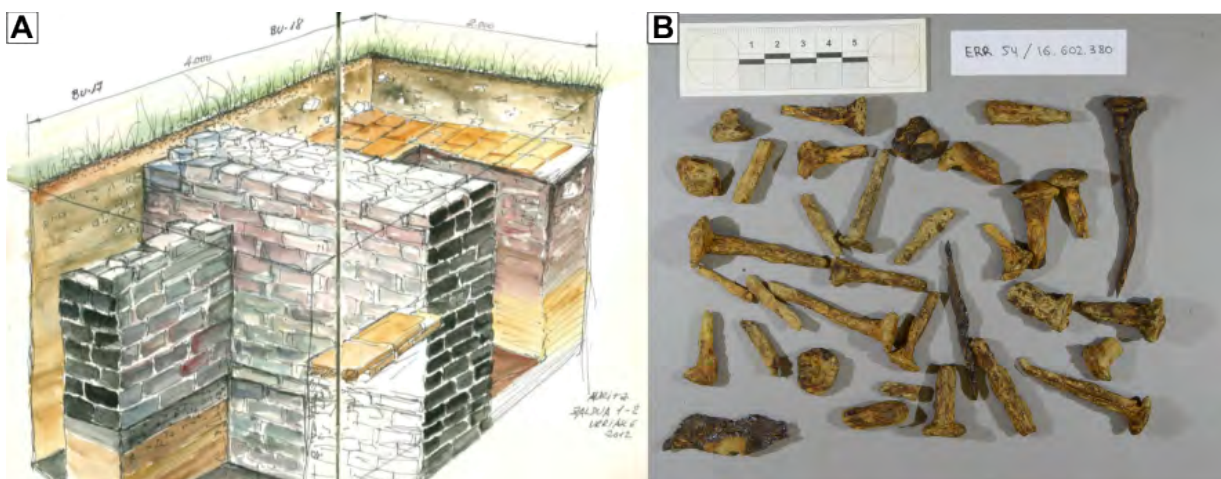
Asentamenduaren okupazio-gune nagusiak 4,5 hektarea inguru hartzen du, eta bertan detektaturiko anomaliak eraikinak erakutsi dituzte batik bat. Miaketa magnetikoan paretak ongi definitu dira oro har, eta beraz ez dirudi pilatutako teila edo adreilu kopuru handirik dagoenik. Bi eraikin mota detektatu da gune honetan. Alde batetik oinplano zabaleko eraikin independenteak diruditenak, horietako batzuetan erromatar garaiko barne-antolaketa tipikoa antzematen delarik (ikusi 8.2. irudia, A edo 99 orrialdeko 4.14. irudia adibide gehiagorako). Beste gune batzuetan ez da eraikin isolaturik ezberdintzen, nahiz eta unitate bat antzeman daitekeen (ikusi 8.2. irudia, B). Badira ere oso definizio

eskasa erakusten duten guneak, non eraikuntza arrastoak daudela ikusten den arren, ez den horien deskribapena egiteko adina definizio lortu. Baliteke ezberdintasun honek hiritarren estatusarekin lotura izatea.



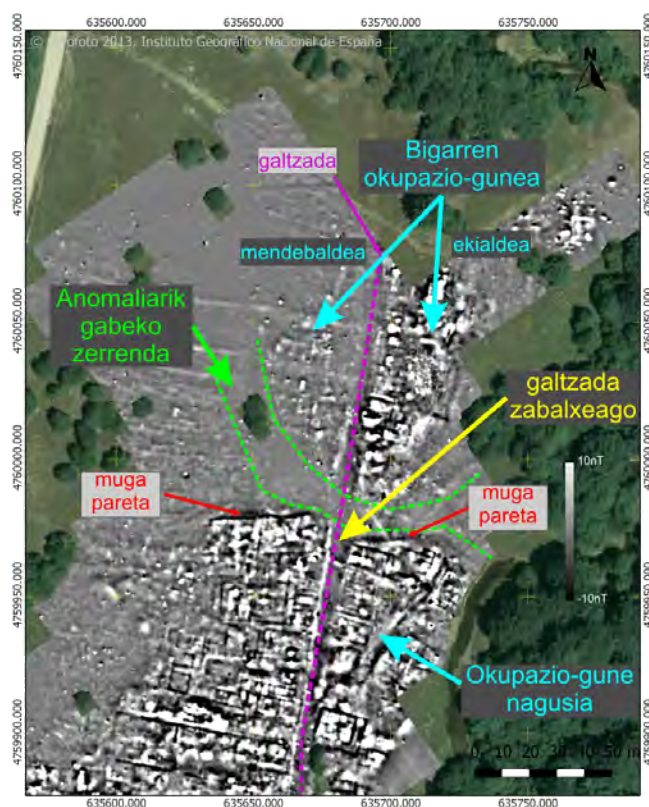
8.2. irudia: Eraikin ezberdinen xehetasuna mapa magnetikoan. A. E1 unitatea (-6 nT beltzez, 7,50 nT zuriz). B. E8, E9 eta E10 eraikuntza-unitateak (-8 nT beltzez, 9,50 nT zuriz) interpretazio-eskema gainean duelarik.

Burututako indusketetan ez da harriz osatutako eraispin maila lodirik aurkitu. Kontuan izanda kontserbaturiko egiturak oinarriak direla (2012 urtean indusitako BU17/1-2/2012 miaketa-zuloan izan ezik), bi aukera egon daitezke: (1) paretan harriak beste nonbait berrerabili dira edo (2) beste material bat erabili zuten paretak egiteko. Inguruko herrietan ez da berrerabilpenaren ondorio argirik aurkitu (Juan Mari Mtz. Txoperena eta Rafa Zubiria Aranzadi Zientzia Elkarteko ikerlarien komunikazio pertsonala). Indusketan, aldiz, iltze kopuru nabarmena aurkitu da (8.3. irudia). Ikerketaren momentu honetan, beraz, paretak egurrezko egiturekin eginak izango zirela pentsatzeko argudioak nagusitzen dira.



8.3. irudia: A. 2012 urtean indusitako BU17/1-2/2012 miaketa zuloan agertutakoaren marrazkia. B. 2016 urtean indusitako E eremuan aurkituriko iltzeetariko batzuen argazkia. Marrazkia: Enrique Lekuona. Argazkia: Aranzadi.

Okupazio-gunearen etenune argi bakarra iparraldean agertzen da. Miaketa magnetikoak zein georradarrak pareta bezala interpretatu den anomalia lineala erakutsi dute, eta ondoren egitura arkeologikorik gabeko 13 m-15 metro inguruko zerrenda bat (ikusi 8.4. irudia).



8.4. irudia: Okupazio-gune nagusiaren iparraldea. Mapa magnetikoa (-10 nT beltzez, 10 nT zuriz) eta bertako elementuak.

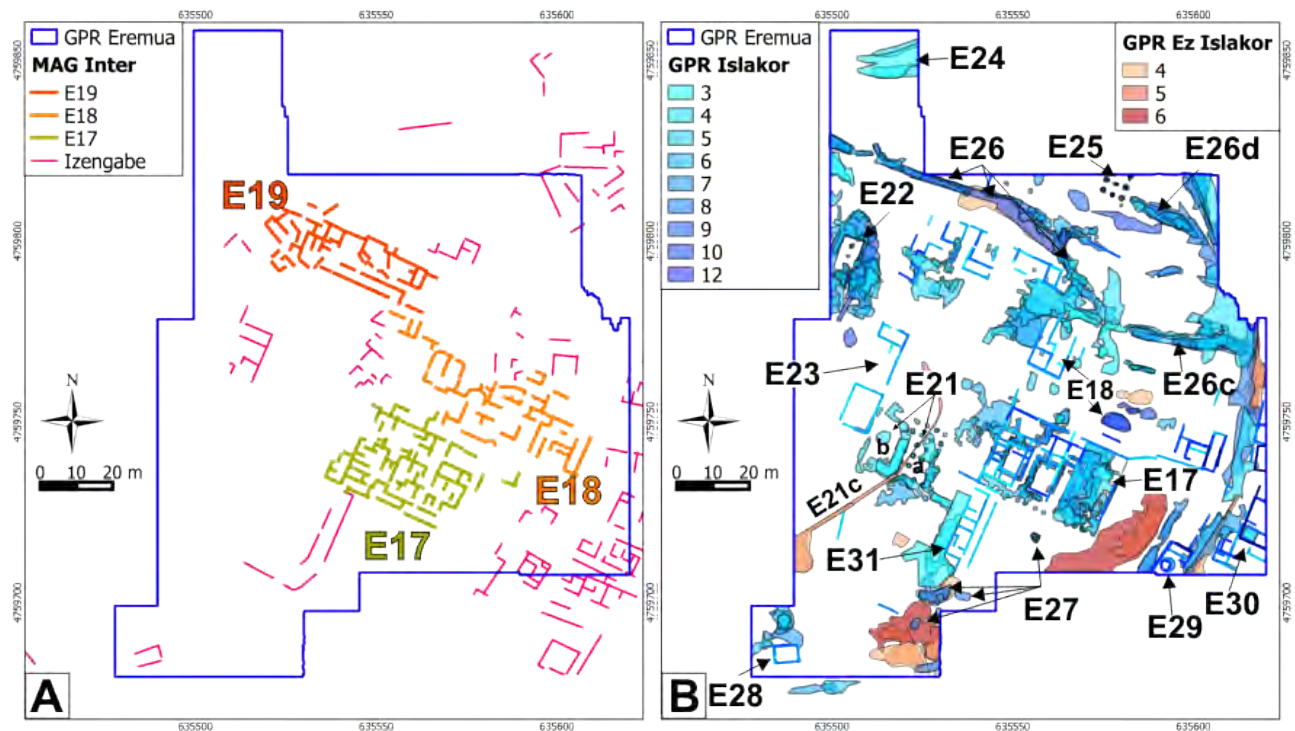
Aipatutako paretak aztarnategiko beste guneetan detektatutako paretan antzeko seinalea erakutsi du bi sistemetan, eta ondorioz ez dirudi harresi edota egitura masiborik izango denik. Pareta eten egiten da galtzada gurutzatzen duen puntuan, eta gainera galtzada zertxobait zabaltzen da bertan. Horregatik, baliteke hiriaren sarretariko bat hemen egotea.

Anomalia esanguratsurik gabeko zerrenda horretan egindako zundaketetan ere ez da geruza arkeologikorik identifikatu, eta behin-behinean okupazioaren etenunea dagoela ondorioztatu da. Horren iparraldean bigarren okupazio-gunea agertzen da. Gune honetan miaketa magnetikoak oso emaitza ezberdina erakutsi du galtzadaren ekialdean eta mendebaldean. Ekialdean suarekin loturiko anomalia asko detektatu da, eta mendebaldean kontraste magnetiko ahula detektatu da. Georradarrarekin mendebaldeko sektorea soilik miatu da, eta bertan anomalia-dentsitatea okupazio-gune nagusian baino baxuagoa dela baieztatu da. Bi okupazio-guneen artean, beraz, ezberdintasunak daudela erakutsi dute miaketek, baina horren zergatia arkeologikoa argitzeke dago.

Hiri-sarea erregularra ez izateak eraikinen artean gune poligonalak sortzea dakar. Miaketa magnetikoak horietako batzuk espazio ireki bezala erabili izan zirela iradoki du, ez delako bertan eraikuntza egiturei esleki dakioken anomaliarik detektatu. Horietako batean burututako zundaketak ikatzdun geruza erakutsi du, baina ez da zorurik edo eraikin baten barnealdean egotearen zantzurik agertu (ikusi 144 orrialdeko 5.3.2.1. atala). Honelako hirigune batean eraikinik gabeko espazioak egotea ez da harriztekoa, eta funtzio ezberdinerako erabiliak izango ziren.

Hiriaren barnean P5 gune singularra detektatu da. Beste guneetan ez bezala zonalde zabal batean anomaliak orientazio berdina mantentzen dute, eta 78 m x 32 metroko laukizuzen baten inguruan antolatuta daude (ikusi 8.5. irudia). Miaketa magnetikoan ikusi ez ziren eraikinak detektatu dira

georradarrari esker, eta horiek ere orientazio bera erakutsi dute. Laukizuzenaren hego-ekialdeko kantoian *tabernae* bezala interpretatutako eraikuntzen paretak detektatu dira eta horien iparraldean simetria altuko hiru eraikinen multzoa (E31 eta E17 hurrenez hurren 8.5. irudian). Laukizuzenaren barnealdea eraikinik gabe agertzen da, zutabez osatutako E21 eraikina salbu, eta pentsatzekoa da espazio irekia izango zela. Orientazioa berbera mantentzeak antolaketa bat eskatzen duela onartuta, unitate bat dela ondorioztatu da. Puntu topografiko garaiagoan egoteak, non galtzadaren ibilbidea menderatzen den, garrantzia atxikitzen dio gune honi. Hori guztia kontuan izanda hiriko gune publikoa izango zela finkatu da lan hipotesi bezala, eta ikusteko dago ikerketa berrien hori baieztatu edo ezeztatzen duten.

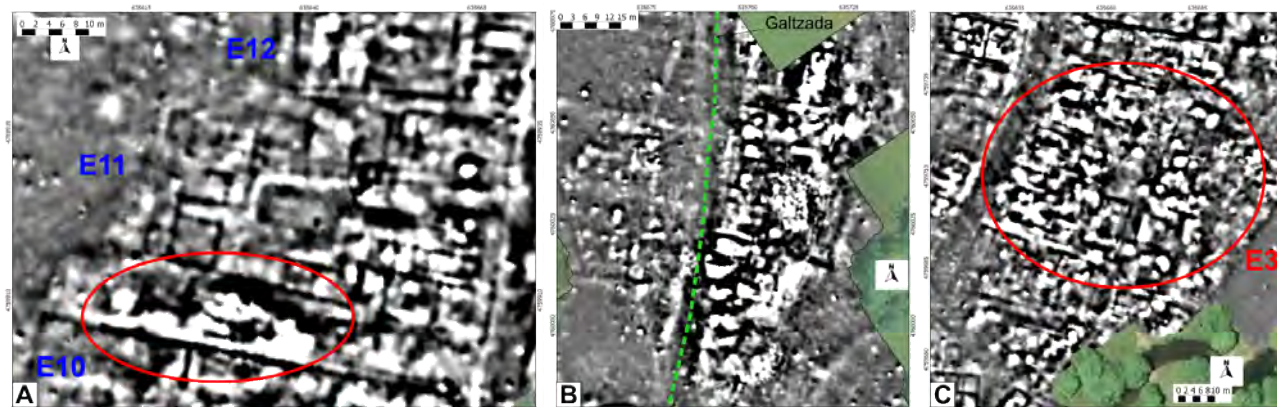


8.5. irudia: A. Miaketa magnetikoaren interpretazio-eskema eta anomalia multzoei emandako izenak Zalduko P5 gunean. B. Georradar emaitzen interpretazio eskema sakoneraren arabera antolatuta, zenbat eta ilunago orduan eta sakonago. Koloreei esleituriko zenbakiak interpretaziorako erabilitako anplitude-maparen zenbakia adierazten dute. Georradar energia islatzen duten anomaliak urdinez adierazi dira, eta islapen baxuko anomaliak tonu gorrixketan. Anomalia multzoei emandako izenak etiketa beltzez adierazi dira.

Errekuntzei esleli dakiekeen anomalia ugari detektatu den arren, ez da ikusi suntsiketa gertatu dela iradoki lezakeen sute orokorturik. Hala ere, gune batzuetan suteak gertatu izana posiblea da, E19 egitura-multzoan adibidez, non miaketa magnetikoak intentsitate altuko anomaliak eta zundaketek errekuntza mailak erakutsi dituzten. Kasu batzuetan labeak izan daitezkeen anomaliak ere detektatu dira, eta eraikin batzuek duten traza magnetiko ezberdinak erabilera konkreturen bat uzan zezaketela iradoki dute. Aipatzekoa da indusketarik esker forja gunea izan daitekeen egitura aurkitu dela (E29 unitatea 8.5. irudian). Hala ere, gehienak eraikuntzen barruan agertu dira, eta etxeke su bezala interpretatu dira.

Miaketa magnetikoan pareta bezala interpretaturiko anomalien itxuragatik eta P5 guneari ikusitako singularitasunagatik, E18 eraikuntza-multzoa terma gunea izan zitekeela pentsatu zen (ikusi 8.5. irudia, A). Hala ere georradarrak ez ditu pareta horietariko batzuk detektatu, eta ezin izan da baieztatu.

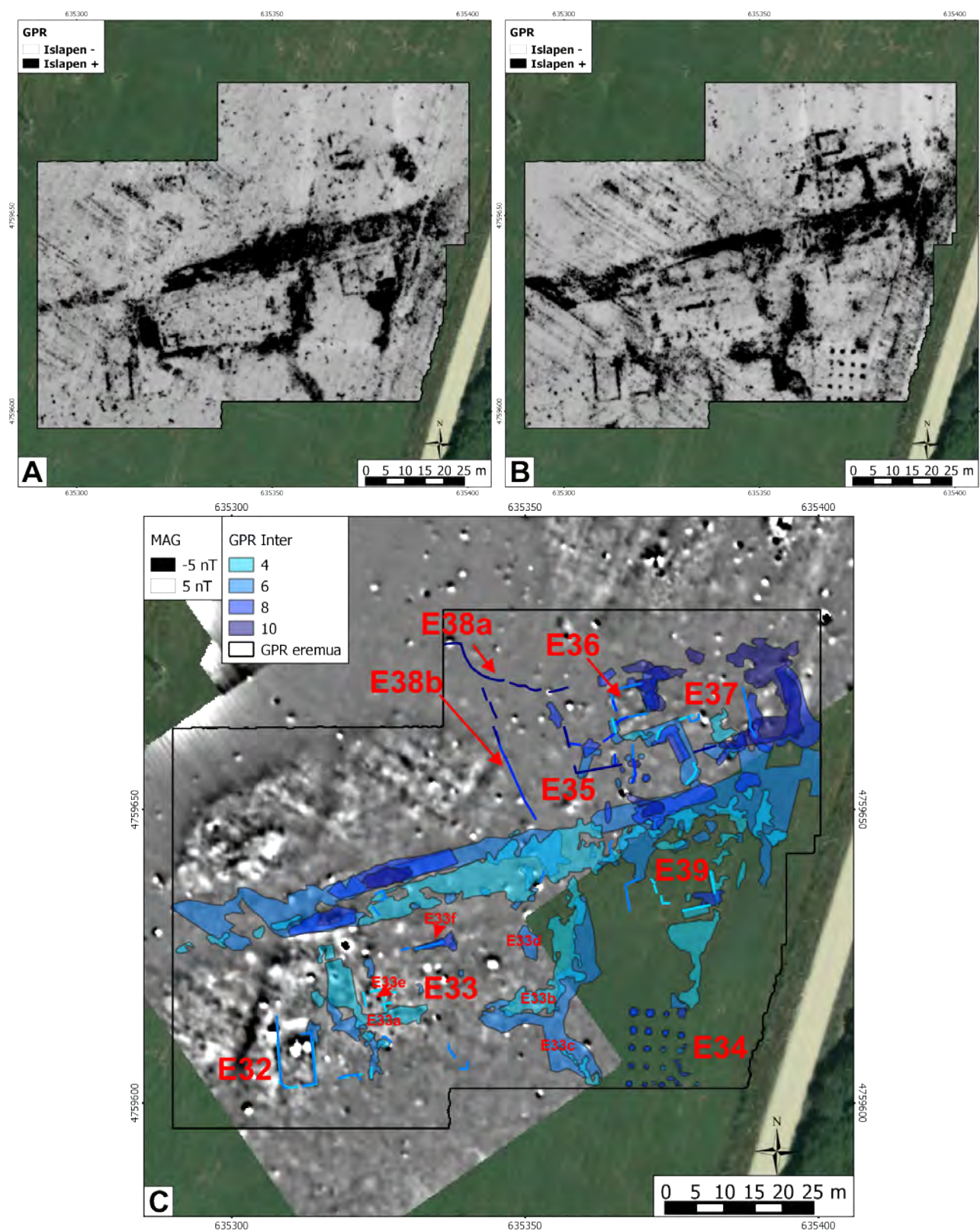
Bestalde, gune batzuetan errekontza edota traza magnetiko altuko elementuek sorturiko anomaliak erakuntza egiturenak ezkutatu dituzte (ikusi 8.6. irudia). Baliteke leku batzuetan teila edo adreilu pilaketa egotea, edo horietako batzuetan industrial-guneak egotea. Bigarren okupazio-gunearen ekialdean gertatzen da hori, baina industrial-gunea dela baieztatzeko beste informazio-iturriren bat behar da.



8.6. irudia: A. E10 eta E11 unitateak, erdian errekontza edota traza magnetiko altuko materialaren barreiaketak sor lezaken anomalia ikusten delarik (-7 nT beltzez, 8 nT zuriz). B. Bigarren okupazio-gunearen xehetasuna, galtzadaren ekialdean dagoen sektorean errekontzek sor lezaketan anomaliak ikusten direlarik (-4 nT beltzez, 6 nT zuriz). C. E3 unitatearen xehetasuna non balizko errekontza guneek sorturiko anomalia ugari ikusten den (-8 nT beltzez, 9 nT zuriz).

Okupazio-gune nagusitik kanpo ere egiturak badaudela frogatuta geratu da. Miaketa magnetikoaren emaitzan horren zantzuak ikusi arren, georradarrari esker zenbait eraikin deskribatzeko aukera egon da. Horien artean nabarmentzekoak dira Otegi guneko galtzadaren inguruan detektaturikoak, ondoren indusketa bidez ikusi direnak (8.7. irudia). Zaldua guneko hego-mendebaldean zundaketek galtzadaren inguruan geruza arkeologikoak detektatu zituzten (ikusi 5.3.1.1. atala), eta georradarrak ere eraikin egitura bat detektatu du (E28 unitatea 8.5. irudian). Otegi guneko iparraldean, aldiz, ez da okupazioa egotearen zantzurik ikusi, eta miaketa magnetikoan agertzen diren *irla anomaloen* jatorria aldaera geologikoen sortuak direla ondorioztatu da. Modu honetan, okupazio-gunetik kanpo ere egitura arkeologikoak galtzadaren inguruan kontzentratuta egongo direla pentsatzea zilegi da. Aldi berean, Otegi gunean detektaturiko egiturak ez dira okupazio-gune nagusian detektatutako eraikinen antzekoak, eta kontuan izan behar da okupazio-gune nagusia eta 80ko hamarkadan indusitako nekropoliaren artean daudela. Horregatik, pentsatzekoa da hiriaren kanpoaldeko guneari dagokiola, eta beraz etxebizitzaren ordez beste funtzio bat betetzen duten eraikinak direla.

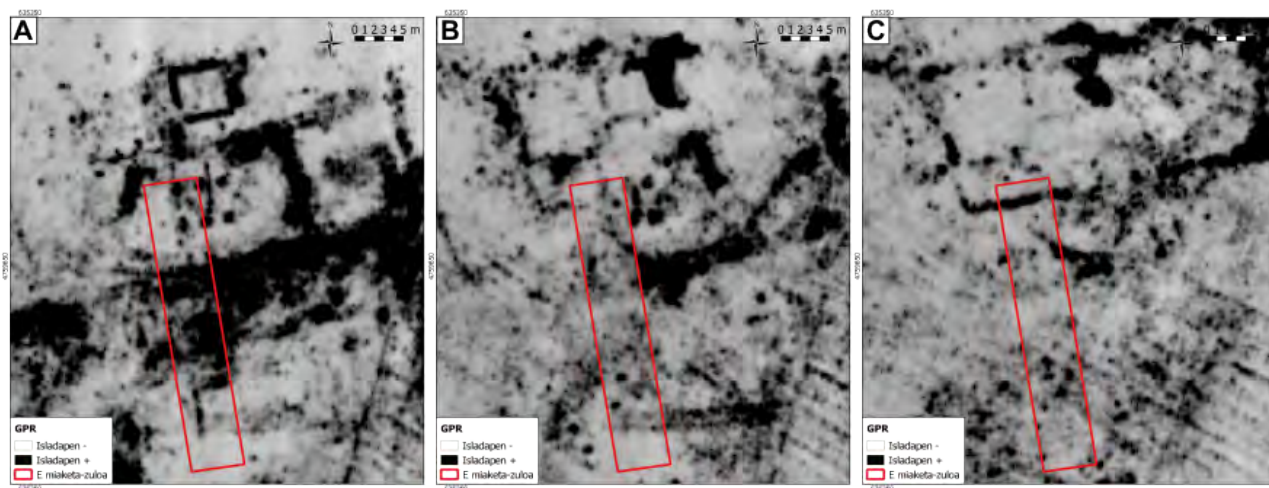
Bestalde, esan daiteke geruza arkeologikoen kontserbazio maila ez dela aztarnategi osoan berdina. Miaketa magnetikoaren emaitzetan argi geratu da kontraste ezak ez duela egiturarik ez dagoenik frogatzen. Hala ere, egiturak dauden lekuan kontraste magnetikorik ez egoteak kontserbazio maila baxua izan daitekeela pentsatzea zilegi da, zundaketa geoarkeologikoen zein indusketaren emaitzek horrela erakutsi dutelako. Modu honetan, Zalduko okupazio-gune nagusian potentzia arkeologikoa bi metro ingurukoa izatea espero da (gunean guneko zehaztasun gehiago lor daiteke zundaketa geoarkeologikoei erreparatuz). Zalduko P5 gunean zein Otegi gunean, berriz, indusitako eremuetan garaiko zirkulazio mailak desagertuak daudela dirudi, eta 0,50 metro inguruko geruza arkeologikoak besterik ez direla kontserbatu.



8.7. irudia: Otegi guneko hegoaldean galtzadaren inguruan detektaturiko egiturak. A. Georradar datuekin sorturiko 4. anplitude-mapa (0,28-0,40 m). B. Georradar datuekin sorturiko 6. anplitude-mapa (0,48-0,59 m). Georradar datuetan oinarritutako interpretazio-eskema miaketa magnetikoaren emaitzen gainean (-5 nT beltzez, 5 nT zuriz). Ortofotoaren iturria: ©Instituto Geográfico Nacional.

Okupazio maila ezberdinak egon daitezkeen ala ez determinatzeko georradar emaitzak eta indusketetan ikusitakoa azter daiteke. Georradarrari esker P5 guneko egiturak sakonera ezberdinetan daudela ikusi ahal izan da (ikusi 184 orrialdeko 6.13. irudia), egitura batzuk gainazalean (0,39-0,56 metro inguruan) eta beste batzuk sakonago (1 metro inguruan). Eraikuntza egitura bezala identifikaturiko gehienak gainazaleko mailetan agertu dira (0,35 metroko sakoneran hasita), nahiz eta kasu batzuetan sakonera ezberdinetako elementuak daudela ikusi den (E18 egitura multzoan adibidez, 8.5. irudia). Hala ere, ezin da baieztatu okupazio mailen gainezarmena dagoenik, ez delako bi oinplano gainezarri ikusten. E21 egitura multzoan burututako indusketak georradarrean ikusitako gainezarmena baieztatze aukera eman zuen. Poste oinarrien kotaren gainetik georradar islapena justifikatzen duen harri geruza aurkitu zen (E21b 8.5. irudian), baita ere balizako kanal bezala identifikatutako sedimentu homogeneousko gunea (E21c). Indusketan, hala ere, ezin izan zen erabat argitu ea eraipen mailak diren ala beste okupazio fase bati dagozkion.

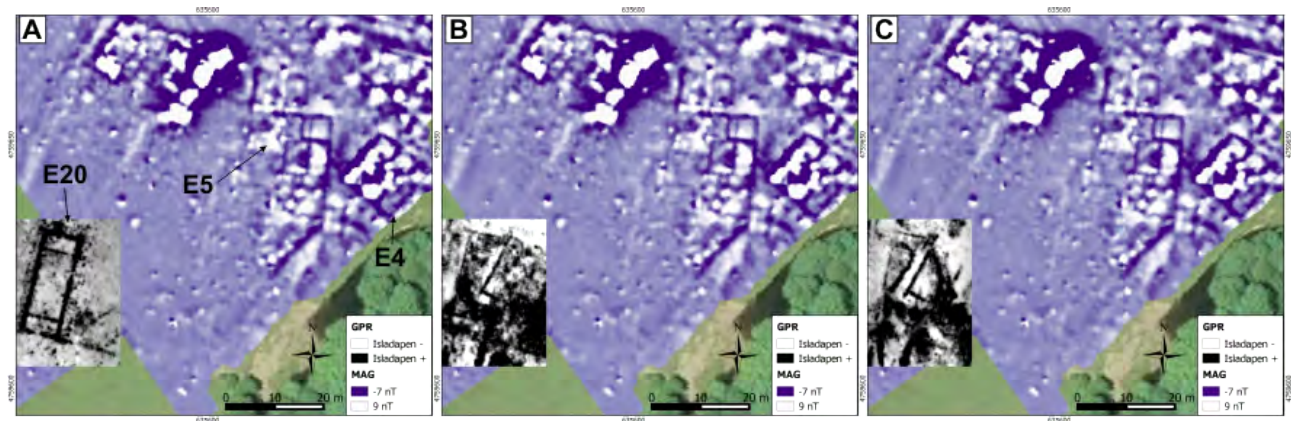
Otegi gunean galtzadaren inguruan burututako ikerketetan ere ezin da ezeztatu okupazio maila ezberdinak egotea. Galtzadaren hegoaldean georradarrak maila bakarra erakutsi du, eta indusketan kontserbazio maila oso baxua zela ikusi zen. Hor, beraz, fase ezberdinak egon badira gaur egun arte kontserbatu ez direla esan daiteke. Galtzadaren iparraldean, aldiz, georradarrak gainezarritako egiturak detektatu zituen (ikusi 8.8. irudia). Indusketan, baina, ez zen hori baieztatu ez zelako E37 egitura multzoaren parte den paretari identifikatu. Hala ere, 7.1.5.2. atalean azaldu bezala, dokumentatu ez ziren harriak ikusi ziren balizko paretari zegokion kokagunean, eta beraz ez da puntu honetan zalantzak daude.



8.8. irudia: E37 egitura multzoa Otegi guneko galtzadaren iparraldean. A. Georradar datuekin sorturiko 6. anplitude-maparen gainean (0,48-0,59 m), non indusketan agertutako zutabe oinarriak ikusten diren. B. Georradar datuekin sorturiko 8. anplitude-maparen gainean (0,66-0,78 m), non zutabe oinarrien seinalea desagertuta dagoen. C. Georradar datuekin sorturiko 10. anplitude-maparen gainean (0,95-1,02 m), non indusketan dokumentatu ez zen balizko paretari ikusten den.

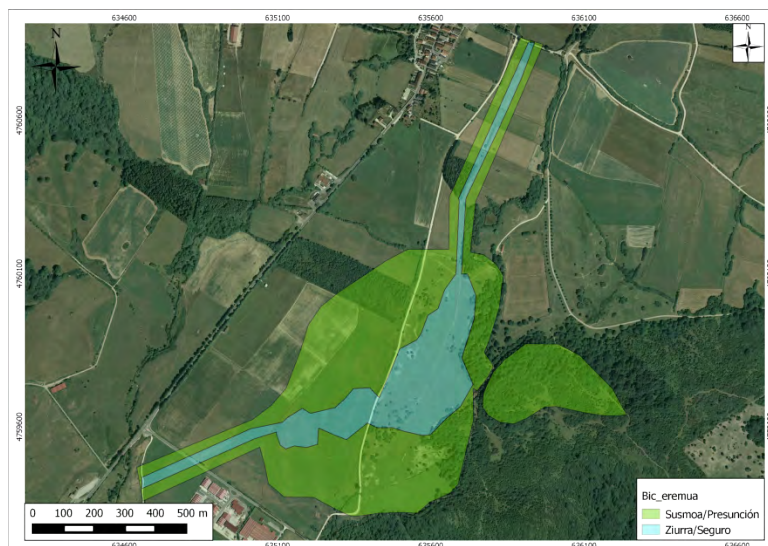
Zalduako E20 eraikinaren azpian, berriz, orientazio ezberdineko beste egitura bat dagoenaren zantzuak ikusi dira 0,60 metro inguruko sakoneran (ikusi 8.9. irudia). Kasu horretan ez da hori baieztatu lezakeen indusketarik egin, baina behin-behinean gainezarritako bi okupazio maila dagoela baieztatu daiteke. Miaketa magnetikoan ere oso orientazio ezberdina duten eraikinak detektatu dira (E4 eta E5 8.9. irudian). Kasu honetan orientazioak ez du galtzadaren norabidearekin loturarik, eta baieztatu ezin den arren, baliteke garai ezberdineko eraikinak izatea. 2012ko indusketan fase bat baino gehiago

ikusi zen miaketa-zulo batean, 2 metro inguruko potentzia arkeologikoa erakutsi zuenean hain zuzen (Agirre-Mauleon et al. 2012b). Zundaketa geoarkeologikoei esker okupazio-gune nagusiko beste zona batzuetan ere sekuentzia arkeologikoa luzea dela baieztatu ahal izan da (ikusi 135 orrialdeko 5.3. irudia). Informazio guzti hau kontuan izanda, pentsatzekoa da aztarnategiko gune batzuetan behintzat okupazio-maila bat baino gehiago egon dela eta indusketa bidez hori dokumentatzeko aukera egongo dela. Beste gune batzuetan, aldiz, kontserbaturiko sekuentzia arkeologikoa laburra da.



8.9. irudia: Egituren gainezarmena E20 eraikinaren gunean. Miaketa magnetikoan (-7 nT urdinez, 9 nT zuriz) E4 eta E5 eraikinen orientazioa oso ezberdina dela ikus daiteke. A. Georradar datuekin sorturiko 3. anplitude-maparen gainean (0,22-0,39 m), non E20 eraikinaren oinplanoa argi detektatu den, B. Georradar datuekin sorturiko 6. anplitude-maparen gainean (0,55-0,72 m), non beste orientazioko balizko eraikina agertzen den. C. Georradar datuekin sorturiko 8. anplitude-maparen gainean (0,77-0,84 m), non balizko bigarren eraikinaz gain, identifikazio argirik gabeko beste anomalia batzuk ere agertzen diren. 600MHz, $v=7,1$ cm/ns.

Aztarnategiaren zabalera ez bairik gabe determinatzea ezinezkoa izan den arren, aztarnategiaren babeserako proposamena egiteko adina informazio bildu da (ikusi 8.10. irudia).



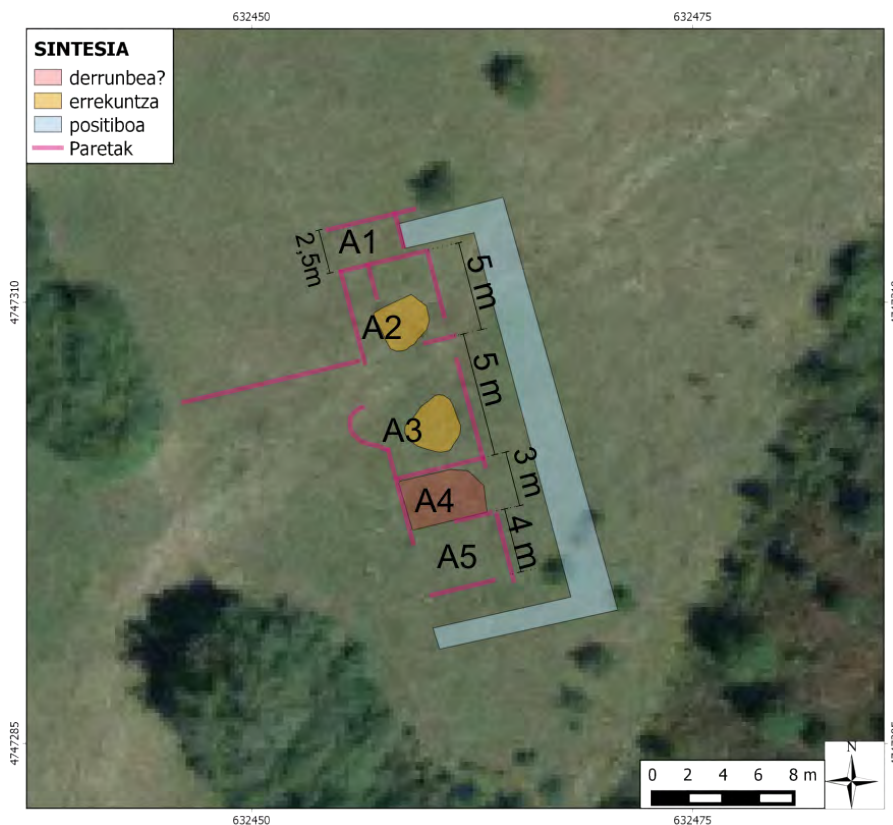
8.10. irudia: Nafar Gobernuari Auritz-Aurizberriko aztarnategi erromatarraren babeserako proposatutako eremuak.

8.1.2. Artzi

Ikerketa hau abiatu aurretik Artziko Santa Maria parajeen erromatar garaiko aztarnak aurkitu ziren baina ez zen asentamendu motaren inguruko inolako informaziorik ezagutzen. Izan ere, 2012ko miaketa-zuloan materialak agertu arren, ez zen inolako egiturarik aurkitu.

Miaketa geofisikoen eraikin bat deskribatzeko parada eman dute. Erabilitako sistemek informazio osagarria luzatu dute gainera, eta emaitzarik interesgarrienak miaketa magnetikoarekin eta georradarrarekin lortu dira. Lehen burututako miaketa magnetikoari esker eraikina identifikatu eta traza magnetiko altuko materialak daudela ondorioztatu ahal izan da. Hasiera batean suarekin lotutako anomaliak zirenaren ustea izan arren, indusketetan aurkitutako eraikuntza materialek zeramikazko baldosa edo teila zatien pilaketak sortuak izan daitezkeela iradoki dute. Georradar miaketaren emaitzari esker erakinaren gelak deskribatu ahal izan dira.

Modu honetan, 5 metroko zabalera eta 19 metroko luzera duen eraikina detektatu da. Tamaina ezberdineko eta ilaran jarritako bost gela ditu (ikusi 8.11. irudia). A2 gelako ipar-mendebaldeko kantoian ikusten den paretak beste banaketa bat egon daitekeela iradoki du. A3 gelak eraikinaren lerrotik 1,75 metro inguru ateratzen den absidea (edo forma borobilduko paretak) du, nahiz eta ez den osorik detektatu. Bi gela hauetan, A2 eta A3, detektatu da kontraste magnetiko intentsuena, eta gainazaleko anplitude mapetan elementu islakorrak erakutsi ditu georradarrak (0,30 m eta 0,50 metro bitartean). Kontraste magnetiko altua errekuntzak edo material pilaketak eragin duen ezin izan da guztiz argitu.



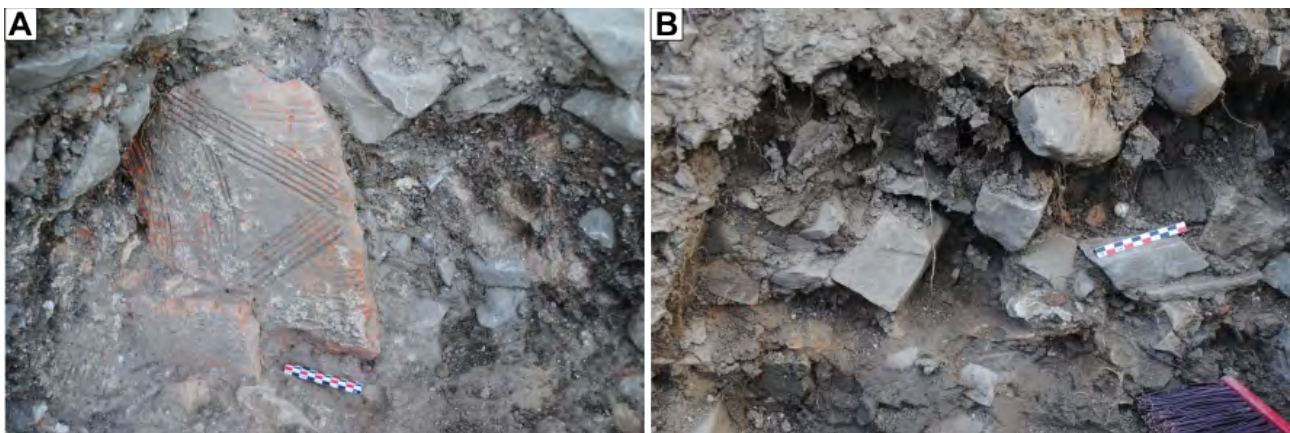
8.11. irudia: Artziko aztarnategian geofisika emaitzetan oinarrituz buruturiko interpretazio sintesia. Ortofotorearen iturria: © *Instituto Geográfico Nacional*.

Georradar emaitzetan iparraldeko gelen pareten islapena eta hegoaldeko pareten ezberdin detektatu dela ikusi da. Horren arabera, baliteke hegoaldekoen potentzia arkeologikoa handiagoa izatea, sakonera handiagora arte detektatu direlako. A4 gelan georradar energiaren islapena detektatu da eta baliteke bertan zoru zurruna edota eraispen materialak egotea. Indusketa kanpainetan eraispen mailak aurkitu dira A3 gelaren hego-mendebaldeko kantoian, zein eraikinaren kanpoaldean. Horietan ere georradar energiaren islapena detektatu da.

Bestalde, miaketa magnetikoak eraikinaren ekialdean kontraste magnetiko positiboko perimetroa detektatu du. Beste sistemetan ere ikusi da anomalia hau, baina ez da hain agerikoa. Interpretazio definitiboa egiterik egon ez den arren, sedimentu homogeneoz osatutako egitura bat izan daitekeenaren ustea dago.

2015 eta 2016 urteetan indusketa kanpainak burutu dira A3 gelaren hego-mendebaldeko kantoian, eraikinaren kanpoaldea (mendebaldeko sektorea deiturikoa) eta barnealdea (ekialdeko sektorea) barnebilduz. Georradarrak erakutsitako pareten kokapena baieztatu da, abside itxurakoa barne. Horiek *opus caementicium* motakoak dira, eta enkofratua erabiliz eraikiak izan direla ondorioztatzeko parada egon da. Kanpoaldetik inklusio askodun (zeramika, ikatz eta morteroa) lur buztintsu batekin estalita daude.

Ekialdeko sektorean gutxiago sakondu arren, mendebaldeko sektorean geruza naturaletaraino heldu da eta horri esker paretak metro inguruko potentzia duela ikusi da. Horren azpian kanalizazioa dagoela ikusi izan da, eta horrek georradarrean ikusitako eta eraikinetik ateratzen den anomalia lineala ere kanalizazioa izan daitekeela iradoki du. Indusketak gainazaleko mailetan eraispen geruzak daudela erakutsi du, eta horietan eraikuntza material ugari aurkitu da (ikusi 8.12. irudia). Nabarmenezkoa da besteen artean *opus spicatum* motako eraikuntzak egiteko adreiluak, *opus signinum* zatiak eta *bipedalis* motako baldosak aurkitu izana. Azken horiek *hypocaustum* egituretan erabili ohi ziren.



8.12. irudia: A. Bipedalis motako baldosaren argazkia. B. Eraispin geruzak ekialdeko sektorean. Argazkiak: Oihane Mendizabal.

Informazio guztia bateratuz, Artzin detektaturiko eraikina terma gunea izan daitekeela ondorioztatu da. Aurkitutako eraikuntza materialak, paretaren azpiko kanalizazioa eta eraikinaren forma bat datoz interpretazio honekin. Horrek aztarnategiaren ikuspuntua zabaldu du, termak izatekotan beste egiturak ere egongo direla pentsatzekoa delako. Hurrengo urteetan, beraz, hipotesi horiek kontrastatzea ahalbidetuko duten ikerketak burutzeko asmoa dago.

8.2. Ondorio metodologikoak

Aztarnategi konkretuak ikertuta ateratako ondorioetariko batzuk orokorrak izan daitezke, baina beste aztarnategietara hedatzea ez da zuzenean egin daitekeen zerbait. Izan ere, hainbeste dira sistema geofisikoen erantzunean eragiten duten faktoreak, non lekuan-lekuko baldintzen eragina bortitza den. Hala ere, adibideen pilaketak sortzen du geofisikaren inguruko jakinduriaren korpua, eta horregatik merezi du gertatutako fenomenoek aipamena egiteak.

Metodologiari so eginez, lehen miaketarako sistema magnetikoa erabiltzea baliagarria suertatu da kasu gehienetan, interferentzia iturri nabarmenak dauden kasuak alde batera utzita. Hala ere, ikertutako adibideek agerian utzi dute arrasto arkeologikoen presentzia ezin dela horretan soilik oinarrituz determinatu, eta miaketa sistema-anitzak burutzearen interesa argi geratu da. Izan ere, hori egin ezean zenbait egitura ez zen ezagutuko, eta beste batzuen deskribapena ez litzateke hain argia izango.

Ondorio metodologikoak lau taldetan sailkatu dira: aztarnategien mugatzea, datu-bilketarako erabilitako koadrikulen orientazioa, egitura jakinen detektagarritasuna eta anomalien interpretazioaren baieztatzearen inguruko aspektuak.

8.2.1. Aztarnategien mugatzea

Auritz-Aurizberriko aztarnategi erromatarreko adibideak ageriak jarri du aztarnategien mugak ezartzea ez dela berehalakoa. Kontraste magnetikorik ez dagoenean tentagarria suerta liteke arrasto arkeologikoen presentzia ezeztatzea, bereziki aztarnategiko beste gune batzuetan egitura arkeologikoak kontraste egokiz detektatu badira.

Hala ere, kontraste magnetikorik gabeko guneetariko batzuetan egitura arkeologikoen presentzia baieztatu egin da beste sistema geofisikoen eta indusketa arkeologikoen bitartez. Nabarmenezkoa da, era berean, zundaketa geoarkeologikoetan ere ez dela okupazio mailarik identifikatu gune hauetariko batzuetan (Otegiko galtzadaren inguruan, edo P5 guneko E18d anomalian, adibidez). Horrek aditzera ematen du zundaketak ere ezin direla aztarnategien mugatzea egiteko informazio iturri bakartzat erabili.

Auritz-Aurizberriko aztarnategiko emaitzetan oinarrituz miaketa magnetikoak egiturak detektatu ez dituen bi egoera identifikatu dira.

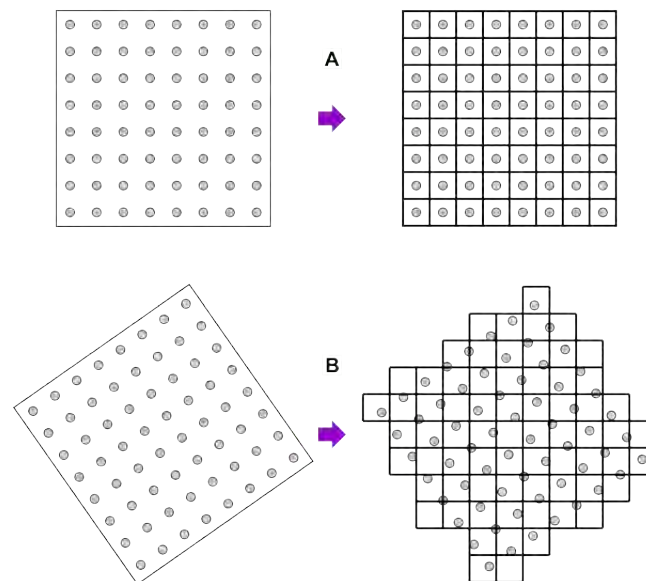
Kontraste magnetikorik gabeko guneetariko batzuetan indusketa arkeologikoei esker geruza arkeologikoak oso meheak direla ikusi ahal izan da, eta kontserbaturiko egiturak erromatar garaian lurrazpian egongo ziren oinarriak direla oro har. Horrez gain, suszeptibilitate magnetikoaren neurketek egitura horien eta inguruaren artean kontraste urria dagoela erakutsi dute. Teoria kapituluko 2.2.5. atalean azaldu bezala, giza ekintzek sedimentuen suszeptibilitate magnetikoan eragiten dute eta hori izan ohi da egiturak detektatzeko giltzatariko bat. Pentsatzekoa da garaiko zoruaren gainetiko egiturarik kontserbatu ez denean suszeptibilitate altuagoko sedimentuak desagertuta daudela, eta horrek metodo honekin detektatzeko gaitasunean eragiten duela. Modu honetan, geruza arkeologikoak meheak diren kasuetan kontraste magnetikoa ahula izateko aukera dagoela ondoriozta daiteke. Hau kontserbazio maila oso baxua duten aztarnategiak ikertzerako orduan kontuan izan beharrekoa da

eta, sistema magnetikoa erabili nahi izatekotan, detektatu nahi diren egiturek kontraste egokia dutela egiaztatu.

Zalduako E20 eraikinaren kasua bestelakoa da. Indusketarik burutu ez denez, ez dugu potentzia arkeologikoa ongi ezagutzen, baina zundaketa geoarkeologikoetan jatorri arkeologikoa esleitu zitzaion 0,66 m eta 0,87 metro bitartean ikusitako geruzari (ikusi 5.3.1.2. atala). Miaketa elektrikoak eta georradarrak eraikin baten paretak detektatu dituzte kontraste egokiarekin, eta ondorioz kontraste magnetikorik ez duen egitura baten aurrean gaude. Horren arrazoia oraindik ezin izan da guztiz azaldu, baina behin behinean neguko hilabeteetan urak hartutako gunea izateak eragindakoa denaren ustea dago. Izan ere egoera horretan kontraste magnetikoa ahultzen dela dioten ikerketak daude (Weston 2002; Weston 2004). Horregatik, egoera berdinean dauden guneetan miaketa magnetikoa tentuz erabili beharko litzateke.

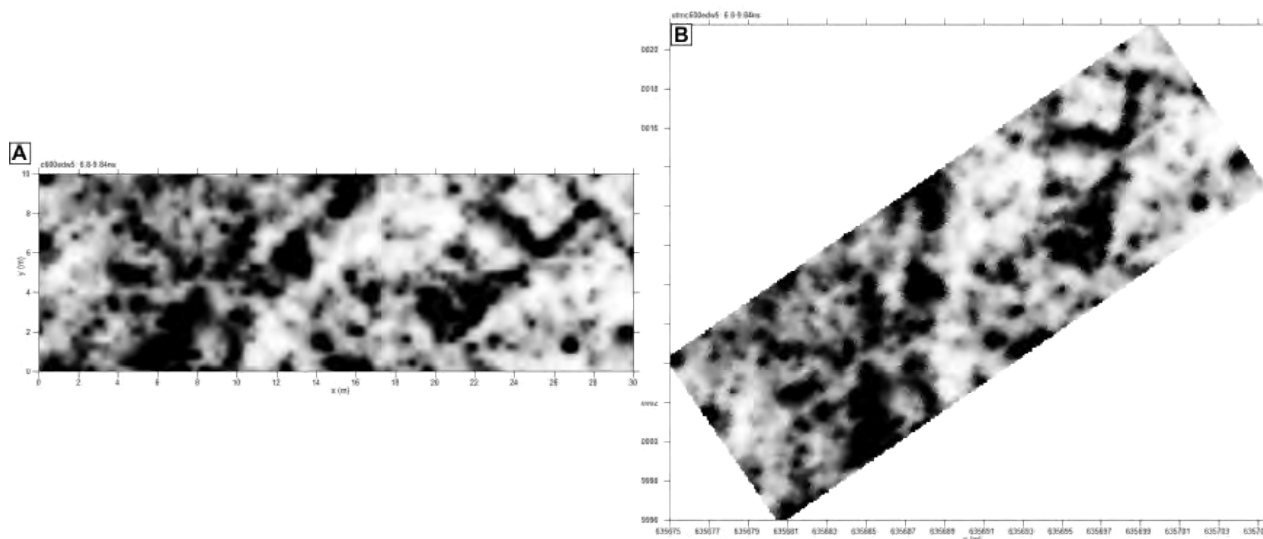
8.2.2. Koadrikularen orientazioa

Miaketa sistema-anitzak kapituluan azaldu bezala, koadrikularen orientazioak eragina du GIS softwareak erabiltzen direnean informazioa bateratzeko. Izan ere, sistema hauetan irudiak ipar-hego norabidean orientatuta daude, eta datu geofisikoak txertatzean pixelak ere horrela orientatzen ditu. Miaketa ez bada norabide horretan egin, neurketak ez dira homogeenoki banatuta egonen, eta pixela sortzeko interpolazioa egin beharko da (ikusi 8.13. irudia). Horrek irudiak zertxobait aldatzen ditu, eta batzuetan okerrago ikusten dira (ikusi 8.14. irudia).

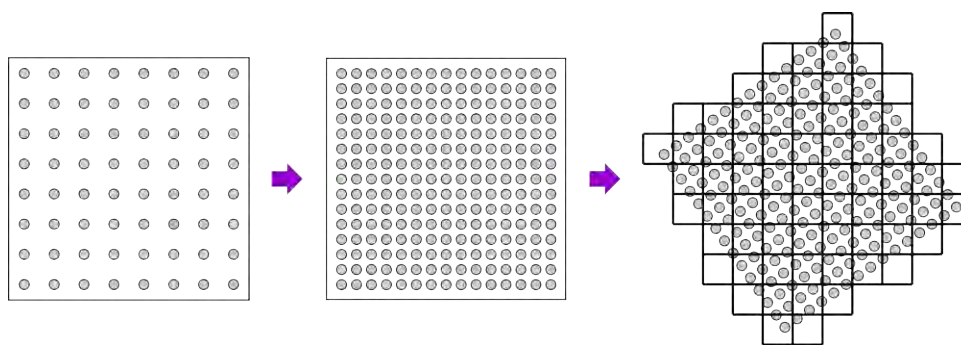


8.13. irudia: Datuen distribuzioa pixelak sortzeko momentuan koadrikularen orientazioaren arabera. A. Datuak ipar-hego norabidean biltzean pixel bakoitza datu bati dagokio. B. Datuak beste norabide batean bildu badira, ipar-hego norabideko pixelak sortzean datuen distribuzioa ez da homogenea.

Hori murrizteko era bat geoerreferentziatu baino lehen interpolazio asko burutzea da, honela datu kopurua biderkatu egiten delako. Ondoren, GIS sistemara eramatean berriz ere jatorriko tamainako pixela kalkulatzeko eska dakioke, eta puntu gehiago egongo direnez, banaketa homogeenagoa izanen da (ikusi 8.15. irudia). Hala ere, irtenbiderik onena datuak ipar-hego norabidean hartzea da. Miaketa-eremuaren formak edota egituren disposizioak ez badu eragozpenik sortzen, hau litzateke aukerarik errazena.



8.14. irudia: Irakurketa norabidearen eragina georradar datuetan. A. Zaldua gunean 2013an bildutako datu multzo batekin sorturiko anplitude-mapa, jatorrizko orientazioan. Profilen arteko aldea 0,40 metrokoa da, eta profil bakoitzaren barneko datu-dentsitatea 0,04 metrokoa. B. Datu-multzo berdina UTM koordinatu sisteman.



8.15. irudia: Koadrikularen orientazioak eragin dezakeen distortsioa txikiagotzeko aukera bat. Datuak interpolatu ostean, puntu gehiago egotea lortzen da. Errotazioaren ostean sortuko diren pixeletan datu distribuzioa homogeneoagoa izatea ahalbidetzen du horrek.

8.2.3. Egitura jakinen detektagarritasuna

Jarraian egitura jakin batzuen portaera geofisikoa azalduko da. Garrantzitsua da gogoratzea aztarnategi jakinetako egitura konkretuen portaera geofisikoak ez duela zertan beste aztarnategi batean ikuspuntu arkeologikotik antzekoa dirudien egitura batek duenaren berdina izan.

8.2.3.1. Galtzada

Auritz-Aurizberriko aztarnategia zeharkatzen duen galtzada errekarritzko harri pilaketa bat dela erakutsi dute indusketa arkeologikoen. Honek ez du kontraste magnetiko esanguratsurik sortu, eta miaketa magnetikoan identifikatu bada inguruko anomaliak utzitako tarteari esker izan da. Georradarrarekin zein miaketa elektrikoan, berriz, kontraste egokia erakutsi du.

Hori horrela, pentsatzekoa da miaketa magnetikoa ez dela sistema egokia galtzadaren ibilbidea ezagutu nahi bada, bereziki inguruan ez badago hura definituko duen beste eraikinik. Miaketa elektrikoa geldoagoa denez, beste eragozpenik ez badago georradarra izan daiteke teknika egokia.

8.2.3.2. Poste oinarriak

Auritz-Aurizberriko aztarnategian poste oinarriak detektatu dira georradar bidez. Miaketa magnetikoak, aldiz, ez du horiek identifikatzeko balio izan. Kasu honetan kontuan izatekoa da egituren kontserbazio maila baxua dela, indusi den guneetan behintzat.

Georradarrean kontraste egokia erakutsi duten arren, lorturiko irudiak argiagoak izan dira kota berdinetan beste egiturarik ez zegoen kasuetan, Otegiko D eta E miaketa-zuloetan, Zalduako P5 gunean baino. Gainera, aurkitutako oinarriak metro inguruko diametroa dute, eta profilen aldea 0,20 metrokoa izanik, 4-5 perfilek zeharkatu dute poste bakoitza. Txikiagoak izango balira, edo profilen arteko aldea handiagoa balitz, horiek identifikatzea zailagoa litzatekeela pentsatzekoa da. Horregatik, poste egiturak bilatu nahi badira esperotako tamainari arreta jartzea ezinbestekoa da, bereziki eraispenak edo egitura gainezarriak daudenean. Hori egitura mota guztietarako da horrela, zenbat eta inguru nahasiagoa orduan eta zailagoa delako irudien interpretazioa, eta orduan eta garrantzitsuagoa datu-dentsitatea egokia izatea.

8.2.3.3. Terma gunea

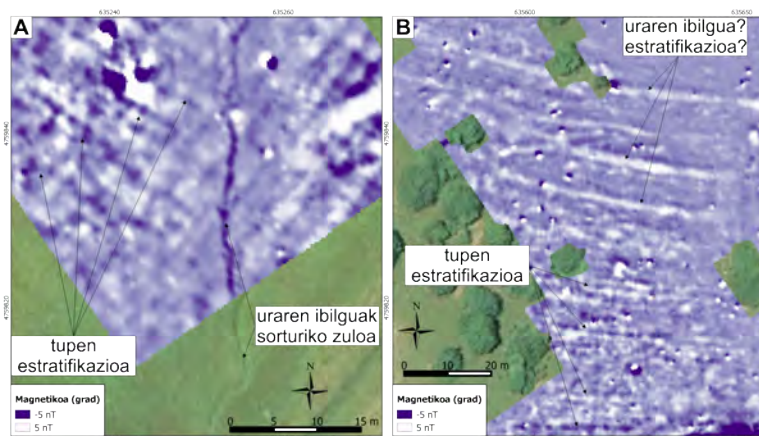
Auritz-Aurizberriko aztarnategian detektaturiko okupazio-guneak 4,50 hektarea inguru du. Tamaina ikusita, pentsatzekoa da terma gunea izango zuela, baina ez da bere kokagunea ezbairik gabe determinatu. Beroketan sua erabiltzen zenez, sistema magnetikoak detektatuko zituela espero zen. Izan ere, hipokaustoek kontraste altuko anomalia magnetikoa sortu ohi dutela aurki daiteke bibliografian (Fassbinder 2010).

Arazoa interpretazioan egon arren, hau da, lorturiko irudian terma non dagoen identifikatzeko gaitasun ezan, egitura partikular hauek bilatu nahi badira kontuan izatekoa da ez dutela zertan erraz identifikatzekoak izan. Izan ere, leku batean baino gehiagotan detektatu da kontraste altua eraikinen barnealdean (ikusi 128 orrialdeko 4.47. irudia) baina bi gauza hartu behar dira kontuan. Alde batetik, litekeena dela eraikin pribatuetan ere beroketa sistema izatea, eta bestetik, sedimentu arkeologikoen pilaketak ere kontraste altua sor dezakeela. Horregatik, terma gunearen identifikazioa egiteko beste informazio osagarriren bat behar da, eraikinaren forma adibidez.

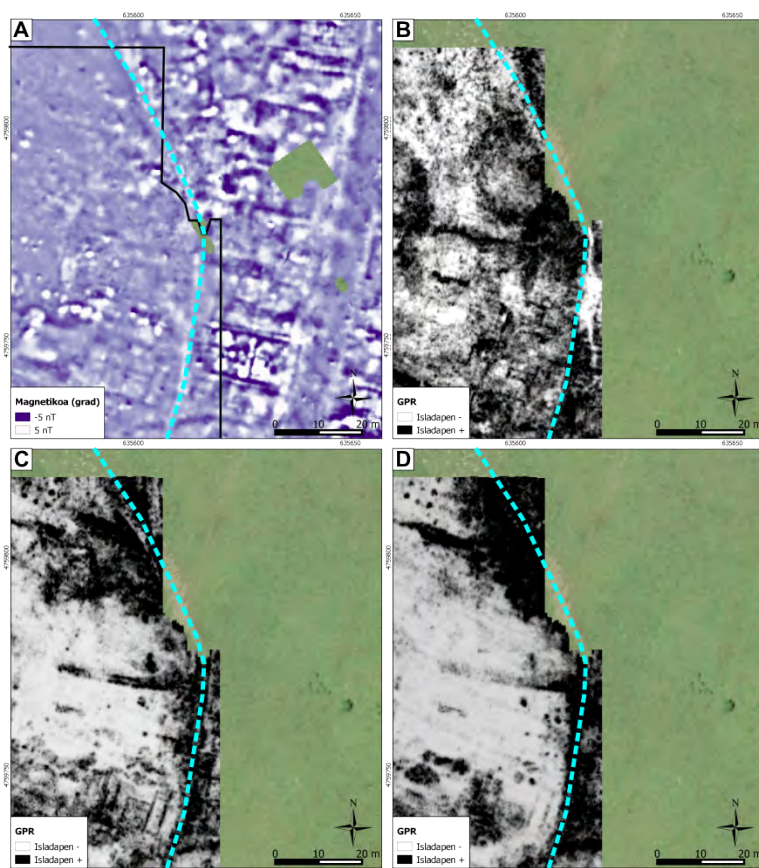
8.2.3.4. Egitura geologikoak

Bilatu ala ez, egitura geologikoak miaketa geofisikoetan agertzea posiblea da. Ikerturiko aztarnategietan hiru motako egiturak detektatu dira.

Alde batetik, uraren ibilguak erantzun geofisikoan eragiten duela ikusi da. Kasu batzuetan, erosioaren eraginez zulo-itxurako bidea egin bada, kontraste magnetiko negatiboa erakutsi dute. Horren arrazoia hutsuneak inguruko sedimentuaren aldean magnetizazio galera dakarrela da (ikusi 8.16. irudia, A). Beste batzuetan, aldiz, kontraste magnetiko positiboko egitura bezala agertu dira. Kasu horretan pilatutako sedimentutan egon daiteke azalpena. Georradar emaitzetan ere eragin du, eta Zalduan dagoen erreka islakor agertzen da anplitude-mapetan (8.17. irudia).



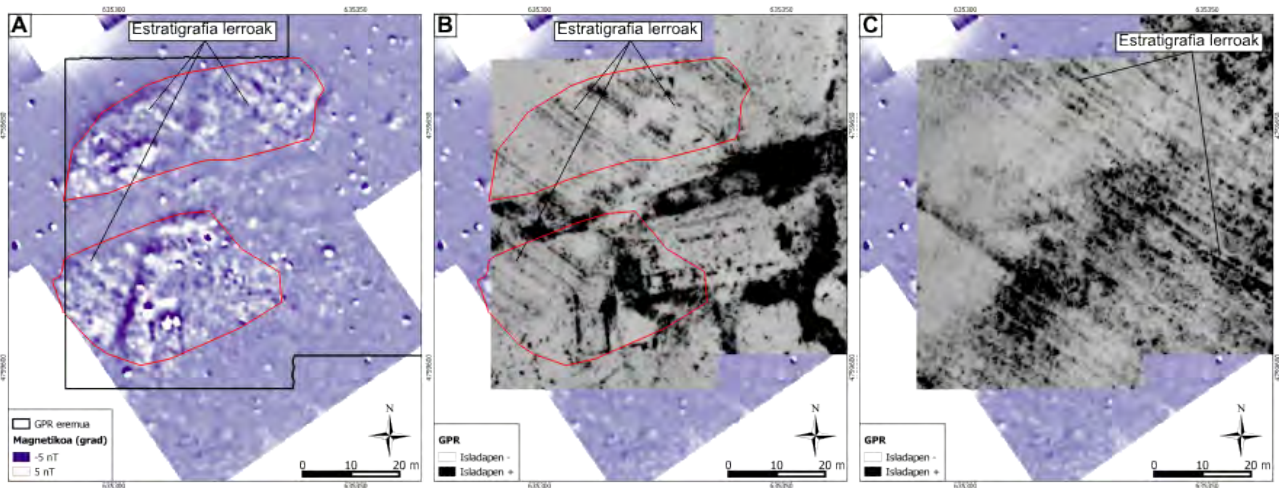
8.16. irudia: A. Otegi gunean uraren ibilguak sortutako ildaskak kontraste negatiboko anomalia sortu du. B. Zaldua gunearen iparraldean kontraste positiboko anomalia magnetikoak detektatu dira. Horiek arrokaren estratifikazioaren norabidea dute, baina beste guneetan horri esleitutakoak baino zabalagoak dira, eta alderantzizko kontrastea dute. Horregatik, interpretazioa zalantzarikoa da.



8.17. irudia: Zaldua gunea zeharkatzen duen erreka toaren seinale geofisikoa. A. Mapa magnetikoan (-15 nT urdinez, 15 nT zuriz) zati batzuetan kontraste positiboarekin eta bestetan negatiboarekin detektatu da. B, C eta D. Georradar datuekin sorturiko 4. (0,40-0,57 m), 8. (0,92-1,10 m) eta 11. (1,31-1,49 m) anplitude-mapak ($v=8,54$ cm/ns). Hasieran islapen baxuko gune bezala agertzen den arren, sakonera handiagoan gune islakor zabala sortzen du.

Bestalde, tupen estratifikazioa ere detektagarria suertatu da bi sistema horietan (8.18. irudia). Georradarrean geruzen gogor eta bigunagoen arteko etenuneak bezala interpretaturiko lerroak anplitude mapetan ikustea erraza izan da, baina horien islapenak radargrametan aurkitzea, berriz, konplexuagoa. Izan ere, kasu batzuetan intentsitate baxuko islapenak dira, eta ondoz-ondoko profil askotan detektatu izanak ematen dien jarraitasunak ahalbidetu du plano horizontalean hain

ongi nabarmentzea. Miaketa magnetikoan ere lerro horietariko batzuk ikus daitezke, baina ez da georradarrean bezain irudi argia. Zundaketetan ikusitakoaren ostean, esan daiteke gainazaletik gertuago dauden guneetan soilik ikusi izan direla lerro hauek, eta kontraste negatiboa erakutsi dutela. Hala ere, tupen gertutasunak kontraste magnetiko nahasia sortu du gune batzuetan, Otegiko *irla anomaloak* deiturikoetan. Horren azalpen zehatza ikerketa prozesuan dago oraino, baina baliteke tupen geruzen artean ura pasatzean bertan burdin oxidoak pilatzea.



8.18. irudia: Otegi guneke lerro geologikoak. A. Mapa magnetikoan *irla anomaloak* ikusten dira (gorriz inguratuta) eta horietan lerroak ere antzeman daitezke. B. eta C. Georradar datuekin sorturiko 5. anplitude-mapa (0,38-0,49 m) eta 15. anplitude-mapa (1,32-1,44 m) hurrenez hurren. *Irla anomaloen* gunean lerro geologikoak azalera agertzen direla ikusten da, gune horietan tupak gainazaletik gertuago daudela erakutsiz. Hori bat dator zundaketetan ikusitakoarekin, eta detektaturiko kontraste magnetiko nahasia horrekin loturik dagoela iradoki du.

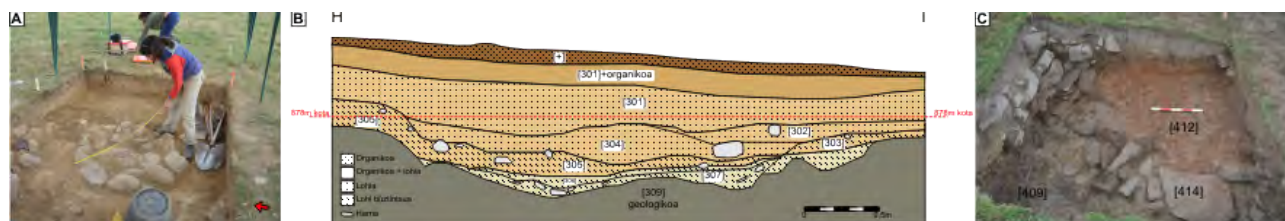
8.2.4. Anomalien interpretazioaren baieztatzea

Emaitza geofisikoetan oinarritutako interpretazio arkeologikoa egitea berebizikoa da teknika hauek arkeologiaren mesedera erabili nahi badira. Izan ere, kasu batzuetan irudiak oso argigarriak izan daitezkeen arren, datuek gorderiko informazioari etekina ateratzeko beharrezkoa da geofisika tekniken ezaugarrien inguruan nolabaiteko ezagutza izatea. Hala ere, detektaturiko anomalia sor dezakeen egitura bat baino gehiago dagoenez, interpretazio horiek nolabait baieztatzea ere oso garrantzitsua da, horietan oinarrituz erabakiak hartzeko asmoa dagoenean bereziki.

Auritz-Aurizberrin egindako zundaketak oso baliagarriak izan dira horretarako. Honelako aztarnategi handietan zaila da miaketak azalera tutako interes gune guztiak industea, eta zundaketei esker anomalia ezberdin asko "ikusteko" aukera egon da. Egia da kasu batzuetan ez dela anomalia sortzen duen fenomeno ulertzeko adina informazio bildu, baina kasu horietan ere galdera berriak sortu dira eta ikerketan aurrera egiteko bidea eman du. 2014ko kanpainan ez zen era sistematikoan zundaketetan ateratako materialen laginik jaso, eta horrek ez du landa lanetik kanpo azterketa berririk egiteko aukerarik eman. Zenbait galderaren erantzuna borobildu gabe geratu ziren eta laginik ez genuenez, zundaketa kanpaina berria burutu da 2016an. Testu hau idazteko orduan ez da oraindik laginen laborategiko analisiak egiteko aukerarik egon, baina bide horrek zenbait aspektu argituko dituen ustea dago, besteen artean kontraste magnetikoan eragin duten sedimentu geruzak zeintzuk izan diren.

Indusketa arkeologikoak egitea ere berebizikoa izan da. Miaketa-zuloak izan arren irekitako eremua zundaketetan aztertzen dena baino izugarri handiagoa da, eta normala den bezala ikuspuntu zabalagoa eskaintzen du. Interpretazio geofisiko batzuk baieztatu egin dira, eta beste batzuetan erantzun geofisikoa espero ez zen egiturek sortu dutela ikusi izan da. Emaitza geofisikoetan oinarrituta indusi izanak hiru gogoeta mahaigaineratzeko balio izan du.

Alde batetik, emaitza geofisikoaren interpretazio arkeologikoa egitean erratzeko arriskua dagoela onartu beharra dago. Izan ere, emaitzak objektiboak diren arren, interpretazioa subjektiboa da, eta norberaren esperientzian zein aztarnategiaren proiektzioan oinarritzen da. Honela, kasu batzuetan indusketak azaleratutakoa emaitza geofisikoekin bat etorri arren, ez da espero zena aurkitu. Hori da Auritz-Aurizberriko aztarnategiko A, B eta C miaketa-zuloetan gertaturikoa (8.19. irudia).



8.19. irudia: 2015. urtean indusitako miaketa-zuloak. A. A miaketa-zuloaren argazkia, non anomalia zirkularra poste oinarri batek sortua zela ikusi zen. B. B miaketa-zuloaren sekzioa. Georradarrean ikusitako anomalia lineala arrokan egindako ebaketa da. C. C miaketa-zuloaren argazkia. Putzu bat aurkitu ordez forja bat izan daitekeen egitura agertu zen.

Bestalde, aurkitutakoaren interes arkeologikoak geofisika tekniken arrakastaren balorazioan nolabait eragiten duela ikusi da. Horrela, Auritz-Aurizberriko A eta B miaketa-zuloetan aurkitutakoa geofisikan ikusitakoarekin bat etorri arren, egitura ikusgarrien ikusmira zapuztu egin zelako frustrazio sentimendua hedatu zen lantaldean, eta geofisikaren erabilgarritasunaren inguruko mezu zalantzatsuak eta zenbaitetan ezkorrak jaso genituen. Aztarnategi berdineko C miaketa-zuloan ere interpretazioa okerra izan zen baina, agerturiko egitura interesgarria delako edo, ez zen ezkortasunez bizi izan eta arazoa interpretazioan egon zela hobe barneratu zuen lantaldeak. Artzin ere geofisikak aurreikusitakoa agertu arren, esperotakoa baino aberatsagoa izan da bai material aldetik bai eta garrantzia arkeologikoagatik, eta horrek geofisika tekniken erabilgarritasunari balioa atxiki dio. Behaketa hauek geofisikaren arrakastaren balorazioa bera subjektiboa dela iradoki dute, eta interpretazio egokiaren garrantzia azpimarratzeko balio dute. Izan ere, arkeologiara zuzendutako geofisika baliagarria izango da baldin eta arkeologo taldeen beharrak asetzen baditu, eta horrek bilatutakoa aurkitzea dakar. Hala ere, geofisika tekniken erabilerarekin guztiz lotuta dago interpretazioetan okertzeko aukera, eta hori barneratzea litzateke egokiena. Beste modu batera esanda, teknika hauek lagungarriak dira baina ez dira arkeologiaren arazo guztiak konponduko dituen irtenbidea.

Bukatzeko, indusketa eta emaitza geofisikoak alderatzeko egon daitezkeen zailtasunak azalatu dira. Izan ere, ikuspuntu geofisikotik garrantzitsua denak ez du zertan arkeologiarako garrantzitsua izan, eta batzuetan ez da dokumentatzen. Seinale geofisikoari eragin ahal dioten faktoreei ere garrantzia ematea eta aldaketa horiek ere dokumentatzea ezinbestekoa da lorturiko emaitza geofisikoak ulertu nahi badira. Horregatik, beharrezkoa da horretan aditua den norbaitek indusketan parte hartzea, ondoren alderaketa egiteko aukera egotea bermatu nahi bada. Egia da horrek irudi geofisikoan oinarrituta sorturiko interpretazioaren bila industeko arriskua duela, baina egia da ere inork ez duela

aurreiritzirik gabe industen. Indusketa ororen gakoa aurkitu nahi dena eta aurkitzen denaren artean ezberdintzen jakitean datza, geofisika erabili ala ez. Ez dut, beraz, geofisikari esker lorturiko irudiak ezagutzeak indusketari gaizki egiten dion ustearekin bat egiten. Alderantziz, miaketa geofisikoen indusketa eremuek baino azalera handiagoa hartu ohi dute, eta horrek indusketaren testuingurua errazago ulertzea ahalbidetzen duelakoan nago.

Geofisikak luzatutako emaitzak ikusgarriak izan arren industearen garrantzia azpimarratzea ezinbestekoa da. Teknika hauek ez lirateke indusketa arkeologikoen ordeztu moduan ulertu behar, horien eraginkorrago egiteko tresna bezala baizik. Argi dago itsu-itsuan industea baino eraginkorrago izan daitekeela aurkituko denaren informazioa eskuan edukita industea. Baina kontuan izan behar da ere geofisikak ikusi ezin duen gune arkeologiko interesgarriak egon daitezkeela, eta beraz ezin da geofisikak guztia azalduko duenik espero. Gainera ez da ahaztu behar indusketak materialak azaleratzen dituela, eta askotan horiek berebizikoak direla aztarnategiaren kronologia zehazteko, edota gune jakin baten funtzioa argitzeko.

8.3. Etorkizunerako erronkak

Ikerketa honetan informazio arkeologiko garrantzitsua biltzeaz gain, geofisikaren bidez detektaturiko anomalia batzuen jatorria argitzeko aukera egon da, eta etorkizunean teknika hauek aplikatzerako orduan kontuan izan beharreko zenbait gako ondorioztatu dira. Aldi berean, interpretazio arkeologikoaren arriskuak mahaigaineratu ditu, eta emaitza geofisikoen eragiten duten faktoreak zeintzuk diren determinatzea ez dela beti erraza ikustarazteko balio izan du.

Orain artekoak ekarpen garrantzitsua egin du eta izugarriko aurrerapausoa izan da. Ikerturiko bi aztarnategi nagusietan, Auritz-Aurizberriko eta Artziko aztarnategi erromatarretan, geofisikak baldintzatu eta bideratu du ikerketa taldearen estrategia arkeologikoa, eta horri esker hurrengo urteetan burutuko den ikerketaren ildo nagusiak zehaztuta geratu dira. Erakunde publikoek aztarnategi horiekiko duten kudeaketa ere aldatu egin da, bai babes eremuak finkatzeko lortutako informazioengatik, zein baliabideak era eraginkorrago batean erabiltzeko aukeragatik. Modu honetan, Euskal Herri mailan metodologia geofisikoa era sistematikoan eta integratuan aplikatu duten aztarnategi aitzindariak bihurtu dira.

Tesi lan hau amaitu den arren, miaturiko aztarnategien ikerketak aurrera darrai. Indusketa berriak egin ahala, detektaturiko anomalien inguruan informazio berria bilduko da, eta alderaketak egiteko aukera egongo da. Horrek erantzun geofisikoen eragin duten faktoreak ulertzeko aukera berriak zabalduko ditu, baita ere egindako interpretazio arkeologikoak baieztatuz edo ezeztatuz.

Bestalde, zundaketetan jasotako laginak laborategian aztertzeak aukera egotean kontraste magnetikoan eragin duten faktoreak hobeto ulertzeko gako berriak bilduko dira. Suszeptibilitate magnetikoa neurtzea ezinbestekoa izango da horretarako, hori delako suarekin loturik ez dauden anomaliatan eragiten duen faktore nagusia. Beste parametro batzuk, mineral ferromagnetikoen karakterizazioak adibidez, suszeptibilitatean eragin duten fenomenoak zeintzuk izan diren ulertzen lagun dezake.

Bidea ez da beraz amaitu, eta ikerketak aurrera egin ahala emaitza berriak lortuko dira.

Bibliografia

- Adam, J.-P. (1995). *La construction romaine. Matériaux et techniques. Troisième édition*. Paris: A. et J. Picard.
- Agirre-Mauleon, J., Txoperena, J. M., eta Puldain, J. (2011). Calzadas romanas en el Pirineo Occidental (Auritz-Burguete, Artzibar-Valle de Arce y Erroibar-Valle de Erro, Navarra). *Aranzadiana 2011*, orrialdeak: 96–97.
- Agirre-Mauleon, J., Txoperena, J. M., eta Puldain, J. (2012a). Calzadas romanas en el Pirineo Occidental (Navarra). II Campaña. *Aranzadiana 2012*, orrialdeak: 93–95.
- Agirre-Mauleon, J., Txoperena, J. M., eta Puldain, J. (2012b). Proyecto de prospección arqueológica en los términos municipales de Luzaide-Valcarlos, Orreaga-Roncesvalles, Auritz-Burguete, Erroibar-Valle de Erro y Artzibar-Valle de Arce. Nafar gobernuan sarturiko txosten arkeologikoa non 2012an burututako katak azaltzen diren.
- Agirre-Mauleon, J., Txoperena, J. M., eta Puldain, J. (2013). Calzadas romanas en el Pirineo Occidental (Navarra). III Campaña. *Aranzadiana 2013*, orrialdea: 104.
- Agirre-Mauleon, J., Txoperena, J. M., eta Puldain, J. (2014). Calzadas romanas en el Pirineo Occidental (Navarra). IV Campaña. *Aranzadiana 2014*, orrialdeak: 103–104.
- Altadill, J. (1922). Geografía histórica de Navarra. Los despoblados. *Boletín de la Comisión de Monumentos Históricos y Artísticos de Navarra*, **52**: 261–265.
- Andrews, J., Hill, J., Nicholls, M., eta Rauxloh, P. (2014). Iturissa roman town (Navarra). Geo-archaeological Evaluation Report. Museum Of London Archaeology. Argitaratu gabeko behin-behineko txostena.
- Andrés-Gallego, J. (1998). *Burguete-Auritz: Nueve Siglos de Historia*. Auritz-Burguete: Auritz-Burguete Udala.
- Annan, A. P. (2009). Electromagnetic Principles of ground Penetrating Radar (kapitulua). Jol, H. M., editorea, *Ground Penetrating Radar: Theory and Applications*, orrialdeak: 3–40. Oxford: Elsevier Science.
- Aspinall, A., Gaffney, C., eta Conyers, L. (2008a). Archaeological prospection - the first fifteen years. *Archaeological Prospection*, **15**(4): 241–245.
- Aspinall, A., Gaffney, C., eta Schmidt, A. (2008b). *Magnetometry for Archaeologists*. Lanham: AltaMira Press.

- Benech, C. (2007). New approach to the study of city planning and domestic dwellings in the ancient Near East. *Archaeological Prospection*, **14**(2): 87–103. doi:10.1002/arp.306.
- Bevan, B. W. (1994). The magnetic anomaly of a brick foundation. *Archaeological Prospection*, **1**(2): 93–104. doi:10.1002/1099-0763(199412)1:2<93::AID-ARP6140010203>3.0.CO;2-L.
- Bevan, B. W. (1998). *Geophysical Exploration for Archaeology: An Introduction to Geophysical Exploration*. Lincoln, Nebraska: National Park Service.
- Bevan, B. W. (2000). An early geophysical survey at Williamsburg, USA. *Archaeological Prospection*, **7**(1): 51–58. doi:10.1002/(SICI)1099-0763(200001/03)7:1<51::AID-ARP128>3.0.CO;2-I.
- Bevan, B. W. (2002). *Geophysical Detection of Brick Structures*. Number 7 in Geosight Technical Report. Weems (Virginia): Geosight.
- Bienes Calvo, J. J., Sola Torres, O., Sala, R., Garcia-Garcia, E., eta Tamba, R. (2015). El Villar de Ablitas. Campañas arqueológicas 2010-2014 y prospección geofísica. *Trabajos de Arqueología Navarra (TAN)*, **27**: 153–183.
- Binda, L., Lenzi, G., eta Saisi, A. (1998). NDE of masonry structures: use of radar tests for the characterisation of stone masonries. *NDT & E International*, **31**(6): 411 – 419. doi:10.1016/S0963-8695(98)00039-5.
- Blot, J. (1979). Les rites d'incineration en Pays Basque durant la protohistoire. *Munibe Antropologia-Arkeologia*, **3-4**: 219–236.
- Bossuet, G., Thivet, M., Trillaud, S., Marmet, E., Laplaige, C., Dabas, M., Hullin, G., Favard, A., Combe, L., Barres, E., Lacaze, S., Aubry, L., Chassang, M., Mourot, A., eta Camerlynck, C. (2012). City Map of Ancient Epomanduodurum (Mandeure-Mathay, Franche-Comté, Eastern France): Contribution of Geophysical Prospecting Techniques. *Archaeological Prospection*, **19**(4): 261–280. doi:10.1002/arp.1433.
- Boucher, A. R. (1996). Archaeological feedback in geophysics. *Archaeological Prospection*, **3**(3): 129–140. doi:10.1002/(SICI)1099-0763(199609)3:3<129::AID-ARP49>3.0.CO;2-#.
- Büyüsaray, A., Arisoy, M. Ö., Bektas, Ö., Koçak, Ö., eta Çay, T. (2008). Determination of grave locations in Dedemezari Necropolis (Western Turkey) using magnetic field derivatives. *Archaeological Prospection*, **15**(4): 267–283. doi:10.1002/arp.338.
- Campana, S. eta Piro, S., editoreak (2009). *Seeing The Unseen. Geophysics and Landscape Archaeology*. London: Taylor & Francis Group.
- Canto, A. M. (1997). La tierra del toro. Ensayo de identificación de ciudades vasconas. *Archivo Español de Arqueología*, **70**: 31–70.
- Cassidy, N. J. (2009a). Ground Penetrating Radar Data Processing, Modelling and Analysis (kapitulua). Jol, H. M., editorea, *Ground Penetrating Radar: Theory and Applications*, orrialdeak: 141–176. Oxford: Elsevier Science.

- Cassidy, N. J. (2009b). Electrical and Magnetic Properties of Rocks, Soils and Fluids (kapitulua). Jol, H. M., editorea, *Ground Penetrating Radar: Theory and Applications*, orrialdeak: 41–72. Oxford: Elsevier Science.
- Clark, A. (1996). *Seeing Beneath the Soil: Prospecting Methods in Archaeology, 2nd edition*. Batsford: London.
- Clay, R. B. (2001). Complementary geophysical survey techniques: Why two ways are always better than one. *Southeastern Archaeology*, **20**(1): 31–43.
- Conyers, L. (2006). Ground-Penetrating Radar Techniques to Discover and Map Historic Graves. *Historical Archaeology*, **40**(3): 64–73.
- Conyers, L. (2012). *Interpreting Ground-penetrating Radar for Archaeology*. Walnut Creek, CA.: Left Coast Press.
- Conyers, L. (2013). *Ground-Penetrating Radar for Archaeology, Third edition*. Plymouth: AltaMira Press.
- Conyers, L. eta Goodman, D. (1997). *Ground Penetrating Radar: An Introduction for Archaeologists*. Walnut Creek, CA.: Altamira Press.
- Crew, P. (2002). Magnetic Mapping and Dating of Prehistoric and Medieval Iron-working Sites in Northwest Wales. *Archaeological Prospection*, **9**: 163–182. doi:10.1002/arp.191.
- Dabas, M. (2009). Theory and practice of the new fast electrical imaging system ARP© (kapitulua). Campana, S. eta Piro, S., editoreak, *Seeing the Unseen, Geophysics and Archaeology*, orrialdeak: 105–126. London: Taylor & Francis Group.
- Dabas, M. (2016). Electrical Surveying. Garcia-Garcia, E., de Prado, G., eta Principal, J., editoreak, *Working with buried remains at Ullastret (Catalonia). Proceedings of the 1st MAC International Workshop of Archaeological Geophysics*. Ullastret: Museu d'Arqueologia de Catalunya.
- Dabas, M., Hesse, A., eta Tabbagh, J. (2000). Experimental resistivity survey at Wroxeter archaeological site with a fast and light recording device. *Archaeological Prospection*, **7**(2): 107–118. doi:10.1002/1099-0763(200006)7:2<107::AID-ARP138>3.0.CO;2-0.
- Davis, J. L. eta Annan, A. P. (1989). Ground-Penetrating Radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting*, **37**(5): 531–551. doi:10.1111/j.1365-2478.1989.tb02221.x.
- De Smedt, P., Meirvenne, M. V., Saey, T., Baldwin, E., Gaffney, C., eta Gaffney, V. (2014). Unveiling the prehistoric landscape at Stonehenge through multi-receiver {EMI}. *Journal of Archaeological Science*, **50**: 16 – 23. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2014.06.020.
- De Smedt, P., Saey, T., Lehouck, A., Stichelbaut, B., Meerschman, E., Islam, M. M., Vijver, E. V. D., eta Meirvenne, M. V. (2013). Exploring the potential of multi-receiver {EMI} survey for geoarchaeological prospection: A 90 ha dataset. *Geoderma*, **199**: 30 – 36. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.07.019. Proximal Soil Sensing Papers from the Second Global Workshop on Proximal Soil SensingSecond Global Workshop on Proximal Soil Sensing.

- Desvignes, G., Tabbagh, A., eta Benech, C. (1999). The determination of the depth of magnetic anomaly sources. *Archaeological Prospection*, **6**(2): 85–105. doi:10.1002/(SICI)1099-0763(199906)6:2<85::AID-ARP119>3.0.CO;2-I.
- Eder-Hinterleitner, A., Neubauer, W., eta Melichar, P. (1996). Restoring magnetic anomalies. *Archaeological Prospection*, **3**(4): 185–197. doi:10.1002/(SICI)1099-0763(199612)3:4<185::AID-ARP56>3.0.CO;2-X.
- English Heritage (2007). *Geoarchaeology Using earth sciences to understand the archaeological record*. Swindon: English Heritage.
- English Heritage (2008). *Geophysical Survey in Archaeological Field Evaluation 2nd Edition*. Swindon: English Heritage.
- Evans, M. E. eta Heller, F. (2003). *Environmental Magnetism. Principles and Applications of Enviromagnetics*. Academic Press.
- Fassbinder, J. (2015). Seeing beneath the farmland, steppe and desert soil: magnetic prospecting and soil magnetism. *Journal of Archaeological Science*, **56**: 85 – 95. doi:10.1016/j.jas.2015.02.023. Scoping the Future of Archaeological Science: Papers in Honour of Richard Klein.
- Fassbinder, J. eta Stanjekt, H. (1993). Ocurrence of bacteria magnetite in soils from Archaeological sites. *Archaeologia Polona*, **33**: 129–140.
- Fassbinder, J., Stanjekt, H., eta Vali, H. (1990). Occurrence of magnetic bacteria in soil. *Nature*, **343**(6254): 161–163. doi:10.1038/343161a0.
- Fassbinder, J. E. (2010). Geophysical prospection of the frontiers of the Roman Empire in southern Germany, UNESCO World Heritage Site. *Archaeological Prospection*, **17**(3): 129–139. doi:10.1002/arp.387.
- Gaffney, C. (2008). Detecting trends in the prediction of the buried past: a review of geophysical techniques in archaeology. *Archaeometry*, **50**(2): 313–336. doi:10.1111/j.1475-4754.2008.00388.x.
- Gaffney, C., Gaffney, V., Neubauer, W., Baldwin, E., Chapman, H., Garwood, P., Moulden, H., Sparrow, T., Bates, R., Löcker, K., Hinterleitner, A., Trinks, I., Nau, E., Zitz, T., Floery, S., Verhoeven, G., eta Doneus, M. (2012). The Stonehenge Hidden Landscapes Project. *Archaeological Prospection*, **19**(2): 147–155. doi:10.1002/arp.1422.
- Gaffney, C., Gater, J., eta Ovenden, S. (2002). The Use of Geophysical Techniques in Archaeological Evaluations. *Institute of Field Archaeologists*, (Paper No.6).
- Gaffney, C. F., Gater, J. A., Linford, P., Gaffney, V. L., eta White, R. (2000). Large-scale systematic fluxgate gradiometry at the roman city of Wroxeter. *Archaeological Prospection*, **7**(2): 81–99. doi:10.1002/1099-0763(200006)7:2<81::AID-ARP145>3.0.CO;2-6.
- Garcia, E., Padrós, C., Pujol, A., Sala, R., eta Tamba, R. (2010). Resultats preliminars de la primera campanya d'excavació al jaciment de Puig Ciutat (Oristà, Osona). *AUSA*, **XXIV-166**: 685–714.

- Garcia, E., Sala, R., Tamba, R., eta Buces, J. (2012). Prospección geofísica multisistema en el yacimiento arqueológico de Irulegi (Lakidain, Nafarroa). *7ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica*, orrialdeak: 643–647.
- Garcia-Garcia, E., Agirre-Mauleon, J., Andrews, J., Aranburu, A., Arrazola, H., Etxegoien, J., Fuldáin, J., Hill, J., Iriarte, E., Legorburu, M., Mtz. Txoperena, J. M., Nicholls, M., Rauxloh, P., eta Zubiria, R. (2015a). Geoarchaeological core prospection investigation to improve the archaeological interpretation of geophysical data: case study of a Roman settlement at Auritz (Navarre). *Archaeologia Polona*, **53**: 88–91.
- Garcia-Garcia, E., Agirre-Mauleon, J., Aranburu, A., Arrazola, H., Hill, J., Etxegoien, J., Mtz. Txoperena, J. M., Rauxloh, P., eta Zubiria, R. (2015b). The Roman settlement at Auritz (Navarre): preliminary results of a multi-system approach to asses the functionality of a singular area. *Archaeologia Polona*, **53**: 92–94.
- Garcia-Garcia, E., Mtz. Txoperena, J. M., Sala, R., Aranburu, A., eta Agirre-Mauleon, J. (2016a). Magnetometer Survey at the Newly-discovered Roman City of Auritz/Burguete (Navarre). Results and Preliminary Archaeological Interpretation. *Archaeological Prospection*, **23**(4): 243–256. doi:10.1002/arp.1537. ARP-15-0030.R1.
- Garcia-Garcia, E., Prado, G. d., eta Principal, J., editoreak (2016b). *Working with buried remains at Ullastret (Catalonia)*. *Proceedings of the 1st MAC International Workshop of Archaeological Geophysics*. Ullastret: Museu d'Arqueologia de Catalunya.
- Garcia-Garcia, E., Sala, R., Arrazola, H., Iriarte, E., Lekuona, E., Puldain, J., Mtz. Txoperena, J. M., Zubiria, R., eta Agirre-Mauleon, J. (2014). Magnetic prospection to describe an unknown settlement related to a roman road. *20th Annual Meeting of the European Association of Archaeologists. 10-14 September 2014 Istanbul (Turkey)*, orrialdea: 185. European Association of Archaeologists.
- Garcia-Garcia, E., Sala, R., eta San Jose, S. (2009). Descripción geofísica de un derrumbe. Prospección georadar y corrección topográfica en el poblado fortificado de Munoandi (Azkoitia-Azpeitia, Gipuzkoa). Saiz, M., Romero, R., Cano, M., eta Calvo, J. C., editoreak, *VIII Congreso de Arqueometría*, orrialdeak: 221–230.
- Garcia Garcia, E., Sala Bartroli, R., eta Tamba, R. (2013). Prospección geofísica multisistema en los municipios de Auritz-Burguete y Aurizberri-Espinal para la determinación de zonas de expectativa arqueológica. Informe de Intervención. Argitaratu gabeko txostena.
- Gater, J. eta Gaffney, C. (2003). *Revealing the Buried Past: Geophysics for Archaeologists*. Stroud: Tempus.
- Geoscan Research (2009). *Resistance Meter RM15-D. Instruction Manual version 2.98*.
- Goodman, D. (2016). *GPR-SLICE v7.0 User's Manual*.
- Goodman, D., Nishimura, Y., Hongo, H., eta Higashi, N. (2006). Correcting for topography and the tilt of ground-penetrating radar antennae. *Archaeological Prospection*, **13**(2): 157–161. doi:10.1002/arp.284.

- Goodman, D., Nishimura, Y., eta Rogers, J. D. (1995). GPR time slices in archaeological prospection. *Archaeological Prospection*, **2**(2): 85–89. doi:10.1002/1099-0763(199506)2:2<85::AID-ARP6140020204>3.0.CO;2-
- Goodman, D. eta Piro, S. (2013). *GPR Remote Sensing in Archaeology*. New York: Springer Science. doi:10.1007/978-3-642-31857-3.
- Gran Enciclopedia de Navarra (1990). *Roncesvalles*. Iruñea-Pamplona: Caja Navarra.
- GSSI (2006). *GSSI Handbook For RADAR Inspection of Concrete*. Salem, New Hampshire: Geophysical Survey Systems, Inc.
- Harrison, D., Hill, J., Lerz, A., eta Rauxloh, P. (2015). Iturissa Roman Town. Report on an Archaeological Evaluation. December 2015. Museum Of London Archaeology. Argitaratu gabeko behin-behineko txostena.
- Herbich, T. (2009). Magnetic survey of the Late Period grate temple enclosure in Tell el-Balamun, Egypt. *ArchéoSciences*, **suppl. 33**: 77–79.
- Hesse, A. (1978). *Manuel de prospection géophysique appliquée à la reconnaissance archéologique*. Dijon: Université de Dijon.
- Hesse, A. (1999). Multi-parametric survey for archaeology: how and why, or how and why not? *Journal of Applied Geophysics*, **41**: 157 – 168. doi:http://dx.doi.org/10.1016/S0926-9851(98)00040-8.
- Hesse, R. (2010). LiDAR-derived Local Relief Models - a new tool for archaeological prospection. *Archaeological Prospection*, **17**(2): 67–72. doi:10.1002/arp.374.
- Hunt, C. P., Moskowitz, B. M., eta Banerjee, S. K. (1995). Magnetic properties of rocks and minerals (kapitulua). Ahrens, T. J., editorea, *Rock Physics and Phase Relations: A Handbook of Physical Constants*, orrialdeak: 189–204. Washington, DC: American Geophysical Union.
- Irigaray, J. (2016). *Auritz, Argazki zaharretan / Burguete, Una crónica en imágenes*.
- Jimeno Jurío, J. (1973). El mito del camino alto entre Roncesvalles y Saint-Jean-Pied-de-Port. *Príncipe de Viana*, **130-131**: 85–175.
- Jones, G. eta Maki, D. L. (2005). Lightning-induced magnetic anomalies on archaeological sites. *Archaeological Prospection*, **12**(3): 191–197. doi:10.1002/arp.257.
- Jusué Simonena, C., Unzu Urmeneta, M., eta García-Barberena Unzu, M. (2010). Evidencias arqueológicas sobre la muerte en el Camino de Santiago. *Trabajos de Arqueología Navarra (TAN)*, (22): 195–248.
- Kultura Ondarearen Zentroa. Eusko Jaurlaritza (1985). *Arkeoikuska*.
- Kvamme, K. L. (2006). Integrating multidimensional geophysical data. *Archaeological Prospection*, **13**(1): 57–72. doi:10.1002/arp.268.
- Le Borgne, E. (1955). Susceptibilité magnétique anormale du sol superficiel. *Annales de Géophysique*, **11**: 399–419.

- Linford, N. (2004). Magnetic ghosts: mineral magnetic measurements on Roman and Anglo-Saxon graves. *Archaeological Prospection*, **11**(3): 167–180. doi:10.1002/arp.232.
- Linford, N. T. eta Cinti, M. G. (2001). Geophysical evidence for fires in antiquity: preliminary results from an experimental study. Paper given at the EGS XXIV General Assembly in The Hague, April 1999. *Archaeological Prospection*, **8**(4): 211–225. doi:10.1002/arp.170.
- Maher, B. A. eta Taylor, R. M. (1988). Formation of ultrafine-grained magnetite in soils. *Nature*, **336**(6197): 368–370.
- Marescot, L. (2007). *Géophysique Appliquée à l'Archéologie. Partie 1: méthodes électriques, sielectro et gravimétriques*. Cours bloc. Université de Fribourg. Mars 2007.
- Marshall, A. (1999). Magnetic prospection at high resolution: survey of large silo-pits in Iron Age enclosures. *Archaeological Prospection*, **6**(1): 11–29. doi:10.1002/(SICI)1099-0763(199903)6:1<11::AID-ARP110>3.0.CO;2-V.
- Martínez-Sala, R., Rodríguez-Abad, I., Barra, R. D., eta Capuz-Lladrá, R. (2013). Assessment of the dielectric anisotropy in timber using the nondestructive GPR technique. *Construction and Building Materials*, **38**(0): 903 – 911. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.052. 25th Anniversary Session for ACI 228 – Building on the Past for the Future of NDT of Concrete.
- Mozzi, P., Fontana, A., Ferrarese, F., Ninfo, A., Campana, S., eta Francese, R. (2015). The Roman City of Altinum, Venice Lagoon, from Remote Sensing and Geophysical Prospection. *Archaeological Prospection*, orrialdeak: n/a–n/a. doi:10.1002/arp.1520.
- Museum of London Archaeology Service (1994). *Archaeological Site Manual. 3rd edition*. London: Museum of London.
- Neal, A. (2004). Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. *Earth-Science Reviews*, **66**: 261–330. doi:10.1016/j.earscirev.2004.01.004.
- Neubauer, W. eta Eder-Hinterleitner, A. (1997a). 3D-interpretation of postprocessed archaeological magnetic prospection data. *Archaeological Prospection*, **4**(4): 191–205. doi:10.1002/(SICI)1099-0763(199712)4:4<191::AID-ARP86>3.0.CO;2-T.
- Neubauer, W. eta Eder-Hinterleitner, A. (1997b). Resistivity and Magnetics of the Roman Town Carnuntum, Austria: an Example of Combined Interpretation of Prospection Data. *Archaeological Prospection*, **4**: 179–189.
- Neubauer, W., Eder-Hinterleitner, A., Seren, S., eta Melichar, P. (2002). Georadar in the Roman Civil Town Carnuntum, Austria: An Approach for Archaeological Interpretation of GPR Data. *Archaeological Prospection*, **9**: 135–156. doi:10.1002/arp.183.
- Neubauer, W., Seren, S., Hinterleitner, A., Löcker, K., eta Melichar, P. (2009). Archaeological interpretation of combined magnetic and GPR surveys of the roman town Flavia Solva, Austria. *ArchéoSciences*, **suppl. 33**: 225–228.

- Novo, A., Dabas, M., eta Morelli, G. (2012). The STREAM X Multichannel GPR System: First Test at Vieil-Evreux (France) and Comparison with Other Geophysical Data. *Archaeological Prospection*, **19**(3): 179–189. doi:10.1002/arp.1426.
- Nowaczinski, E., Schukraft, G., Hecht, S., Rassmann, K., Bubenzer, O., eta Eitel, B. (2012). A Multimethodological Approach for the Investigation of Archaeological Ditches -Exemplified by the Early Bronze Age Settlement of Fidvár Near Vrábľe (Slovakia). *Archaeological Prospection*, **19**(4): 281–295. doi:10.1002/arp.1434.
- Olano, A. (1995). Burdin Aroko aztarnategietako miaketak. *Arkeoikuska*, **1995**: 236–238.
- Onk, S., Slomp, C. P., eta Huisman, D. J. (2009). Geochemistry as an aid in archaeological prospection and site interpretation: current issues and research directions. *Archaeological Prospection*, **16**(1): 35–51. doi:10.1002/arp.344.
- Orellana, E. (1982). *Prospección geoelectrica en corriente continua. Segunda Edición Corregida y Ampliada*. Madrid: Paraninfo.
- Ostolaza, M. I. (1978). *Colección Diplomática de Santa María de Roncesvalles 1127-1300*. Gobierno de Navarra.
- Peréx, M. J. eta Unzu, M. (1988). Nuevo asentamiento de época romana en Navarra. *Espacio, Tiempo y Forma. Serie II, Hª Antigua*, **1**: 323–331.
- Peréx, M. J. eta Unzu, M. (1990). Emplazamiento de Iturissa, Mansio en la vía de Astorga a Burdeos. *Simposio sobre la red viaria en la Hispania romana, Tarazona (Zaragoza), del 24 al 26 de setiembre de 1987*, volume - of *Actas*, orrialdeak: 373–384. Centro de Estudios Turiasonenses de la Institución Fernando el Católico, Institución Fernando el Católico: Zaragoza.
- Peréx, M. J. eta Unzu, M. (1997-1998). Necrópolis y poblado de época romana en Espinal (Navarra). *Trabajos de Arqueología Navarra (TAN)*, **13**: 75–115.
- Piro, S., Mauriello, P., eta Cammarano, F. (2000). Quantitative integration of geophysical methods for archaeological prospection. *Archaeological Prospection*, **7**: 203–213.
- Reitz, J. R., Milford, F. J., eta Christy, R. W. (1996). *Fundamentos de la Teoría Electromagnética. Cuarta Edición*. Naucalpan de Juárez: Addison Wesley.
- Sala, R., Garcia-Garcia, E., eta Tamba, R. (2010). Prospecció geofísica multisistema al jaciment arqueològic de Vilauba (Camós, Pla de l'Estany). Informe d'Intervenció. SOT Prospecció Arqueològica. Argitaratu gabeko txostena.
- Sala, R., Garcia-Garcia, E., eta Tamba, R. (2011). GPR Imaging of Structural Elements. Case Study of the Restoration Project of the Modernist Historic Site of Sant Pau. *Proceedings of the 9th International Conference on Archaeological Prospection. Izmir, Turkey, 19.-24.09*. Istanbul: Archaeology and Art Publications.
- Sala, R., Garcia-Garcia, E., eta Tamba, R. (2012). Archaeological Geophysics - From Basics to New Perspectives (kapitulua). *Archaeology, New Approaches in Theory and Techniques*, orrialdeak: 133–166.

- InTech. doi:10.5772/45619. Available from: <http://www.intechopen.com/books/archaeology-new-approaches-in-theory-and-techniques/archaeological-geophysics-from-basics-to-new-perspectives>.
- Sala, R., Lafuente, M., eta Garcia-Garcia, E. (2007). Prospecció amb georadar a l'església parroquial de Sant Vicenç dels Horts (Baix Llobregat, Barcelona). Informe d'Intervenció. SOT Prospecció Arqueològica. Argitaratu gabeko txostena.
- Sala, R., Principal, J., Olmos, P., Tamba, R., eta Garcia, E. (2013). Multimethod Geophysical Survey at the Iron Age Iberian Site of El Molí d'Espígol (Tornabous, Lleida, Catalonia): Exploring Urban Mesh Patterns Using Geophysics. *Archaeological Prospection*, **20**: 249–265. doi:10.1002/arp.1459.
- Sala, R., Tamba, R., eta Garcia-Garcia, E. (2016). Application of Geophysical Methods to Cultural Heritage. *Elements*, **12**(1): 19–25. doi:10.2113/gselements.12.1.19.
- San Jose, S. (2000). Munoaundi gotorlekua (Azkoitia-Azpeitia). *Arkeoikuska*, **2000**: 109–110.
- San Jose, S. (2007). Munoaundiko herri harresitua (Azkoitia-Azpeitia). *Arkeoikuska*, **2007**: 406–407.
- San Jose, S. (2008). Munoaundiko herrigune gotortua (Azkoitia-Azpeitia). *Arkeoikuska*, **2008**: 451–452.
- San Jose, S. (2009). Munoaundiko herrigune gotortua (Azkoitia-Azpeitia): IV. kanpaina. *Arkeoikuska*, **2009**: 163–164.
- San Jose, S. (2012). Munoaundiko herri harresitua (Azkoitia-Azpeitia). *Arkeoikuska*, **2012**: 335–336.
- San Jose, S. (2013). Munoaundiko herri harresitua (Azkoitia-Azpeitia). *Arkeoikuska*, **2013**: 341–342.
- San Jose, S., Garcia-Garcia, E., eta Orue, I. (2014). Munoaundi herri harresitua (Azkoitia, Azpeitia): IX. Kanpaina. *Arkeoikuska*, **2014**: 391–392.
- San Jose, S., Martinez, A., eta Calvo, J. (2015). Estudio preliminar del sistema defensivo del poblado protohistórico de Munoaundi (Azpeitia - Azkoitia, Gipuzkoa, Euskal Herria): entrada principal con sus estructuras defensivas. *Congreso Internacional de Fortificaciones de la Edad del Hierro: Control de los Recursos y el Territorio. Zamora*, orrialdeak: 15–30. Asociación Científico-Cultural Zamora-Protohistórica, Glyphos Publicaciones.
- San Jose, S. eta Olaetxea, C. (1998). Munoaundiko gotorlekua (Azkoitia-Azpeitia). *Arkeoikuska*, **1998**: 145–147.
- Schmidt, A. (2001). Visualisation of multi-source archaeological geophysics data (kapitulua). Cucarzi, M. eta Conti, P., editoreak, *Filtering, Optimisation and Modelling of Geophysical Data in Archaeological Prospecting*, orrialdeak: 149–160. Rome: Fondazione Ing. Carlo M. Lerici.
- Schmidt, A. (2004). Remote Sensing and Geophysical Prospection. *Internet Archaeology*, **15**. doi:10.11141/ia.15.9.
- Schmidt, A. (2013a). *Earth resistance for archaeologists*. Plymouth: AltaMira Press.
- Schmidt, A. (2013b). *Geophysical Data in Archaeology: A Guide to Good Practice 2nd, fully revised print edition*. Guides to good Practice. Oxford: Oxbow Books.

- Schmidt, A., Linford, P., Linford, N., David, A., Gaffney, C., Sarris, A., et al. Fassbinder, J. (2015). *EAC Guidelines for the Use of Geophysics in Archaeology: Questions to Ask and Points to Consider*. Europae Archaeologiae Consilium.
- Scollar, I., Tabbagh, A., Hesse, A., et al. Herzog, I. (1990). *Archaeological Prospecting and Remote Sensing*. Topics in Remote Sensing. Cambridge: Cambridge University Press.
- Scollar, I., Weidner, B., et al. Segeth, K. (1986). Display of archaeological magnetic data. *Geophysics*, **51**: 623–633. doi:10.1190/1.1442116.
- Tamba, R. (2012). Testing the Use of Geostatistics to Improve Data Visualization. Case Study on GPR Survey of Tarragona's Cathedral. *Archaeological Prospection*, **19**(3): 167–178. doi:10.1002/arp.1425.
- Teixidó, T., Peña, J. A., Fernández, G., Burillo, F., Mostaza, T., et al. Zancajo, J. (2013). Ultradense Topographic Correction by 3D-Laser Scanning in Pseudo-3D Ground-penetrating Radar Data: Application to the Constructive Pattern of the Monumental Platform at the Segeda I Site (Spain). *Archaeological Prospection*, **21**(2): 113–123. doi:10.1002/arp.1464.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., et al. Sheriff, R. E. (1990). *Applied Geophysics. Second Edition*. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781139167932.
- Tite, M. S. et al. Mullins, C. (1971). Enhancement of the magnetic susceptibility of soils on archaeological sites. *Archaeometry*, **13**(2): 209–219. doi:10.1111/j.1475-4754.1971.tb00043.x.
- Trinks, I., Johansson, B., Gustafsson, J., Emilsson, J., Friberg, J., Gustafsson, C., Nissen, J., et al. Hinterleitner, A. (2010). Efficient, large-scale archaeological prospecting using a true three-dimensional ground-penetrating Radar Array system. *Archaeological Prospection*, **17**(3): 175–186. doi:10.1002/arp.381.
- Tsokas, G. N., Tsourlos, P. I., Stampolidis, A., Katsonopoulou, D., et al. Soter, S. (2009). Tracing a major Roman road in the area of ancient Helike by resistivity tomography. *Archaeological Prospection*, **16**(4): 251–266. doi:10.1002/arp.355.
- Unzu, M. et al. Peréx, M. J. (2010). Segunda necrópolis de incineración de época romana en Espinal (Navarra). *Trabajos de Arqueología Navarra (TAN)*, **22**: 93–114.
- Van Dam, R. L., Schlager, W., Dekkers, M. J., et al. Huisman, J. A. (2002a). Iron oxides as a cause of GPR reflections. *Geophysics*, **67**(2): 536–545. doi:10.1190/1.1468614.
- Van Dam, R. L., van den Berg, E. H., van Heteren, S., Kasse, C., Kenter, J. A., et al. Groen, K. (2002b). Influence of Organic Matter in Soils on Radar-Wave Reflection: Sedimentological Implications. *Journal of Sedimentary Research*, **72**(3): 341–352. doi:10.1306/092401720341.
- Verdonck, L., Simpson, D., Cornelis, W. M., Plyson, A., Bourgeois, J., Docter, R., et al. Van Meirvenne, M. (2009). Ground-penetrating radar survey over bronze age circular monuments on a sandy soil, complemented with electromagnetic induction and fluxgate gradiometer data. *Archaeological Prospection*, **16**(3): 193–202. doi:10.1002/arp.359.

Vermeulen, F., Corsi, C., eta De Dapper, M. (2012). Surveying the Townscape of Roman Ammaia in Portugal: An Integrated Geoarchaeological Investigation of the Forum Area. *Geoarchaeology*, **27**(2): 123–139. doi:10.1002/gea.21402.

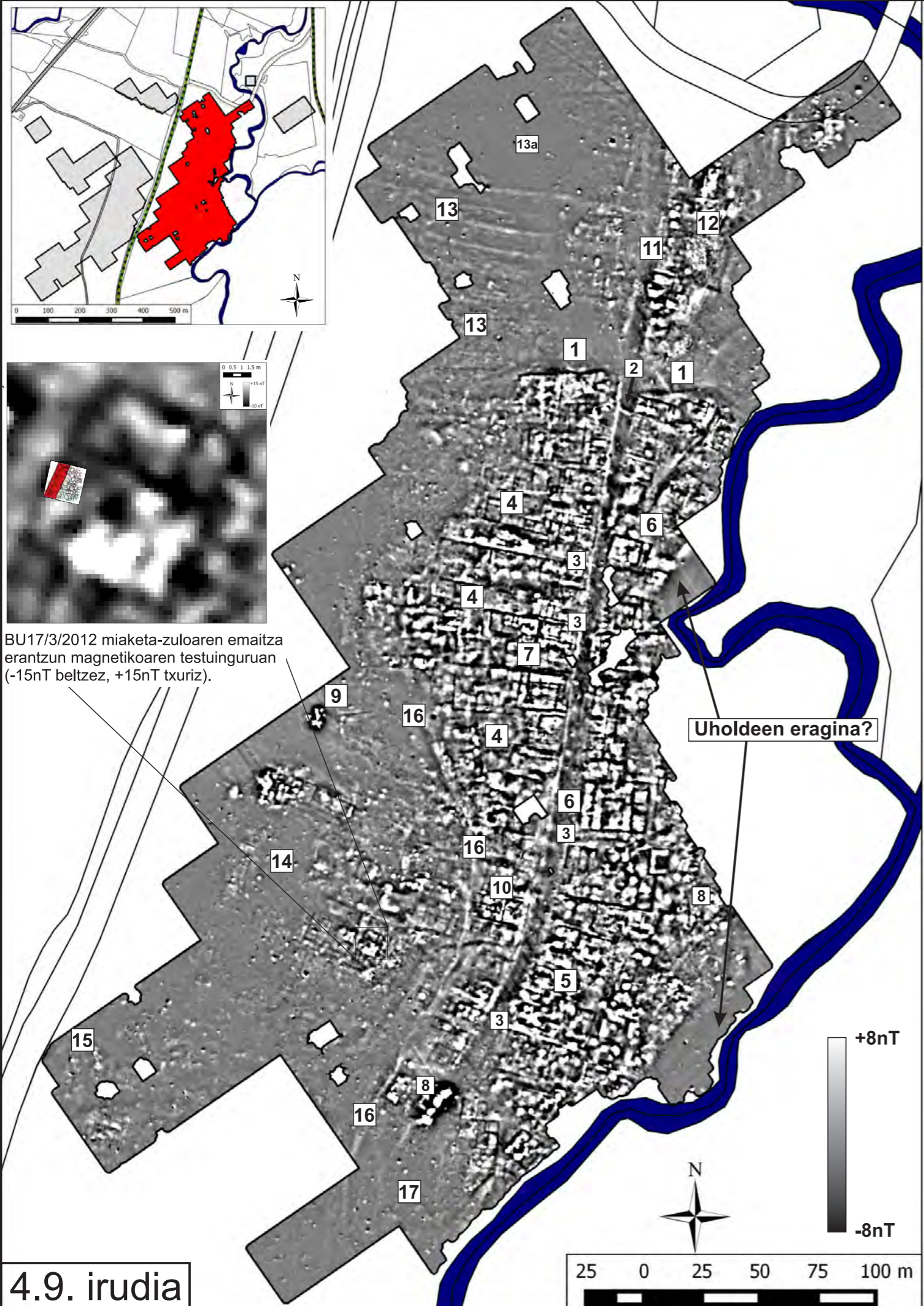
Weston, D. G. (2002). Soil and susceptibility: aspects of thermally induced magnetism within the dynamic pedological system. *Archaeological Prospection*, **9**(4): 207–215. doi:10.1002/arp.196.

Weston, D. G. (2004). The influence of waterlogging and variations in pedology and ignition upon resultant susceptibilities: a series of laboratory reconstructions. *Archaeological Prospection*, **11**(2): 107–120. doi:10.1002/arp.230.

Yelf, R. eta Yelf, D. (2006). Where is True Time Zero? *Electromagnetic Phenomena*, **7**(1 (18)): 158–163.

ZH Instruments (2008). Magnetic susceptibility meter SM-30. User's Manual.

Erantsitako planoak

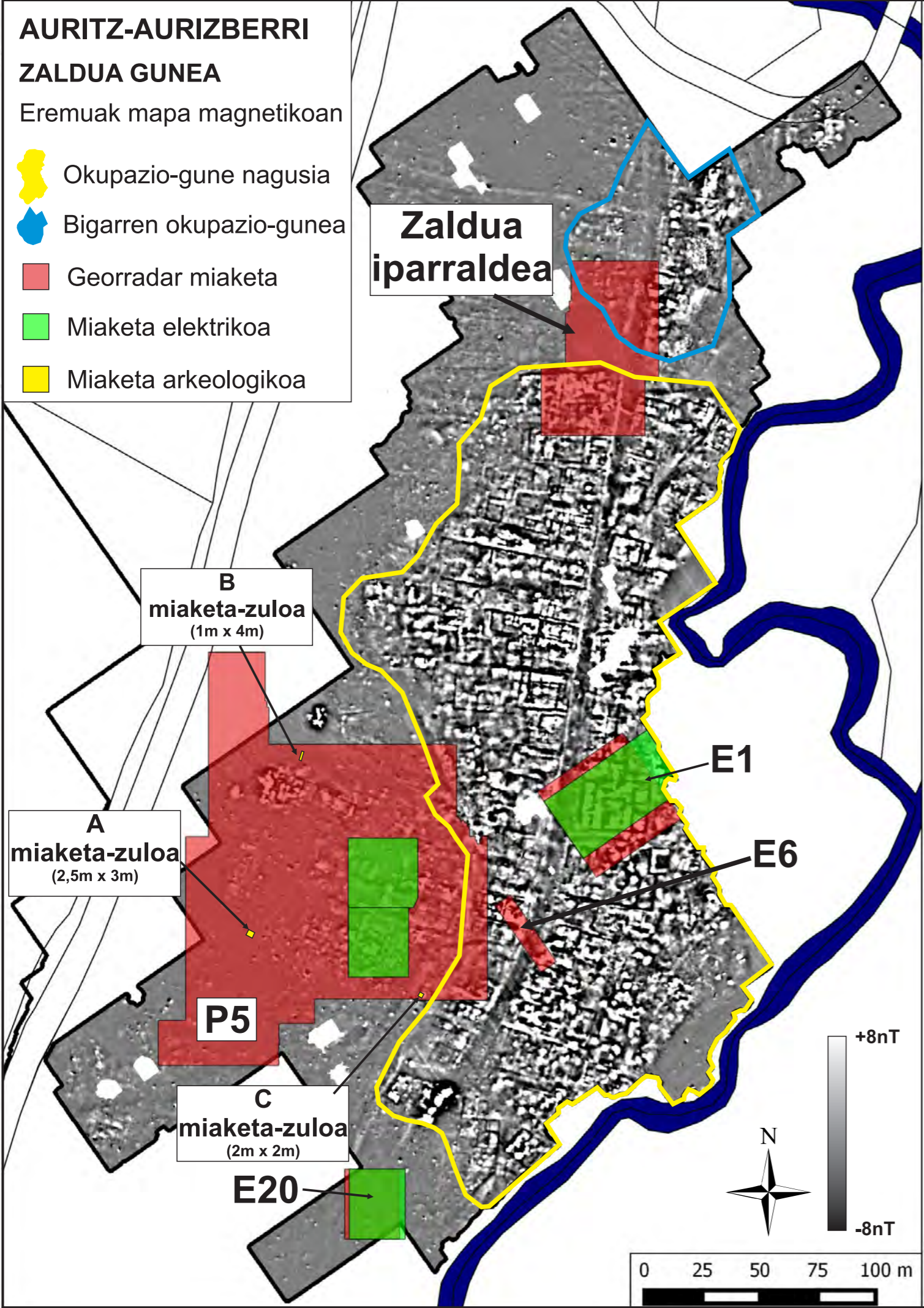


AURITZ-AURIZBERRI

ZALDUA GUNEA

Eremuak mapa magnetikoan

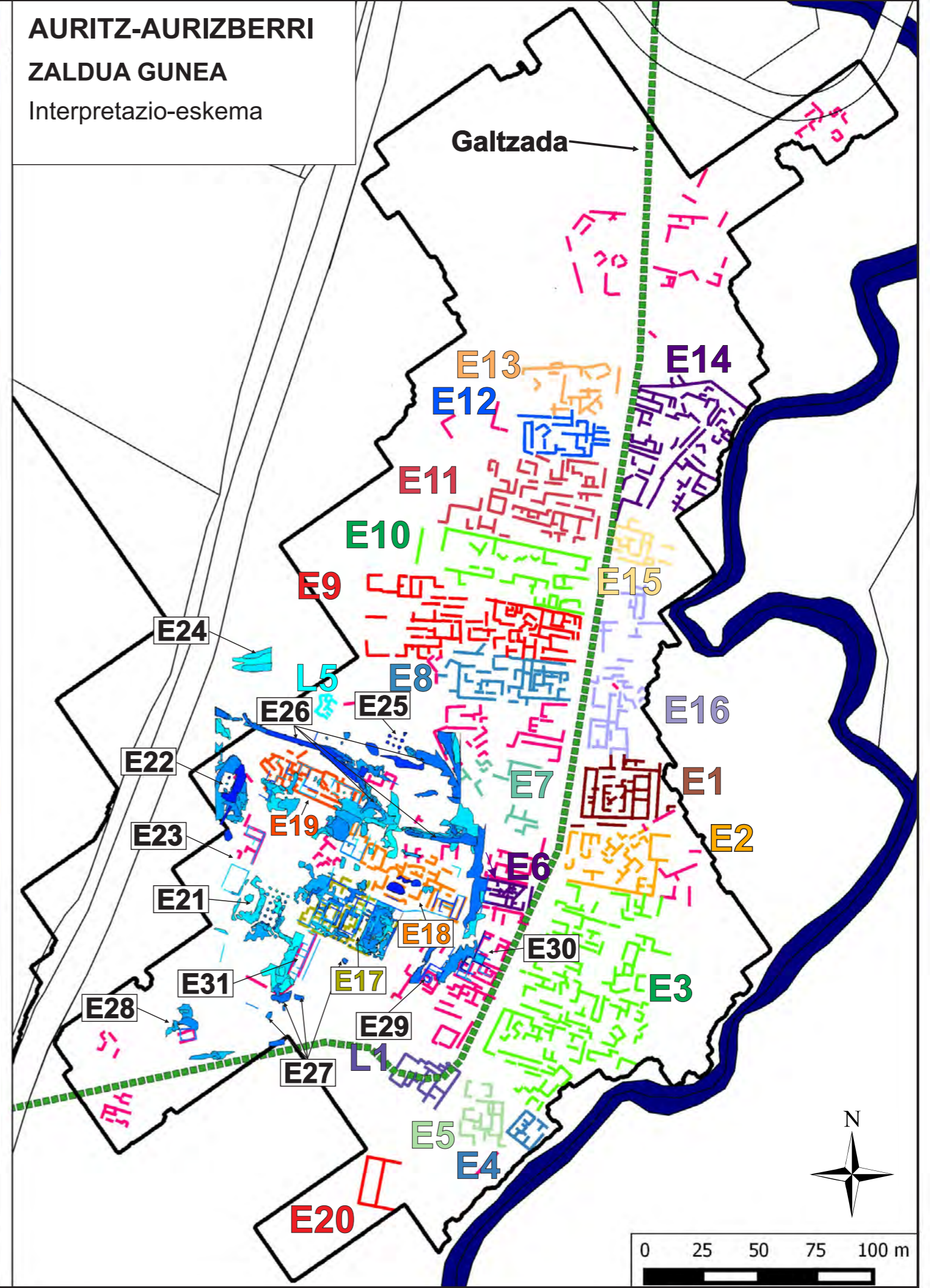
- Okupazio-gune nagusia
- Bigarren okupazio-gunea
- Georadar miaketa
- Miaketa elektrikoa
- Miaketa arkeologikoa

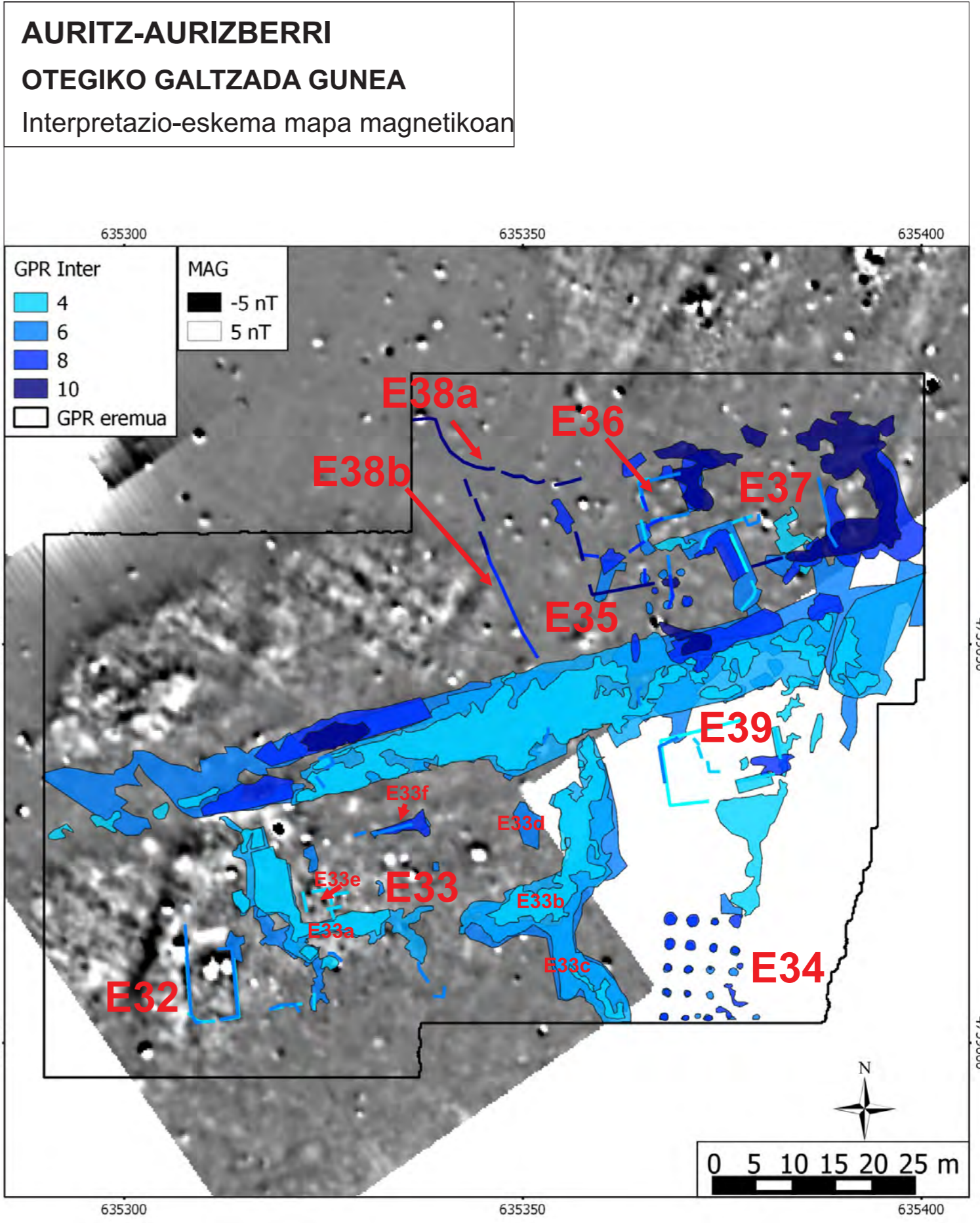


AURITZ-AURIZBERRI

ZALDUA GUNEA

Interpretazio-eskema





AURITZ-AURIZBERRI

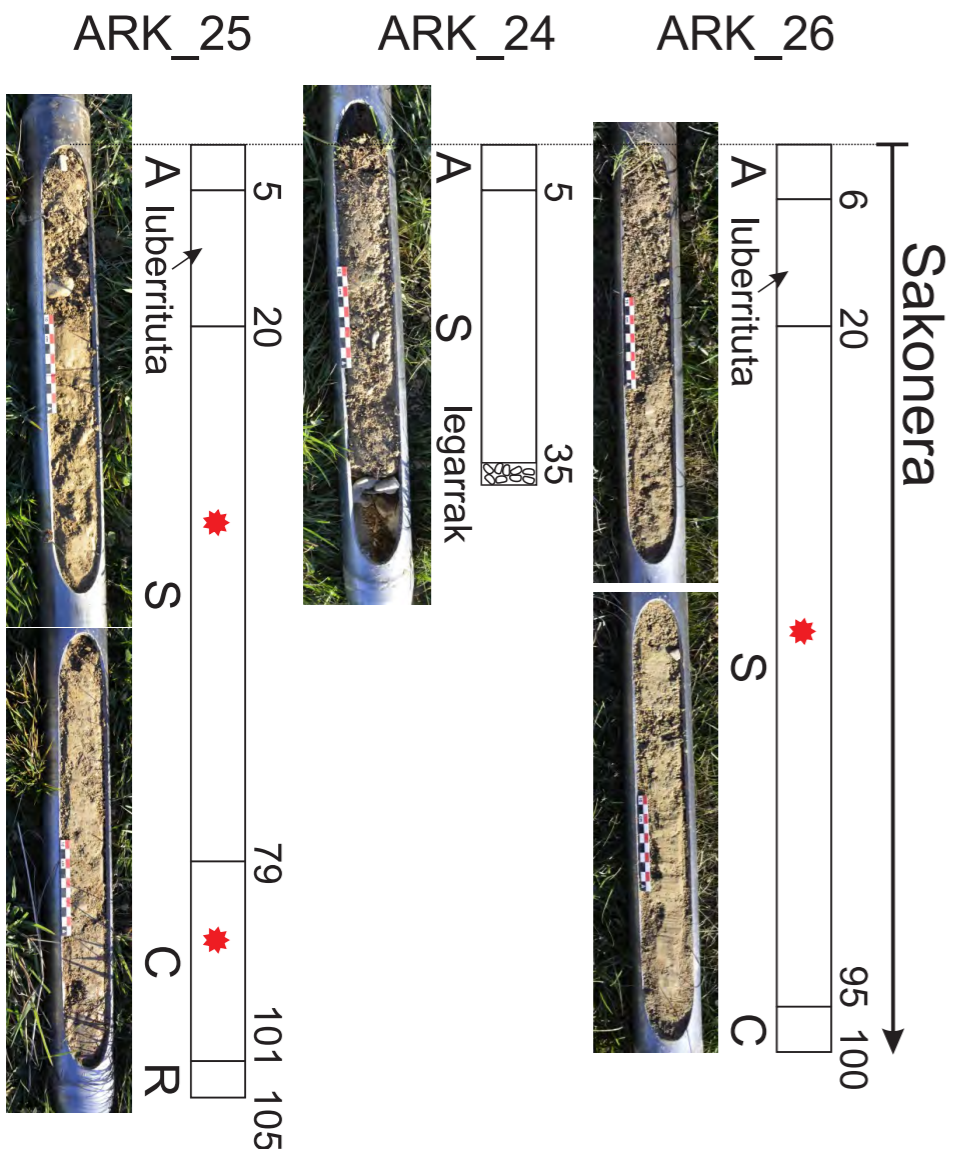
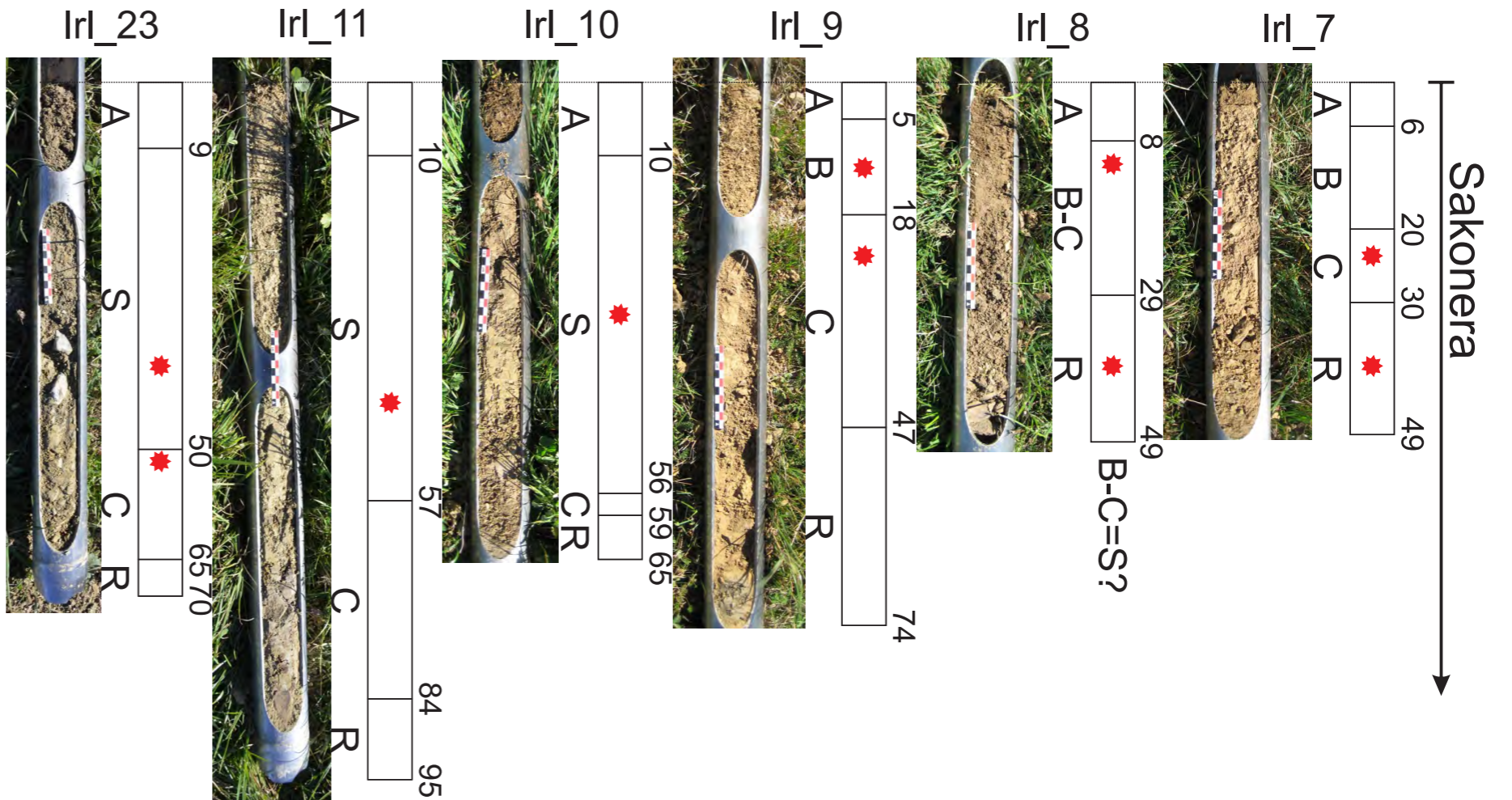
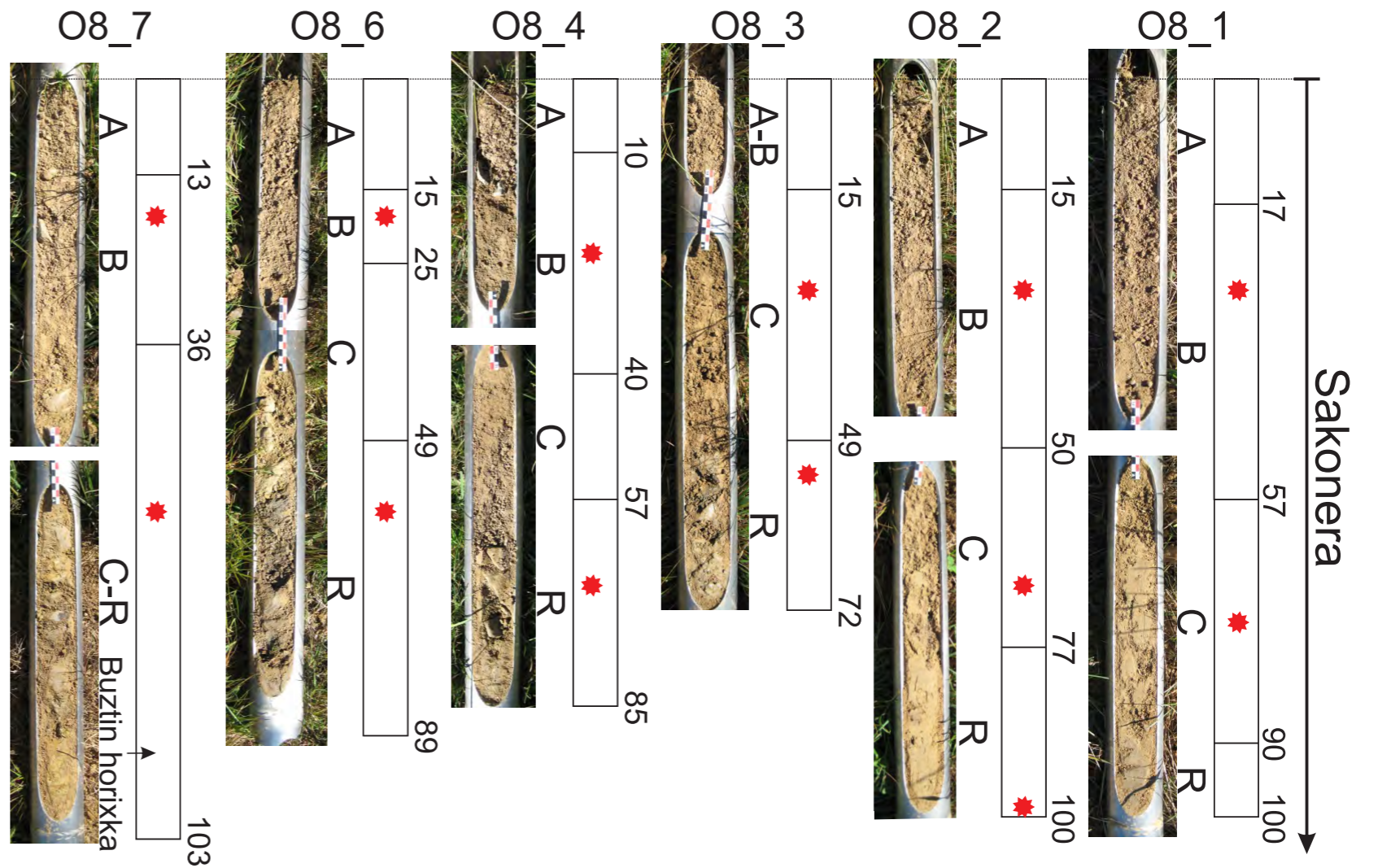
OTEGI GUNEA

2016ko zundaketa kanpaina.

Zunden argazkiak eta intepretazioa.

Jasotako laginen kokapena adierazten du izar gorriak.

Interpretazio-eskemak eskalan marraztuta daude, eta argazkiak ahal izan den neurrian eskala horretara egokitu dira.



Geofisika tekniken karakterizazioa Euskal Herriko Antzinaroko aztarnategi arkeologikoetan

Ikerketa honen helburua arkeologiara bideraturiko geofisikaren sistemen metodologian eta emaitzen interpretazioan sakontzea da. Auritz-Aurizberriko aztarnategi erromatarra erabili da ikerketaren ardatz gisa, nahiz eta beste aztarnategi batzuk ere ikertu diren.

Aplikaturiko metodologian miaketa magnetikoa erabili da lehenengo, eta horretan oinarrituz definitu dira beste sistemekin aztertzeko interes-guneak. Horietan georradarra eta miaketa elektrikoa aplikatu dira, bakoitzarekin lorturiko emaitzak alderatzeko. Erantzun geofisikoa zerk sortu duen argitzeko zundaketak burutu dira anomalia geofisiko interesgarri batzuetan. Korrez gain, indusketa arkeologikoak ere egin dira miaketa-zuloen kokapena emaitza geofisikoan oinarrituta. Alderaketa errazteko informazio guztia GIS proiektuetan txertatuta aztertu da.

Erorritako ondorioak beste aztarnategietan aplikatzea ez da zuzenean egin daitekeen zerbait, erantzun geofisikoan eragiten duten faktoreak anitzak direlako. Hala ere, antzeko aztarnategietarako baliagarriak diren ondorio metodologikoak eratorri dira.