



**Universitat de les
Illes Balears**

Facultat de Filosofia i Lletres

Memòria del Treball de Fi de Grau

Anàlisi i cartografia del sistema hidràulic andalusí de la Vall de Coanegra

Xim Esteso Sastre

Grau en Geografia

Any acadèmic 2019 - 2020

DNI de l'alumne: XXXXXXXXXX

Treball tutelat per Miquel Grimalt Gelabert

Departament de Geografia

S'autoritza la Universitat a incloure aquest treball en el Repositori Institucional per a la seva consulta en accés obert i difusió en línia, amb finalitats exclusivament acadèmiques i d'investigació	Autor		Tutor	
	Sí	No	Sí	No
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Paraules clau del treball: Sistema hidràulic andalusí, Cartografia semi-automàtica, Vall de Coanegra, LiDAR

Índex

Llista de figures.....	Pàgina 4
Llista de taules.....	Pàgina 4
Llista d'acrònims.....	Pàgina 4
Resum.....	Pàgina 5
Abstract.....	Pàgina 5
1. Introducció.....	Pàgina 6
1.1. Antecedents.....	Pàgina 7
1.2. Hipòtesis i objectius.....	Pàgina 10
2. Metodologia.....	Pàgina 10
3. Àrea d'estudi	Pàgina 13
4. Resultats i discussió.....	Pàgina 18
4.1. Cartografia semi-automàtica del sistema hidràulic.....	Pàgina 18
4.2. Anàlisi de l'accessibilitat per a la valoració paisatgística i patrimonial.....	Pàgina 24
5. Conclusions.....	Pàgina 27
6. Agraïments.....	Pàgina 28
7. Referències bibliogràfiques.....	Pàgina 29

Llista de figures

Figura 1. Reconstrucció del sistema hidràulic andalusí de la vall de Coanegra (part alta). Font: H. Kirchner

Figura 2. Reconstrucció del sistema hidràulic andalusí de la vall de Coanegra (part mitja). Font: H. Kirchner

Figura 3. Reconstrucció del sistema hidràulic andalusí de la vall de Coanegra (part baixa). Font: H. Kirchner

Figura 4. Diagrama de flux del procés de detecció semi-automàtica. Font: X. Esteso a partir de l'article d'Arnau-Rosalén et. al, 2018

Figura 5. Àrea d'estudi: la Vall de Coanegra. Font: X. Esteso a partir de dades ESRI

Figura 6. Elements detectats semi-automàticament. Font: X. Esteso a partir de LiDAR CNIG

Figura 7. Reconstrucció del sistema hidràulic original. Font: X. Esteso a partir de LiDAR CNIG

Figura 8. Reconstrucció del sistema hidràulic andalusí de la vall de Coanegra (part alta). Font: X. Esteso a partir de dades ESRI i LiDAR

Figura 9. Reconstrucció del sistema hidràulic andalusí de la vall de Coanegra (part mitja). Font: X. Esteso a partir de dades ESRI i LiDAR

Figura 10. Reconstrucció del sistema hidràulic andalusí de la vall de Coanegra (part baixa). Font: X. Esteso a partir de dades ESRI i LiDAR

Figura 11. Cartografia actual del sistema hidràulic de la vall de Coanegra. Font: X. Esteso a partir de LiDAR CNIG

Figura 12. Anàlisi de l'accessibilitat al sistema hidràulic de la vall de Coanegra. Font: X. Esteso a partir de LiDAR CNIG

Figura 13. Zones a on l'accessibilitat al sistema hidràulic és possible. Font: X. Esteso a partir de LiDAR CNIG

Llista de taules

Taula 1. Principals característiques de l'àrea d'estudi. Font: X. Esteso a partir de dades de l'IDEIB

Llista d'acrònims

SIG : Sistemes d'Informació Geogràfica

LiDAR: Light Detection and Ranging

MDT: Model Digital del Terreny

CNIG: Centre Nacional d'Informació Geogràfica

Resum

L'estudi dels espais hidràulics d'origen andalusí és relativament recent. Als anys vuitanta diversos autors varen establir les bases i els mètodes per a realitzar un procés d'arqueologia hidràulica que permetés conèixer aquests espais agraris, i també la relació existent entre aquest espai i les comunitats que l'han ocupat al llarg del temps. Tot i així algunes de les tècniques utilitzades per a cartografiar els principals elements d'un espai hidràulic (qanats, síquies, molins, marjades, etc.) actualment han quedat obsoletes. Per tant en el present treball es tracta d'integrar les noves tècniques cartogràfiques, com per exemple la utilització de dades LiDAR o de softwares SIG, per analitzar el sistema hidràulic d'origen andalusí de la vall de Coanegra.

Abstract

The study of hydraulic spaces of Andalusian origin is relatively recent. In the eighties, several authors established the bases and methods for carrying out a process of hydraulic archaeology that would make it possible to know these agricultural areas, as well as the relationship between this area and the communities that have occupied it over time. However, some of the techniques used to map the main elements of a hydraulic space (qanats, drains, mills, terraces, etc.) have now become obsolete. Therefore, the present work aims to integrate new cartographic techniques, such as the use of LiDAR data or GIS software, to analyse the hydraulic system of Andalusian origin in the Coanegra Valley.

1. Introducció

A l'illa de Mallorca l'aigua sempre ha estat un bé molt apreciat. Des dels primers colonitzadors fins a l'actualitat la captació, emmagatzematge i distribució de l'aigua ha representat una de les principals problemàtiques a l'illa.

Una de les societats històriques que més treball ha dedicat a aquesta problemàtica va ser l'àrab. Les seves obres d'enginyeria són conegudes arreu del món, i el seu mètode de cultiu de regadiu a partir de sistemes hidràulics encara és estudiat actualment.

Durant la seva conquesta i formació del Xarq Al-Andalus varen portar aquest mètode a la Península Ibèrica i a les Illes Balears. Així doncs podem trobar alguns vestigis d'aquestes obres a diferents indrets de les illes, com per exemple a Banyalbufar (Carbonero, 1984), Bunyola o a la vall de Coanegra situada a Santa Maria del Camí, entre molts d'altres.

L'estudi d'espais hidràulics és relativament recent, però s'ha demostrat que gràcies al mètodes establerts per M. Barceló i H. Kirchner és poden identificar les principals característiques d'aquests espais i la relació amb les societats pageses que els han ocupat. A Mallorca s'han dut a terme diversos estudis referents als espais hidràulics, com és el cas de la vall de Coanegra. Tot i això, les tècniques cartogràfiques utilitzades per a realitzar aquests estudis avui en dia han quedat obsoletes.

La introducció dels SIG ha permès millorar les tècniques cartogràfiques, i conseqüentment els mapes resultants presenten una major qualitat i especialització. A més, aquests softwares permeten extreure una gran quantitat d'informació de les àrees estudiades, com per exemple la hidrografia o la pendent d'una conca, així com seleccionar les principals característiques del sòl que es vulguin cartografiar. Aquesta evolució tecnològica té infinites aplicacions, i de cada cop són més els camps d'estudi que obren les portes als SIG.

Per altra banda l'obtenció de dades presenta una problemàtica constant, ja que els mètodes i processos utilitzats per a l'elaboració d'aquestes generalment impliquen una alta inversió econòmica i laboral. El resultat és la propagació de productes comercials als que els usuaris generals no hi poden accedir, ja sigui pel seus costos elevats o per la seva privatització. Tot i això, actualment es poden obtenir dades geogràfiques amb una resolució espacial suficient per analitzar els sòls o els elements característics d'una àrea d'estudi. Aquestes dades són públiques, de lliure accés, i han estat produïdes i difoses per les diferents administracions. Un exemple són les dades generades a partir de vols aerotransportats LiDAR que ha posat a disposició pública el CNIG.

Així doncs en el present treball es tractarà d'introduir aquestes tècniques a l'estudi de l'espai hidràulic de la vall de Coanegra i s'elaborarà la cartografia del sistema hidràulic que el caracteritza.

1.1. Antecedents

L'estudi d'espais hidràulics d'origen andalusí té un recorregut recent. Es va originar als anys vuitanta a partir dels plantejaments de T.H. Glick (1970 – 1988), el qual va ser pioner en tractar les relacions existents entre la irrigació i el sistema sociopolític del Xarq Al-Andalus. Posteriorment a l'any 1981, A. Bazzana i P. Guichard varen realitzar un estudi sobre la vinculació entre els assentaments de les alqueries andalusines i els espais irrigats que es trobaven adjacents a elles (Kirchner & Navarro, 1989).

Durant aquesta dècada van sorgir diferents obres relacionades amb l'estudi dels espais hidràulics andalusins, com per exemple els treballs realitzats per M. Bertrand i P. Cressier. Anys després aquest últim autor va publicar la definició de sistema hidràulic, entès com un espai hidràulic definit per una sola captació, és a dir, el constitueixen l'articulació del punt de captació de l'aigua, el traçat i pendent dels canals de distribució, les parcel·les i la localització de molins i safareigs (Cressier, 1995).

Tot hi haver una proliferació d'aquests estudis, el seu objectiu es centrava generalment en trobar l'origen de les construccions hidràuliques fetes pels àrabs, i no tenien en compte l'estudi de la seva estructura i utilitat, així com l'estudi dels espais agraris que el formaven.

Així doncs, cal assenyalar que l'obra "*Les aigües cercades. Els qanats de l'illa de Mallorca*" dirigida per Miquel Barceló i presentat per l'Institut d'Estudis Baleàrics a l'any 1986, va marcar un punt d'inflexió en l'estudi d'aquests sistemes hidràulics i l'espai que ocupaven. La seva recerca va posar de manifest la necessitat d'estudiar els espais agraris en conjunt, no tan sols les unitats hidràuliques de què es componen (Kirchner, 1997).

És a dir l'obra de M. Barceló no cercava l'estudi individual de cada un dels components del sistema hidràulic, com poden ser les síquies o els molins, sinó que el seu objectiu era entendre com funcionava tot aquest sistema en relació a l'espai i la societat que l'ocupava. Es tractava generalment d'espais caracteritzats per l'absència de senyors de renda i que per tant implicaven una organització per a la distribució de l'aigua que el sistema hidràulic aportava.

Els treballs realitzats a Guajar Faragüit (Granada), i els duts a terme a Castellitx, Aubenya i Biniatró (Mallorca) entre els anys 1985 i 1987 per Miquel Barceló, es consideren com el primer assaig del que coneixem per arqueologia hidràulica, donant lloc a una sèrie de mètodes de recerca i principis generals establerts per a l'estudi dels espais irrigats andalusins i les societats que els formaven (Kirchner & Navarro, 1989).

Una de les observacions més destacables d'aquests estudis és la relació que hi ha entre el disseny de tots els sistemes hidràulics andalusins. Degut a la dependència imminent de la pendent per tal de construir i utilitzar el sistema hidràulic, es pot assenyalar que hi ha un disseny bàsic de l'estructura del sistema independentment de la grandària del perímetre irrigat (Kirchner, 1997).

Per altra banda la pendent condicionarà els límits del sistema hidràulic, que generalment són fixes, impeding així noves ampliacions o canvis estructurals en el sistema, els quals podrien fer desaparèixer el propi sistema i en conseqüència l'espai irrigat.

Partint d'aquestes bases Helena Kirchner va presentar a l'any 1997 la seva obra "*La construcció de l'espai pagès a Mayürqa: les valls de Bunyola, Orient, Coanegra i Alaró*". Aquest llibre és el resultat de la tesi doctoral duta a terme per H. Kirchner l'any 1993 a la Universitat Autònoma de Barcelona (Kirchner, 1997). Juntament amb Carmen Navarro, Kirchner presenta el llibre com el primer assaig dedicat a l'estudi i recerca dels mètodes i la pràctica de l'arqueologia hidràulica. Indiquen que els mètodes i les tècniques de l'arqueologia hidràulica es basen en una estreta combinació dels treballs de camp (prospecció arqueològica i reconstrucció dels sistemes hidràulics) i la informació documental i la toponímia (Kirchner, 1997).

Els estudis d'espais hidràulics previs a aquest llibre es basaven principalment amb les fonts i documents disponibles, generalment originats en l'època feudal de la conquesta catalana, posterior a l'ocupació andalusina. Per tant, ja que la informació directe de l'època del Xarq Al-Andalus és escassa o inexistent, els treballs realitzats s'havien basat en aproximacions posteriors del que coneixem com espais irrigats andalusins, generant així un desconeixement parcial de la visió global dels sistemes hidràulics.

La prospecció hidràulica, introduïda per Helena Kirchner, ha permès l'estudi més detallat dels espais hidràulics i les relacions entre aquests i les comunitats pageses que els ocupaven.

Aquest mètode consisteix en un treball de camp exhaustiu i minuciós encaminat a la reconstrucció planimètrica de tot el perímetre irrigat en el seu estat actual i dels elements que el componen: la captació d'aigua, la síquia, els partidors, els límits de les terrasses o l'emplaçament de les alqueries i els molins entre d'altres (Kirchner & Navarro, 1989).

El procediment seguit per l'autora va ser en primer lloc l'obtenció d'una ampliació fotogràfica de l'àrea estudiada, en aquest cas de les valls de Bunyola, Orient, Coanegra i Alaró. Seguidament va realitzar una cartografia a mà sobre aquestes fotografies aèries, assenyalant els principals elements del sistema hidràulic anomenats anteriorment.

Durant aquest procés va dur a terme un ampli treball de camp, necessari per confirmar i analitzar l'estat del sistema hidràulic en aquell moment, i així solucionar els possibles problemes o dubtes que podien sorgir.

Tot aquest mètode va ser acompanyat per la continua revisió dels documents i toponímia disponibles, a més de les prospeccions arqueològiques que es van realitzar a Mallorca per cercar diferents elements originaris de l'època andalusina, tot i que generalment només s'obtingueren restes de ceràmiques o eines.

El principal objectiu de l'obra de Kirchner era estendre l'estudi dels espais hidràulics andalusins, en la línia dels treballs realitzats per M. Barceló en la dècada dels vuitanta, a partir dels principis generals establerts per aquest autor. Aquest fet seria el primer pas cap a la creació d'un corpus de casos estudiats que anomena com "La carta hidràulica de Al-Andalus" (Kirchner, 1997).

També tenia com objectiu l'estudi d'un espai agrari, en aquest cas un sistema irrigat andalusí, com a principal eix fonamental per entendre i descriure les pautes d'assentament a Mayürqa (Kirchner, 1997).

Les cartografies realitzades per H. Kirchner a la Vall de Coanegra (Figures 1, 2 i 3) van permetre la localització de sistema hidràulic andalusí originat per un qanat situat a les actuals cases de Son Pou, a més de tota l'àrea irrigada per aquest sistema hidràulic.

També es va localitzar la situació aproximada de les principals alqueries de la vall: Califa, Beniacar, Abrasim Alfelus i Benicuaroz; així com els honors atorgats als senyors catalans. També va localitzar alguns dels rafals que no estaven integrats dins el sistema hidràulic de la Vall de Coanegra, però que comparteixen diferents característiques estructurals en els seus sistemes de captació d'aigua.

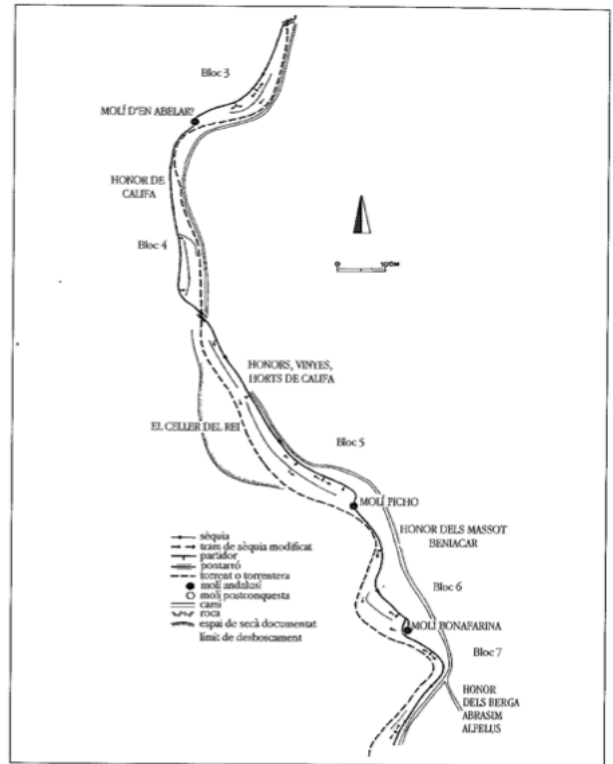
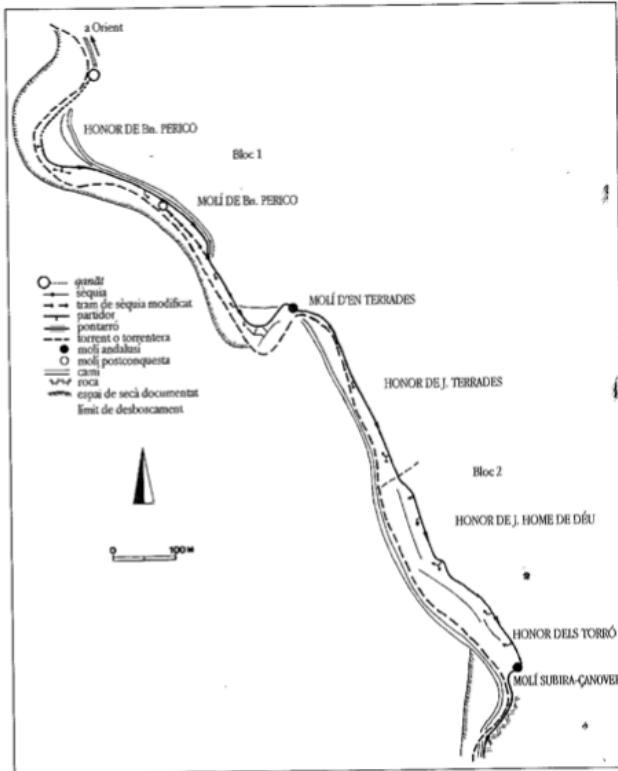


Figura 1 i 2. Reconstrucció del sistema hidràulic andalusí de la vall de Coanegra (part alta i part mitjana). Font: H. Kirchner, 1997.

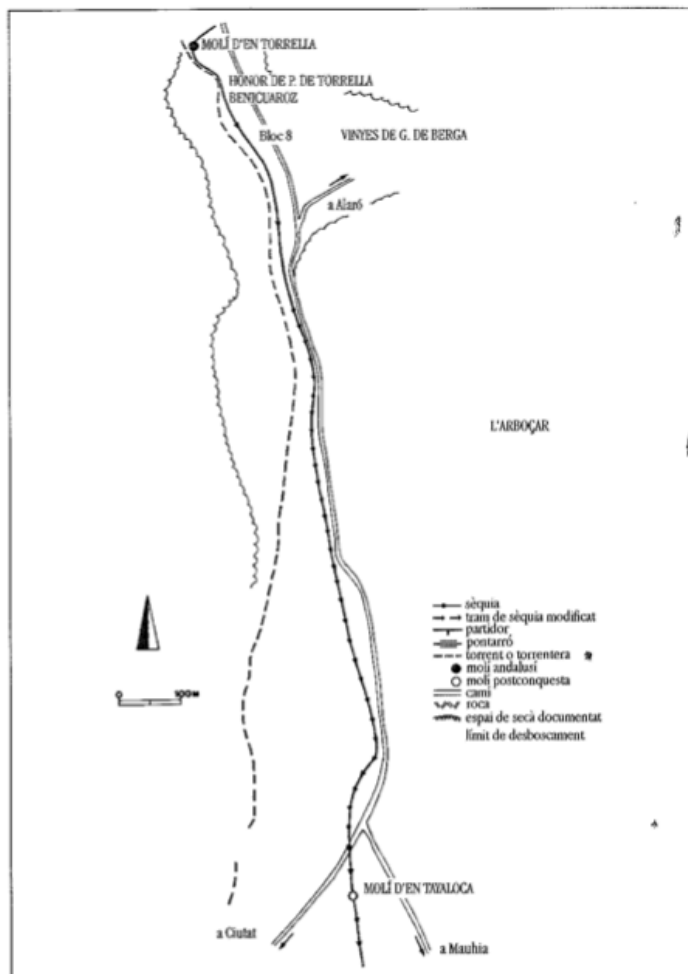


Figura 3. Reconstrucció del sistema hidràulic andalusí de la vall de Coanegra (part baixa). Font: H. Kirchner, 1997.

1.2. Hipòtesis i objectius

La principal hipòtesis que es planteja fa referència a la tècnica utilitzada per cartografiar el sistema hidràulic de la vall de Coanegra. Com s'ha assenyalat, les tècniques d'arqueologia hidràulica portades a terme per M. Barceló i H. Kirchner presenten uns resultats òptims, però les hores de treball i el gran esforç que impliquen deixen oberta una porta per millorar aquest procés. Per tant la hipòtesis aquí plantejada és si l'elaboració de la cartografia a partir de dades LiDAR i els softwares SIG permet un flux de treball menys complex, a més d'obtenir uns resultats semblants o millors a les tècniques utilitzades anteriorment.

També es planteja una segona hipòtesis orientada a la conservació del sistema hidràulic i al seu valor patrimonial i paisatgístic. A causa de la privatització de l'espai agrari de la vall de Coanegra, s'han perdut gran part dels elements originals del sistema hidràulic andalusí, així com també s'ha reduït l'accessibilitat a aquest, provocant un desconeixement social generalitzat d'aquest.

Així doncs l'objectiu general del present treball és obtenir una cartografia acurada del sistema hidràulic d'origen andalusí de la vall de Coanegra, a partir de dades LiDAR i amb un mètode cartogràfic semi-automàtic.

A més de l'objectiu general, s'han establert els següents objectius específics:

- Analitzar l'estat actual del sistema hidràulic andalusí a partir de la visualització d'imatges satèl·lit i el treball de camp.
- Comparar les tècniques i mètodes d'arqueologia hidràulica establerts amb els nous mètodes SIG.
- Comparar els elements detectats a partir de cartografia semi-automàtica amb la realitat.
- Analitzar l'accessibilitat al sistema hidràulic de la vall de Coanegra.
- Valorar paisatgísticament les construccions històriques i culturals per tal de promocionar la seva conservació.

2. Metodologia

En primer lloc s'ha portat a terme una recerca bibliogràfica relacionada amb l'ocupació andalusina i els sistemes hidràulics que va aportar a la Península Ibèrica, i més concretament a l'illa de Mallorca. Com s'ha assenyalat anteriorment, són diverses les obres i autors que han tractat les principals qüestions que es plantegen sobre els sistemes hidràulics andalusins, entesos com un espai hidràulic en conjunt, a on la relació entre la construcció hidràulica, l'espai irrigat i les comunitats pageses que el van ocupar és imminent per localitzar i interpretar els assentaments d'aquella època.

Així doncs s'han consultat principalment les obres de Miquel Barceló i Helena Kirchner, ja que presenten les bases i els mètodes específics per realitzar un estudi orientat a l'arqueologia hidràulica.

En segon lloc s'han obtingut les dades necessàries per a l'elaboració cartogràfica. Les dades utilitzades provenen dels vols LiDAR, proporcionats pel centre de descàrregues del CNIG (<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>), datats a l'any 2014. Les imatges generades a partir de LiDAR i les eines que proporcionen els SIG ofereixen una resolució espacial òptima per delimitar les formes de relleu que es vulguin analitzar, com per exemple les síquies o les terrasses de cultiu integrades a un espai irrigat (Barrado, 2019). Els sensors LiDAR permeten generar dades formades bàsicament per un núvol de punts, i aquests punts solen incloure les coordenades planimètriques i les seves alçades el·lipsoïdals (Antolín et al., 2014). A més, els raigs làser dels sensors LiDAR poden arribar fins a la superfície del sòl, traspasant la vegetació, per tant a partir d'una interpolació de punts del sòl es pot obtenir un MDT fàcilment (Antolín et al., 2014).

La utilització d'aquestes dades està present a molts d'estudis actuals. Per exemple, Joan Bauzà va publicar un text divulgatiu a la plataforma d'Ara Balears a l'any 2017, a on a partir de dades LiDAR va generar un MDT amb una resolució espacial bona, que li va permetre localitzar la presència de marjades a una zona d'Esporles que ha estat afectada per un procés de transició forestal.

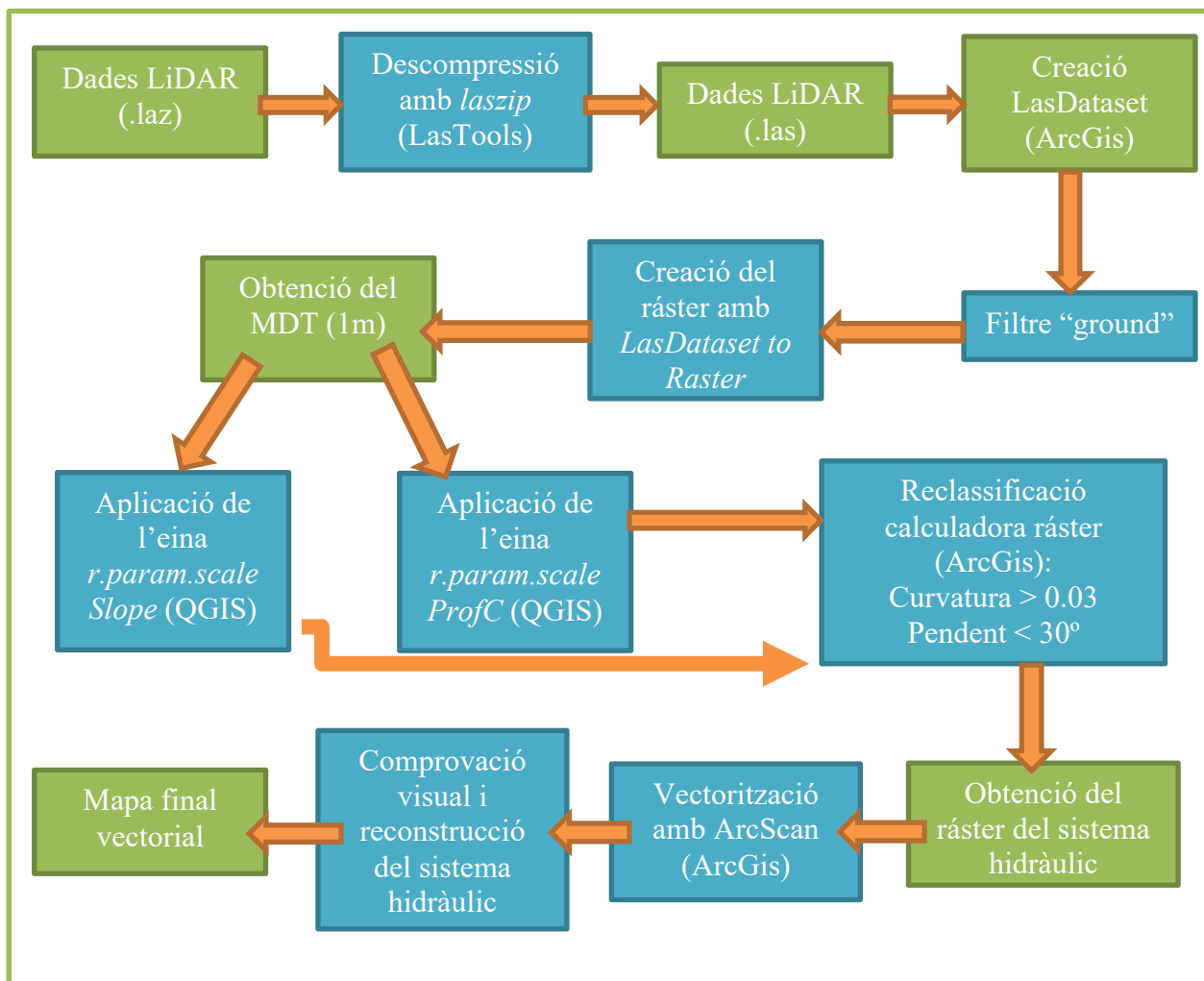


Figura 4. Diagrama de flux del procés de detecció semi-automàtica. Font: X. Esteso a partir de l'article d'Arnau-Rosalén et. al, 2018.

El procediment seguit es pot visualitzar a la Figura 4. Per a realitzar una cartografia semi-automàtica del sistema hidràulic de Coanegra s'ha seguit el mètode presentat a l'article "*Cartografía semi-automática de terrazas de cultivo a partir de datos lidar*" (Arnau-Rosalén et al., 2018), tot i que s'han hagut de realitzar alguns canvis per adaptar-lo a l'àrea estudiada.

Inicialment s'ha descomprimit els arxius obtinguts al CNIG, ja que estan disponibles en format *.laz*. A partir de *laszip.exe*, inclòs a les eines d'accés públic anomenades *LasTools*, s'han extret els fitxers en format *.las* per així poder utilitzar-los als softwares ArcGis i QGIS.

Tot seguit s'ha creat un *LasDataset* a partir de les funcions per LiDAR disponibles a ArcMap (ArcGis 3.10). Posteriorment s'ha obtingut un Model Digital del Terreny (MDT), amb una resolució espacial de 1 metre, utilitzant l'eina *LasDataset to Raster*. Per aconseguir cartografiar únicament els elements del sòl, descartant la vegetació que el cobreix, es va aplicar el filtre "*ground*". L'aplicació d'aquest filtre es possible gràcies a la composició de les imatges LiDAR, les quals obtenen informació tant de la superfície (incloent vegetació i altres elements) com de les característiques dels sòls, gràcies a la penetració dels escàners que utilitzen.

A partir del MDT creat s'han cartografiat els elements convexes de la superfície, segons la seva curvatura en el sentit de la màxima pendent (Arnau-Rosalén et al., 2018). Així doncs s'ha utilitzat la funció *r.param.scale* inclosa en les eines de GRASS per a QGIS 3.10. En primer lloc s'ha utilitzat la funció amb les següents variables:

Ràster d'entrada: MDT
Tolerància de pendent: 5
Tolerància de curvatura: 0.0001
Finestra de procés: 5
Paràmetre morfomètric: ProfC

Així doncs s'ha obtingut un mapa de curvatura en perfil. En segon lloc s'ha utilitzat la funció *r.param.scale* amb les següents variables:

Ràster d'entrada: MDT
Tolerància de pendent: 5
Tolerància de curvatura: 0.0001
Finestra de procés: 15
Paràmetre morfomètric: Slope

A partir d'aquesta funció s'ha obtingut un mapa de pendents. Seguint els criteris establerts a l'article d'Arnau-Rosalén, s'ha establert que el valor de curvatura que millor definia el sistema hidràulic era de 0.03. També s'han emmascarat les zones amb una pendent superior als 30°. Aquest procés s'ha realitzat a partir d'una reclassificació dels elements utilitzant la *calculadora ráster* (ArcGis 3.10), amb l'expressió:

Con ("Slope" <= 30, 1, 0) * Con ("ProfC" >= 0.03, 1, 0)

El mapa resultant s'ha vectoritzat amb l'eina *ArcScan* (ArcGis 3.10), per així obtenir un *shapefile* que es pogués modificar. Després d'aplicar la funció de *ràster cleanup* per eliminar les cel·les que coincidien, s'ha aplicat els següents paràmetres per a realitzar la vectorització:

Insertion solution: Median	Smoothing weight: 1
Maximum line width: 6	Gap closure tolerance: 2
Noise level: 80	Fan angle: 30
Compression tolerance: 0.05	Hole size: 30

Per acabar aquest procediment s'ha realitzat una revisió visual per tal d'eliminar manualment els elements que no coincideixen amb el sistema hidràulic andalusí de la Vall de Coanegra.

Aquesta revisió s'ha fet utilitzant els mapes base i ortofotografies que proporcionen QGIS 3.10, així com amb el continu treball de camp per confirmar la localització exacte dels elements cartografiats.

A més, la revisió és fonamental per obtenir una cartografia acurada i exacte del sistema hidràulic, ja que el procés "automàtic" de detecció representa també vectors com les carreteres, el llit del torrent o alguns talussos, i és necessari eliminar-los manualment.

Per altra banda s'ha delimitat l'àrea d'estudi a partir de la creació de la conca del torrent de Coanegra. Partint del MDT extret de les dades LiDAR s'ha utilitzat les següents eines de GRASS per a QGIS 3.10: *r.fill.dir*, *r.watershed* i *r.water.outlet*. Posteriorment s'ha vectoritzat la capa ráster resultant, amb l'eina *r.to.vect*, per així obtenir la conca.

Per tal de completar els resultats s'ha portat a terme dues reconstruccions del sistema hidràulic i dels seus principals elements, una referent al sistema hidràulic original i l'altre al seu estat actual. Seguint els mapes presentats per H. Kirchner i a partir de la visualització d'imatges satel·litàries i ortofotografies, a més de la continua revisió personal amb el treball de camp, s'ha cartografiat el sistema hidràulic de la vall de Coanegra.

Finalment s'ha realitzat un anàlisi d'accessibilitat al sistema hidràulic. A partir de la delimitació dels camins, s'ha generat un buffer de 10 metres. L'elecció de l'amplitud d'aquest buffer s'ha basat en el propi treball de camp, ja que no es possible visualitzar la sèquia a més de 10 metres del camí amb claredat.

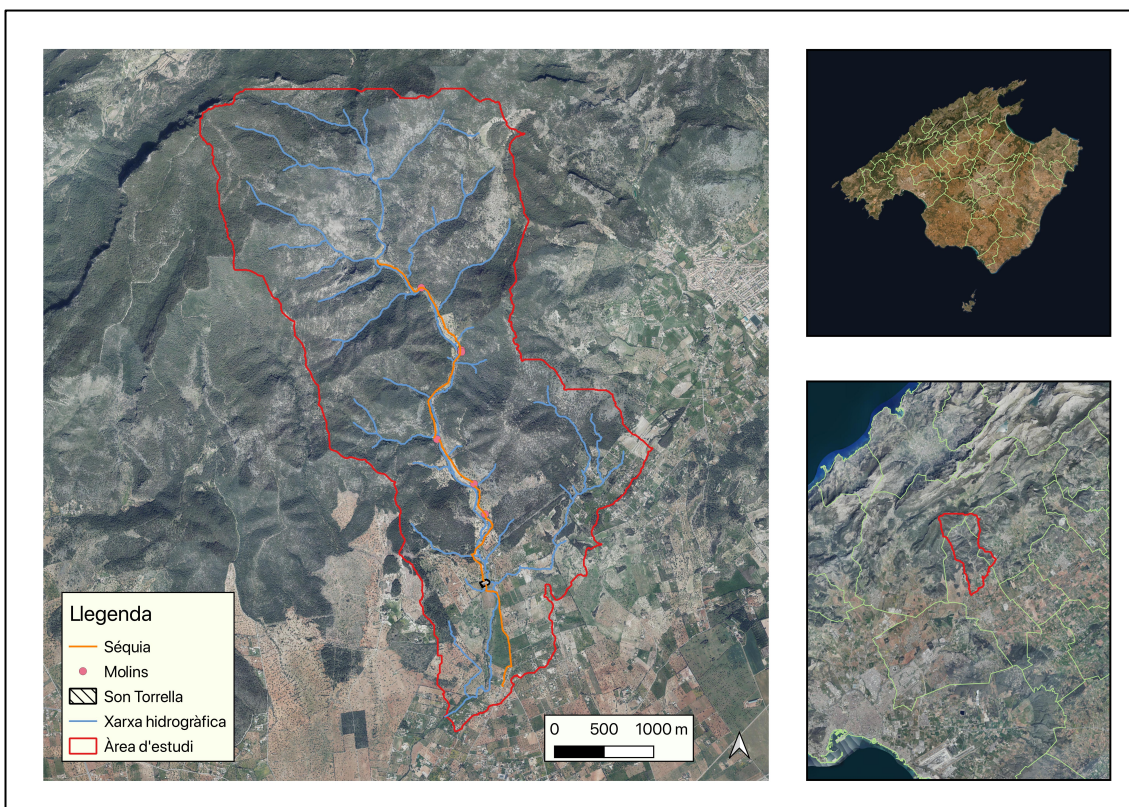
3. Àrea d'estudi

La vall de Coanegra es situa a les falques de la Serra de Tramuntana, al municipi de Santa Maria del Camí. Es caracteritza per la seva vegetació frondosa i pel torrent de Coanegra, que transcorre la vall engorjant-la amb el pas dels anys.

La seva localització i les seves característiques principals (*Taula 1*) han propiciat al llarg dels segles el desenvolupament de diferents comunitats pageses, com l'ocupació andalusina a partir de l'any 902 d.C., que han explotat els recursos naturals de la zona creant així un espai agrari que actualment presenta una extensió semblant a la original.

Es tracta d'una àrea d'estudi caracteritzada pel seu relleu abrupte, a on predominen les calcàries i dolomies massives (Juràssic Inferior), a més dels dipòsits al·luvials situats al voltant del torrent propis del Quaternari. És a aquests dipòsits al·luvials a on l'activitat agrària s'ha desenvolupat.

L'estacionalitat de les precipitacions i el propi clima mediterrani que predomina a l'illa de Mallorca, juntament amb la geomorfologia de l'àrea d'estudi, han provocat una necessitat d'aprofitar l'aigua disponible a partir de l'extracció d'aquesta amb una font i el posterior emmagatzematge i distribució. Els àrabs tenien una especial dedicació per a l'aprofitament de l'aigua. Les obres d'enginyeria que varen construir a tot el territori del Xarq Al-Andalus, les quals encara es troben presents a l'actualitat i són estudiades per entendre millor com funcionaven els seus sistemes hidràulics, i així com s'organitzaven per a distribuir tota l'aigua disponible per crear cultius intensius de regadiu. Un exemple d'aquests sistemes hidràulics d'origen andalusí el trobam a la vall de Coanegra, a l'extrem nord del municipi de Santa Maria del Camí.



Cal assenyalar que l'àrea d'estudi (Figura 5) tractada en el present treball s'ha localitzat al voltant del sistema hidràulic andalusí que trobam a la vall de Coanegra, amb els límits que aquest presenta. És a dir, aquest sistema a l'època andalusina tenia una extensió i elements diferents als que podem observar a l'actualitat. Amb el pas dels segles les diferents comunitats que habitaven la vall de Coanegra varen anar modificant el traçat i els elements del sistema hidràulic, propiciant així la pèrdua progressiva d'algunes parts d'aquest. Un exemple són les modificacions que es varen realitzar a la síquia per reconduir l'aigua al molins de les principals possessions de la vall a l'època de la conquesta catalana.

Són moltes les modificacions, restauracions i ampliacions que han afectat al sistema hidràulic andalusí original, però una de les més destacables és la destrucció total de la síquia a l'altura de Son Torrelleta (antigament Son Boadella). La síquia havia estat ampliada durant la conquesta catalana des de Son Torrella fins aquesta possessió, i posteriorment a l'any 1785 es va ampliar fins al nucli del poble de Santa Maria del Camí.

A causa de les construccions irregulars es va perdre tot el traçat de la síquia des de Son Torrelleta, abans de creuar el camí de ca na Cili, fins al nucli de població, així que l'Ajuntament de Santa Maria va decidir entubar la síquia en aquest tram (Revista Quart Creixent, 2010).

Apart del sistema hidràulic de la vall de Coanegra, podem trobar alguns antics rafals com Cauhas (actualment possessió des Cabàs) que comparteixen les tècniques i construccions dels sistemes de captació i distribució d'aigua amb el sistema hidràulic esmentat. Però com no pertanyen al propi sistema de la vall de Coanegra es va decidir no tractar-los en el present treball.

Així doncs, l'àrea d'estudi ha quedat limitada per l'extensió del sistema hidràulic de la vall de Coanegra, des del seu inici a les actuals cases de Son Pou fins a l'ampliació que es va crear un poc més avall de Son Torrella.

Superfície (Ha)	770,5
Altitud màxima (m)	819
Altitud mínima (m)	142
Altitud mitjana (m)	480,5
Pendent mitjana (°)	23

*Taula 1. Principals característiques de l'àrea d'estudi.
Font: X. Esteso a partir de dades de l'IDEIB*

A continuació podem observar els principals trets de cada una de les parts del sistema hidràulic, basant-nos amb la bibliografia disponible i amb la observació visual en el treball de camp.

Part alta del sistema hidràulic:

L'inici de la síquia el trobem a la Font de Son Pou, a on es capta l'aigua subterrània a partir d'un sistema andalusí conegut com a Qanat. Aquest sistema fa emergir l'aigua a la superfície a partir d'una galeria furgada a la roca calcària i reforçada amb pedra seca, amb un o diversos pous d'aireig aprofitant el desnivell del terreny (Kirchner & Navarro, 1989). El principal objectiu dels àrabs era distribuir l'aigua disponible de tal forma que es poguessin abastir els cultius de regadiu amb la mínima construcció de terrasses de cultiu o marjades (Kirchner, 1997).

El qanat de Son Pou presenta diversos trets arquitectònics propis d'aquestes construccions, com un pou mare de 4,45m i un galeria de 113m reforçada amb pedra seca i coberta de volta (Barceló, 1986). A la seva sortida, actualment entubat, transcorre pel llit del torrent empedrat fins que surt a la superfície per davall de les cases de Son Pou, iniciant així el seu recorregut com a síquia.

Cal assenyalar que tot i ser l'inici del sistema hidràulic, no s'han trobat parcel·les documentades que puguin relacionar aquesta zona amb una de les quatre alqueries (Benicuaroz, Abrasim Alfelus, Beniacar i Califa) que s'identifiquen a la vall (Kirchner, 1997).

Per tant, des de Son Pou fins al molí de Cas Barreter podem assenyalar que es tractava d'una zona controlada per l'alqueria Califa, responsable del control del sistema hidràulic, i que posteriorment es va fragmentar en diverses possessions a causa del repartiment establert pels senyors feudals catalans.

Seguint el recorregut de la síquia trobem les actuals possessions de Can Morei (Honor de Bernat Perico en l'època de la conquesta catalana) i Son Roig (Honor de Jaume de Terrades). La primera es tracta d'una zona irrigada poc extensa a on es podia localitzar el "molí de la font" o de "Raimon Botó", ja que actualment no es conserva el molí. Per altra banda, a Son Roig, es pot trobar el moli de Jaume Terrades, que actualment s'ha restaurat i es possible visitar-lo, conformant així un dels pocs molins, per no dir l'únic, que es manté en bon estat a la vall de Coanegra.

Un poc més avall, la síquia recorre el marge esquerra del torrent (en direcció de l'aigua) passant per l'honor de Joan Home de Déu, cartografiat per H. Kirchner al seu treball, del qual la informació és molt escassa.

Seguint el sistema hidràulic trobem la zona de Cas Barreter (Honor dels Torró), a on es podien localitzar dues parcel·les dedicades a les vinyes, oliveres i horts. A més, segons la documentació, s'hi situaven dos molins molt propers, el moli Subira i el molí Çanover, dels quals actualment només en queden el cup i algunes restes poc identificables.

Un element destacable a la zona de Cas Barreter és el primer punt on la síquia travessa el torrent. Al llarg del recorregut de la síquia aquest fet ocorre diverses vegades a causa de la falta d'espai que trobem entre els horts i el torrent. A aquest primer punt la síquia travessa el torrent mitjançant un aqüeducte o pontarró d'un sol arc, datat a l'any 1322 (Kirchner, 1997).

Part mitja del sistema hidràulic:

Un cop la síquia ha travessat el torrent cap al seu marge dret, ens trobem les zones on H. Kirchner va començar a localitzar les principals alqueries de la vall de Coanegra. En primer lloc trobem l'alqueria Califa, la qual es situava a la part central de la vall, entre les possessions actuals de Son Agulla i Son Oliver. Es tractava d'una àrea irrigada d'aproximadament 1,90 Ha (Kirchner, 1997). Tot i que la documentació sobre aquesta alqueria és escassa, podem assenyalar que segurament es tractés de la zona habitada pels andalusins que servia de control per a tota la capçalera de la vall, i també controlava la gestió de l'aigua que portava el sistema hidràulic. Actualment no s'ha trobat cap resta de molins relacionats directament amb aquesta alqueria, ja que es va disgregar amb el repartiment establert per Bernat de Santa Eugènia.

Seguint la síquia ens trobem una zona a on es situaven un conjunt de vinyes, un hort, un celler, unes cases i unes golfes que el propi Bernat de Santa Eugènia, senyor de Torroella de Montgrí (Girona), explotava (Kirchner, 1997). Aquesta àrea actualment es coneix com El Celler del Rei o Es Celleràs, i segons la documentació estava formada per vuit vinyes associades a zones de garriga.

També s'associa a l'alqueria Califa el molí d'En Abelar, tot i que la seva relació no es clara. La localització del Cellar del Rei s'ha situat entre l'actual possessió de Son Oliver i la possessió de Son Agulla, però tot i que les marjades encara estan presents, el seu ús s'ha abandonat, propiciant el creixement de la garriga.

Un fet destacable és que just per sota de les cases de Son Oliver trobem el segon punt on la síquia travessa el torrent. La tècnica utilitzada va ser l'empedrament del torrent, per tal d'elevat-lo i així reduir el pendent originat a causa de la construcció del molí de

Son Oliver (posterior a la època andalusina), passant la síquia tapada per sobre seu. H. Kirchner assenyala que aquesta construcció no pertanyia al traçat original de la síquia, ja que hi podíem trobar un pontarró anteriorment.

Més avall de Son Oliver es va localitzar l'alqueria de Beniacar. La documentació és escassa per aquesta zona, i únicament es pot extreure que estava composta per dos trossos de terra, un d'ells irrigable, i un molí. El molí s'anomenava Picho, i tot estar situat a les actuals cases de Son Agulla, pròxim a les terres de Beniacar, no es pot relacionar directament amb l'alqueria, ja que segurament va ser de construcció posterior. Aquestes parcel·les varen passar a mans dels Massot, i es creu que posteriorment es varen annexar a les possessions dels Berga. Es pot destacar el trobament de ceràmica d'origen andalusí a aquesta zona.

Per acabar amb la part mitja del sistema hidràulic trobem les parcel·les que originalment formaven part de l'alqueria Abrasim Alfelus, i posteriorment foren propietat de Guillem de Berga. Segons les afrontacions, podem localitzar una extensa zona de vinyes, a més d'horts i figuerals, que formaven un total de dinou parcel·les que podem situar entre l'actual possessió de Son Berenguer i el molí d'En Torrella (Kirchner, 1997). Associat a aquesta alqueria trobem el molí Bonafarina.

Part baixa del sistema hidràulic:

Seguint el traçat del sistema hidràulic ens trobem amb el darrer punt a on la síquia travessa el torrent. Es tracta d'un aqüeducte amb tres arcs, construït cap al segle XVII juntament amb les cases de Son Torrella (Kirchner, 1997). La construcció d'aquest pont va provocar la destrucció del molí d'en Torrella, localitzat al mateix punt. A aquesta zona s'associa l'alqueria de Benicuaroz, tot i que la documentació no ho aclara. Estava composta per diferents zones de conreu, destacant les vinyes, els figuerals i els horts situats a la part plana que es comprèn entre la síquia i el llit del torrent. Però a partir de la conquesta catalana i la creació de la possessió de Son Torrella, aquestes parcel·les esdevingueren com a cultius de secà, ja que tota l'aigua es dirigia al molí de roda vertical situat a la possessió.

Posteriorment es va portar a terme una ampliació de la síquia a partir de les cases de Son Torrella, tot i que es considera que el recorregut original de la síquia andalusina no arribava més avall d'aquesta àrea. Aquesta ampliació va paral·lela al camí de Coanegra, i inicialment va arribar fins a la possessió de Son Boadella (actual Son Torrelleta) per tal d'aportar aigua a la zona anomenada Arboçar (situada entre aquesta possessió i el límit municipal d'Alaró). Tot i així avui en dia només es pot apreciar el traçat ampliat fins abans de creuar el camí de Ca Na Cili.

El sistema hidràulic actualment es troba localitzat dins diverses de les possessions anteriorment esmentades, i per tant la pràctica dels cultius irrigats ha passat a ser secundària. Les parcel·les de cultiu es troben generalment abandonades, únicament trobem alguns cultius de secà a la zona de Can Morei, Son Roig i a Son Torrella, tot i que progressivament els propietaris de les altres possessions estan cultivant de nou les seves terres.

L'aigua recollida per la síquia va passar a ser d'ús privat al 1828, després de diversos conflictes al segle XIX per a la seva propietat. A l'any 1956 l'Ajuntament de Santa Maria del Camí va aprovar un conveni amb els propietaris que establia l'ús municipal de l'aigua, amb l'objectiu d'omplir les cisternes públiques i privades, a partir de la sortida del sol del dissabte fins al migdia del dimarts (Quart Creixent, 2010).

Actualment l'aigua del sistema hidràulic de Coanegra pertany a una comunitat de regants composta per 16 propietaris, els qual tenen un ús de l'aigua distribuït per hores setmanals. L'ajuntament té un total de 858 hores anuals.

Cal destacar que a l'any 2006 la Conselleria d'Agricultura va dur a terme la restauració de la síquia des de la font fins al camí de Ca Na Cili, tot i que no va permetre recuperar el dret de pas sobre el recorregut d'aquesta. De totes formes la degradació de tot el sistema torna estar present.

4. Resultats i discussió

4.1. Cartografia semi-automàtica del sistema hidràulic

El procés de detecció i digitalització dels principals elements del sistema hidràulic andalusí a partir de dades LiDAR s'ha realitzat a partir d'un mètode semi-automàtic. És a dir, a partir de les eines i les tècniques aplicades amb els softwares de ArcGis i QGIS, s'ha obtingut de forma semi-automàtica una capa vectorial a on podem visualitzar el traçat de la síquia, així com els molins i les principals marjades que componen el sistema hidràulic.

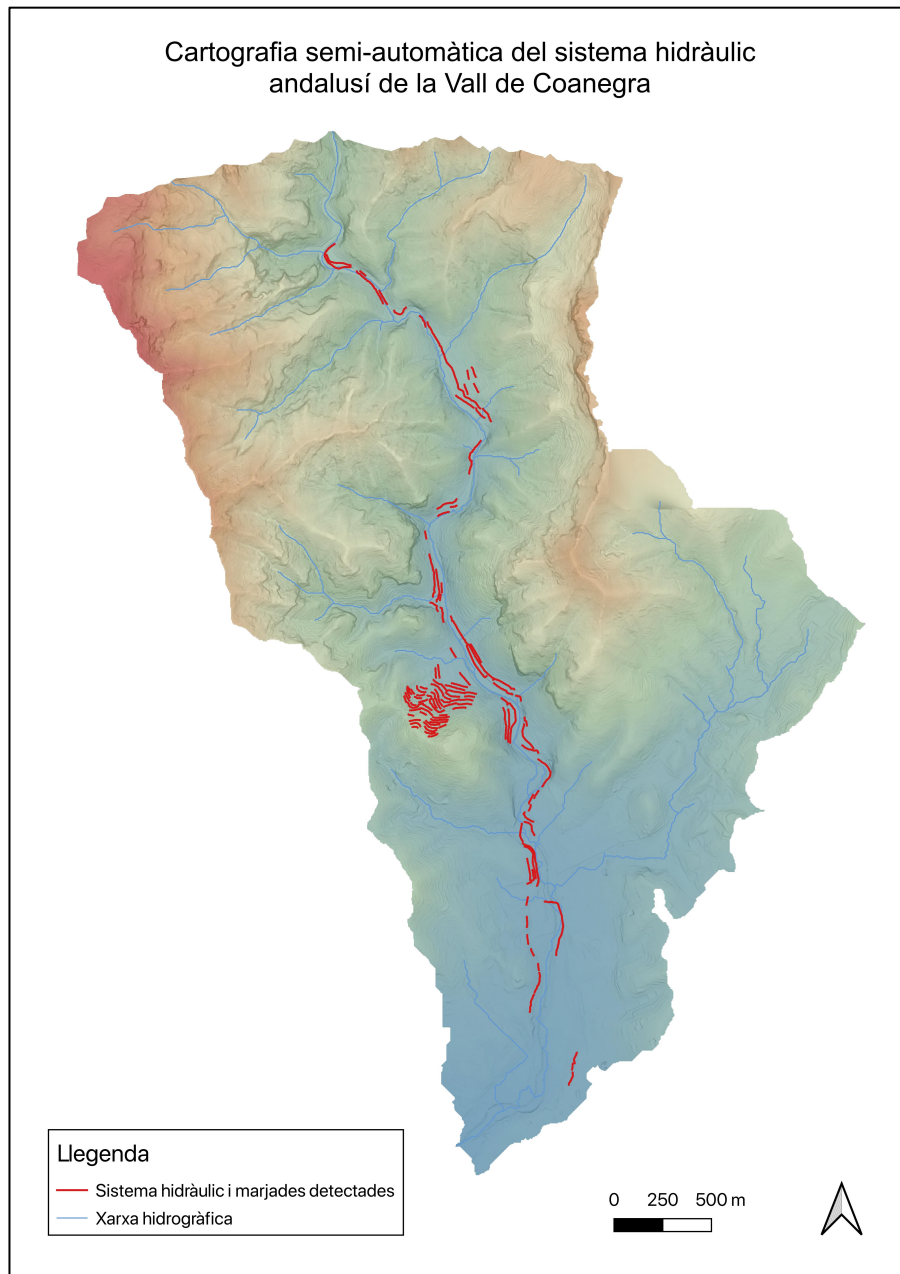
Aquest mètode presenta una gran utilitat per detectar i cartografiar en poc temps els elements seleccionats, però també sorgeixen diversos inconvenients que es necessari tractar.

Inicialment, com es pot apreciar a la Figura 6, no s'ha obtingut un traçat totalment continu de la síquia, quedant així dividida en diferents trams.

Un dels altres inconvenients és que a causa de la informació errònia que pugui contenir el LiDAR, generalment punts classificats com a vegetació quan realment no ho són, el resultat pot derivar en seccions o trams que no s'han detectat.

Per altra banda, es tracta d'una cartografia semi-automàtica perquè es necessària una neteja general de la capa resultant al principi del procés. És a dir, aquest mètode genera una capa vectorial a on s'inclouen molts d'elements, com els talussos de les carreteres, el llit del torrent, les edificacions, a part del sistema hidràulic i les marjades. Per tant es necessari eliminar manualment tots els elements que no estiguin directament relacionats amb l'àrea estudiada.

Cal assenyalar que les zones a on la síquia travessa àrees de cultiu que actualment es troben en ús, la detecció d'aquesta ha estat més exacte que a les zones on predomina la vegetació.



*Figura 6. Elements detectats semi-automàticament.
Font: X. Esteso a partir de dades LiDAR CNIG*

Així doncs podem observar que aquest mètode tot i realitzar una cartografia molt aproximada a la realitat, és necessari generar posteriorment una reconstrucció de tot el sistema hidràulic.

A continuació es presenten els mapes resultants després de la revisió i la reconstrucció del sistema hidràulic.

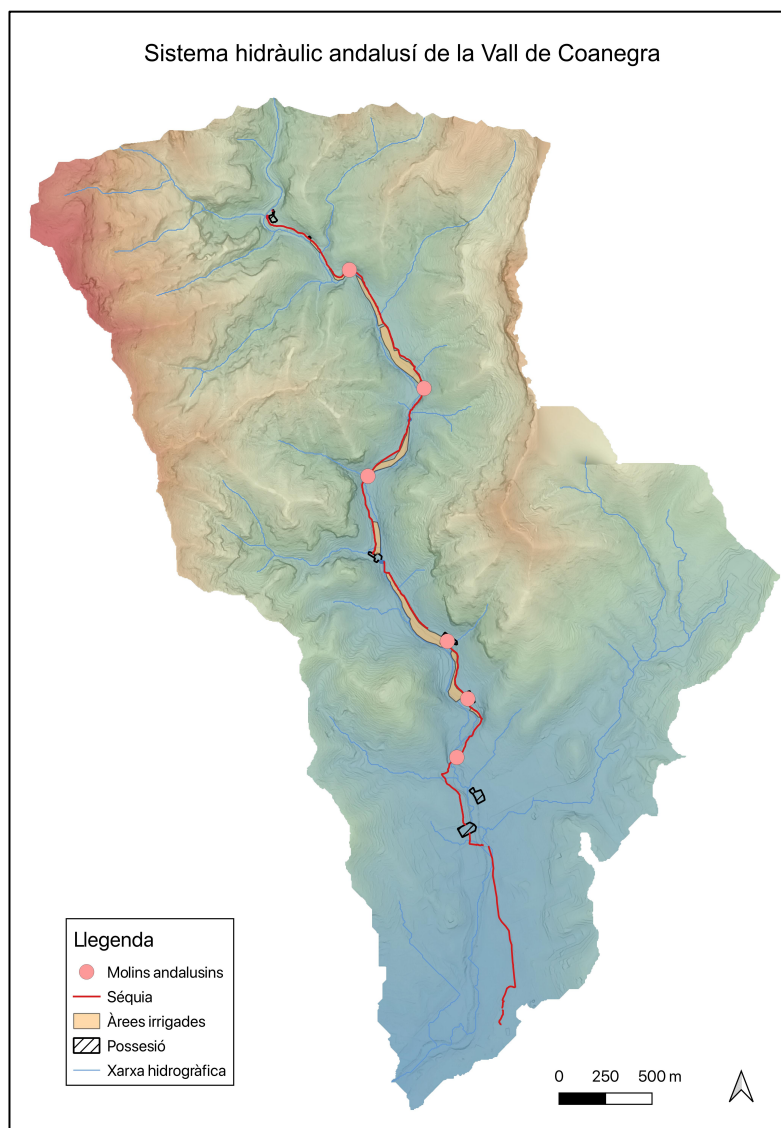


Figura 7. Reconstrucció del sistema hidràulic original.
Font: X. Esteso a partir de dades LiDAR CNIG

En primer lloc observem la reconstrucció del sistema hidràulic d'origen andalusí (Figura 7), destacant les principals possessions, així com el qanat, la síquia i les àrees irrigades.

Per tal de completar el traçat s'han creat noves línies vectorials encadenant els diferents trams de síquia que s'havien detectat. Per altra banda s'han creat els polígons necessaris per localitzar les àrees irrigades, a més d'afegir el topònims corresponents.

El resultat presenta una visió general de com era el sistema hidràulic original. En comparació al mapa presentat per H. Kirchner, cal assenyalar que no presenta una gran diferència, ja que la rigidesa del sistema hidràulic l'ha fet perdurar fins a l'actualitat.

Tot i així no hagués estat possible la reconstrucció d'aquest sistema hidràulic original sense les referències disposades a l'obra de H. Kirchner, i tampoc fora la revisió de la documentació que ens permet generar una localització més exacte de tots els elements.

Per altra banda podem observar les diferents zones de la vall de Coanegra, amb la reconstrucció del sistema hidràulic original (Figures 8, 9 i 10).

A partir d'aquests mapes es pot apreciar amb més detall tots els elements que formaven el sistema hidràulic andalusí.

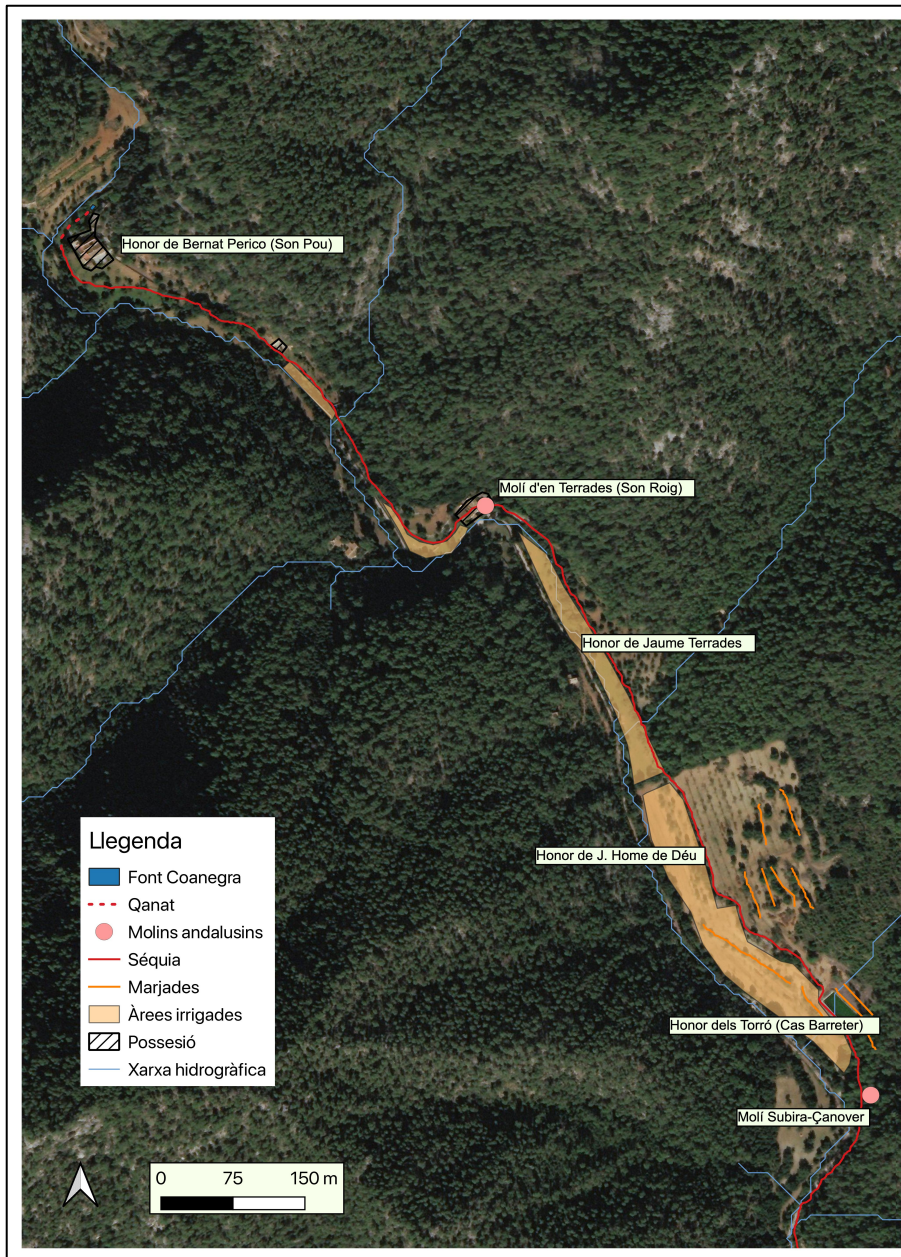


Figura 8. Reconstrucció del sistema hidràulic andalusí de la vall de Coanegra (part alta). Font: X. Esteso a partir de dades ESRI i LiDAR

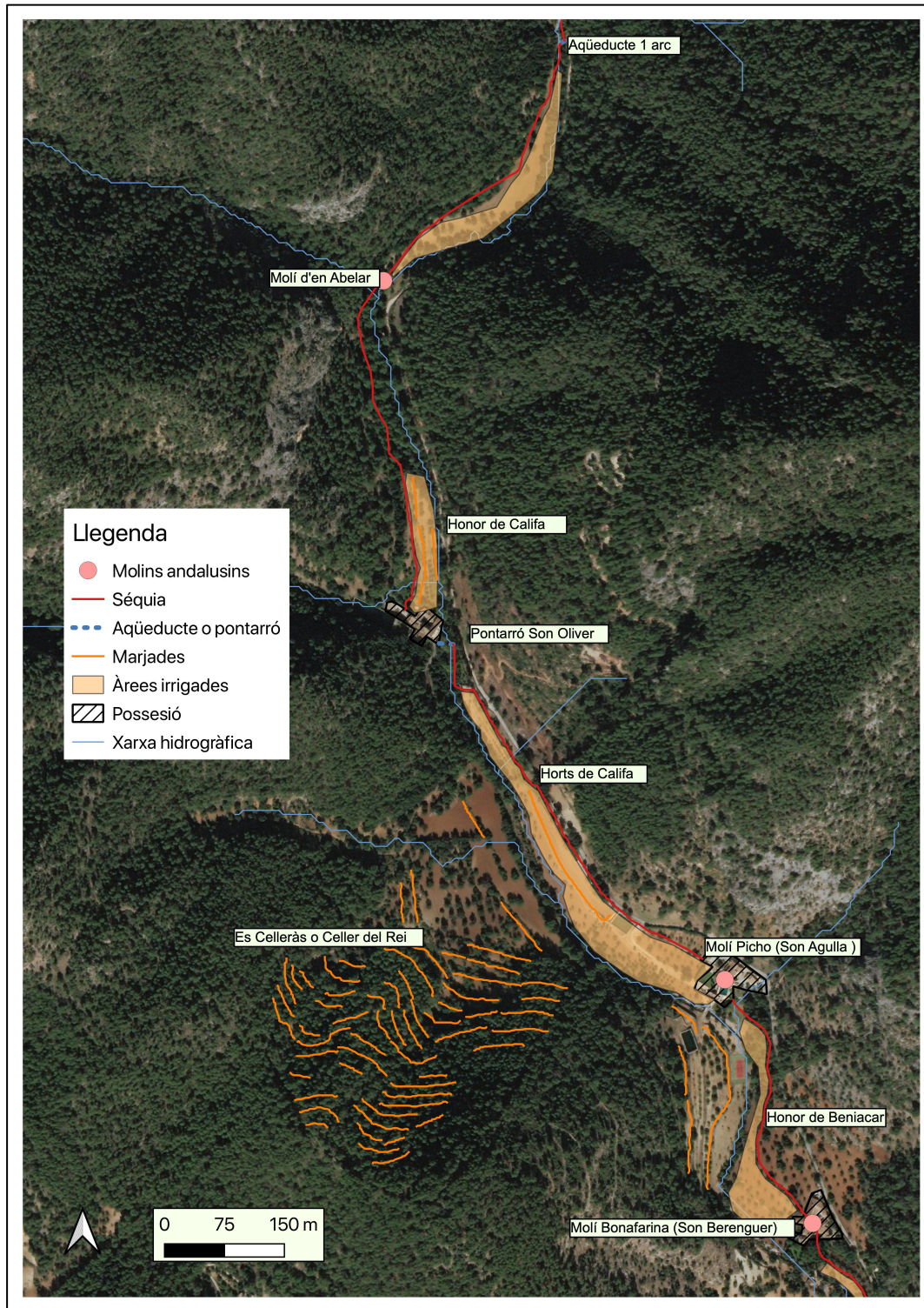


Figura 9. Reconstrucció del sistema hidràulic andalusí de la vall de Coanegra (part mitja). Font: X. Esteso a partir de dades ESRI i LiDAR

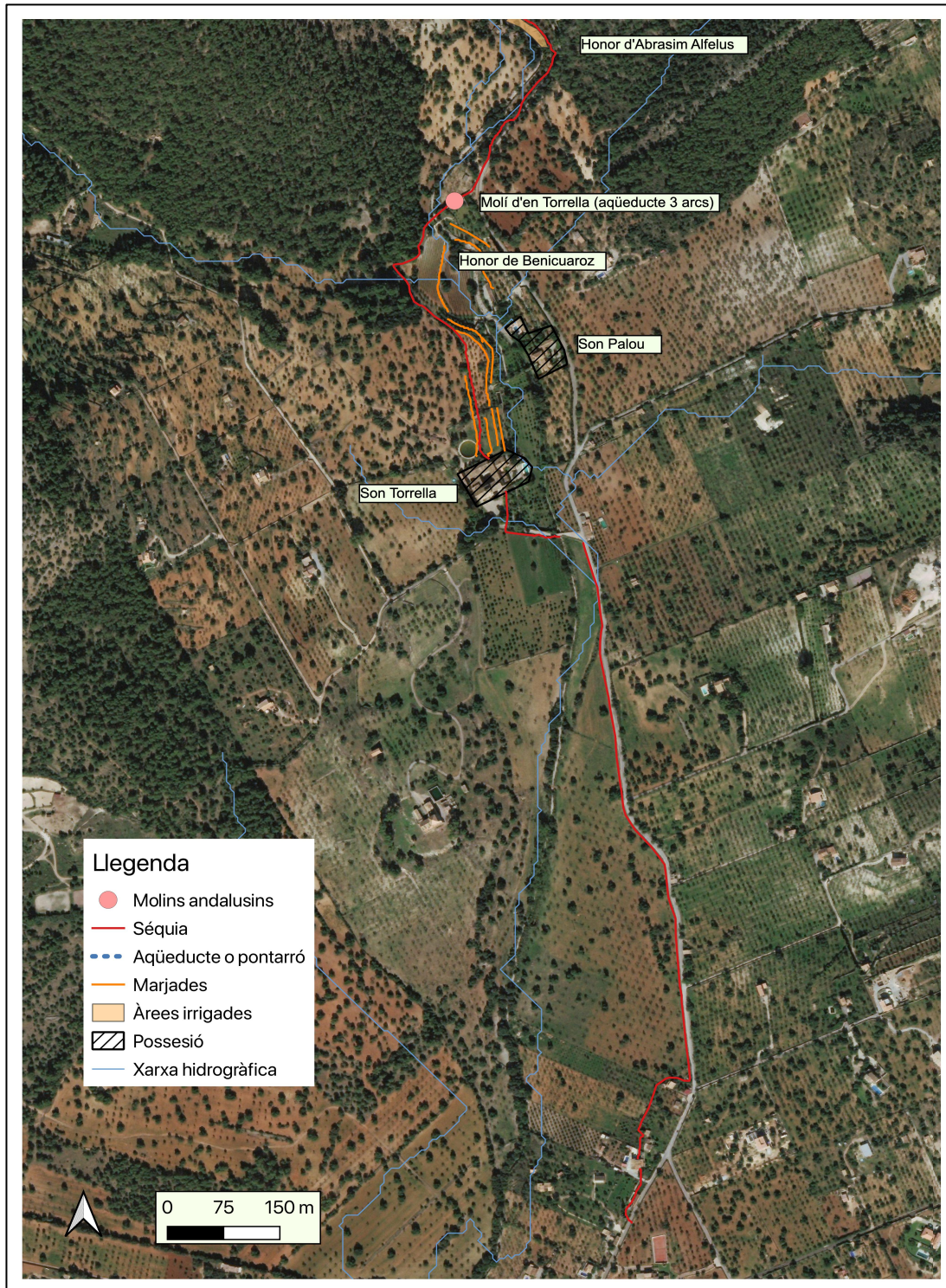


Figura 10. Reconstrucció del sistema hidràulic andalusí de la vall de Coanegra (part baixa). Font: X. Esteso a partir de dades ESRI i LiDAR

Per tal de visualitzar l'estat actual del sistema hidràulic (Figura 11) s'han cartografiat els elements més destacables que el componen. Alguns d'aquests elements són els molins que es varen construir després de la conquesta catalana, tot i que actualment només es conserva el molí de Son Roig en la seva totalitat, així com els safareigs per a l'emmagatzematge d'aigua de recent construcció i les principals possessions que podem localitzar a la vall de Coanegra.

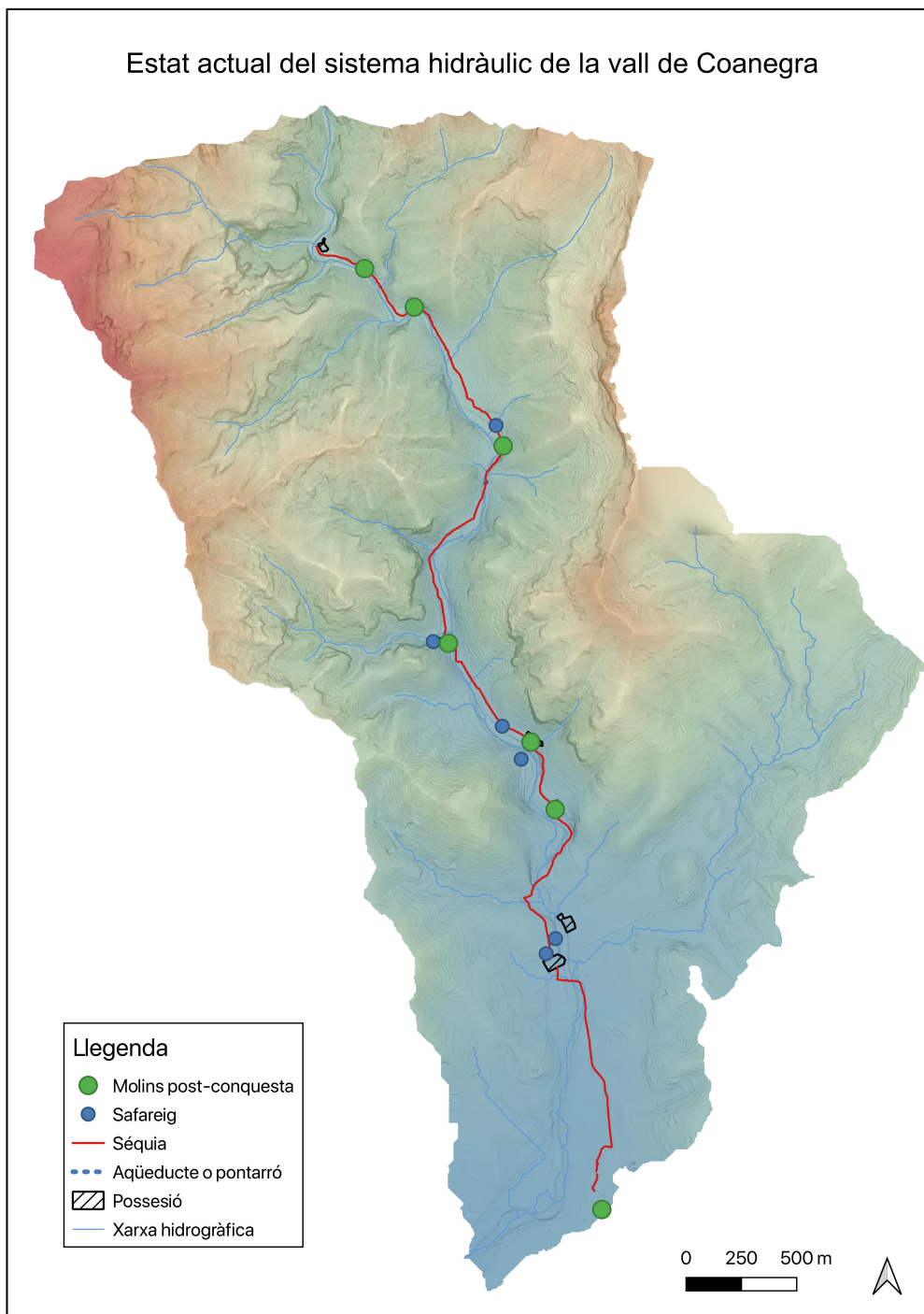


Figura 11. Cartografia actual del sistema hidràulic de la vall de Coanegra. Font: X. Esteso a partir de dades LiDAR CNIG

4.2. Anàlisi de l'accessibilitat per a la valoració paisatgística i patrimonial

Finalment s'ha dut a terme un càlcul d'accessibilitat pel sistema hidràulic de la vall de Coanegra (Figura 12). L'elecció d'un buffer de 10 metres s'ha basat amb el propi treball de camp, ja que es pràcticament impossible visualitzar alguns elements o el mateix traçat de la síquia a més de 10 metres del camí.

Aquest fet es deu a la enorme privatització que ha sofert la vall de Coanegra, a on les antigues possessions han passat a ser cases senyorials amb un nivell de privacitat extraordinari. També dificulta la visualització de la síquia tota la vegetació que ha anat ocupant l'antic espai agrari, i a més, alguns dels trams de la síquia presenten modificacions modernes (entubament) o inclòs presenten un estat deplorable.

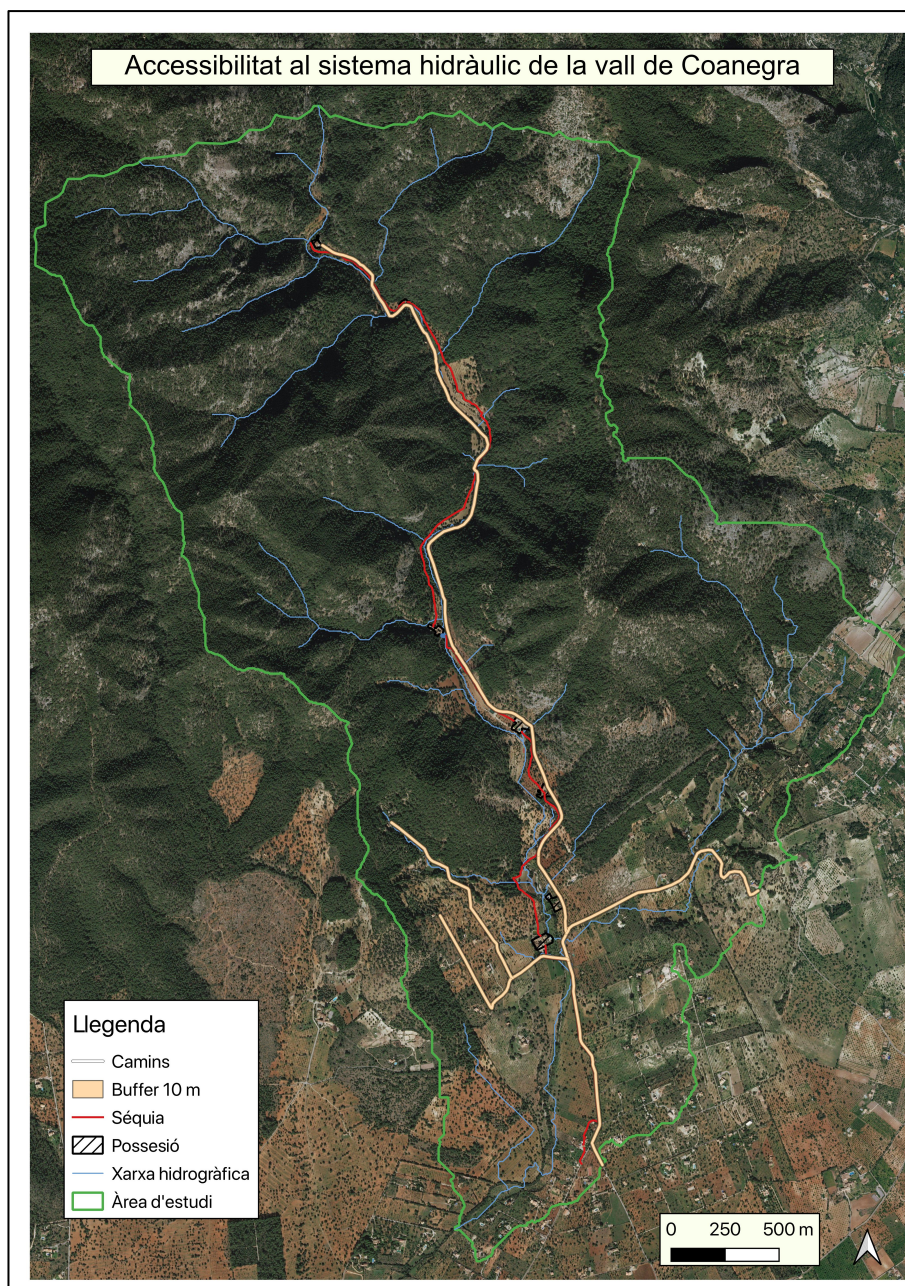


Figura 12. Anàlisi de l'accessibilitat al sistema hidràulic de la vall de Coanegra. Font: X. Esteso a partir de dades ESRI i LiDAR

Per tal d'observar millor aquestes zones a on la visualització de la síquia és possible, s'adjunten dues imatges més detallades (Figura 13).

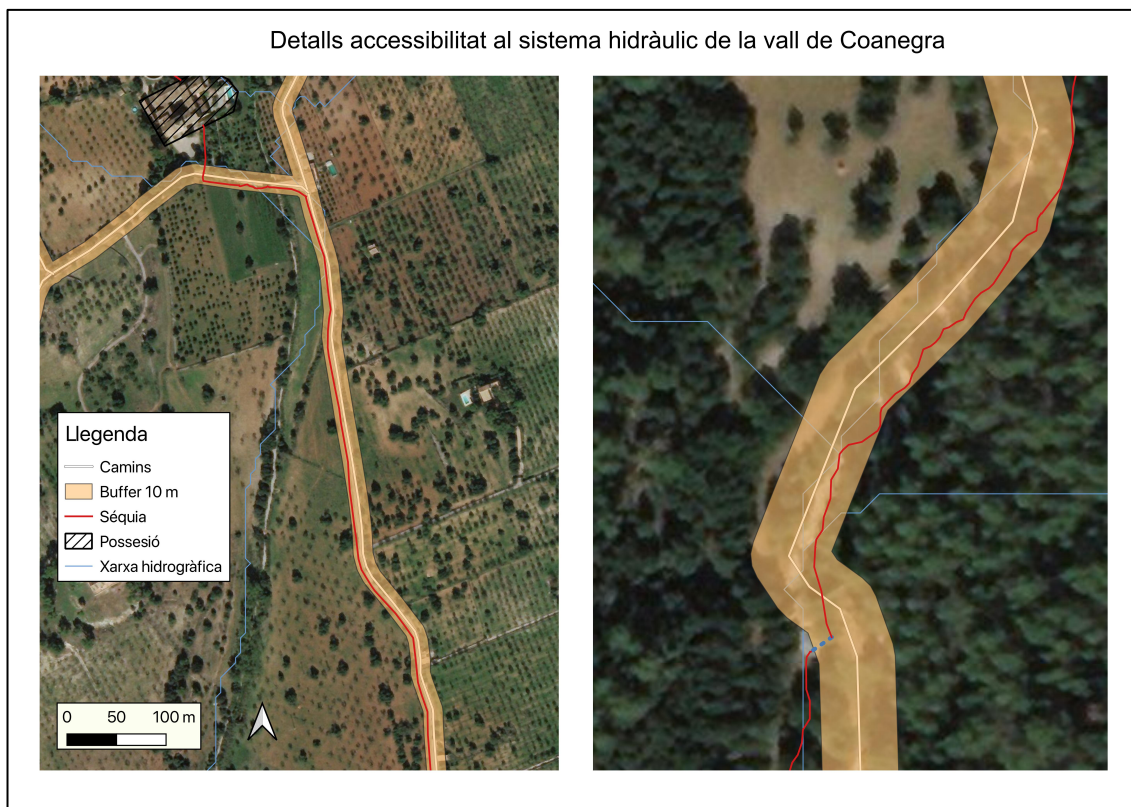


Figura 13. Zones a on l'accessibilitat al sistema hidràulic és possible. Font: X. Esteso a partir de dades ESRI i LIDAR

La primera es tracta d'una zona de la part baixa de la vall de Coanegra, podem observar com la localització de la síquia es paral·lela a la carretera, i per tant ens permet obtenir una visualització perfecte. Tot i que es tracta d'un tram ampliat de la síquia, que no pertany al sistema original andalusí, podem apreciar la seva bellesa quan l'aigua el recorre i ens convida a seguir explorant el recorregut de la síquia al llarg de la Vall.

La segona imatge pertany a la part mitja de la vall, abans d'arribar a Cas Barreter. La proximitat de la síquia amb el camí a aquest tram és molt elevada, per tant podem visualitzar el recorregut d'aquesta perfectament. Es tracta d'una zona a on el camí travessa el llit del torrent, i la síquia roman aferrada a les roques calcàries que a la vegada limiten el torrent. Un poc més a baix es pot visualitzar l'aqüeducte d'un sol arc que permet el pas de la síquia per sobre del torrent, tot i que només es veu a través de la reixa de la finca a on es localitza.

Així doncs a partir d'aquest càlcul d'accessibilitat es pot tractar de revaloritzar i donar a conèixer el sistema hidràulic de la vall de Coanegra, amb l'objectiu de conservar un dels elements patrimonials més antics del municipi de Santa Maria del Camí.

5. Conclusions

Com es pot apreciar als resultats, la utilització de tècniques cartogràfiques a partir de SIG permet una reducció notable del treball, així com uns resultats acceptables.

Tot i que s'ha hagut de portar a terme una revisió visual i una reconstrucció del sistema hidràulic de la vall de Coanegra, el mètode proposat per Arnau-Rosalén et. al, 2018 ha permès la detecció de gran part del sistema. Els diferents punts mal classificats de les dades LiDAR han provocat que no s'obtingui el traçat de la síquia per complet, però amb el treball de camp s'han revisat aquests trams per així resoldre els possibles dubtes que havien sorgit amb la visualització d'ortofotografies.

Un altre fet destacable és que tot i haver forçat una resolució de 1 m per al MDE, les dades LiDAR poden permetre resolucions centimètriques, tot i que generalment s'han de realitzar amb vols de drons i per tant presenten uns costos relativament elevats a nivell d'usuari. Aquestes resolucions serien òptimes per a millorar el procés d'anàlisi de l'estat arquitectònic del sistema hidràulic, per tant representa noves aplicacions que encara estan per desenvolupar.

Pel que fa el anàlisi de l'accessibilitat al sistema hidràulic de la vall de Coanegra, cal assenyalar que podem trobar diferents trams de la síquia on es possible accedir-hi visualment, però la major part del recorregut del sistema i els seus principals elements es troben a zones privades. Per tant, aquest anàlisi pot ajudar a revaloritzar el sistema hidràulic, el qual representa un dels elements patrimonials més importants del municipi de Santa Maria del Camí.

Així doncs, es pot concloure que la utilització de noves tecnologies per a realitzar anàlisis i tècniques cartogràfiques es presenta com un mètode excepcional, obrint així un nou món d'aplicacions específiques que encara està per descobrir.

6. Agraïments

En primer lloc vull agrair al meu tutor Miquel Grimalt i a tots als professors del grau la seva feina realitzada, ja que m'han obert les portes del món de la Geografia.

En segon lloc vull agrair als meus pares i la meva germana l'oportunitat que m'han donat per poder estudiar el que m'agrada, sense vosaltres no hagués estat possible.

També vull agrair a tots els meus companys de classe els bons moments que hem passat, i en especial a nen Miquel Àngel, en Biel i en Tomeu per haver-me acompanyat fins aquesta etapa final.

Així com a tots els meus amics de sempre, i en especial a nen Martí per haver-me recolzat fins el darrer moment.

I finalment vull agrair-te a tu, Aina, per què m'aguantes cada dia i fas que tot segueixi endavant sempre.

7. Referències bibliogràfiques

Antolín, R., Bunting, P., & Suárez, J. (2014). LiDAR data processing with SPDlib in QGIS . *VIII Jornadas de SIG Libre*, 1, qg.

Carbonero Gamundi, M. (1984). Terrasses per al cultiu irrigati i distribucio social de l'aigua a Banyalbufar (Mallorca). *Doc. Anal. Geogr*, 4, 31–68.

López García, M.J., Carmona, P., Salom, J. y Albertos, J.M. (Eds.) *Tecnologías de la Información Geográfica: perspectivas multidisciplinares en la sociedad del conocimiento*, Universitat de València, pp. 135-144.

Kirchner, H. (1997). *La construcció del espai pagès a Mayurqa. Les valls de Bunyola, Orient, Coanegra i Alaró*.

Kirchner, H., & Navarro, C. (1989). *Objetivos , métodos y práctica de la Arqueología hidráulica*.

Rubio, A. M. B. (2019). Riesgo De Incendio En Zonas De Interfaz Urbano-Forestal. *Estudios Geograficos*, 80(287).

Vic, M. (2010). Una obra pública d'origen àrab. *Quart Creixent. N°19*. 4-5. Santa Maria del Camí.