



**Escola de Camins**

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports  
UPC BARCELONATECH

# Utilització de dades InSAR per a l'estudi de l'efecte de la sobreexplotació d'aqüífers en la subsidència del terreny

Treball realitzat per:

**David Lerin Solé**

Dirigit per:

Albert Folch Sancho

Daniel Fernández Garcia

Grau en:

**Enginyeria Geològica**

Barcelona, 09/06/2021

Departament d'Enginyeria Civil i Ambiental

**TREBALL FINAL DE GRAU**

## Resum

El control de la quantitat d'aigua que disposem en els aqüífers, anomenat nivells piezomètrics, sempre és una necessitat. En aquest moment a Catalunya es calcula mitjançant piezòmetres, en pous concrets. Una de les problemàtiques que pot donar que els nivells piezomètrics siguin baixos és la subsidència, és a dir l'enfonsament lent i gradual a causa de la compactació de sediments.

Per poder controlar, tant el nivell piezomètric com les subsidències de la zona, existeix la metodologia InSAR. Les dades es prenen mitjançant satèl·lits; per aquest motiu, és una metodologia més simple per adquirir dades i, a més, té la capacitat d'agafar dades de tota la zona d'estudi i no només dels pous de control que construïm.

Amb aquest projecte es du a terme una comparació entre les dades obtingudes mitjançant la piezometria i les que ens donen els satèl·lits InSAR. Donat que aquesta segona tècnica fa un mapeig de tota la zona d'estudi aportant molta més informació de la zona, el control amb InSAR pot resultar més adient per l'estudi de les subsidències, però requereix una validació a través de la comparativa, sabent prèviament que les dades obtingudes pel satèl·lit mai seran tan precises com les dels piezòmetres. Ara bé, les dades InSAR són molt més fàcils d'obtenir que les dels piezòmetres i, per tant, ens pot ser útil si les dades InSAR ens serveixen com a indicador de l'evolució del nivell.

L'àmbit d'estudi d'aquest treball se situa en dues zones de Catalunya; la primera, al Nord, on analitzem les zones alimentades principalment pels rius Onyar i Ter la segona, al Sud, definida en gran part pel Francolí i tots els afluents que té.

Un cop comparades les dades intentar delimitar les zones més perilloses a part aplicant metodologies de càlculs de la UCGS.

Totes les dades que hem obtingut han estat facilitades per l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, en el cas de les dades de l'InSAR, que daten entre el 26 de desembre del 2016 i el 27 de desembre del 2017. Pel que fa a les dades piezomètriques, provenen de l'Agència Catalana de l'Aigua. Aquestes és remuntem fins al 2007 i les dades més actuals són del gener del 2021.

## Resumen

El control de la cantidad de agua que disponemos en los acuíferos, llamado niveles piezométricos, siempre es una necesidad. En este momento en Cataluña se calcula mediante piezómetros, en pozos concretos. Una de las problemáticas que puede dar que los niveles piezométricos sean bajos es la subsidencia, es decir el hundimiento lento y gradual a causa de la compactación de sedimentos.

Para poder controlar, tanto el nivel piezométrico como las subsidencias de la zona, existe la metodología InSAR. Los datos se toman mediante satélites; por este motivo, es una metodología más simple para adquirir datos y, además, tiene la capacidad de coger datos de toda la zona de estudio y no solo de los pozos de control que construimos.

Con este proyecto se lleva a cabo una comparación entre los datos obtenidos mediante la piezometría y las que nos dan los satélites InSAR. Dado que esta segunda técnica hace un mapeo de toda la zona de estudio aportando mucha más información de la zona, el control con InSAR puede resultar más adecuado por el estudio de las subsidencias, pero requiere una validación a través de la comparativa, a sabiendas de previamente que los datos obtenidos por el satélite nunca serán tan precisos como las de los piezómetros. Ahora bien, los datos InSAR son mucho más fáciles de obtener que las de los piezómetros y, por lo tanto, nos puede ser útil si los datos InSAR nos sirven como indicador de la evolución del nivel.

El ámbito de estudio de este trabajo se sitúa en dos zonas de Cataluña; la primera, en el Norte, donde analizamos las zonas alimentadas principalmente por los ríos Onyar y Ter la segunda, en el Sur, definida en gran parte por el Francolí y todos los afluentes que tiene.

Una vez comparadas los datos intentar delimitar las zonas más peligrosas aparte aplicando metodologías de cálculos de la UCGS.

Todos los datos que hemos obtenido han sido facilitadas por el Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña, en el caso de los datos del InSAR, que datan entre el 26 de diciembre del 2016 y el 27 de diciembre del 2017. En cuanto a los datos piezométricos, provienen de la Agencia Catalana del agua. Estas es remontamos hasta el 2007 y los datos más actuales son de enero del 2021.

## Abstract

Piezomètric level control, or measuring the water found inside aquifers, it's always a requirement. Currently, it can be calculated in Catalonia by measuring the piezometers of very specific water wells. However, the biggest issue we can encounter is low subsidence levels.

In order to control the piezometric level as well as subsidence in the area, we can use the InSAR methodology which collects data using satellites. This kind of methodology is more effective than measuring wells the traditional way since the area of research is increased from the original control point.

The main aim of this project is to compare both the piezometric data and InSAR Satellite data to find if the satellite data can be as efficient as its piezometric counterpart given that it covers a broader area and the results are easier to obtain.

Field research will be performed in two areas of Catalonia. The first one, up north where we will analyze areas mainly fed from the following rivers: Onyar and Ter. The second area will be south of Catalonia, mainly near the Francolí river and all its tributaries.

Once we have compared the data, we'll isolate the most hazardous zones by applying UCGS

Calculations. Every InSAR data between 26th of December 2016 and 27th of December 2017 used has been granted to us by l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Regarding piezometric data, we collected data between 2007 and 2021 from l'Agència Catalana de l'Aigua.

## Agraïments

Al Dani i l'Albert per la paciència que heu arribat a tenir amb mi.

Nieves, Carol i Cèsar, preguntar-vos entre passadissos i mai negar-me una resposta, gràcies.

Als Gratus, els Salseo, Lucia, Maria, Gabi, Klara, Alejandro i Jaume que sempre, passes al que passes estàveu allà.

Mama, Papa, sempre heu estat al meu costat, gràcies.

I Per últim Albert vivint amb tu sempre s'aprèn, ara bé el suport que sempre em dones de forma incondicional, no tinc forma d'agrair-lo.

## Glossari

Interferometria:	És la tècnica de combinar dues o més ones, de les quals es diu que interfereixen l'una amb l'altra.
Subsidència:	És el moviment d'una superfície (normalment, la superfície de la Terra) que es desplaça cap avall relatiu a un datum com el del nivell del mar
Nivell Piezomètric:	Nivell en què la pressió de l'aigua coincideix amb l'atmosfèrica.
Conglomerats Polimíctics:	Roca clàstica sedimentària composta de clastos arrodonits i de diferent origen mineralògic.
Litologies:	és la part de la geologia que s'ocupa de l'estudi de l'estructura ( interna i externa), les propietats i l'origen de les roques.
Transmissivitat:	Connexió de la porositat de la roca.

## Abreviacions

InSAR	Interferomètric synthetic aperture radar (Radar interferomètric d'obertura sintètica)
DEM o MDT	Digital Elevation Model / Model Digital d'Elevacions
USGS	United States Geological Survey
ICGC	Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya
$\Phi_E$	Fases de les imatges secundàries
$\Phi_M$	Fases de les imatges principals
$\Delta\Phi$	Diferència de fase o fase interferomètrica
$\Phi_{topo}$	Component de la fase deguda a la topografia del terreny
$\Phi_{Mov}$	Component de la fase deguda al moviment del terreny
$\Phi_{Atm}$	Component de fase introduïda per l'atmosfera
$\Phi_{Noise}$	Soroll de la fase
$\Phi_{Int}$	Fase interferomètrica diferencial
$\Phi_{Res\_Topo}$	Fase residual obtinguda del DEM
$p'$	Tensions efectives
$p$	Tensions totals
$u$	Pressions geoestàtiques
$\Delta p'$	Diferència de tensions
$n$	Porositat
$n_w$	Porositat en proporció al total del volum
$\Delta wt$	L'alçada on trobem el nivell piezomètric tabular
$\gamma_w$	Pes específic de l'aigua
$S_y$	coeficient d'emmagatzematge
$S_{sk}$	compressibilitat
$\epsilon_{zz}$	Assentament

## Índex

<b>RESUM</b> .....	<b>1</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>2</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>3</b>
<b>AGRAÏMENTS</b> .....	<b>4</b>
<b>GLOSSARI</b> .....	<b>5</b>
<b>ABREVIACIONS</b> .....	<b>6</b>
<b>ÍNDEX</b> .....	<b>7</b>
<b>1 INTRODUCCIÓ</b> .....	<b>8</b>
1.1 OBJECTIUS.....	9
1.2 CASOS PARTICULARS .....	9
<b>2 ESTAT DE L'ART I CONDICIONS DELS AQÜÍFERS</b> .....	<b>22</b>
2.1 TECNOLOGIES DE CONTROL .....	22
2.2 CONTEXT GEOLÒGIC .....	23
<b>3 METODOLOGIA D'ANÀLISI</b> .....	<b>36</b>
3.1 DESCRIPCIÓ DE LA CAPTACIÓ DE DADES INSAR.....	36
3.2 CÀLCUL ASSENTAMENTS AQÜÍFERS .....	38
3.3 COMPARATIVA DE MÈTODES DE CONTROL .....	39
<b>4 ANÀLISIS DE RESULTATS</b> .....	<b>40</b>
4.1 RESULTATS I DISCUSSIÓ RESULTATS AQÜÍFER ONYAR.....	40
4.2 RESULTATS I DISCUSSIÓ AQÜÍFER BAIX CAMP .....	51
4.3 COMPARATIVA DE LES TÈCNiques DE CONTROL .....	72
<b>5 CONCLUSIONS</b> .....	<b>77</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>79</b>
<b>ÍNDEX DE FIGURES</b> .....	<b>80</b>
<b>ÍNDEX DE TAULES</b> .....	<b>81</b>
<b>ANNEXOS</b> .....	<b>82</b>
ANNEX 1: ANNEX DADES INSAR .....	82
ANNEX 2: ANNEX DADES ACA.....	82



## 1 Introducció

La Digitalització cada dia està més present en les nostres vides. L'evolució tecnològica fa temps que va arribar als estudis i seguiments dels aqüífers, com es podrà veure durant la memòria. En aquest estudi analitzarem si el seguiment del nivell piezomètric es pot fer mitjançant la metodologia InSAR; és a dir, si podem fer el seguiment dels aqüífers mitjançant satèl·lits amb fiabilitat. D'aquesta forma si validem aquesta metodologia, l'estudi dels aqüífers es podrà fer per tota la superfície i no de forma puntual amb els pous de control que tenim disponibles ara mateix.

Per validar aquesta investigació que s'ha dut a terme, s'han consultat articles científics i finalment s'han triat dos casos concrets. El primer titulat, "Surface Deformation from Sentinel-1A InSAR: Relation to Seasonal Groundwater Extraction and Rainfall in Central Taiwan" («Yang et al. - 2019 - Surface Deformation from Sentinel-1A InSAR Relati.pdf»). L'altre article ha estat "Satellite InSAR survey of structurally-controlled land subsidence due to groundwater exploitation in the Aguascalientes Valley, Mexico" («Cigna et al. - 2019 - Wide-Area InSAR Survey of Surface Deformation in U.pdf»).

Aquests dos articles expliquen com s'estudien zones de Mèxic i Taiwan mitjançant InSAR per controlar subsidències de les zones estudiades.

Per definir i validar el marc teòric, s'han utilitzat dos articles base, el primer és de l'ICGC, que explica tota la matemàtica de com es recapta la informació InSAR i quin processament es fa per obtenir les dades que s'han utilitzat en aquesta memòria. («aplicaciones\_tecnologia\_insar\_cartografia.pdf»).

Pel que refereix a tots els càlculs emprats per tractar les dades dels piezòmetres estudiats, s'utilitza l'article de la USGS (United States Geological Survey), aquest explica com i quines equacions són necessàries per fer el canvi de Nivell piezomètric a assentament del terreny o al contrari com obtenim un nivell piezomètric si tenim la distància d'assentament del sostre de l'aqüífer. («Techniques of Water-Resources investigations of the United States Geological Survey.pdf»).

## 1.1 Objectius

Amb aquest treball de final de grau es busca fer una petita contribució a projectes de l'institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.

L'objectiu que ens marquem en aquesta investigació és respondre a la pregunta de si les dades InSAR ens serveixen per estimar l'evolució del nivell piezomètric. Per poder donar una resposta a aquesta qüestió, es comparà amb les dades que ara com ara pren l'ACA mitjançant els pous de control.

De forma resumida l'objectiu principal és el següent:

- a. Comprovar la fiabilitat de les dades obtingudes mitjançant la tecnologia InSAR, per saber si són útils per fer el seguiment del nivell piezomètric.

Per poder-ho comprovar de forma més segura, es fa en aqüífers els quals ja sabem que estan sobreexplotats i per tant els nivells piezomètrics són més diferents

Com a objectiu secundari, s'analitzarà la perillositat causada per sobreexplotació en aqüífers.

Per validar aquesta metodologia, farem l'estudi sobre dos aqüífers: el primer situat al nord de Catalunya a les proximitats de Girona, l'aqüífer al·luvial del riu Onyar; el segon se situa al sud de Catalunya al voltant de la ciutat de Reus, aquest és l'Aqüífer plioquaternari del camp de Tarragona.

## 1.2 Casos particulars

Per poder validar adequadament la metodologia InSAR s'ha consultat dos articles concrets, per així poder veure exemples on el control ja es fa per InSAR i per tant com es mostren dades.

Aquests articles s'han utilitzat per poder veure l'envergadura de les zones d'estudi i quina precisió aportaven. Per tenir referents, s'ha buscat unes zones que sabem que els aqüífers estan sobreexplotats. A més el primer cas també disposa de poblacions a la proximitat del mateix aqüífer, per tant aquest cas en pot ajudar també a veure com tractar la perillositat en la zona.

La metodologia InSAR és una metodologia que s'utilitza cada dia més, per això s'han buscat diverses referències semblants per poder corroborar que és una metodologia que puguem aplicar en els casos d'estudi, d'aquest treball.

### 1.2.1 Estudi dels aqüífers d'Aguascalientes

Primer de tot analitzarem una zona de Mèxic. Aquest país té molts problemes d'assentaments del terreny donada la sobreexplotació dels aqüífers situats en el seu territori; alguns d'aquests assentaments són perillosos per les construccions urbanístiques, fet pel qual és conegut aquest efecte a Mèxic. Concretament ens centrarem en l'estat d'Aguascalientes. Aquest estat concentra aproximadament un total d'1,3 milions de persones; d'aquestes, 900 mil es concentren a la ciutat central d'Aguascalientes. A part de la ciutat central, la resta de poblacions són rurals envoltades de camps de conreu. La geologia que més abunda és d'origen sedimentari; cal afegir que és una zona sísmica activa donada l'alta presència de falles. Informar que aquestes falles majoritàriament són falles normals.

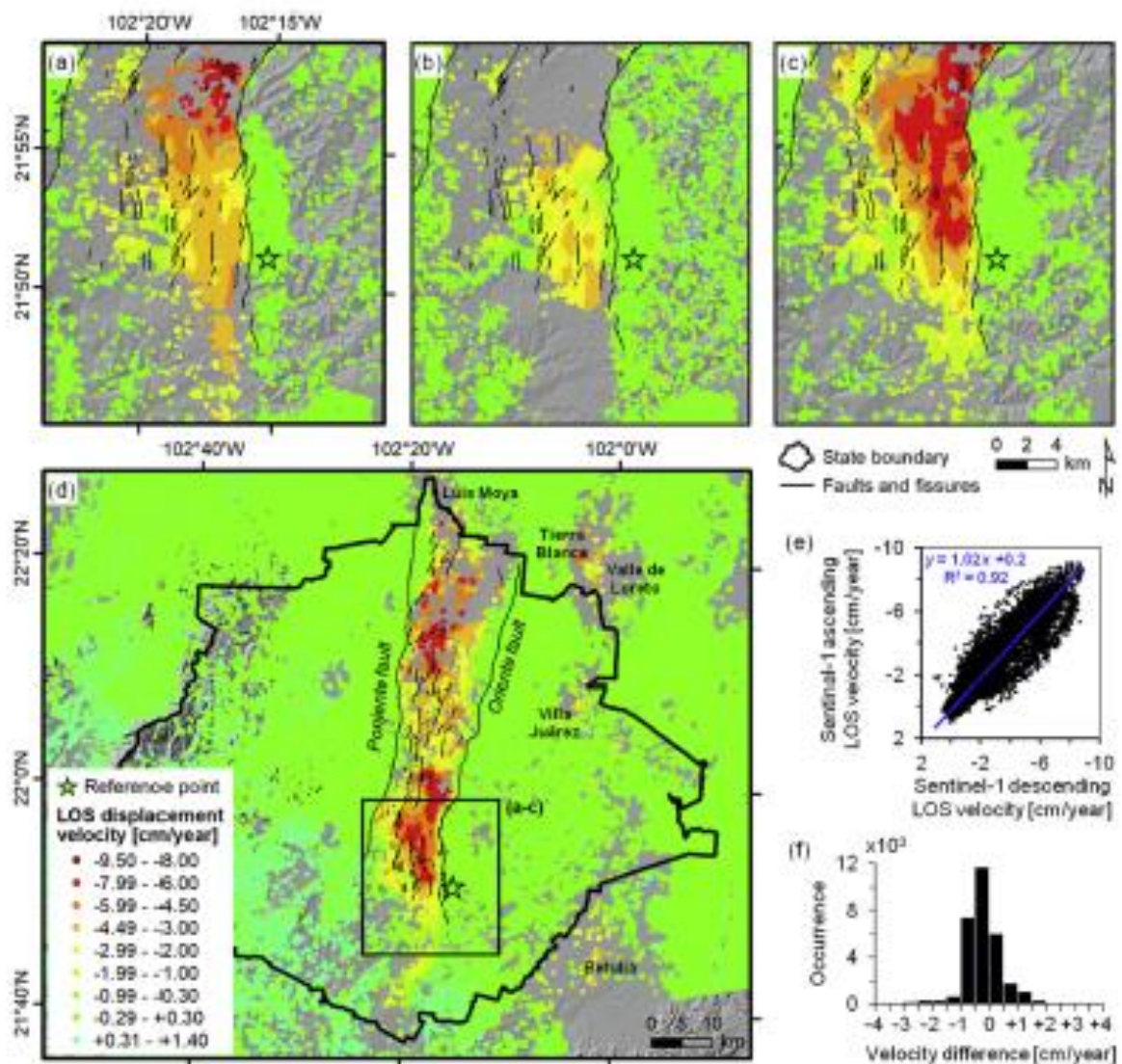


FIGURA 1 DISTRIBUCIÓ DE FALLES I PUNTS INSAR

La Figura 1 ens mostra, primer de tot, l'orientació de les falles normals esmentades anteriorment. També podem veure el núvol de punts que ha recopilat un dels satèl·lits del conjunt InSAR i, per conseqüència, el DEM calculat ja amb colors que faciliten la comprensió d'aquests mapes.

A la part central del mapa, l'ampliada, comprovem que en les zones vermelles les velocitats de desplaçament són més altes. A la Figura 2 Les imatges contenen informació de períodes temporals diferents en el cas de; a) són de 2003 al 2010, b) són del 2003 al 2007, aquest dos són de dos satèl·lits diferents i per això ens donen per períodes semblants resultats diferents, ara bé també podem veure que la majoria dels assentaments greus es van donar del 2007 al 2010, la imatge c) i d) són del període 2015 al 2020 per així poder comparar imatges i poder corroborar que els resultats que obtenim són concloents.

Una cita d'aquest estudi ens permet visualitzar les reaccions del terreny a la sobreexplotació dels aqüífers: "Les fissures sense moviment horitzontal ara bé amb 1-2 metres de profunditat i obertura que també trobem famílies paral·leles amb altres 2-3 discontinuïtats, es poden veure al llarg de tota la traça de la falla, quan no estan tapades amb sediments recents o residus de les construccions urbanes" («Cigna et al. - 2019 - Wide-Area InSAR Survey of Surface Deformation in U.pdf», p. 5).

Amb aquesta informació podem descriure de forma simple la distribució de les famílies de discontinuïtats que ens trobem per la zona.

Pel que refereix a la geologia, a la zona nord i més rural, podem dir que aquesta està tota recoberta d'un terciari i Quaternari; per tant, de materials recents i sedimentaris com ja havíem esmentat anteriorment. Aquests dipòsits de roques que trobem de forma irregular estan constituïts de conglomerats polimíctics, trencats sobretot per l'efecte tectònic, intercalats per seqüències granulars de sediments no consolidats d'origen al·luvial i fluvial essent la mineralogia d'aquests calcari i Llims.

Aquests estrats tenen una potència de 400 m donant lloc a l'aqüífer de Ojocaliente-Aguascalientes-Encarnación; aquest és un aqüífer lliure, el corrent d'aigua va de nord a sud.

Com a referència dels consums de la zona s'ha mesurat que es consumeixen 623 milions m<sup>3</sup>/any, el 77% dels quals el consumeix l'agricultura; el 20% és de consum públic i el 3% industrial. D'aquests 623 milions m<sup>3</sup>/any, 445 milions m<sup>3</sup>/any són d'origen d'aqüífers; això suposa que el 68% de l'agricultura, el 28% de la població i el 4% de la indústria s'abasteix d'aigua d'aqüífers subterranis, mentre que la taxa de recàrrega dels aqüífers de la zona és de 326 milions m<sup>3</sup>/any, donades les pluges que ronden els 510 mm (CONAGUA 2018).

Amb aquest balanç negatiu podem comprovar, per tant, que els aqüífers de la zona no arriben mai a recarregar-se i que les conseqüències que trobarem seran assentaments en les zones pròximes a l'aqüífer o dels mateixos sostres d'aquests.

En aquest cas, fins i tot ens trobem que la depressió del terreny es pot veure al llarg de tota la vall d'estudi i que es troben evidències de la deformació fins i tot a la mateixa ciutat d'Aguascalientes, amb el següent recull d'imatges volem evidenciar diverses deformacions que es veuen clarament en les estructures urbanístiques de la ciutat.



FIGURA 2 FOTOGRAFIES ON ES DEMOSTREN ELS PROBLEMES D'ASSENTAMENT EN EL NUCLI URBÀ.

En les imatges (a) i (b) de la Figura 2, podem veure canvis sobtats en l'alçada de la carretera i que també ho podem veure en les balles. Amb aquestes imatges també corroborem que el moviment només és de forma vertical com podem comprovar la majoria dels asfalts no es van haver de restaurar atès que és un material dúctil i deformable, al contrari les planxes de formigó que constitueixen les voreres s'han hagut de restaurar i molt segurament són sediments que van acabar per dins de les obertures com hem esmentat anteriorment.

Les imatges (d) i (e) mostren successos semblants en (a) i (b) ara bé podem veure com es va formar la discontinuïtat i el desplaçament vertical en ambdós casos molt clarament i en (e) fins i tot es pot apreciar la deformació de l'asfalt.

Utilització de dades InSAR per a l'estudi de l'efecte de la sobreexplotació d'aqüífers en la subsidència del terreny

Com podem veure els assentaments en zona urbana són greus i perillosos, en la majoria de la vall parlem d'un assentament d'1,9 m/any arribant a trobar algun pic de 3,5 m/any.

Amb les següents imatges ens mostren talls de com tota la zona de la vall s'ha enfonsat.

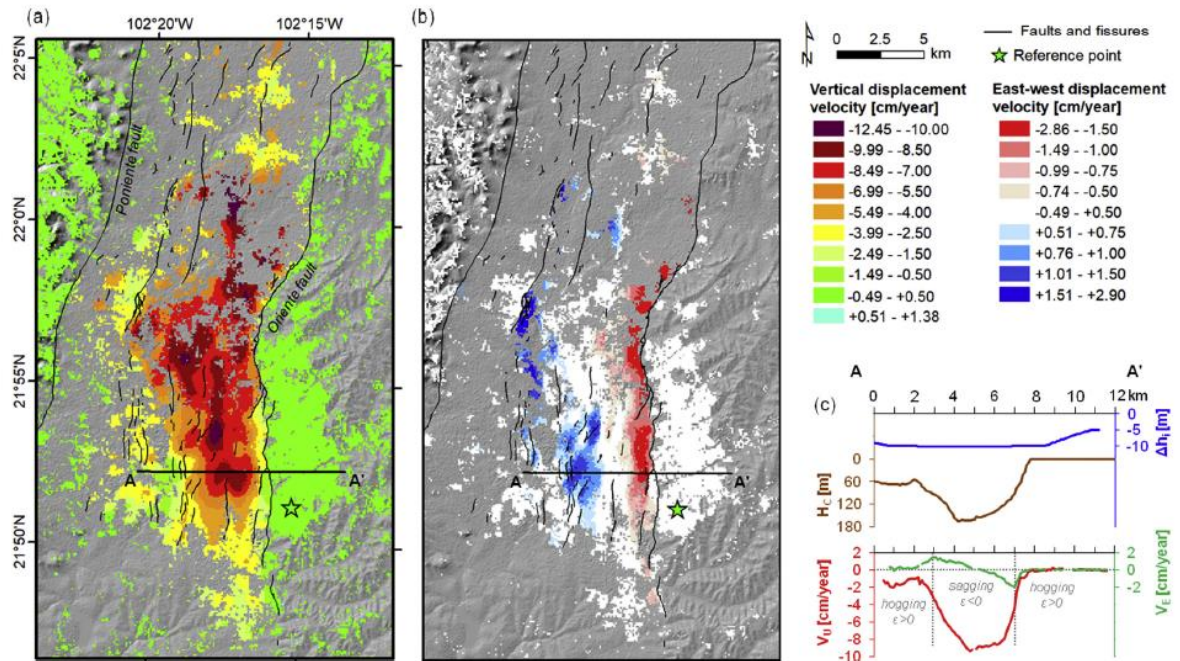


FIGURA 3 VELOCITATS DELS DESPLAÇAMENTS EN LA ZONA DE LA VALL D'AGUASCALIENTES

Com es pot observar, hi ha velocitats molt altes. En els casos de Catalunya no s'arriba a velocitats tan elevades; però serveix com a exemple més clar dels problemes i conseqüències d'assentaments donats per sobreexplotació d'aqüífers.

La velocitat vertical està descrita en el perfil que veiem a la part inferior dreta i es pot comprovar com a la part central el desplaçament és molt diferent de les parts laterals de la vall.

Aquesta situació encara suposa més perillositat, ja que és la zona on està situada la ciutat d'Aguascalientes. En les imatges de les Figures 4 i 5 es pot veure el contorn de la ciutat i on se situa, on es pot veure que la zona on la velocitat és més alta es correspon amb la ubicació de la ciutat, on el mateix pes col·labora en els assentaments.

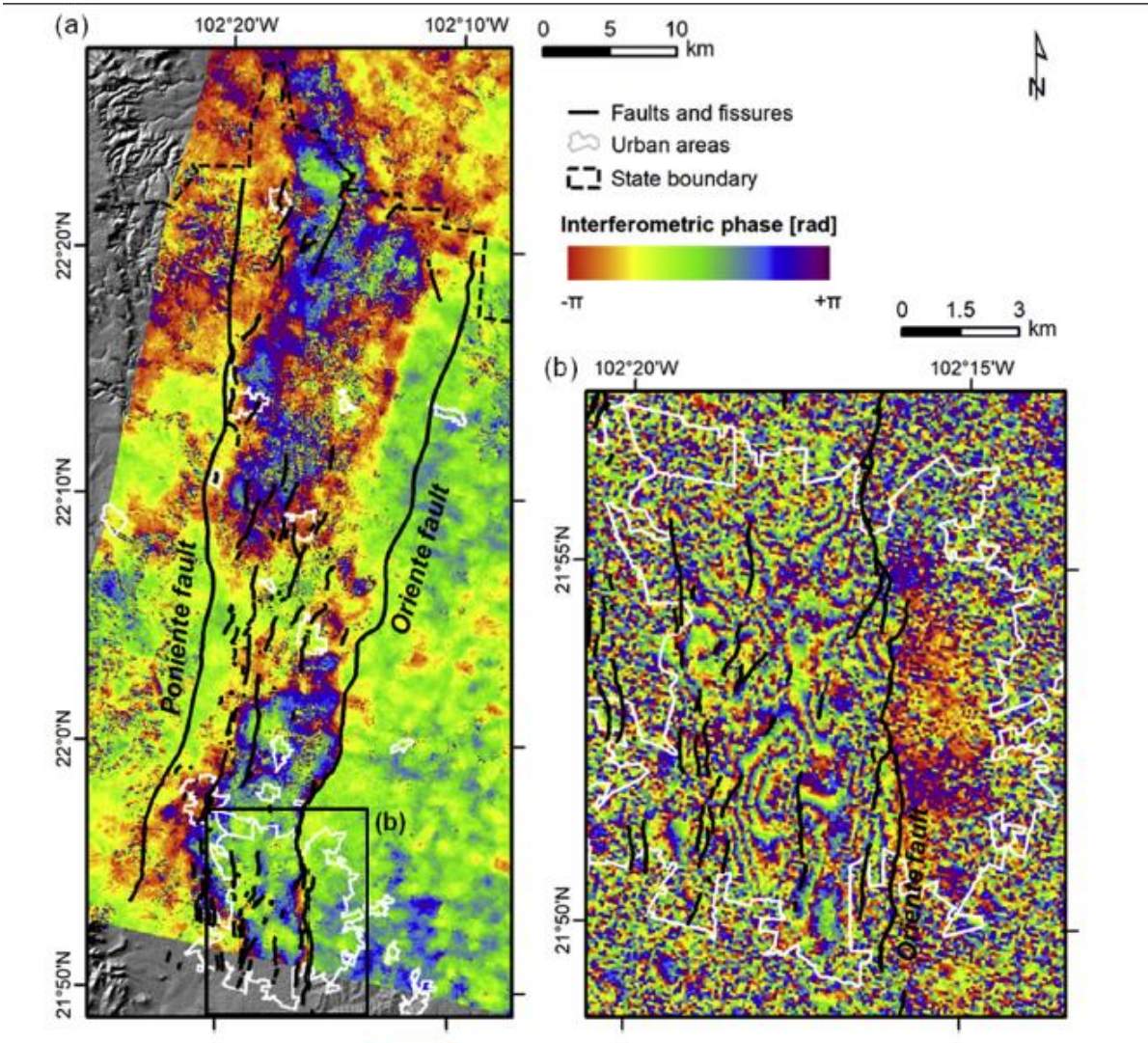


FIGURA 4 INTERFEROMETRIA DE LA VALL D'AGUASCALIENTES

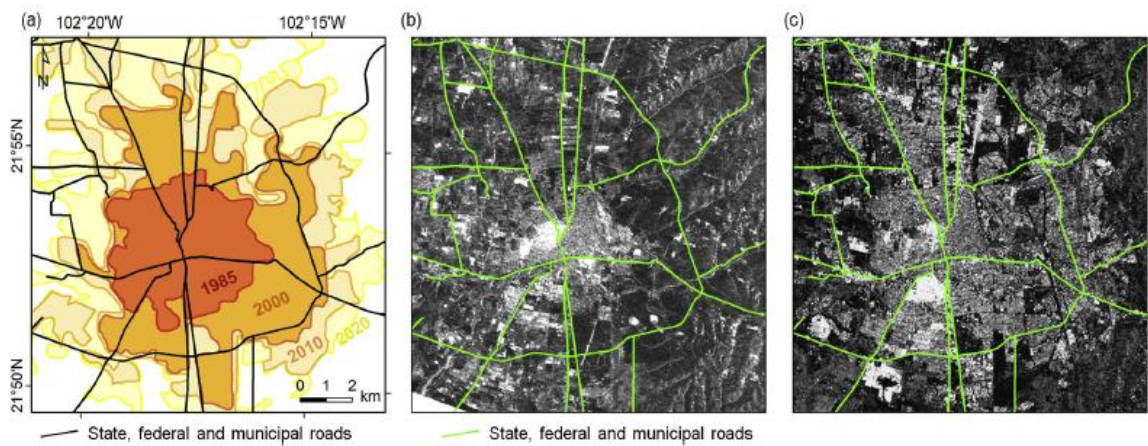


FIGURA 5 EVOLUCIÓ DE LA CIUTAT AGUASCALIENTES

## Utilització de dades InSAR per a l'estudi de l'efecte de la sobreexplotació d'aqüífers en la subsidència del terreny

Un cop vist on se situa Aguascalientes, tornant a la Figura 4, es pot validar que la part on les velocitats més altes calculades per la tecnologia SAR es correspon amb la part que també pesa més. Focalitzo en aquest punt, ja que en el cas d'estudi d'aquest TFG ens trobem amb ciutats com Reus o Girona que no arriben a contenir tanta població com Aguascalientes, però en el nostre territori són també ciutats importants i tenen edificis relativament alts. És raonable que per aquest motiu també trobem evidències que col·laboren en l'assentament de les zones d'estudi.

Per valorar adequadament el cas d'Aguascalientes en fixarem en la Figura 4 primer de tot d'aquestes imatges extrèiem que en les parts grises a verdosos es mou per sota dels 1,5 cm/any per la part de taronges i grocs trobem moviments d'entre 1,5 - 5,5 cm/any i per colors vermells a negres superiors a 5,5 cm/anys, aquesta informació ha estat recaptada des d'un grup de satèl·lits que per una zona de 32600 km<sup>2</sup> ha arribat calcular més 1,5 milions de punts.

Tot i la profunditat de l'estudi segons les dades de l'InSAR, ens falta la informació per comparar si hi ha relació amb la sobreexplotació dels aqüífers de la zona. Per això disposem de la Figura 6, que ens indica els canvis de la piezometria de la zona.



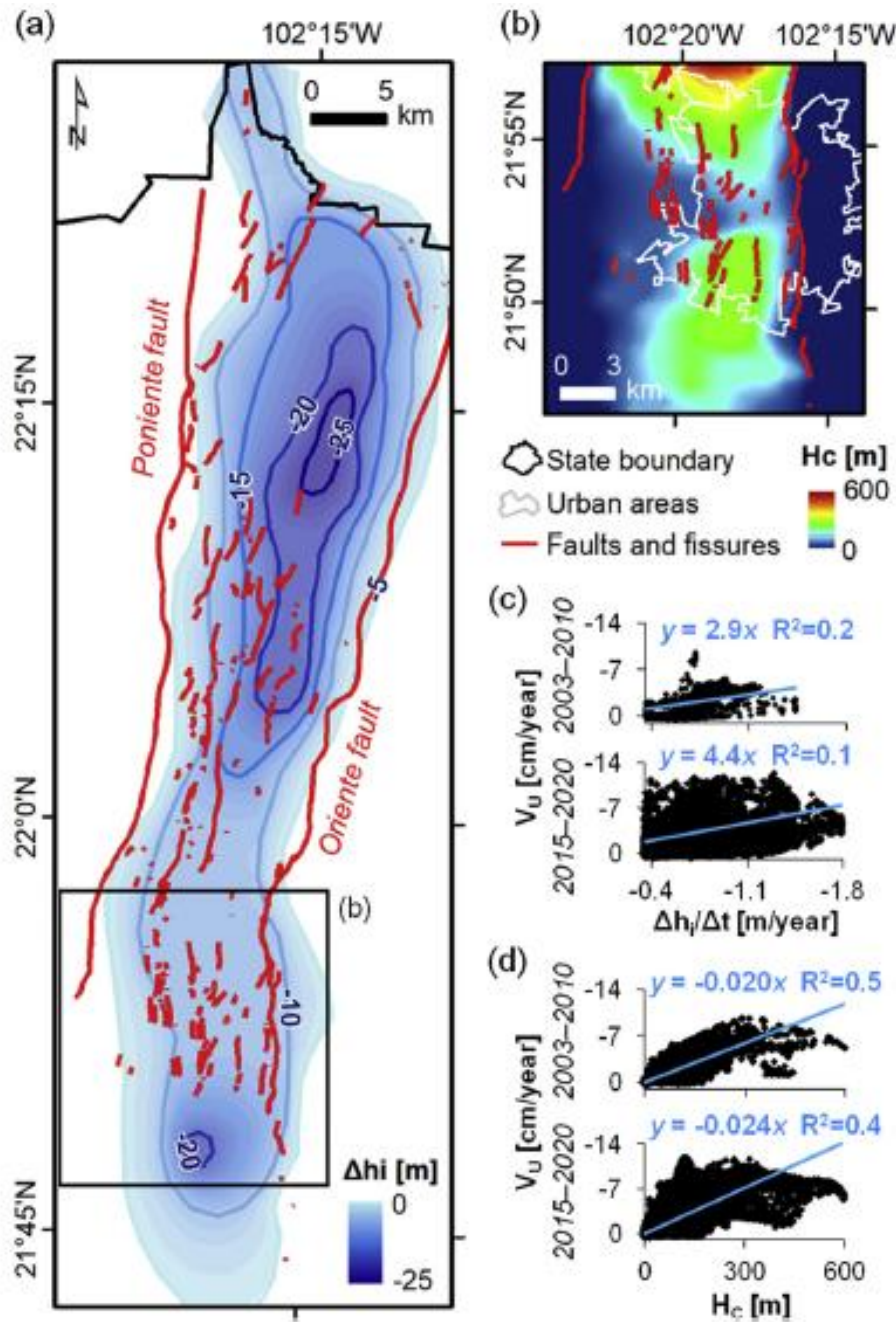


FIGURA 6 CANVIS PIEZOMÈTRICS ENTRE EL 2000-2014

A principis dels 2000 la ciutat d'Aguascalientes ja s'hi havia expandit la majoria del que s'anava a expandir, per tant la majoria dels canvis geotècnics ja havien succeït.

Una comparativa de la Figura 4 amb la Figura 7 permet comprovar que les zones on es consumeix més aigua, és a la part sud, al mateix lloc on està la ciutat. Per altra banda, al nord es concentra la majoria de les zones agràries i els camps de conreu, que són les àrees que més % d'aigua consumeixen.

A la ciutat, com la població està molt concentrada, els consums són comparables a l'àrea agrària.

### 1.2.2 Estudi dels aqüífers de Taiwan

L'altre cas que analitzarem prèviament del cas d'estudi d'aquest treball, és el cas de la deformació que trobem a la de Taiwan. El període on l'extracció d'aigua és més alta, és a l'estació seca, l'origen d'aquesta extracció és majoritàriament el consum d'agricultura, l'aqüicultura i l'industrial.

Aquest excés en el consum ja demostra assentaments a la zona. La preocupació que hi ha és que l'estructura de l'autopista, que hi ha en les proximitats de Yunli. La presa de dades es du a terme durant el període d'abril del 2016 a l'abril del 2017. Aquestes dades es prenen mitjançant la metodologia InSAR. Es va demostrar que entre el 60-74% dels assentaments que és trobàvem succeïen durant l'estació seca, d'on per tant tota l'aigua provenia dels aqüífers que descriurem tot seguidament.

Per poder comprendre com s'està movent la zona d'estudi primer de tot explicarem la geologia de la zona, i com s'obtenen les dades dels satèl·lits.

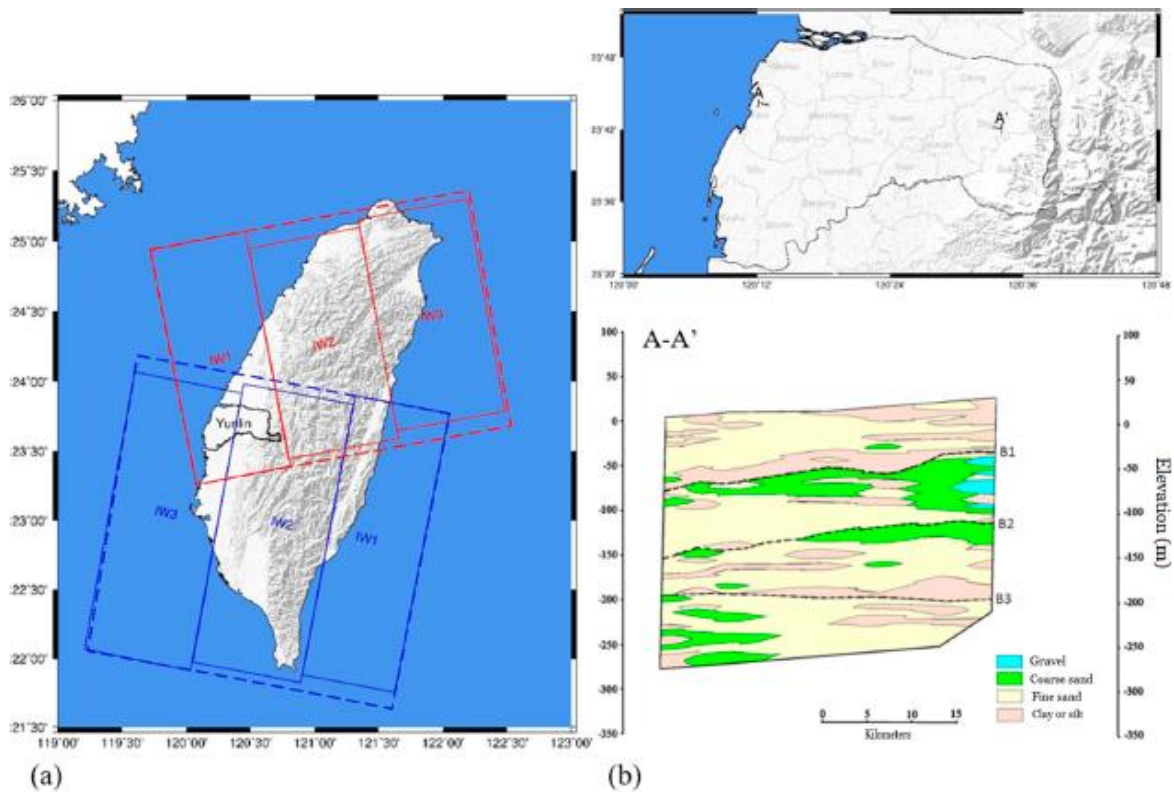


FIGURA 7 DISTRIBUCIÓ DE LA CAPTACIÓ DE DADES I TALL GEOLÒGIC DE LA ZONA D'ESTUDI

Com podem veure, en la Figura 7, en el mapa a) es veuen com es divideix la zona per la presa de dades fa el grup de satèl·lits que captin les dades. Remarcada veiem la zona marcada en negre on ens vessarem en veure els resultats. El tall geològic b) ens mostra com es distribueixen els 4 aqüífers de la zona i que se separen per les línies B1 B2 i B3.

La geologia que trobem és majoritàriament sorres fines intercalades amb llims calcàries, a l'alçada de 50-100 de profunditat també es troben algunes graves, ara bé en general no es veuen més. Aquesta geologia és d'origen al·luvial. En aquest article ens mostren les dades de la mateixa forma que s'ha pogut expressar en aquest treball per això volíem mostrar aquest cas.

La Figura 8 és un mapa amb la distribució completa dels punts on es prenen dades. Per comprovar si hi ha hagut desnivells.

Com podem veure en la Figura 8 aquesta és la distribució dels punts que utilitzen per estudiar la zona.

Veiem que els punts estan organitzats, això succeeix donat que només han agafat punts de les zones que els interessa controlar.

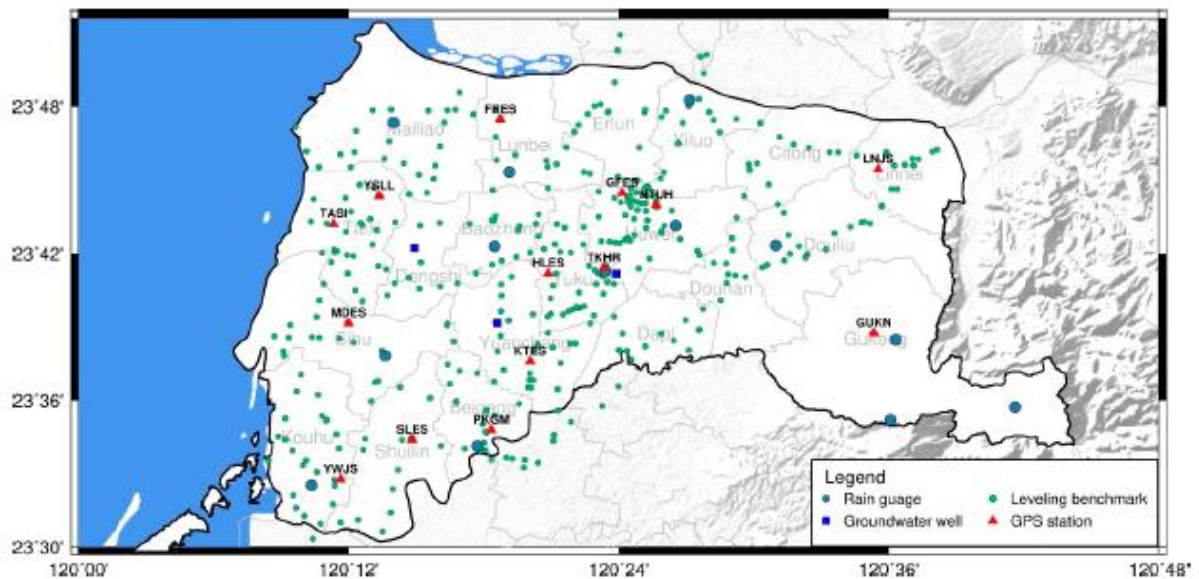


FIGURA 8 DISTRIBUCIÓ DE PUNTS DE CÀLCUL

Com podem veure hi ha diversos tipus de punts, però ens centrarem en els 406 punts que són l'estudi dels assentaments de la zona.

Com sabem la quantitat d'informació de la qual disposem, és alta, per tant en comparació a altres metodologies d'estudi l'avantatge que es troba és que la quantitat d'informació.

Com podem veure en els gràfics següents, la figura 9, són tots els punts InSAR mostrats en un gràfic poder calcular les funcions de regressió. Així es podrà estudiar el cas. Aquestes contenen famílies d'informació grans fent així més fiable l'obtenció dels resultats.

A la Figura 9 també podem veure que tant en direcció N-S o E-W la dispersió dels punts és molt petita. Per tant veiem que els moviments horitzontals en aquest cas són moviments en bloc.

Com veiem a la zona en general sí que es va movent, fins a un total de -6 mm/any, que és una quantitat notable.

En la direcció N-S encara que el moviment és de 2,6 mm/any també succeeix el mateix. Ara bé pel contrari pel qual refereix al moviment vertical, sí que veiem que és molt diferent.

En la zona la mitjana és de -4,4 mm/any. Trobem llocs puntuals que es mouen fora de la mitjana, per tant zones que l'enfonsament és tan diferent que pot portar problemes estructurals greus.

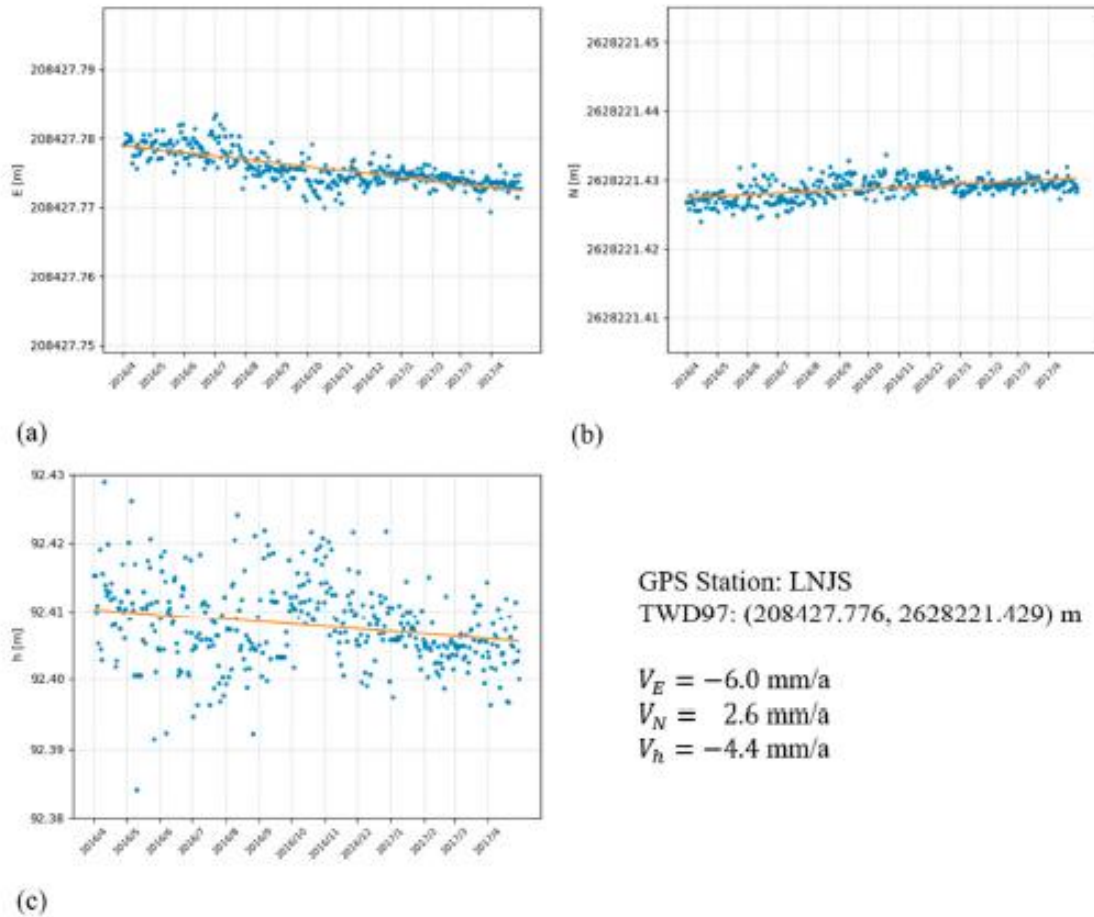


FIGURA 9 GRÀFICS DE LES DADES OBTINGUES DE LA ZONA D'ESTUDI

Amb aquests gràfics van estudiar com es movia la zona de Yunli Originant així un mapa d'on podem apreciar les diferents velocitats de desplaçament. En la Figura 10 s'observa uns vectors, aquests volen indicar la quantitat de moviment vertical, a mòdul més gran més assentament calculat per InSAR, com podem veure depèn de la zona el moviment és molt diferent.

Utilització de dades InSAR per a l'estudi de l'efecte de la sobreexplotació d'aqüífers en la subsidència del terreny

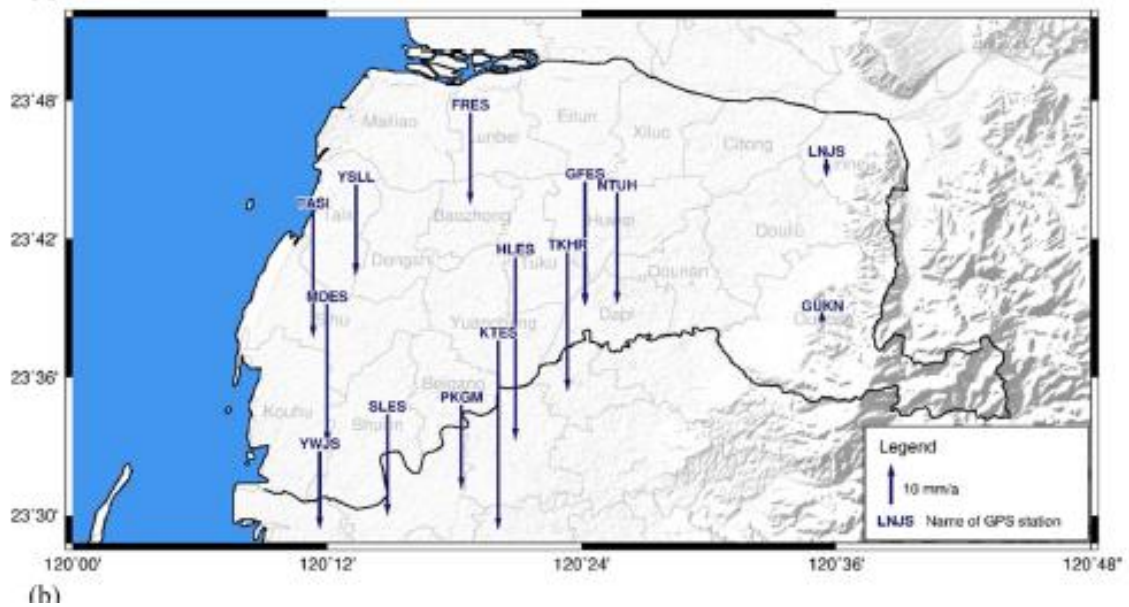


FIGURA 10 MAPA VELOCITATS VERTICALS

Com podem veure a les velocitats són molt diferents en general en tot el territori. Aquí la preocupació per les estructures urbanístiques com l'autopista que creua la zona.

Remarcar que no només les velocitats són diferents sinó que la majoria del moviment es dona en l'estació seca quan el consum d'aigua creix d'una forma abusiva, i no hi ha cap recàrrega dels aqüífers fins que no arriba l'època dels monsons.

“InSAR té l'habilitat de poder identificar punts de subsidència que altres mètodes no detecten” així comença la segona part de les conclusions d'aquest article, amb aquesta metodologia innovadora i a l'abast també del ICGC.

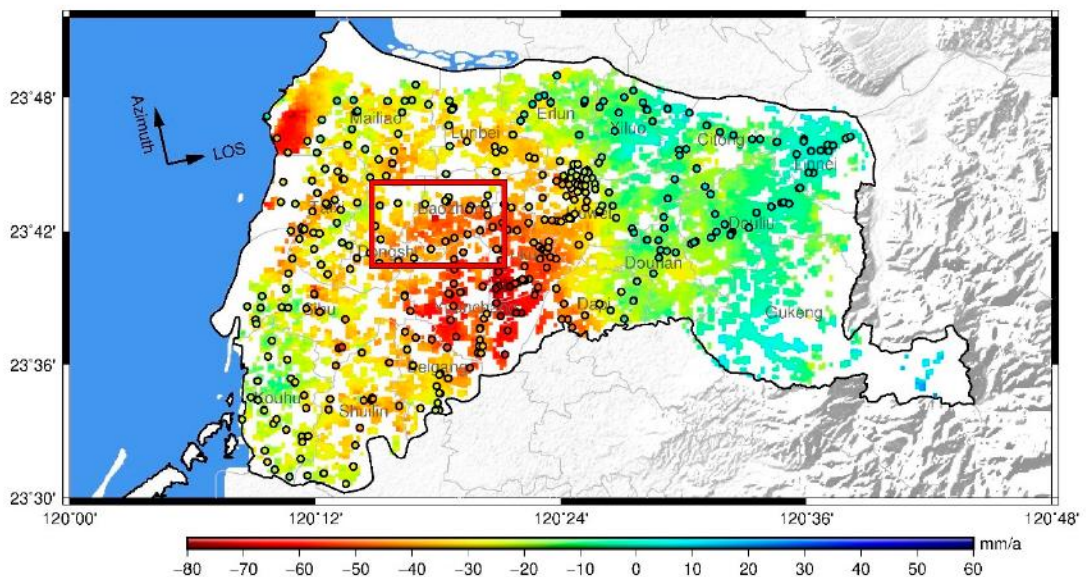


FIGURA 11 MAPA DE SUBSIDÈNCIES EN LA ZONA D'ESTUDI

La part enquadrada no és la zona que més està afectada per desplaçaments verticals. Ara bé sí que és la que té més índex de perillositat donat que és una zona on es concentra zones industrials i urbanes. Addicionalment s'informa que en aquella zona s'arriba a trobar velocitats de subsidència sobre els 82,3 mm/any.

Justament aquest article s'adapta molt al cas d'estudi que volem abordar donat que les dades van ser preses entre l'abril del 2016 a l'abril del 2017. Per tant les dades que tenen del InSAR és tan sols d'un any com el cas que s'aborda. Aquest també només disposem d'un any de dades.

En el cas de Taiwan també utilitzaven les dades InSAR per comparar amb un altre mètode en aquest cas el mètode de comparació és de GPS. Els resultats que es van obtenir és que la metodologia InSAR és més precisa com podem veure en els mapes mostrats.

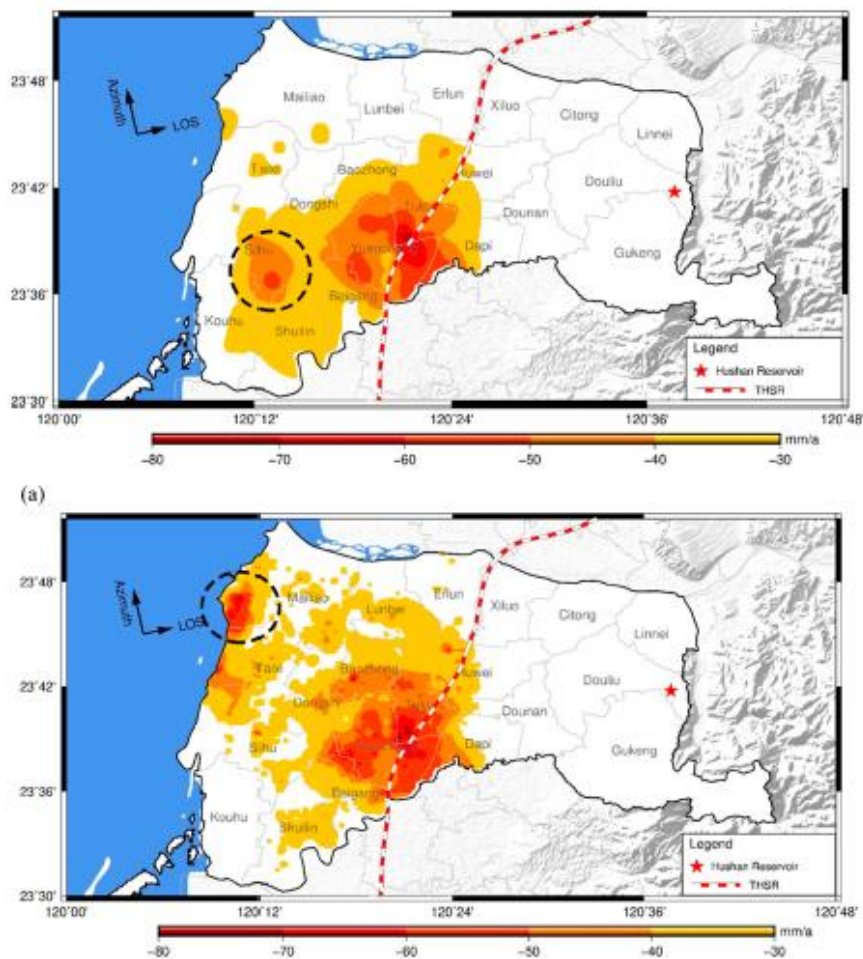


FIGURA 12 COMPARACIÓ GPS (SUPERIOR) AMB RESULTATS INSAR (INFERIOR)

Com podem veure a la Figura 12, descriu els resultats per GPS. Es pot veure que la quantitat d'assentaments és molt més petita, que la calculada per InSAR. A més a més és com podem veure InSAR va descobrir uns assentaments a la part nord-oest que és la més preocupant de la zona.

D'aquesta forma van poder concloure que l'estudi d'aquella zona era més precisa per metodologies InSAR que no pas, si calculaven per metodologies GPS.

## 2 Estat de l'art i condicions dels aqüífers

### 2.1 Tecnologies de control

Per dur a terme la investigació hem utilitzat dues metodologies, la de referència actualment utilitzada pel control dels nivells piezomètrics i la que volem validar, la presa de dades mitjançant la metodologia InSAR.

Els controls mitjançant piezòmetres, es porten a terme utilitzant pous de control, situats a diversos punts de la zona d'estudi, en aquests pous s'instal·len els piezòmetres els quals monitoren el control del nivell piezomètric de l'aqüífer el qual controlen. Aquest control com podem veure es du a terme on està l'aigua, per tant sabem que la fiabilitat és molt alta, s'han de tenir en compte les característiques de l'aqüífer, les aportacions d'aigua a l'aqüífer, com es dona la recàrrega i la geologia, per així saber les influències a l'hora de calcular. Mitjançant els càlculs que explicarem a l'apartat de metodologia, utilitzant l'article de l'USGS («Techniques of Water-Resources investigations of the United States Geological Survey.pdf»).

Per l'altre costat la metodologia que volem validar, en aquest, s'ha trobat un article del mateix ICGC que tracta justament el tema de càlculs i tractament de dades captades per l'InSAR (Arbiol, Palà y Pérez) amb aquest article i gràfics del mateix explicarem més profundament el funcionament de la presa i tractació de les dades.

## 2.2 Context geològic

L'aqüífer del riu Onyar i l'aqüífer del Baix camp, són dos aqüífers que sabem que estan sent sobreexplotats, com hem comentat s'agafen aqüífers en aquestes condicions per poder veure si uns canvis en el nivell piezomètric més abruptes, i així poder comparar més fàcilment les dades dels piezòmetres amb les dels assentaments de l'InSAR.

el primer està situat a la zona de la ciutat de Girona, al contrari el segon està situat al voltant de la ciutat de Reus, en els dos casos ens trobem aqüífers lliures amb materials del quaternari, més endavant especificarem les litologies, ja que són diferents depenent de l'aqüífer tractat.

Per poder facilitar les situacions geogràfiques adjuntem les tres figures posteriors.

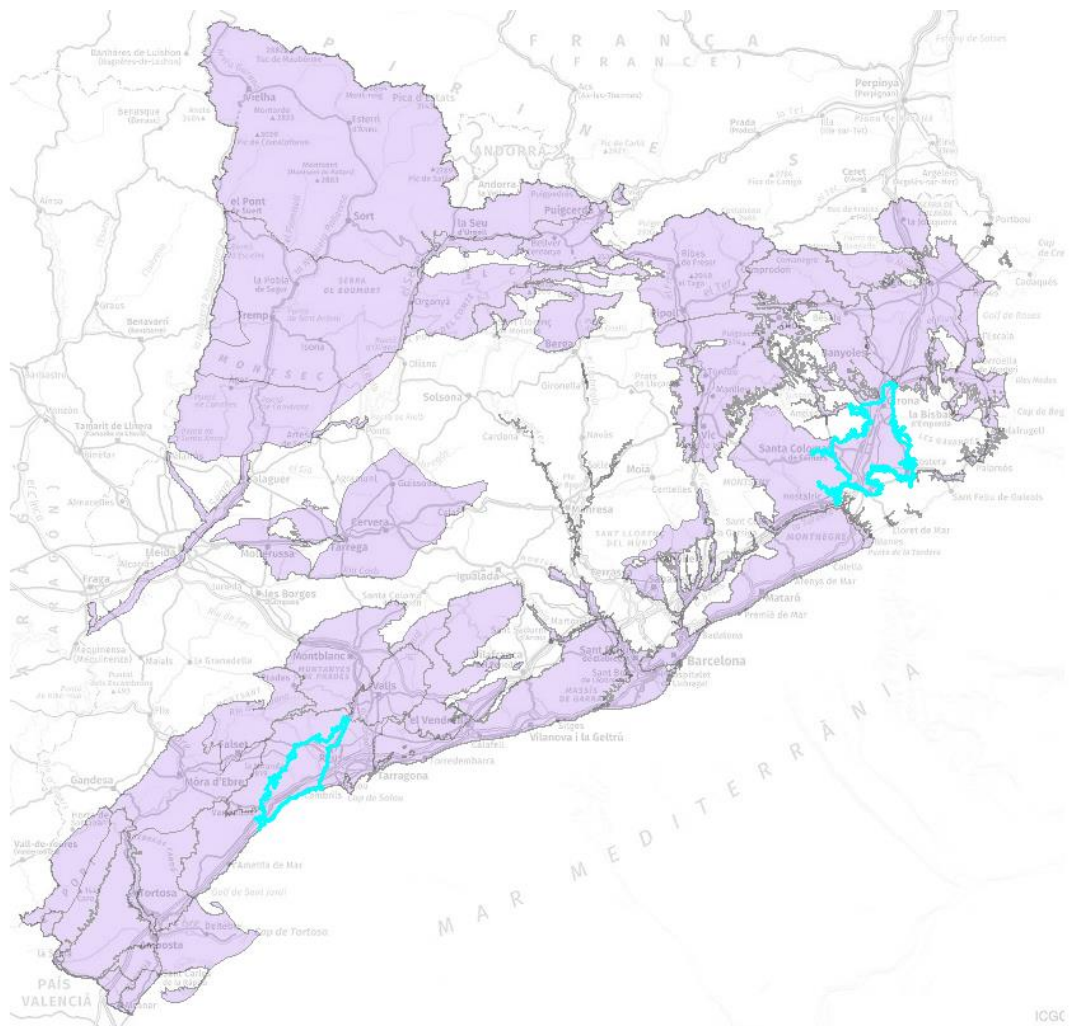


FIGURA 13 MAPA DE CATALUNYA AMB ELS AQÜÍFERS D'ESTUDI DESTACATS («SDIM»; «ICGC - VISSIR3»)



Utilització de dades InSAR per a l'estudi de l'efecte de la sobreexplotació d'aqüífers en la subsidència del terreny

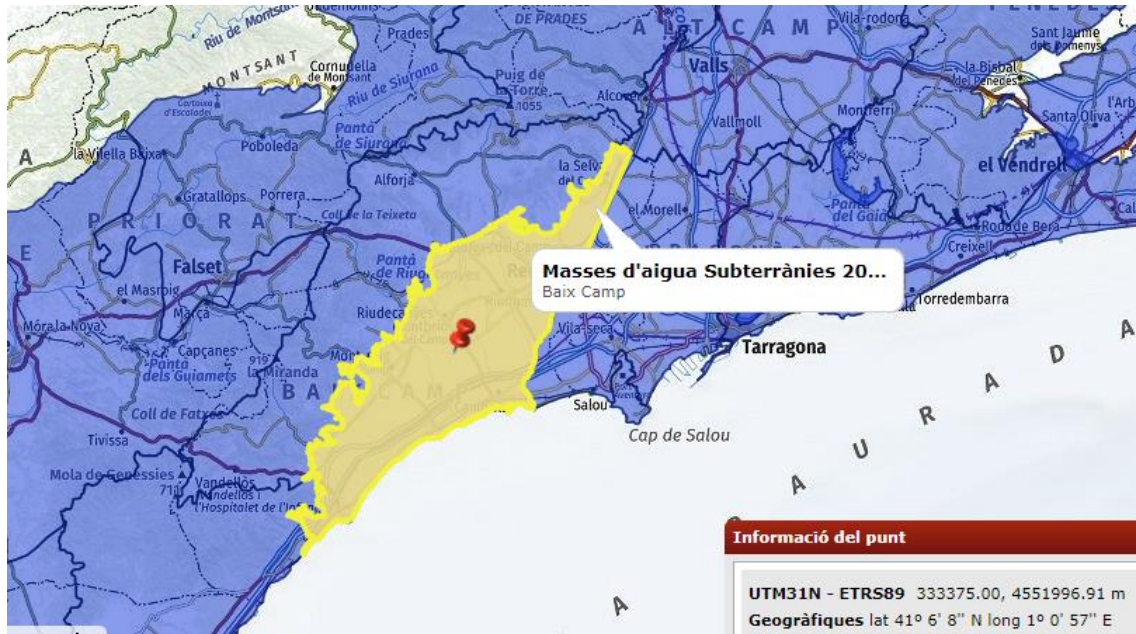


FIGURA 14 SITUACIÓ CONCRETA Aqüífer BAIX CAMP («VISOR ACA»)

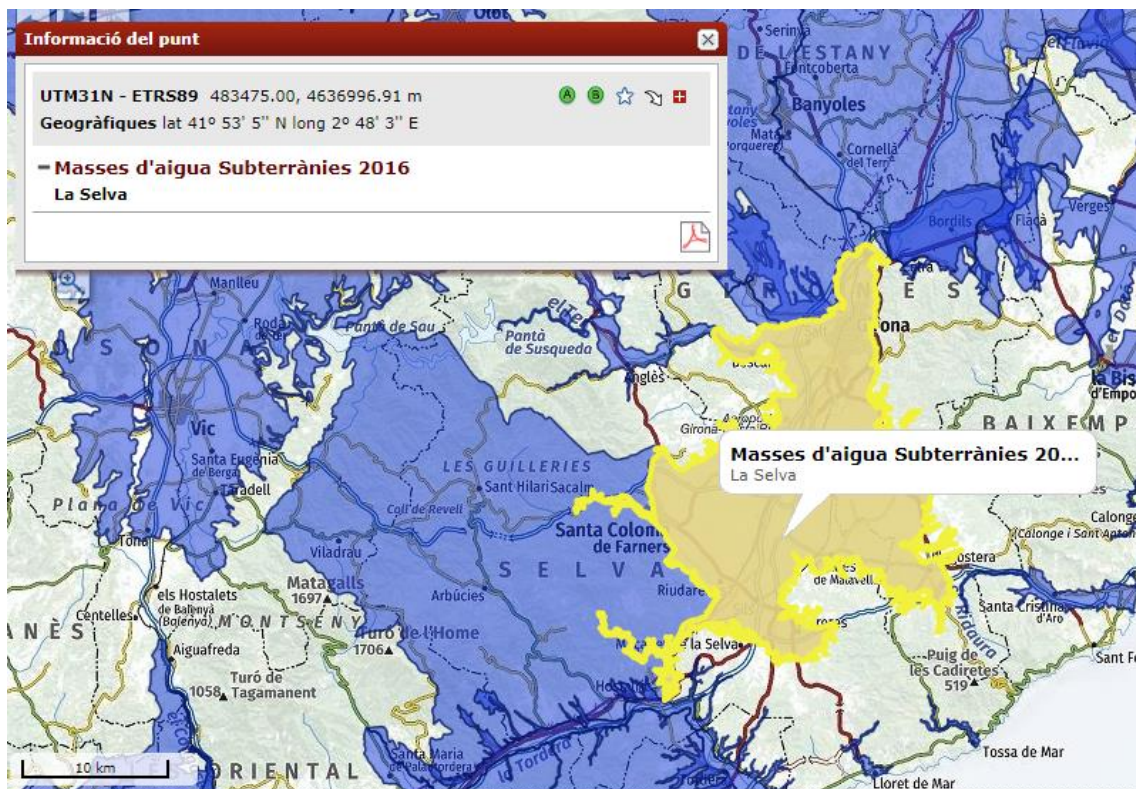


FIGURA 15 SITUACIÓ CONCRETA Aqüífer ONYAR («VISOR ACA»)

El seguiment del nivell piezomètric d'aquest aqüífer s'està fent, mitjançant estudis de piezometria en els pous documentats, i dels quals tenim les dades, ara bé com s'ha pogut veure arreu del món el monitoratge d'aquest mitjançant la tecnologia InSAR està donant resultats concloents i amb resultats comparables. I també en zones més amples, ja que la capacitat de captació d'informació es torna molt més fàcil, per tant mitjançant aquest treball, volem validar que les dades que es prenen mitjançant InSAR són igualment vàlides pel seguiment del nivell piezomètric dels aqüífers.

Els dos aqüífers sabem que estan sobreexplotats, ja que abasten a zones extenses, o ajuden a pal·liar transvasaments en altres rius.

En els dos casos els aqüífers són lliures i amb litologies semblants a les que tenim en els nostres casos.

### 2.2.1 Aqüífer l'al·luvial del riu Onyar

Aquest aqüífer està situat al Gironès a la part nord de Catalunya, aquest aqüífer rep el nom del riu que l'alimenta, aquest és un afluent del Ter. L'Onyar és un riu que va d'Oest a Nord, de forma general. Al tram final aquest riu creua la ciutat de Girona, com podem veure a la següent figura, fins a arribar al Ter.

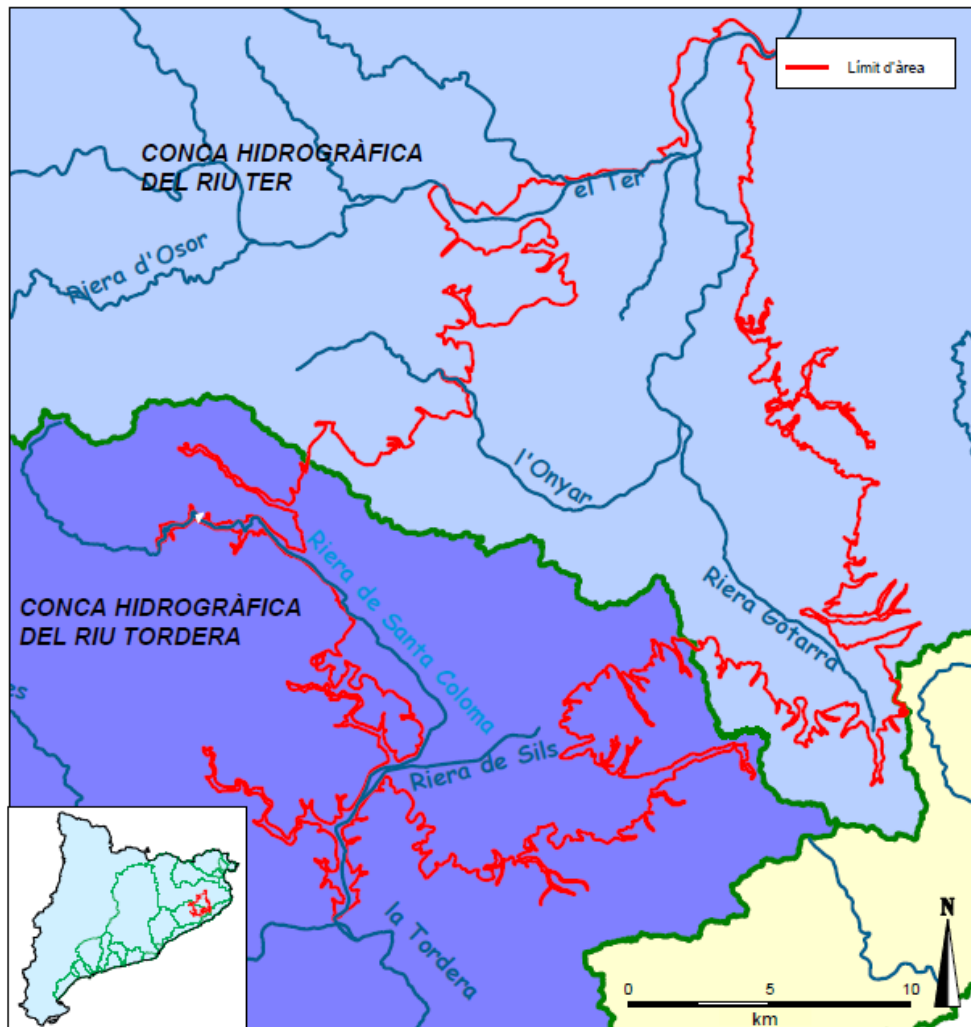


FIGURA 16 DESCRIPCIÓ Aqüífer LA SELVA

Els documents facilitats per l'agència Catalana de l'aigua, sempre se centren a tot l'aqüífer generat per la conca del Ter, el qual inclou com podem veure a la figura de sobre que la conca de l'Onyar està completament dins de la del Ter. Aquesta zona hidrogeològica està delimitada

per la unió de la serralada transversal i la prelitoral, on el relleu més destacable és el Montseny – Guillerics en el Nord-oest, pel que refereix al sud es delimita per la serralada Litoral i les Gavarres.

Pel que refereix a la descripció geològica que trobem és la següent;

**“Paleozoic:** Són materials metamòrfics i granítics. Les roques metamòrfiques es caracteritzen per la presència de pissarres i esquists, que a causa del caràcter posttectònic del plutó granític que sobreposa al metamorfisme regional un altre de caràcter tèrmic, complica la seva diferenciació estratigràfica. Els esquists i micaesquists són d'edat cambro-ordovícica amb intercalacions amb una potència de més de 700 m.

També hi ha formacions silúriques molt poc representades a l'àrea d'estudi per estar molt erosionades. Els granits es diferencien en cinc fàcies petrogràfiques. Aquesta varietat de fàcies es tradueix en geomorfologies distintes, en funció de la major o menor resistència als processos erosius.

**Terciari:** Estan representats per acumulacions paleògenes, afectats per moviments alpins, i sediments neògens que omplen la cubeta de la Selva i que es troben parcialment recoberts per formacions quaternàries.

**Quaternari:** Amb aquesta edat geològica es troben tres tipus de materials: (1) Roques volcàniques, representades al ventall volcànic de Sant Dalmai, capes de materials piroclàstics corresponents a distintes fases eruptives. Són d'edat pliocena Superior i Plistocè; (2) cons de dejecció, dipòsits detrítics en forma de ventalls, amb horitzons conglomeràtics i lleugerament cimentats. Són d'edats que varien entre el Pliocè terminal i l'Holocè; (3) Al·luvials formats per llims amb sorres. Tenen un ampli desenvolupament al llarg de tota la depressió.” («Selva - FITXES DE CARACTERITZACIÓ ADDICIONAL DE LES MASSES.pdf»)

Per poder tenir una referència millor s'adjunta la figura següent, que és un mapa geològic de la zona d'estudi.

Utilització de dades InSAR per a l'estudi de l'efecte de la sobreexplotació d'aqüífers en la subsidència del terreny

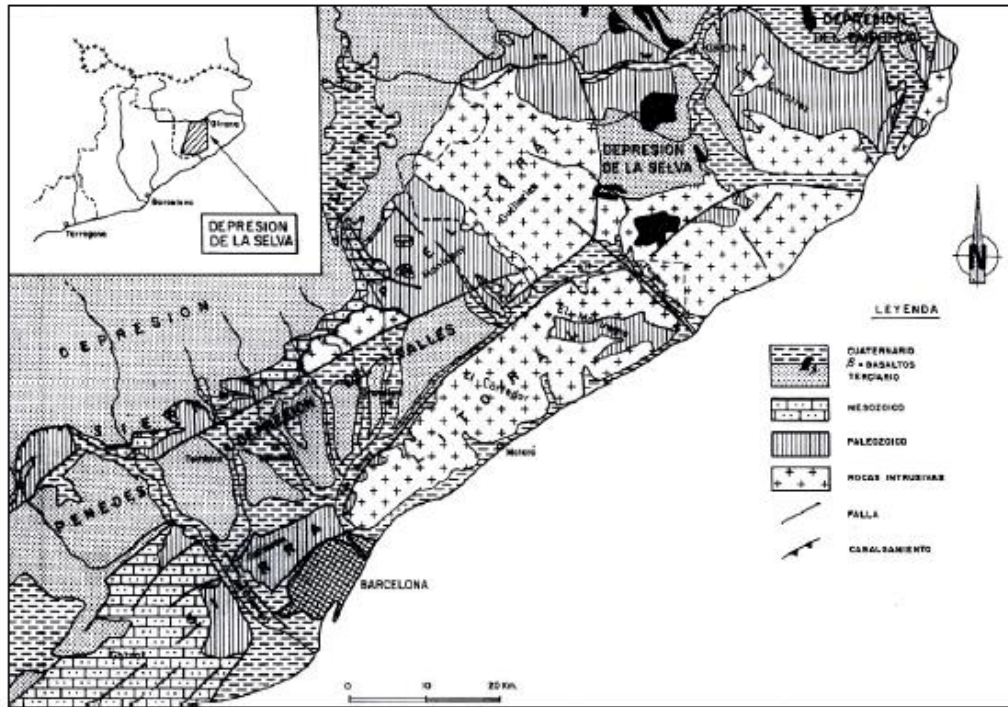


FIGURA 17 MAPA GEOLÒGIC DE LA ZONA D'ESTUDI

Tot i això pels pous d'interès que tenim documentats només s'han identificat litologies del Quaternari.

En aquesta zona tenim quatre àmbits com podem veure a la Figura següent;

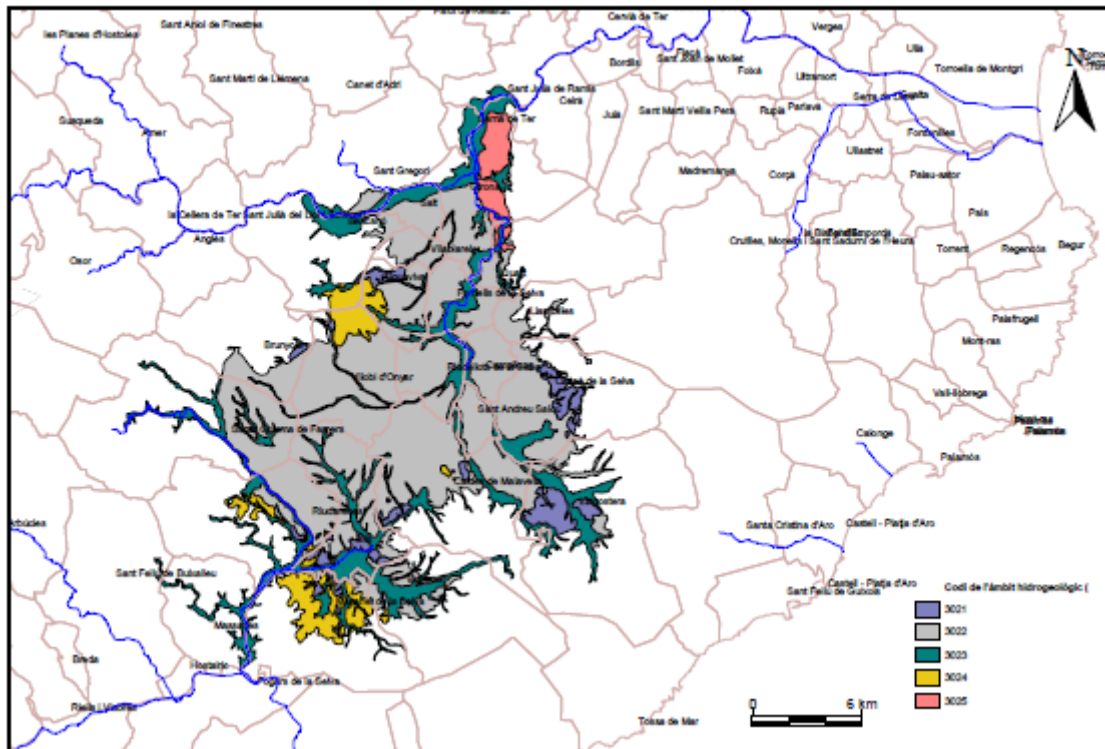


FIGURA 18 ÀMBITS HIDROGEOLÒGICS

Ara bé per la nostra zona només ens importa l'àmbit 3022 i 3023.

L'àmbit **3022** és el que més ens importa donat que és l'àmbit que predomina en la zona d'estudi i on trobem l'aqüífer que ens preocupa. En ser materials molt porosos l'aigua de pluja que hi cau es filtra recarregant els aqüífers, l'altra part de l'aigua de pluja es drena mitjançant els cursos fluvials que trobem.

L'aqüífer mencionat tant rep aigua de la pluja com també de la zona amb material terciari, concretament de les pissarres.

Aquesta zona s'explota l'aigua per utilitzar-la per abastament municipal, captacions per a indústries i captacions per ús agrícola.

L'àmbit **3023** sempre està a les proximitats del riu estudiat, per aquesta raó, els materials que trobem són arenas i llims, amb còdols arrodonits que formen les planes d'inundació i les terrasses del riu. L'aigua de pluja que cau sobre l'àmbit s'infiltra i es drena pel curs fluvial ajudant així a la recàrrega dels aqüífers de la zona, just aquest àmbit és el que més aporta a la recàrrega de l'Aqüífer de l'al·luvial del Riu Onyar (3023A12) el qual és l'aqüífer que hem procedit a calcular durant l'estudi.

Per últim un cop descrita la zona ens concentrarem en aqüífer 3023A12 aquest aqüífer es localitza sempre al voltant del riu Onyar i la riera Gotarra ocupa un total de 45 Km<sup>2</sup>, la potència dels dipòsits que ara explicarem són d'1-2 m a 20 m.

Aquest aqüífer està format majoritàriament per dipòsits al·luvials, formats per graves i sorres amb petits percentatges de llims i argiles, a part és de tipus lliure aquest aqüífer.

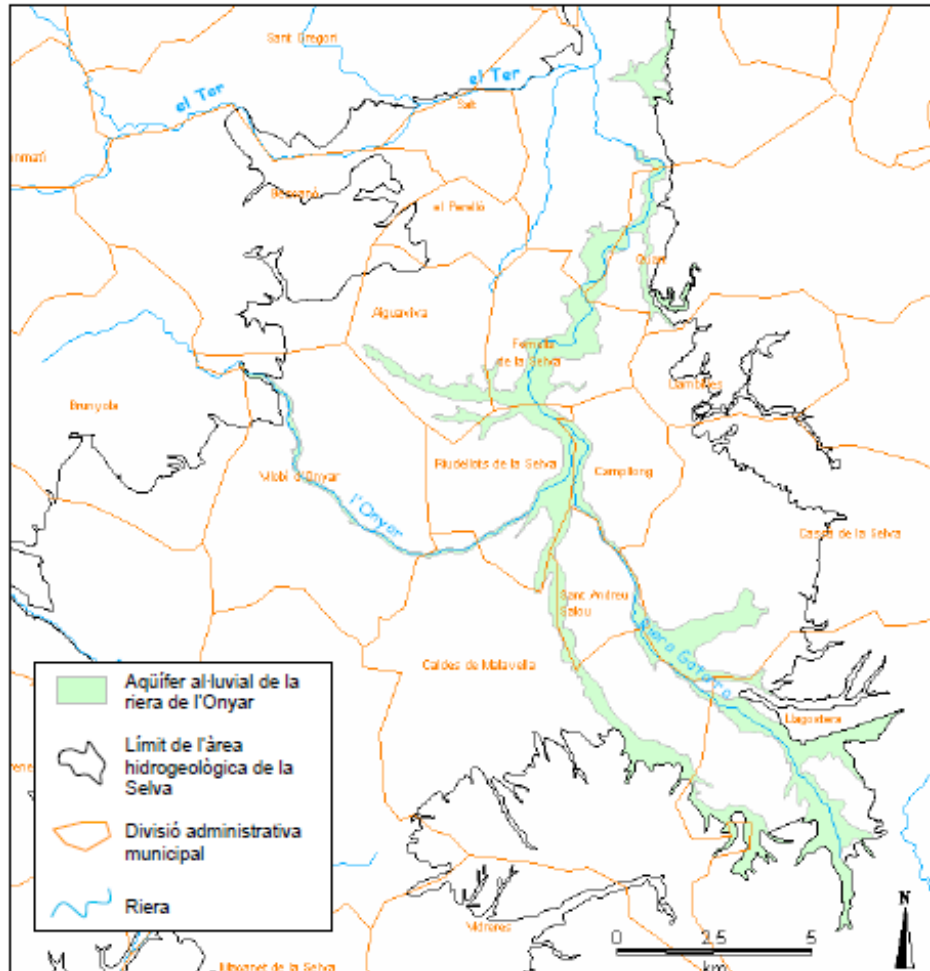


FIGURA 19 MAPA DE LOCALITZACIÓ DE L'AQUÍFER DE L'ONYAR

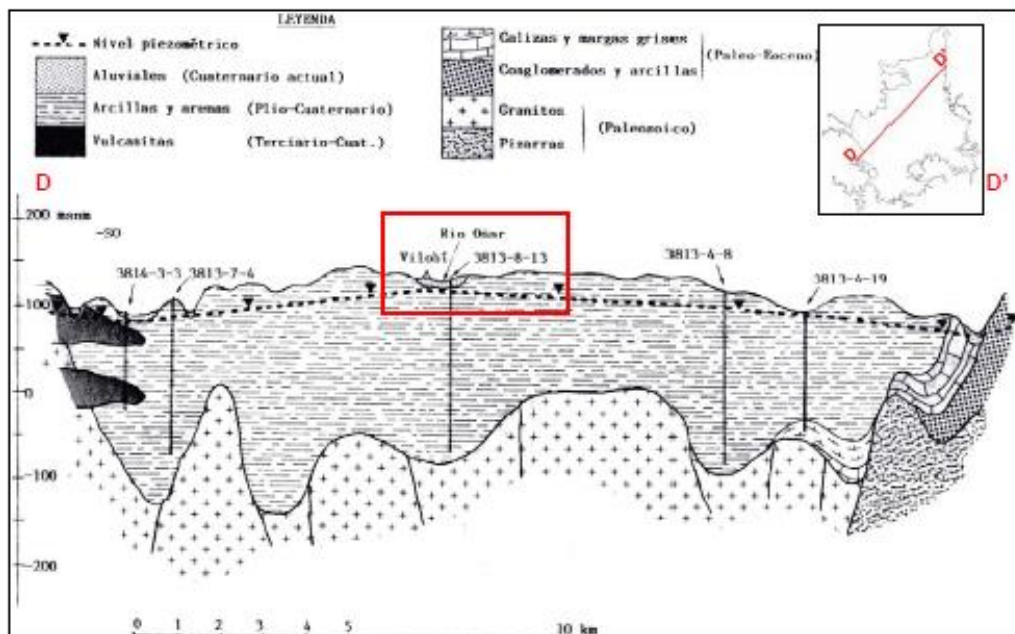


FIGURA 20 TALL GEOLÒGIC DEL RIU ONYAR (IGME, 1993)

Utilització de dades InSAR per a l'estudi de l'efecte de la sobreexplotació d'aqüífers en la subsidència del terreny

Per últim per acabar de caracteritzar l'aqüífer, es dona la taula següent amb certs valors característics per a tenir en compte.

TAULA 1 CARACTERÍSTIQUES DE L'AQUÍFER ONYAR

PARÀMETRE	VALOR	UNITATS	REFERÈNCIA
Porositat (n)	5-15	%	(IGME 1993)
Transmissivitat	100-750	M <sup>2</sup> /DIA	(IGME 1993)
Gradient hidràulic mig	0.01 A 0,0025		(IGME 1993)
Gruix de les formacions	FINS A 20	M	(ACA 2005)
Gruix de la zona no saturada	1.4 A 4,4	M	(VEHI,2001)

Com veiem en l'informe de l'ACA "Si es comparen les entrades amb les sortides, existeix un dèficit hídric de 2,53 hm<sup>3</sup>/any," («Selva - FITXES DE CARACTERITZACIÓ ADDICIONAL DE LES MASSES.pdf») demostrant així que hi ha un dèficit, que a l'apartat 4 ja explicarem amb números més concrets com hem detectat aquest fet.

Per últim un fet important a comentar de la transmissivitat, "D'acord amb l'Agència, 2003, existeixen valors de l'ordre de 2000-3000 m<sup>2</sup>/dia, pels nivells de graves, i de 10-50 m<sup>2</sup>/dia, pels nivells de llims i argiles. A la figura 10. (ITGE, 1989) es reflecteix la distribució superficial de transmissivitats en l'aqüífer Plioquaternari, dels que els principals trets serien els següents:

1. A la zona de la costa des del sud de L'Hospitalet de l'Infant fins a l'oest de Cambrils es troba la zona de més transmissivitat: els valors serien de 1000-3000 m<sup>2</sup>/dia. Més terra endins, des del límit sud-oest de l'aqüífer fins a l'oest de Tarragona els valors oscil·larien entre 200-1000 m<sup>2</sup>/dia, així com en els voltants d'Alcover i en l'al·luvial del Gaià.
2. A la zona de Reus i en tot el límit nord a l'oest d'Alcover, així com en el triangle que formen Valls, Rodonyà i el límit sud a l'est del riu Francolí, la transmissivitat arriba als valors més reduïts, inferiors a 50 m<sup>2</sup>/dia.
3. En la resta de l'aqüífer els valors oscil·len entre 50-200 m<sup>2</sup>/dia." («Agència Catalana de l'aigua - 309 - ÀREA DE LA DEPRESSIÓ DEL CAMP DE TARRAGONA I.pdf»)

Aquest fet es comenta donat que pot influir en les interpretacions dels resultats i en les conclusions.

## 2.2.2 Aqüífer plioquaternari del camp de Tarragona

El segon aqüífer que estudiem està situat a la zona del camp de Tarragona l'àrea completa ocupa uns 653 Km<sup>2</sup>, aquesta zona es va originar a causa d'esforços compressius i distensió donats durant l'orogènia Alpina, amb aquesta es van formar les estructures limítrofes en direcció NE-SO. "La depressió es va reomplir amb materials detrítics miocens, pliocens i quaternaris, que traspasaren el seu àmbit, per la qual cosa els límits de la depressió i el material de rebliment no coincideix." («ICGC\_Geoindex\_-\_Visualitzador\_Cartografia\_hidrogeologica.html») per la part superior el límit que trobem és una altra falla que va en direcció NO-SE i per la part inferior el límit és la mateixa línia de costa, més endavant presentarem un tall geològic per poder visualitzar totes les estructures esmentades.

Per poder comprendre adequadament el tall abans, però haurem d'explicar la geologia de la zona, Tot el rebliment de la fossa tectònica són materials detrítics: graves, arenisques, sorres, argiles, i llims, donat que són materials que la seva porositat i permeabilitat depenen molt de la cohesió que tenen, ens trobem que a la zona occidental trobem espais que molt més permeables que altres. En aquesta zona es diferencien dos aqüífers, aquest es diferencien mitjançant una capa d'argiles que separa el Terciari primer aqüífer i el Pliocè que està amb el Quaternari formant el segon aqüífer. El segon que és l'aqüífer estudiat té gruixos de 50-400 metres.

Donada la geologia totes les recarregues es donen per infiltració de la pluja caiguda, aquests afloraments com hem dit son molt porós i permeables fent així molt fàcil la infiltració. Aquesta infiltració és tal que també per fer el balanç hídric hem de tenir en compte que hi ha part de l'aqüífer que descarrega al massís del nord, l'àrea Garraf-Bonastre. Més de les ¾ parts de l'aigua que es consumeix és agricultura, l'altra fracció es reparteix entre consum urbà i industrial. Com a cas a destacar cal informar que es comencen a notar algun punt amb infiltració d'aigua marina per tant en el supòsit que s'evidenciï la sobreexplotació la infiltració d'aigua marina i per tant la contaminació de l'aqüífer serà cada cop més significativa fins a arribar al punt que possiblement es torna inutilitzable aquest aqüífer.

Seguidament veureu unes figures per ajudar a comprendre el text anterior, esmentar que la nomenclatura de l'aqüífer que estudiem en aquest TFG és l'aqüífer Plioquaternari del camp de Tarragona (3091I01), la primera figura és el mapa per situar aquest la resta de figures són una descripció geològica i el tall geològic per poder veure com es distribueixen les falles i discontinuïtats i també les litologies esmentades en text.





FIGURA 21 SITUACIÓ DELS AqüÍFERS DEL CAMP DE TARRAGONA

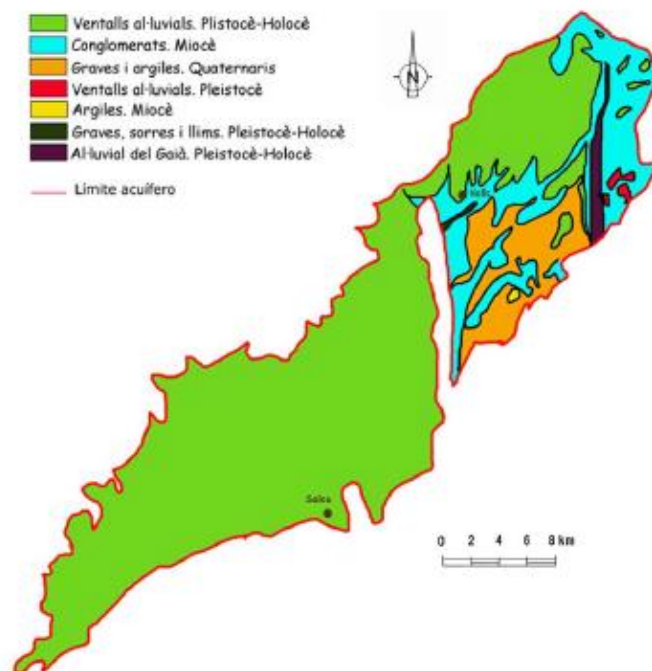


FIGURA 22 DISTRIBUCIÓ DE LITOLOGIES EN L'AqüÍFER PLIOQUATERNARI

Utilització de dades InSAR per a l'estudi de l'efecte de la sobreexplotació d'aqüífers en la subsidència del terreny

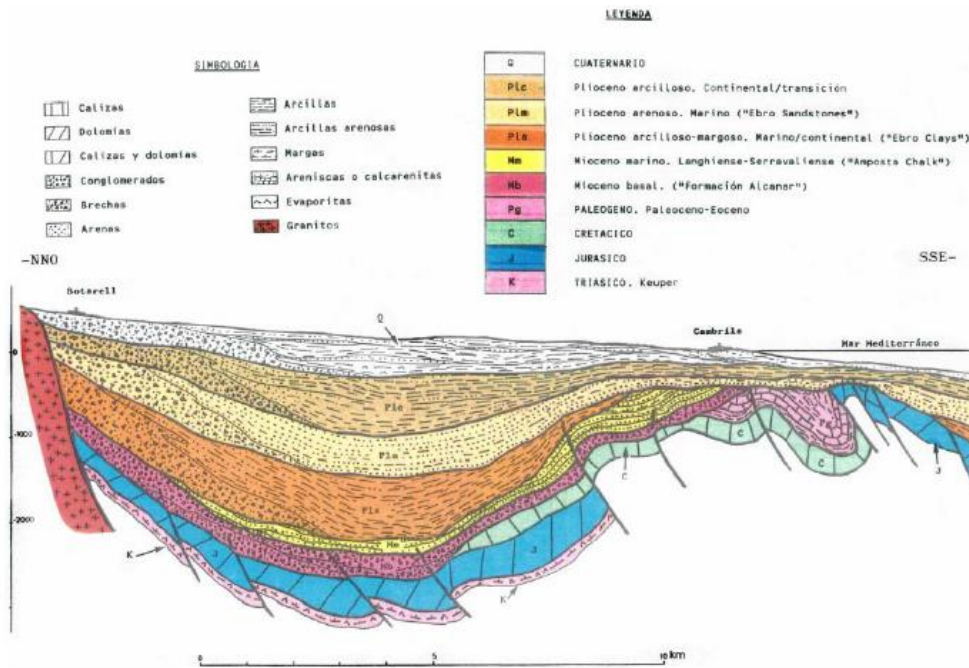


FIGURA 23 TALL GEOLÒGIC ZONA CAMP TARRAGONA

Utilitzant el document, l'informe de l'àrea 309 Camp de Tarragona (Agència Catalana de l'aigua) per poder comprimir la informació i així simplificar la informació més important es crea la taula següent;

TAULA 1 QUADRE RESUM DE L'AQUÍFER PLIOQUATERNARI

AQUÍFER PLIOQUATERNARI DEL CAMP DE TARRAGONA

Superfície aflorant	616 KM2	
Litologia	CONGLOMERATS, BRETXES, GRAVES, SORRES, LLIMS, ARGILES	
	EDAT PLIOCÈ-QUATERNARI	
Gruix (m)	50-400. EN ELS PIEMONTS ENTRE 60 I 800.	
Tipus	LLIURE; LOCALMENT MULTICAPA	
Recàrrega	PLUJA, AIGÜES SUPERFICIALS DEL RIU GAIÀ, DRENATGE DE RIERES, RETURN DE REGS, ESCOLAMENT DES D'UNA ALTRA ÀREA, APORTACIONS LATERALS D'UNA ALTRA ÀREA, PÈRDUES DE LES XARXES DE DISTRIBUCIÓ D'AIGUA.	
Descàrrega	MAR, RIU FRANCOLÍ, UNA ALTRA ÀREA, BOMBEIGS	
Usos	ABASTAMENT URBÀ INDUSTRIAL, AGRICULTURA, RAMADERIA.	
Paràmetres	PERMEABILITAT (M/DIA)	100-2500
	TRANSMISSIVITAT (M2/DIA)	ENTRE 2000-3000 EN NIVELLS DE GRAVA I 10-50 EN NIVELLS AMB CONTINGUTS EN ARGILES
Fonts d'informació	IGME 1986, 1989,1994, 1999. PHPO, 1995. ACA 2002, 2003	

Utilització de dades InSAR per a l'estudi de l'efecte de la sobreexplotació d'aqüífers en la subsidència del terreny

Pel que refereixen a les característiques hidrogeològiques de l'aqüífer, separem en dues parts la piezometria i una taula amb tots els valors importants de l'aqüífer, així analitzem com trobem en l'actualitat els nivells piezomètrics i com són les tendències i les característiques que es calculen en relacionar totes les característiques s'adjunten amb una taula per així poder resumir i simplificar en una taula.

Les piezometries de la zona és complicada d'explicat donat que aquest aqüífer funciona en règim lliure, ara bé totes les recarregues es donen per tota la superfície de la zona i les descàrregues de règim natural van al mar mitjançant el riu Francolí, en part al Gaià o de forma directa al mar donat el contacte que hi ha al SE de forma natural. Prenent com a referències les dades amb números, extretes directament de la bibliografia esmentada durant aquest apartat, mostrem les següents taules.

TAULA 2. RECÀRREGA NATURAL

Origen	hm <sup>3</sup> /any	període	Mètode de càlcul
Infiltració de pluja	7,1	PROMIG 1940-2002	MODEL HIDROLÒGIC DE TRANSFORMACIÓ PRECIPITACIÓ-ESCORRENTIA: SACRAMENTO (1940-2002)
Entrades superficials (rius...)	15,0		ESTIMACIÓ I/O BIBLIOGRAFIA
pèrdues en la xarxa	1,8		ESTIMACIÓ I/O BIBLIOGRAFIA
retorn de regadiu	2,4		BIBLIOGRAFIA O ESTIMACIÓ A PARTIR PERCENTATGE AGRÍCOLA
entrades laterals (flux subterrani)	16,3		ESTIMAT SEGONS PIEZOMETRIA I/O BIBLIOGRAFIA
Total	42,6		

TAULA 3 EXTRACCIONS PER BOMBAMENT:

NRE. DE PUNTS D'EXTRACCIÓ I VOLUM ANUAL EXTRET

ABASTAMENT POBLACIÓ		AGRICULTURA		INDÚSTRIA		TOTAL	
nre.	HM <sup>3</sup>	NRE.	HM <sup>3</sup>	NRE.	HM <sup>3</sup>	NRE. <sup>4</sup>	HM <sup>3</sup>
18	0,93	-	14,6	149	1,78	167	17,31

<sup>1</sup> Informació extreta del PABCAT (Pla d'abastament en alta a Catalunya, ACA 2003)

<sup>2</sup> Informació extreta a partir de l'estimació de dotacions agrícoles (ACA, 2000)

<sup>3</sup> Informació extreta a partir de les dades tributàries (ACA, 2006)

<sup>4</sup> El nombre total d'extraccions no inclou les destinades a usos agrícoles.

Si féssim només el càlcul matemàtic, podem veure que en principi no hauria d'haver-hi problemes de sobre explotació, però ja des d'abans del 2000 i tenint en compte el transvasament del Riu Ebre sabem que la tendència d'aquest aqüífer sempre és a la baixa, per tant encara que no es mostri per càlculs la mateixa ACA ja avisa d'aquesta tendència que es pot tractar com a sobreexplotació de l'aqüífer. "En general, els nivells s'estan recuperant i han experimentat un ascens notable (fins a 10-40 m) i

Una disminució de l'amplitud de les oscil·lacions interanuals des de l'any 1989, amb l'arribada del transvasament de l'Ebre. Aquesta recuperació s'ha atenuat a partir de l'any 2000, a partir del

Utilització de dades InSAR per a l'estudi de l'efecte de la sobreexplotació d'aqüífers en la subsidència del terreny

qual s'han observat lleugers descensos de nivell en les tendències generals, i descensos més acusats a la zona entre Reus i Constantí. S'observen oscil·lacions estacionals amb mínims els mesos d'estiu, molt accentuades a la zona de l'Alt Camp.” (Agència Catalana de l'aigua).

Com ja havíem comentat passem a mostrar una taula amb la resta de valors característics hidrogeològics que han estat necessaris per obtenir els resultats que to seguit mostrarem.

TAULA 4 CARACTERÍSTIQUES Aqüífer PLIOQUATERNARI DEL CAMP DE TARRAGONA

PARÀMETRE	VALOR	UNITATS
Porositat (n)	<i>INTERGRANULAR</i>	
Transmissivitat	300-3000	M <sup>2</sup> /DIA
Gradient hidràulic mig	1	%
Gruix de les formacions	10-35	M
Gruix de la zona no saturada	4-8	M

### 3 Metodologia d'anàlisi

#### 3.1 Descripció de la captació de dades InSAR

Mitjançant diversos articles consultats en les pàgines web de referència intentaré explicar i situar la tecnologia utilitzada per calcular les subsidències de les nostres zones d'estudi.

“La tecnologia SAR és reconeguda com una eina molt prometedora” (, així comença el document referenciat, aquesta metodologia està basada a utilitzar satèl·lits que tenim n'òrbita i que incorporen la tecnologia radar.

La interferometria SAR utilitza dues imatges d'una mateixa escena. Aquestes poden estar agafades de dues formes. Una forma seria dues antenes diferents prenen la mateixa imatge o bé fer-les en dos moments diferents.

Aquests satèl·lits tenen una òrbita fixa, per tant tornaran a passar pel mateix lloc al cap d'un cert temps.

Indiferentment de la forma de captura de dades s'haurà d'aplicar correccions. Per molt que sigui la mateixa òrbita no serà exactament la mateixa i possiblement tindrà petits canvis a corregir.

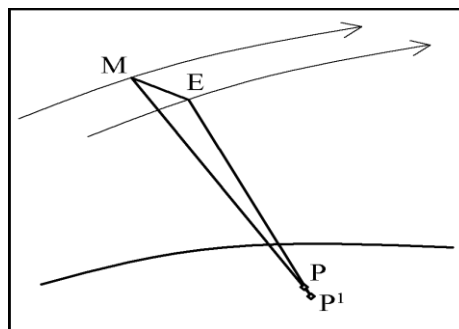


FIGURA 24 GEOMETRIA DE LA INTERFEROMETRIA SAR

També pot ser que les ones reflectides en pel terreny recorren diferents camins, per tant primer de tot, calcularem la diferència de recorregut calculant la diferència de les fases dels senyals.

Un cop calculat procedirem s'han d'aplicar les següents correccions mitjançant les fórmules que explicarem més endavant.

Com podem comprovar en la figura 24 podem veure que hi ha una petita distància entre P i P<sup>1</sup> aquesta diferència és la diferència de fase o fase interferomètrica  $\Delta\Phi_{int}$  aquesta la calculem de la següent forma:

$$\Delta\Phi_{int} = \Phi_E - \Phi_M \quad (1)$$

$$\Delta\Phi_{int} = \frac{EP-MP}{\frac{\lambda}{4\pi}} + \frac{EP^1-EP}{\frac{\lambda}{4\pi}} + \Phi_{Atm} + \Phi_{Noise} \quad (2)$$

$$\Delta\Phi_{int} = \Phi_{topo} \Phi_{Mov} \Phi_{Atm} \Phi_{Noise} \quad (3)$$

$\Phi_E, \Phi_M$  són les fases de les imatges secundària i principal; E i M las posicions del sensor en les imatges principal i secundària; EP i MP son les distàncies entre E a P i de M a P; EP1 és la distància de E a P1;  $\lambda$  és la longitud d'ona del radar,  $\Phi_{topo}$  és la component de la fase deguda a la topografia del terreny;  $\Phi_{Mov}$  és la component de la fase deguda al moviment del terreny;

$\Phi_{Atm}$  És la component de fase introduïda per l'atmosfera;  $\Phi_{Noise}$  és el soroll de la fase." (.

Un cop capturada tota la informació esmentada de la zona d'estudi, centrant-nos més en el nostre cas, en disposar d'un MDT o DEM, procedirem a calcular la component de la fase generada per la topografia  $\Phi_{Topo}$  i la restarem a la fase interferomètrica  $\Phi_{Int}$  per així obtenir la fase interferomètrica diferencial.

$$\begin{aligned}\Delta\Phi_{D-Int} &= \Delta\Phi_{Int} - \Phi_{Topo} & (3) \\ &= \Phi_{Mov} + \Phi_{Atm} + \Phi_{Res\_Topo} + \Phi_{Noise} & (4)\end{aligned}$$

On  $\Phi_{ResTopo}$  Seria la fase residual obtinguda del DEM utilitzat. Molt sovint ens trobem que  $\Phi_{Atm}$  i  $\Phi_{ResTopo}$  Son negligibles per tant a partir de  $\Phi_{Mov}$  Podem obtenir informació de les deformacions del terreny.

Tota aquesta informació captada des dels satèl·lits, és recomanable que sigui possible representar-la en un sistema cartogràfic.

Per això determinem les fórmules d'adaptació prèviament, tot així hi ha molts dels paràmetres descrits en les funcions descrites son incògnites o son desconeguts.

Sempre farem ajustos segons anem calculant el treball de recaptació de les dades, per això utilitzarem punts de control identificats sobre el terreny. D'aquesta forma es podrà minimitzar els errors.

Amb tota aquesta informació serem capaços d'ajustar el model geomètric per així generar una imatge interferomètrica.

Per generar una imatge interferomètrica utilitzarem una imatge principal com a suport del interferograma. Sobre ella registrem una secundària, que mitjançant canvis de l'ona que reflectirà el satèl·lit i conjuntament amb càlculs trigonomètrics ens donarà un relleu.

Aquest podrà calcular una altura de cada punt.

Amb aquest interferograma que hem calculat podem genera el DEM georeferenciat, en què les properes pàgines trobareu que hem obtingut de les dades que ens ha facilitat l'Institut Cartogràfic i geològic de Catalunya.

### 3.2 Càlcul assentaments aqüífers

“La relació entre el nivell de les aigües subterrànies i la compactació dels sediments està basat en el principi de tensions efectives desenvolupat per Terzaghi (1925)” («Techniques of Water-Resources investigations of the United States Geological Survey.pdf») Així comença l'explicació teòrica de la metodologia que utilitzarem.

En el nostre cas busquem una forma de relacionar justament la variació del nivell de l'aigua amb l'enfonsament en direcció Z. Per així veure la influència dels canvis a la superfície.

Primer de tot calculem les tensions efectives ( $p'$ ), mitjançant les tensions totals ( $p$ ) i les pressions geostàtiques ( $u$ ), que inclouen la dels fluids amb altres pressions del voltant.

$$p' = p - u \quad (5)$$

Aquestes dades normalment estan en  $[FL^{-1}]$ .

Com a informació més important, seria la diferència de tensions efectives ( $\Delta p'$ ) que trobem a la zona.

Per calcular aquesta és més complex i necessitem saber característiques de la geologia de la zona. La porositat ( $n$ ) i la porositat en proporció al total del volum ( $n_w$ ), aquestes dades s'utilitzen sobretot per saber si la porositat està connectada o no.

Una roca pot ser molt porosa, però si la porositat no està connectada, el comportament canviarà molt.

$\Delta w_t$  és l'alçada on trobem el nivell piezomètric tabular.

Amb aquestes variables trobem l'equació següent;

$$\Delta p' = -\gamma_w(1 - n + n_w)\Delta w_t \quad (6)$$

Sabem que  $\Delta p' = -\gamma_w \Delta h$  d'aquesta forma s'obté una relació perquè aparegui la diferència d'alçada del nivell piezomètric, aquesta dada ens la dona l'ACA.

Per poder validar les dades InSAR, donat que les dades son mm de desplaçament del sòl, ens faltaran uns canvis més.

Primer de tot, les porositats les podem igualar al coeficient d'emmagatzematge ( $S_y$ ), ja que és un valor que l'aproximem en aquest com veiem en l'article i en les explicacions del professor Fernández.

Per últim ens falta explicar la relació entre la compressibilitat ( $S_{sk}$ ) que es multiplica pel gruix de l'estrat.

Amb això ens queda l'equació següent;

$$\varepsilon_{zz} = -S_{sk}(1 - S_y)\Delta h \quad (7)$$

D'aquesta forma  $\varepsilon_{zz}$  Sabem que se la distancia que es mou el sòl donat els canvis del nivell piezomètric, que serien les dades obtingudes per l'InSAR.

### 3.3 Comparativa de mètodes de control

Com podem veure després per comparar les dues metodologies s'han de fer canvis, utilitzant fórmules InSAR ens dona directament  $\varepsilon_{zz}$ . Al contrari, els piezòmetres ens donen la  $\Delta h$ , que es calcula directament en el pou i s'ha de transformar al desplaçament vertical.

Per dur a terme el treball hem consultat el màxim de dades que hem obtingut dels piezòmetres que hem utilitzat, pel que fa a InSAR només disposem dades d'entre el desembre del 2016 i desembre 2017 per tant per dur a terme la validació de la metodologia només hem comparat dades d'aquest període de temps, les dades anteriors ens han servit per poder corroborar les subsidències de la zona d'estudi. La confirmació de què el mètode InSAR és vàlid pel control dels nivells piezomètrics ha d'anar suportada per una correlació de les dades dels dos mètodes.

L'elecció dels pous d'estudi té certa complexitat, ja que s'han seleccionat pous profunds i no tots tenien les dades en les dates desitjades. Per aquest motiu, hem descartat alguns conjunts de dades de mostra. Aquests resultats sempre han estat obtinguts mitjançant càlculs executats amb Excel utilitzant el màxim de dades que teníem, i la correlació, o no correlació, els mostrarem mitjançant gràfics i mapes per facilitar la comprensió d'aquests.

Els criteris utilitzats per la selecció dels pous, dels aqüífers estudiats son els següents;

- Que la Profunditat del Pou sigui superior a 80 metres, per tant que es considerin pous profunds.
- Que estiguin dins de les àrees d'estudi
- Que tinguin dades que concordin amb les dates de la presa de dades del InSAR, aquest és el punt que ha fet caure més pous, ja que de molts no s'han trobat dades entres les dates desitjades.

Pel que refereix als punts que ens ha facilitat el ICGC de l'InSAR, hem utilitzat els punts que sabem que estaven dins del radi d'influència del Pou ja seleccionat anteriorment. L'objectiu era aconseguir un número superior a 100 punts amb el mínim de distància del pou per tant la majoria dels pous utilitzant un radi d'influència de 200 metres ja arribàvem a números superiors i per tant s'obtenen resultats. En algun pou s'ha hagut d'arribar a distàncies de fins a 1500 metres per obtenir suficients punts per fer un estudi adequat.

Les dades es mostren de forma resumida a l'apartat 4 Anàlisi de resultats. Les taules amb tota la informació de les dades recopilades es mostra a l'Annex 1.



## 4 Anàlisi de resultats

Aquest apartat el separem de la següent forma, primer de tot es mostren els resultats dels piezòmetres, després els del InSAR, cada aqüífer per separat i després de presentar els resultats es fa una comparació per cada aqüífer.

### 4.1 Resultats i discussió resultats Aqüífer Onyar

Els Pous que podrien haver estat d'interès son

- 1720-0073
- 17033-0053
- 17033-0111
- 17038-0013
- 17079-0088
- 17089-0147
- 17089-117
- 17089-118
- 17150-0015
- 17155-0043
- 17168-0013
- 17193-0119

Els pous finals que han restat seleccionats son els següents:

- 17033-0111
- 17038-0013
- 17089-1xx (son tres, 147,117,118 que son molts pròxims i s'ha contat com a un)
- 17150-015

Les dades de nivell analitzat en les dates entre el 26-12-2016 i el 27-12-2017, els pous que s'han descartat no tenien dades en aquestes dates. Ara bé s'adjunten les dades als annexos dels descartats, ja que ens ajuden a confirmar la subsidència que podem evidenciar a tota la zona d'estudi.

La distribució dels pous és la següent:

Utilització de dades InSAR per a l'estudi de l'efecte de la sobreexplotació d'aqüífers en la subsidència del terreny

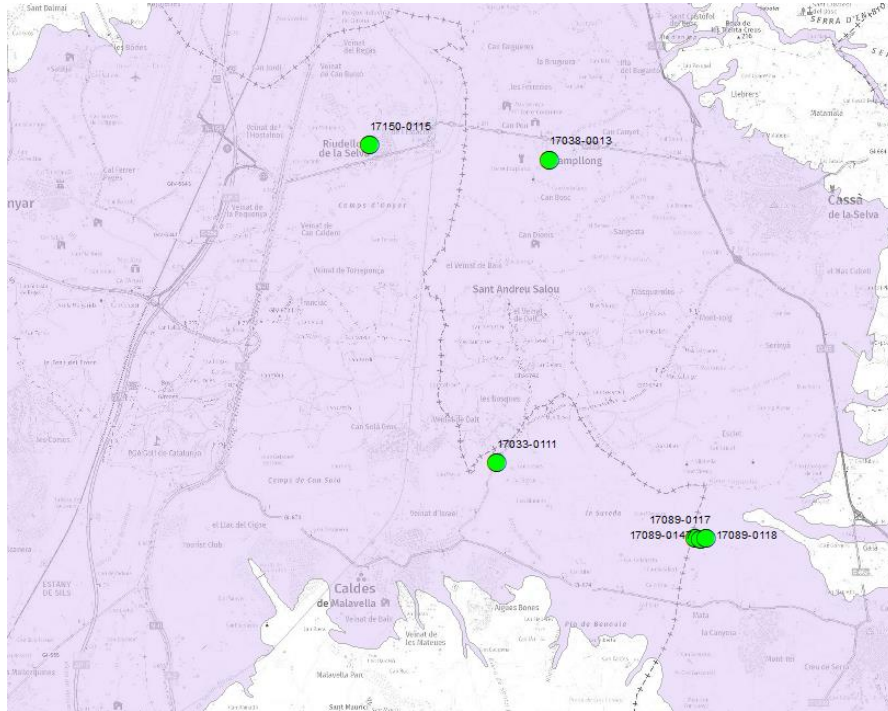


FIGURA 25 POUS ESTUDIATS ZONA ONYAR

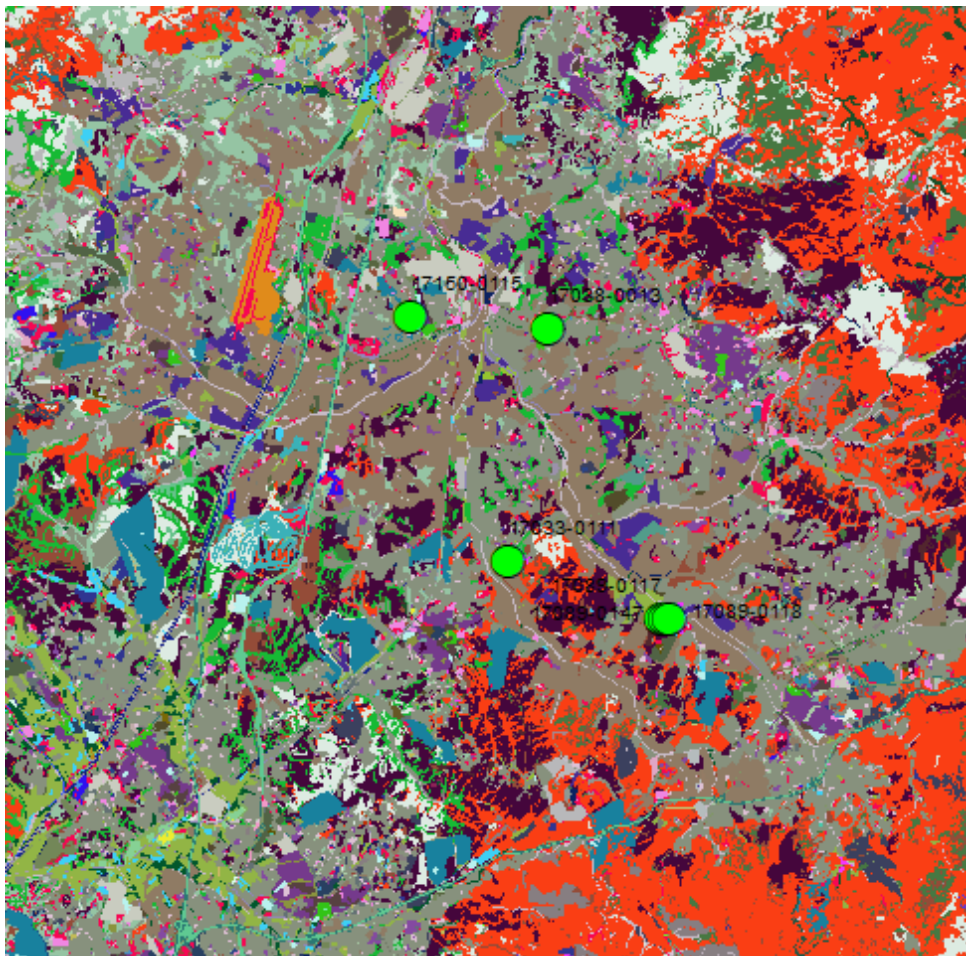


FIGURA 26 DISTRIBUCIÓ DELS POUS EN MAPA D'USOS

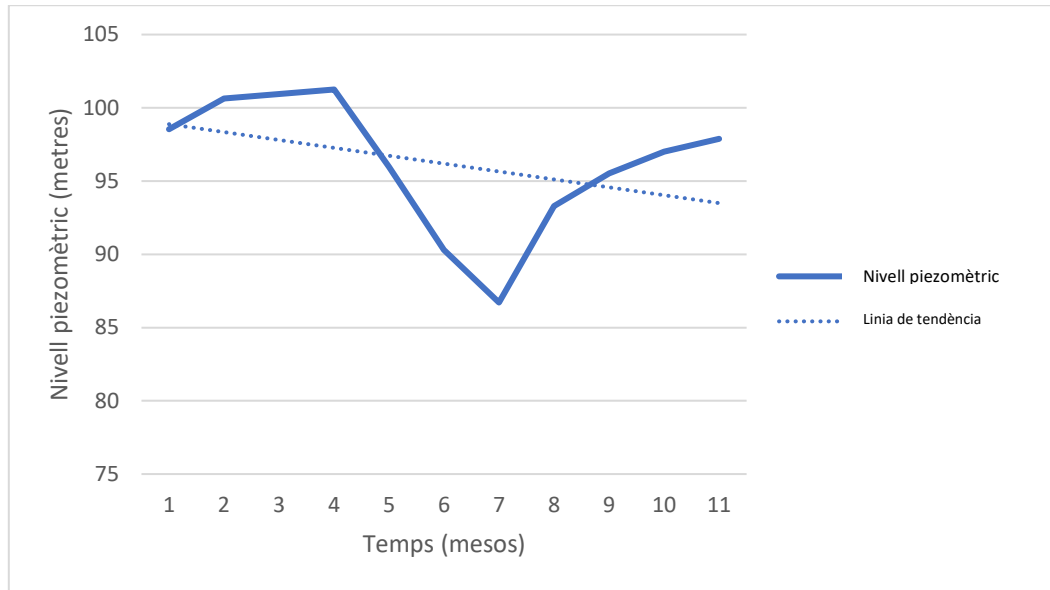
Ara procedirem a l'explicació de cada pou;

4.1.1 17033-0111

TAULA 5 DADES NIVELL PIEZOMÈTRIC POU 17033-0111

Data	Codi Estació	Codi massa d'aigua	Massa d'aigua	UTM X	UTM Y	Variable	Profunditat mostra (m)	Valor	Unitat Mesura	Fondària Pou (m)	Cota del nivell piezomètric (m.s.n.m)
2017/01/26	17033-0111	14	LA SELVA	485347	4633346	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3385867)	-	12,46	M	112	98,54
2017/02/23	17033-0111	14	LA SELVA	485347	4633346	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3385867)	-	10,36	M	112	100,64
2017/03/23	17033-0111	14	LA SELVA	485347	4633346	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3385867)	-	10,06	M	112	100,94
2017/04/26	17033-0111	14	LA SELVA	485347	4633346	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3385867)	-	9,75	M	112	101,25
2017/05/29	17033-0111	14	LA SELVA	485347	4633346	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3385867)	-	15,02	M	112	95,98
2017/06/22	17033-0111	14	LA SELVA	485347	4633346	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3385867)	-	20,7	M	112	90,3
2017/07/20	17033-0111	14	LA SELVA	485347	4633346	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3385867)	-	24,29	M	112	86,71
2017/09/26	17033-0111	14	LA SELVA	485347	4633346	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3385867)	-	17,7	M	112	93,3
2017/10/25	17033-0111	14	LA SELVA	485347	4633346	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3385867)	-	15,48	M	112	95,52
2017/11/23	17033-0111	14	LA SELVA	485347	4633346	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3385867)	-	13,99	M	112	97,01
2017/12/20	17033-0111	14	LA SELVA	485347	4633346	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3385867)	-	13,12	M	112	97,88

## Utilització de dades InSAR per a l'estudi de l'efecte de la sobreexplotació d'aqüífers en la subsidència del terreny



Amb aquest gràfic veiem que la tendència del nivell sempre és a la baixa, tot i passar l'estació seca no es recupera el nivell abans d'aquesta estació fent així que la tendència del nivell sempre sigui a la baixa. Amb aquestes dades calculem que el nivell piezomètric baixa un total de 5 m calculat mitjançant la recta de tendència. Amb aquesta dada, conjuntament amb la dels altres pous, mitjançant els càlculs explicats en l'apartat 6.2 trobarem quan s'ha enfonsat el sostre de la zona estudiada per així comparar adequadament amb desplaçament que ens indica el InSAR.

Aquest Pou arriba a una profunditat de 112 metres, està situat com heu vist al mapa de més amunt figura 26 que el piezòmetre està situat a una roureda, per poder agafar dades en punts complicats s'utilitzen deflectors.

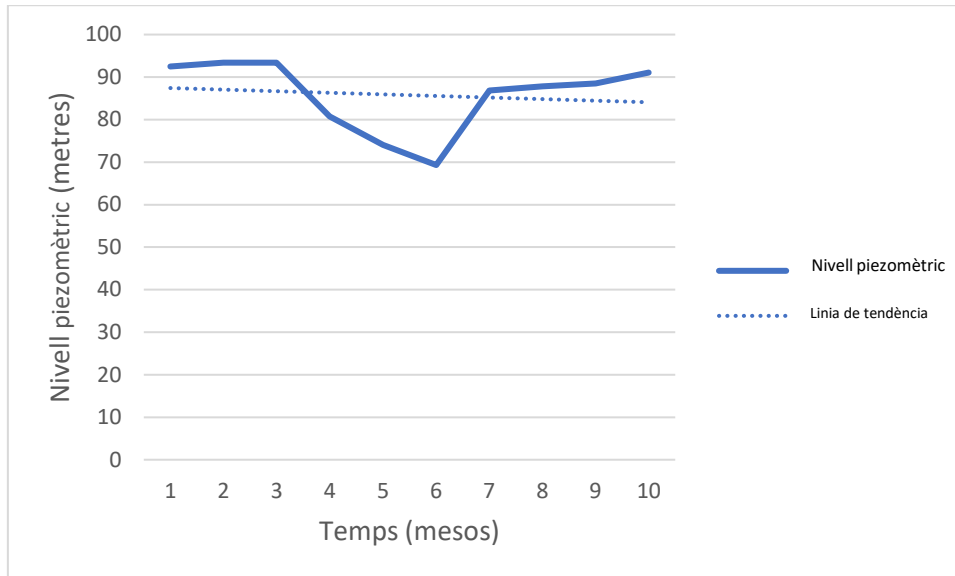
Utilització de dades InSAR per a l'estudi de l'efecte de la sobreexplotació d'aqüífers en la subsidència del terreny

4.1.2 17038-0013

TAULA 6 DADES NIVELL PIEZOMÈTRIC POU 17038-0013

Data	Codi Estació	Codi massa d'aigua	Massa d'aigua	UTM X	UTM Y	Variable	Profunditat mostra (m)	Valor	Unitat Mesura	Fondària Pou (m)	Cota del nivell piezomètric (m.s.n.m)
2017/01/26	17038-0013	14	LA SELVA	486143	4637985	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3965777)	-	12,51	M	145	92,49
2017/02/23	17038-0013	14	LA SELVA	486143	4637985	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3965777)	-	11,64	M	145	93,36
2017/03/23	17038-0013	14	LA SELVA	486143	4637985	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3965777)	-	11,61	M	145	93,39
2017/05/29	17038-0013	14	LA SELVA	486143	4637985	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3965777)	-	24,29	M	145	80,71
2017/06/22	17038-0013	14	LA SELVA	486143	4637985	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3965777)	-	30,95	M	145	74,05
2017/07/20	17038-0013	14	LA SELVA	486143	4637985	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3965777)	-	35,69	M	145	69,31
2017/09/26	17038-0013	14	LA SELVA	486143	4637985	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3965777)	-	18,17	M	145	86,83
2017/10/25	17038-0013	14	LA SELVA	486143	4637985	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3965777)	-	17,21	M	145	87,79
2017/11/23	17038-0013	14	LA SELVA	486143	4637985	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3965777)	-	16,5	M	145	88,5
2017/12/20	17038-0013	14	LA SELVA	486143	4637985	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3965777)	-	13,94	M	145	91,06

Utilització de dades InSAR per a l'estudi de l'efecte de la sobreexplotació d'aqüífers en la subsidència del terreny



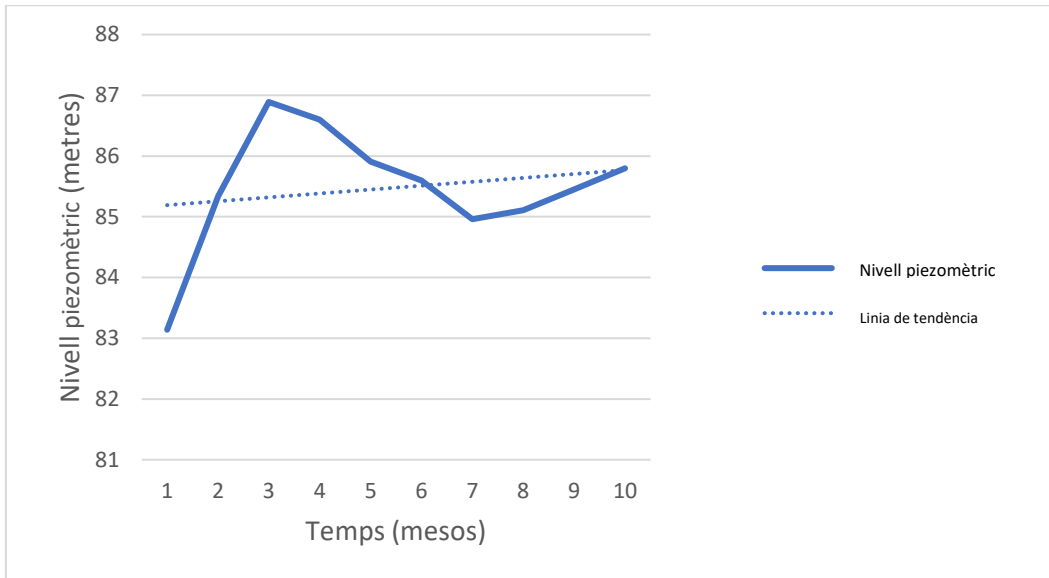
En aquest cas veiem que el descens que trobem son -7 metres en el nivell piezomètric, el pou arriba fins als 145 metres de profunditat, situat a la cota 100 m sobre el nivell del mar i està situat en zona urbana, com podem veure tenim punts de control situats en zona urbana per poder així controlar adequadament tots els àmbits.

4.1.3 17089-1xx

TAULA 7 DADES NIVELL PIEZOMÈTRIC POU 17089-1XX

Data	Codi Estació	Codi massa d'aigua	Massa d'aigua	UTM X	UTM Y	Variable	Profunditat mostra (m)	Valor	Unitat Mesura	Fondària Pou (m)	Cota del nivell piezomètric (m.s.n.m)
2017/01/26	17089-0147	14	LA SELVA	488540	4632189	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3965776)	-	24,86	M	115	83,14
2017/03/23	17089-0147	14	LA SELVA	488540	4632189	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3965776)	-	22,66	M	115	85,34
2017/04/26	17089-0147	14	LA SELVA	488540	4632189	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3965776)	-	21,11	M	115	86,89
2017/05/29	17089-0147	14	LA SELVA	488540	4632189	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3965776)	-	21,4	M	115	86,6
2017/06/22	17089-0147	14	LA SELVA	488540	4632189	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3965776)	-	22,09	M	115	85,91
2017/07/20	17089-0147	14	LA SELVA	488540	4632189	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3965776)	-	22,4	M	115	85,6
2017/09/26	17089-0147	14	LA SELVA	488540	4632189	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3965776)	-	23,04	M	115	84,96
2017/10/25	17089-0147	14	LA SELVA	488540	4632189	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3965776)	-	22,89	M	115	85,11
2017/11/23	17089-0147	14	LA SELVA	488540	4632189	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3965776)	-	22,55	M	115	85,45
2017/12/20	17089-0147	14	LA SELVA	488540	4632189	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3965776)	-	22,2	M	115	85,8

Utilització de dades InSAR per a l'estudi de l'efecte de la sobreexplotació d'aqüífers en la subsidència del terreny



En aquest cas veiem que el nivell piezomètric tendeix a l'alça, durant el període estudiat, el nivell va pujar un total de gairebé 1 m, veiem que per molt positiu que sigui tampoc és que creixi molts metres el nivell d'aquest pou situat al voltant d'uns camps de conreu, recordar que son 3 pous els que veiem reflectits aquí, ja que en estar tan pròxims com es veu en les figures anteriors, podem contar que es comporten igual. El pou arriba fins a una fondària de 115 m els pous 117 i 118 arriben fins als 87 metres portant també els considerem profunds, aquests tres pous estan situats a la cota 108 m.

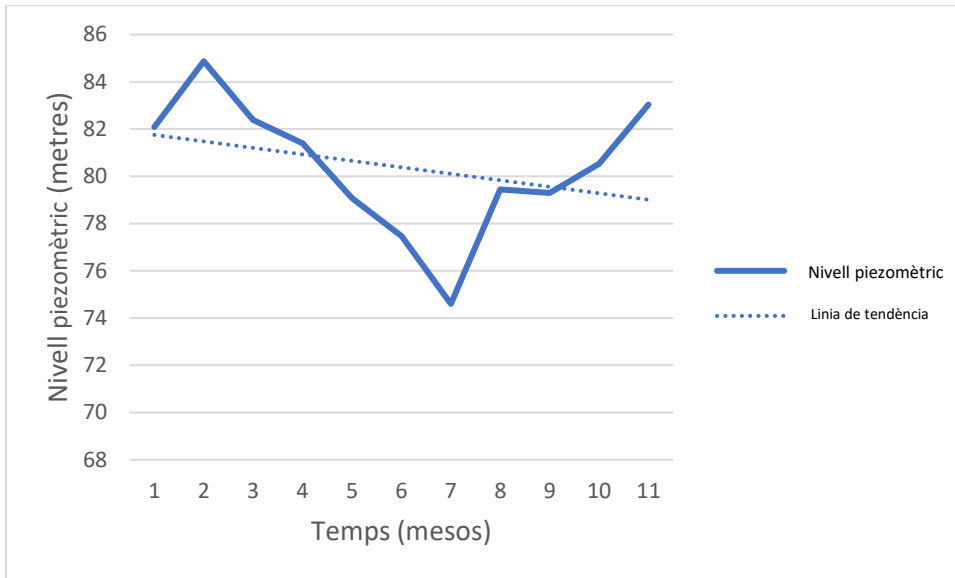


4.1.4 17150-015

TAULA 8 DADES NIVELL PIEZOMÈTRIC POU 17150-015

Data	Codi Estació	Codi massa d'aigua	Massa d'aigua	UTM X	UTM Y	Variable	Profunditat mostra (m)	Valor	Unitat Mesura	Fondària Pou (m)	Cota del nivell piezomètric (m.s.n.m)
2017/01/26	17150-0015	14	LA SELVA	483245	4639279	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3385871)	-	42,92	M	206	82,08
2017/02/23	17150-0015	14	LA SELVA	483245	4639279	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3385871)	-	40,13	M	206	84,87
2017/03/23	17150-0015	14	LA SELVA	483245	4639279	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3385871)	-	42,62	M	206	82,38
2017/04/26	17150-0015	14	LA SELVA	483245	4639279	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3385871)	-	43,61	M	206	81,39
2017/05/29	17150-0015	14	LA SELVA	483245	4639279	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3385871)	-	45,92	M	206	79,08
2017/06/22	17150-0015	14	LA SELVA	483245	4639279	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3385871)	-	47,54	M	206	77,46
2017/07/20	17150-0015	14	LA SELVA	483245	4639279	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3385871)	-	50,4	M	206	74,6
2017/09/26	17150-0015	14	LA SELVA	483245	4639279	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3385871)	-	45,55	M	206	79,45
2017/10/25	17150-0015	14	LA SELVA	483245	4639279	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3385871)	-	45,71	M	206	79,29
2017/11/23	17150-0015	14	LA SELVA	483245	4639279	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3385871)	-	44,47	M	206	80,53
2017/12/20	17150-0015	14	LA SELVA	483245	4639279	NIVELL PIEZOMÈTRIC (3385871)	-	41,96	M	206	83,04

Utilització de dades InSAR per a l'estudi de l'efecte de la sobreexplotació d'aqüífers en la subsidència del terreny



Per últim aquest pou situat en camps de vegetació baixa, donat que el posicionament de deflectors normalment quan hi ha problemes amb vegetació alta, per tant boscos, suposem que en aquesta zona no van posar cap deflector donat que son car i no es poden posar tampoc amb molta abundància donat el seu preu. El pou arriba a una profunditat de 206 metres, està situat a la cota 124,7 m, aquest pou és el que està a menys distancia del riu Onyar.

#### 4.1.5 Punts InSAR

En aquest apartat mitjançant figures mostrarem la distribució dels punts que utilitzem d'InSAR, ara bé en comptes de mostrar les taules amb tots els resultats, aquestes estaran a l'annex donat que son molt feixuga de posar en mig de la memòria.

Per això mostrarem un mapa amb tots els pous i els núvols de punts, amb les taules de l'annex hem calculat la mediana de subsidència per cada pou i així poder comparar-ho de forma adequada.

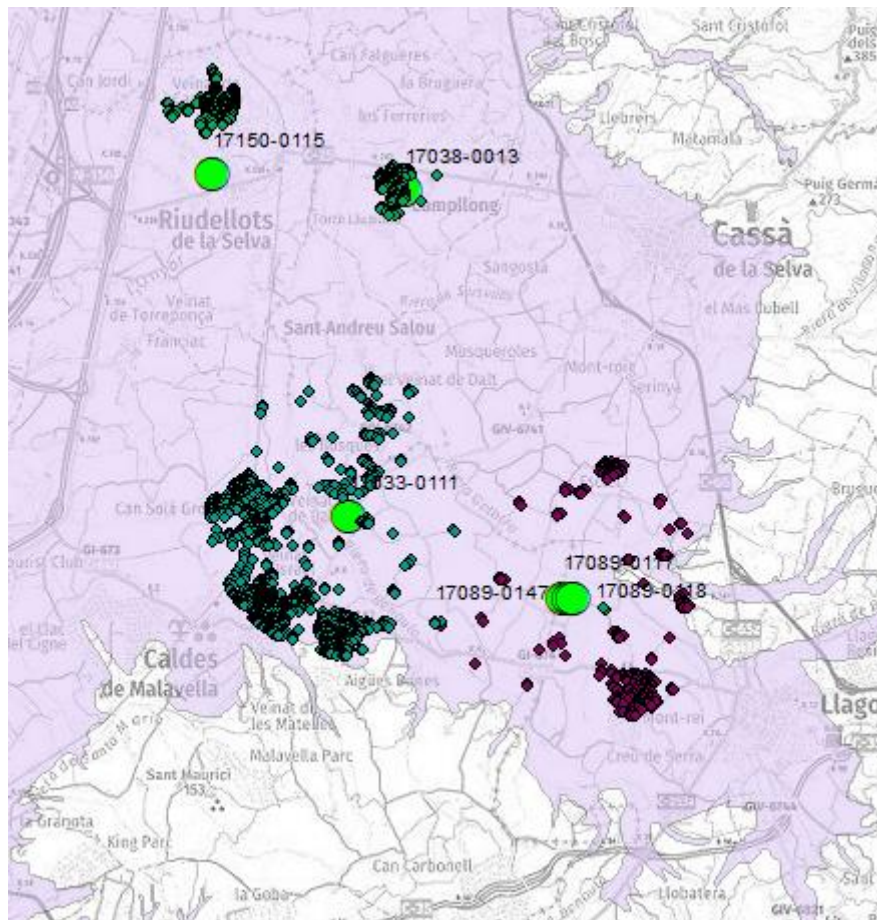


FIGURA 27 SITUACIÓ DELS POUS ESTUDIATS I NÚVOLS DE PUNTS INSAR

TAULA 9 MEDIANES DELS PUNTS PRÒXIMS ALS POUS ESTUDIATS

POU	MEDIANA INSAR
<b>17038-0013</b>	-0,750609
<b>17033-0111</b>	-0,221919
<b>17150-0015</b>	0,554798
<b>17089-11X</b>	0,019581

## 4.2 Resultats i discussió Aqüífer Baix camp

En aquest cas com disposem d'una zona més ampla d'estudi la quantitat de pous finals és un total de 8 pous que han estat seleccionats amb els paràmetres explicats anteriorment.

Com hem fet amb l'anterior aqüífer aquesta és la llista de tots els pous que disposàvem des de l'ACA i que hem utilitzat per estudiar la tendència general del nivell piezomètric

- 43007-0123
- 43007-0125
- 43033-0072
- 43042-0022
- 43047-0105
- 43066-0012
- 43092-0158
- 43092-0159
- 43092-0160
- 43092-0162
- 43092-0163
- 43092-0164
- 43109-0020
- 43123-0260
- 43123-0262
- 43123-0263
- 43123-0264
- 43123-0275
- 43129-0180
- 43144-0032
- 43145-0138
- 43145-0139
- 43905-0030

Ara bé un cop analitzat i imposat els paràmetres per poder fer una comparació adequada amb l'InSAR la llista que ha restat ha estat la següent:

- 43033-0072
- 43066-0012
- 43092-0164
- 43109-0020
- 43123-0262
- 43129-0180
- 43144-0032
- 43145-0139

Les dades de nivell s'han analitzat en les dates entre el 26-12-2016 i el 27-12-2017, els pous que s'han descartat no tenien dades en aquestes dates o fins i tot hi ha un que es va anul·lar i no té dades des del 2007. Ara bé s'adjunten les dades als annexos dels descartats, ja que ens ajuden a confirmar la subsidència que podem evidenciar a tota la zona d'estudi.

Utilització de dades InSAR per a l'estudi de l'efecte de la sobreexplotació d'aqüífers en la subsidència del terreny

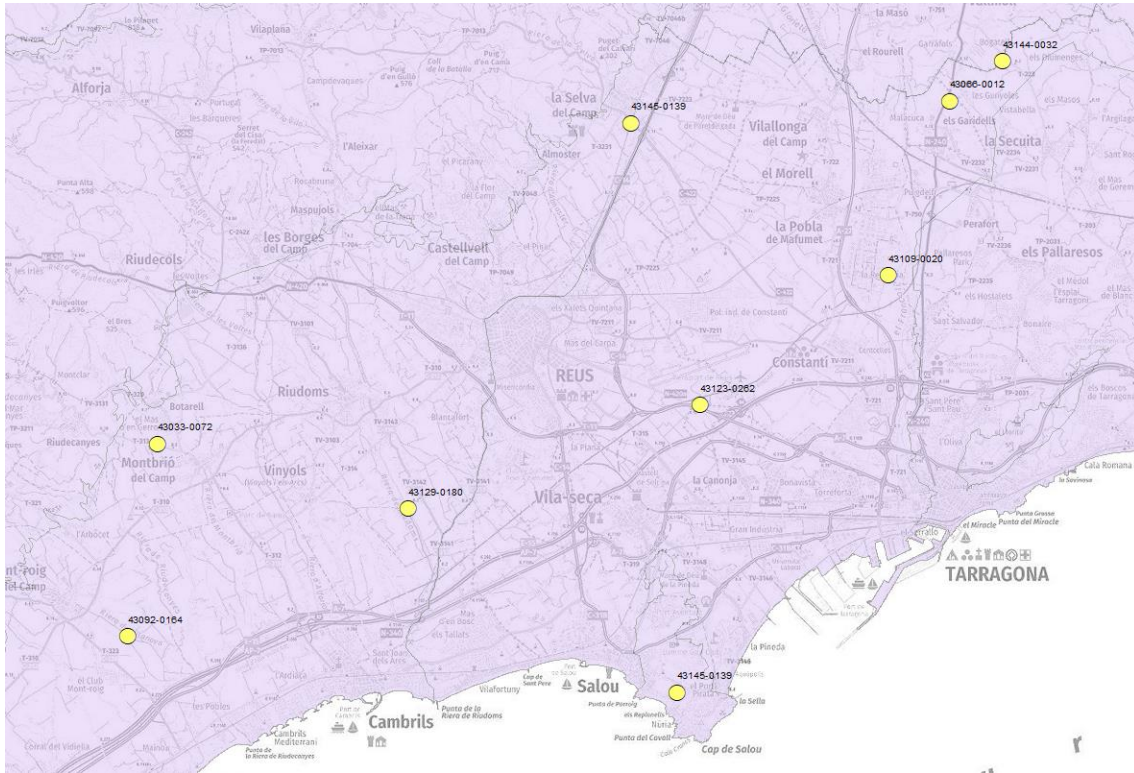


FIGURA 28 POUS ESTUDIATS ZONA BAIX CAMP

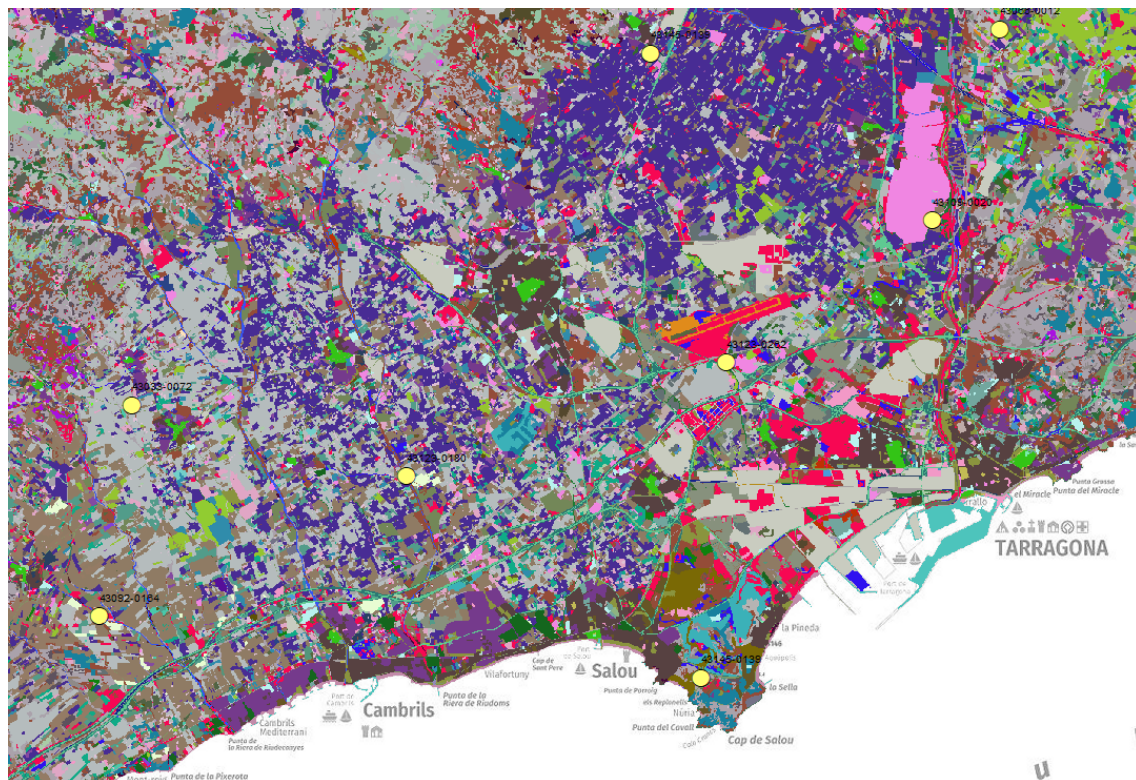


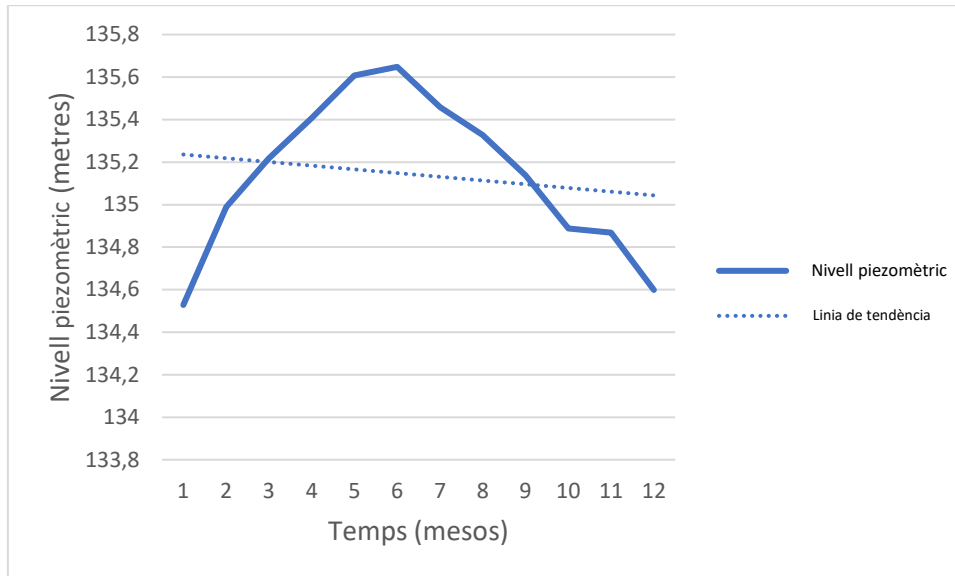
FIGURA 29 ISTRIBUCIÓ DELS POUS EN MAPA D'USOS

4.2.1 43033-0072

TAULA 10 DADES NIVELL PIEZOMÈTRIC POU 43033-0072

Codi massa d'aigua	Massa d'aigua	UTM X	UTM Y	Variable	Profunditat mostra (m)	Valor	Unitat Mesura	Fondària Pou (m)	Cota del nivell piezomètric (m.s.n.m)
26	BAIX CAMP	331263	4554683	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000233NPM)	-	17,5	M	102	134,528
26	BAIX CAMP	331263	4554683	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000233NPM)	-	17,04	M	102	134,988
26	BAIX CAMP	331263	4554683	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000233NPM)	-	16,81	M	102	135,218
26	BAIX CAMP	331263	4554683	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000233NPM)	-	16,62	M	102	135,408
26	BAIX CAMP	331263	4554683	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000233NPM)	-	16,42	M	102	135,608
26	BAIX CAMP	331263	4554683	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000233NPM)	-	16,38	M	102	135,648
26	BAIX CAMP	331263	4554683	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000233NPM)	-	16,57	M	102	135,458
26	BAIX CAMP	331263	4554683	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000233NPM)	-	16,7	M	102	135,328
26	BAIX CAMP	331263	4554683	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000233NPM)	-	16,89	M	102	135,138
26	BAIX CAMP	331263	4554683	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000233NPM)	-	17,14	M	102	134,888
26	BAIX CAMP	331263	4554683	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000233NPM)	-	17,16	M	102	134,868
26	BAIX CAMP	331263	4554683	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000233NPM)	-	17,43	M	102	134,598

Utilització de dades InSAR per a l'estudi de l'efecte de la sobreexplotació d'aqüífers en la subsidència del terreny



Aquest pou està situat en un camp de cultiu, com hem sabut pel mapa d'usos de Catalunya la vegetació que es planta són arbres llavors potser aquest pou no arribem a resultats concloents, quan fem la comparació amb InSAR quedarà reflectit.

El Pou arriba fins a fondària de 102 m i com podem veure el nivell d'aigua té tendència negativa ara bé només ha baixat 0,2 m en tot l'any.

Utilització de dades InSAR per a l'estudi de l'efecte de la sobreexplotació d'aqüífers en la subsidència del terreny

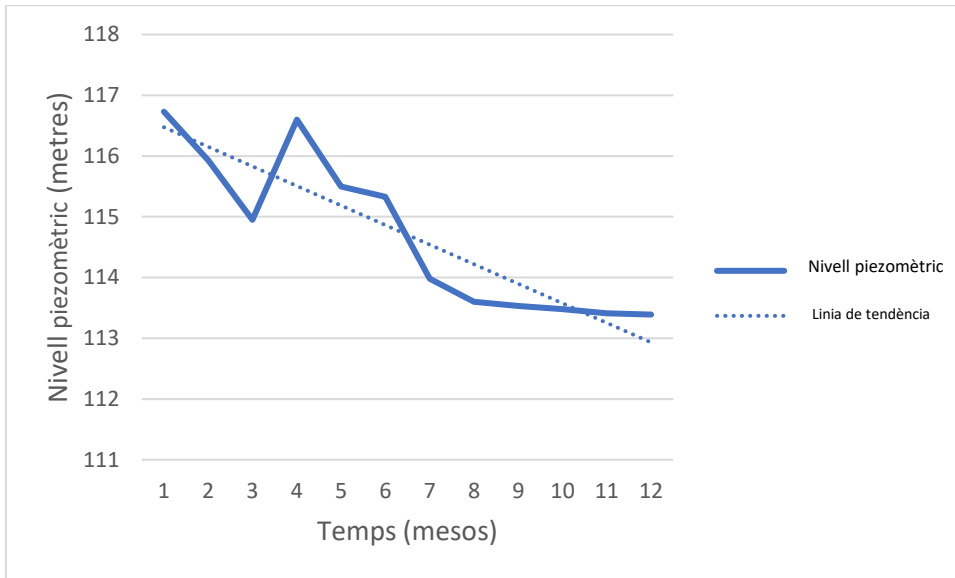
4.2.2 43066-0012

TAULA 11 DADES NIVELL PIEZOMÈTRIC POU 43066-0012

Codi massa d'aigua	Massa d'aigua	UTM X	UTM Y	Variable	Profunditat mostra (m)	Valor	Unitat Mesura	Fondària Pou (m)	Cota del nivell piezomètric (m.s.n.m)
24	BAIX FRANCOLÍ	353099	4564130	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000212NPM)	-	12,05	M	66	116,73
24	BAIX FRANCOLÍ	353099	4564130	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000212NPM)	-	12,85	M	66	115,93
24	BAIX FRANCOLÍ	353099	4564130	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000212NPM)	-	13,83	M	66	114,95
24	BAIX FRANCOLÍ	353099	4564130	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000212NPM)	-	12,18	M	66	116,6
24	BAIX FRANCOLÍ	353099	4564130	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000212NPM)	-	13,28	M	66	115,5
24	BAIX FRANCOLÍ	353099	4564130	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000212NPM)	-	13,45	M	66	115,33
24	BAIX FRANCOLÍ	353099	4564130	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000212NPM)	-	14,8	M	66	113,98
24	BAIX FRANCOLÍ	353099	4564130	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000212NPM)	-	15,18	M	66	113,6
24	BAIX FRANCOLÍ	353099	4564130	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000212NPM)	-	15,25	M	66	113,53
24	BAIX FRANCOLÍ	353099	4564130	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000212NPM)	-	15,3	M	66	113,48
24	BAIX FRANCOLÍ	353099	4564130	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000212NPM)	-	15,37	M	66	113,41
24	BAIX FRANCOLÍ	353099	4564130	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000212NPM)	-	15,39	M	66	113,39



Utilització de dades InSAR per a l'estudi de l'efecte de la sobreexplotació d'aqüífers en la subsidència del terreny



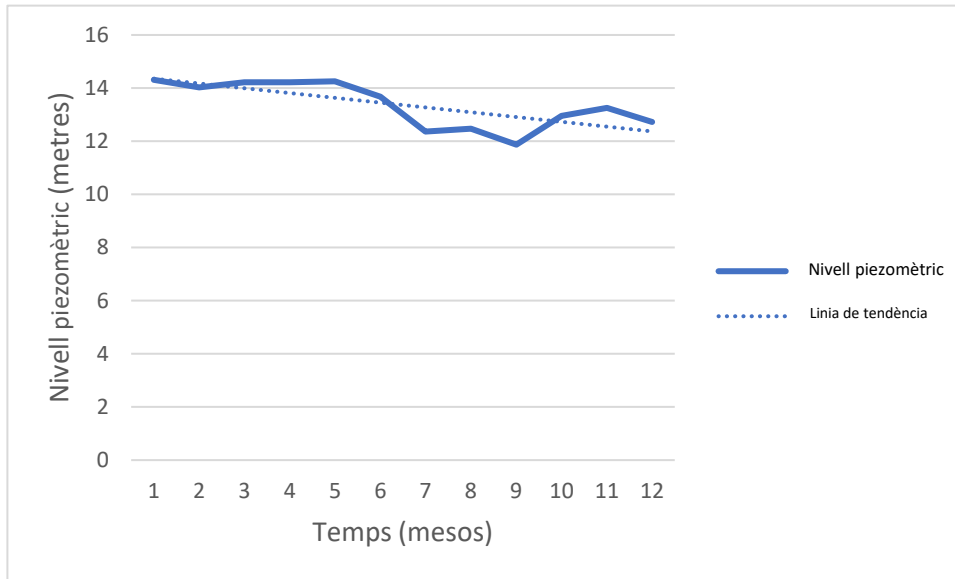
Aquest és el pou més superficial que s'analitza, donat que només arriba fins als 66 metres de profunditat, dant que com hem explicat durant la descripció de l'aqüífer la recàrrega es dona a tota la zona, donada la seva litologia hem volgut agafar el màxim de pous i que a més estiguin repartits per tota la zona de l'aqüífer, com veiem la tendència també es negativa en aquest cas el descens mitja anual arriba fins als 3,5 m el pou està situat en un prat sense vegetació destacable.

4.2.3 43092-0164

TAULA 12 DADES NIVELL PIEZOMÈTRIC POU 43092-0164

Codi massa d'aigua	Massa d'aigua	UTM X	UTM Y	Variable	Profunditat mostra (m)	Valor	Unitat Mesura	Fondària Pou (m)	Cota del nivell piezomètric (m.s.n.m)
26	BAIX CAMP	330436	4549385	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000243NPM)	-	48,26	M	137	14,312
26	BAIX CAMP	330436	4549385	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000243NPM)	-	48,54	M	137	14,032
26	BAIX CAMP	330436	4549385	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000243NPM)	-	48,35	M	137	14,222
26	BAIX CAMP	330436	4549385	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000243NPM)	-	48,35	M	137	14,222
26	BAIX CAMP	330436	4549385	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000243NPM)	-	48,32	M	137	14,252
26	BAIX CAMP	330436	4549385	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000243NPM)	-	48,9	M	137	13,672
26	BAIX CAMP	330436	4549385	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000243NPM)	-	50,21	M	137	12,362
26	BAIX CAMP	330436	4549385	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000243NPM)	-	50,1	M	137	12,472
26	BAIX CAMP	330436	4549385	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000243NPM)	-	50,7	M	137	11,872
26	BAIX CAMP	330436	4549385	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000243NPM)	-	49,62	M	137	12,952
26	BAIX CAMP	330436	4549385	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000243NPM)	-	49,31	M	137	13,262
26	BAIX CAMP	330436	459385	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000243NPM)	-	49,84	M	137	12,732

Utilització de dades InSAR per a l'estudi de l'efecte de la sobreexplotació d'aqüífers en la subsidència del terreny



El pou 43092-164 veiem que al cap de l'any la pèrdua d'aigua arriba fins als 2 m de mitja, aquest pou té una fondària de 137 m està situat en un camp de conreu, sense cap vegetació destacable, per tant esperem que doni uns resultats concloents.

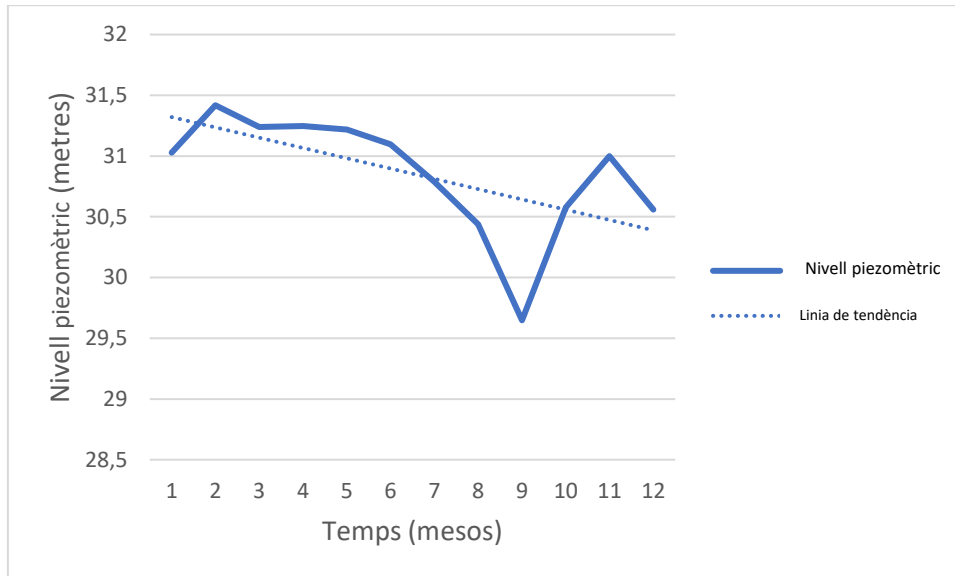
Utilització de dades InSAR per a l'estudi de l'efecte de la sobreexplotació d'aqüífers en la subsidència del terreny

4.2.4 43109-0020

TAULA 13 DADES NIVELL PIEZOMÈTRIC POU 43109-0020

Data	Codi Estació	Codi massa d'aigua	Massa d'aigua	UTM X	UTM Y	Variable	Profunditat mostra (m)	Valor	Unitat Mesura	Fondària Pou (m)	Cota del nivell piezomètric (m.s.n.m)
2017/01/18	43109-0020	24	BAIX FRANCOLÍ	351416	4559325	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000226NPM)	-	21,63	M	200	31,028
2017/02/15	43109-0020	24	BAIX FRANCOLÍ	351416	4559325	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000226NPM)	-	21,24	M	200	31,418
2017/03/15	43109-0020	24	BAIX FRANCOLÍ	351416	4559325	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000226NPM)	-	21,42	M	200	31,238
2017/04/21	43109-0020	24	BAIX FRANCOLÍ	351416	4559325	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000226NPM)	-	21,41	M	200	31,248
2017/05/23	43109-0020	24	BAIX FRANCOLÍ	351416	4559325	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000226NPM)	-	21,44	M	200	31,218
2017/06/15	43109-0020	24	BAIX FRANCOLÍ	351416	4559325	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000226NPM)	-	21,56	M	200	31,098
2017/07/10	43109-0020	24	BAIX FRANCOLÍ	351416	4559325	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000226NPM)	-	21,87	M	200	30,788
2017/08/23	43109-0020	24	BAIX FRANCOLÍ	351416	4559325	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000226NPM)	-	22,22	M	200	30,438
2017/09/12	43109-0020	24	BAIX FRANCOLÍ	351416	4559325	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000226NPM)	-	23,01	M	200	29,648
2017/10/10	43109-0020	24	BAIX FRANCOLÍ	351416	4559325	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000226NPM)	-	22,08	M	200	30,578
2017/11/02	43109-0020	24	BAIX FRANCOLÍ	351416	4559325	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000226NPM)	-	21,66	M	200	30,998
2017/12/28	43109-0020	24	BAIX FRANCOLÍ	351416	4559325	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000226NPM)	-	22,1	M	200	30,558

Utilització de dades InSAR per a l'estudi de l'efecte de la sobreexplotació d'aqüífers en la subsidència del terreny



En aquest cas la profunditat del pou arriba fins als 200 m de profunditat i com veiem la tendència a la baixa només és d'1 m recordem que aquest aqüífer te contacte amb el mar i se sap que aquest està filtrant-se i per tant pot acabar contaminant alguna part de l'aqüífer, aquest és el primer pou que trobem que dona abastament a indústries de la zona.

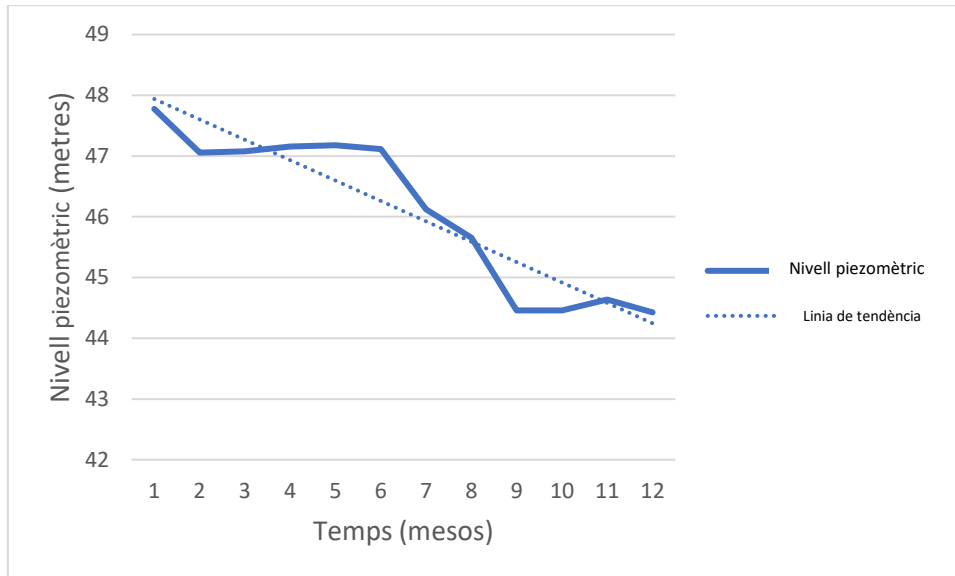
Utilització de dades InSAR per a l'estudi de l'efecte de la sobreexplotació d'aqüífers en la subsidència del terreny

4.2.5 43123-0262

TAULA 14 DADES NIVELL PIEZOMÈTRIC POU 43123-0262

Data	Codi Estació	Codi massa d'aigua	Massa d'aigua	UTM X	UTM Y	Variable	Profunditat mostra (m)	Valor	Unitat Mesura	Fondària Pou (m)	Cota del nivell piezomètric (m.s.n.m)
2017/01/09	43123-0262	24	BAIX FRANCOLÍ	346227	4555754	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000249NPM)	- 10,48	M		102,2	47,776
2017/02/08	43123-0262	24	BAIX FRANCOLÍ	346227	4555754	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000249NPM)	- 11,2	M		102,2	47,056
2017/03/08	43123-0262	24	BAIX FRANCOLÍ	346227	4555754	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000249NPM)	- 11,18	M		102,2	47,076
2017/04/05	43123-0262	24	BAIX FRANCOLÍ	346227	4555754	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000249NPM)	- 11,1	M		102,2	47,156
2017/05/02	43123-0262	24	BAIX FRANCOLÍ	346227	4555754	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000249NPM)	- 11,08	M		102,2	47,176
2017/06/08	43123-0262	24	BAIX FRANCOLÍ	346227	4555754	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000249NPM)	- 11,14	M		102,2	47,116
2017/07/12	43123-0262	24	BAIX FRANCOLÍ	346227	4555754	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000249NPM)	- 12,13	M		102,2	46,126
2017/08/02	43123-0262	24	BAIX FRANCOLÍ	346227	4555754	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000249NPM)	- 12,6	M		102,2	45,656
2017/09/07	43123-0262	24	BAIX FRANCOLÍ	346227	4555754	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000249NPM)	- 13,8	M		102,2	44,456
2017/10/26	43123-0262	24	BAIX FRANCOLÍ	346227	4555754	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000249NPM)	- 13,8	M		102,2	44,456
2017/11/06	43123-0262	24	BAIX FRANCOLÍ	346227	4555754	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000249NPM)	- 13,62	M		102,2	44,636
2017/12/04	43123-0262	24	BAIX FRANCOLÍ	346227	4555754	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000249NPM)	- 13,83	M		102,2	44,426

Utilització de dades InSAR per a l'estudi de l'efecte de la sobreexplotació d'aqüífers en la subsidència del terreny



En la zona de Tarragona aquest pou és del que evidencia un descens més alt son gairebé 4 m de descens mitja anual està en la proximitat de zones urbanes ara bé, l'exactament el pou està situat en un prat sense vegetació destacable, el pou arriba fins a la fondària de 102,2 m.

Utilització de dades InSAR per a l'estudi de l'efecte de la sobreexplotació d'aqüífers en la subsidència del terreny

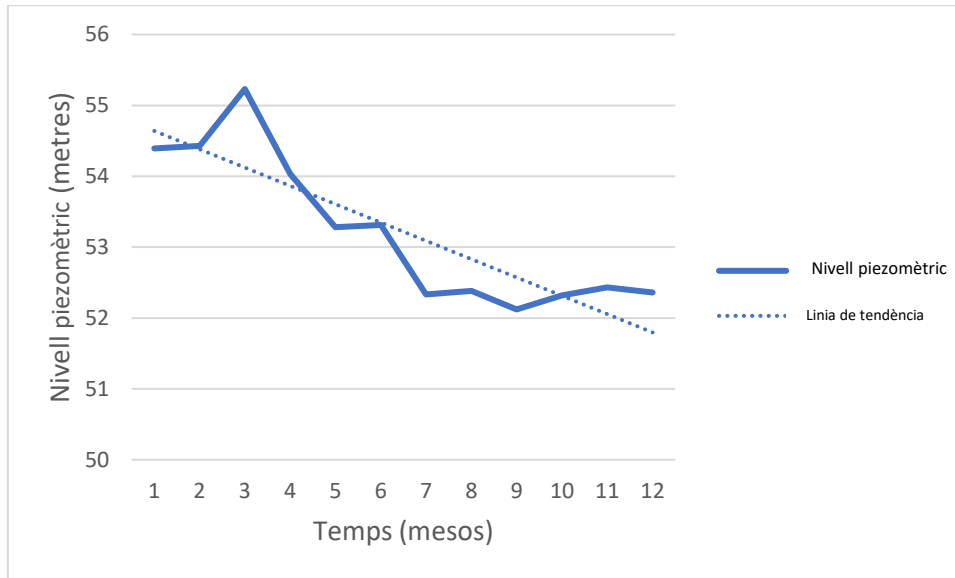
4.2.6 43129-0180

TAULA 15 DADES NIVELL PIEZOMÈTRIC POU 43129-0180

Data	Codi Estació	Codi massa d'aigua	Massa d'aigua	UTM X	UTM Y	Variable	Profunditat mostra (m)	Valor	Unitat Mesura	Fondària Pou (m)	Cota del nivell piezomètric (m.s.n.m)
2017/01/10	43129-0180	26	BAIX CAMP	338164	4552891	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000234NPM)	-	13,79	M	91,4	54,391
2017/02/08	43129-0180	26	BAIX CAMP	338164	4552891	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000234NPM)	-	13,75	M	91,4	54,431
2017/03/08	43129-0180	26	BAIX CAMP	338164	4552891	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000234NPM)	-	12,95	M	91,4	55,231
2017/04/03	43129-0180	26	BAIX CAMP	338164	4552891	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000234NPM)	-	14,15	M	91,4	54,031
2017/05/02	43129-0180	26	BAIX CAMP	338164	4552891	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000234NPM)	-	14,9	M	91,4	53,281
2017/06/08	43129-0180	26	BAIX CAMP	338164	4552891	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000234NPM)	-	14,87	M	91,4	53,311
2017/07/12	43129-0180	26	BAIX CAMP	338164	4552891	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000234NPM)	-	15,85	M	91,4	52,331
2017/08/01	43129-0180	26	BAIX CAMP	338164	4552891	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000234NPM)	-	15,8	M	91,4	52,381
2017/09/07	43129-0180	26	BAIX CAMP	338164	4552891	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000234NPM)	-	16,06	M	91,4	52,121
2017/10/24	43129-0180	26	BAIX CAMP	338164	4552891	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000234NPM)	-	15,86	M	91,4	52,321
2017/11/06	43129-0180	26	BAIX CAMP	338164	4552891	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000234NPM)	-	15,75	M	91,4	52,431
2017/12/05	43129-0180	26	BAIX CAMP	338164	4552891	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000234NPM)	-	15,82	M	91,4	52,361



Utilització de dades InSAR per a l'estudi de l'efecte de la sobreexplotació d'aqüífers en la subsidència del terreny



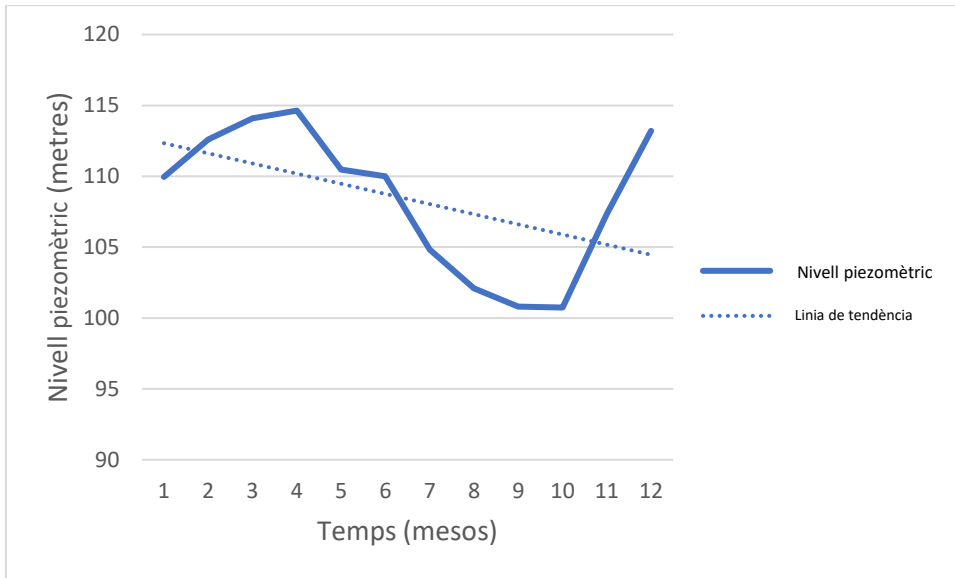
El pou 43129-0180 situat en un camp de conreu arriba fins a la fondària de 91,4 m i com veiem descens 3 m per any, i aquesta és la tendència anual, en principi no t'influencia de vegetació de cap forma, tenim la sort que en la zona de baix camp a no ser que sigui conreus els camps normalment tenen vegetació molt baixa facilitant així la presa de dades per part del InSAR.

4.2.7 43144-0032

TAULA 16 DADES NIVELL PIEZOMÈTRIC POU 43144-0032

Data	Codi Estació	Codi massa d'aigua	Massa d'aigua	UTM X	UTM Y	Variable	Profunditat mostra (m)	Valor	Unitat Mesura	Fondària Pou (m)	Cota del nivell piezomètric (m.s.n.m)
2017/01/18	43144-0032	24	BAIX FRANCOLÍ	354564	4565231	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000217NPM)	-	42,71	M	105	109,958
2017/02/15	43144-0032	24	BAIX FRANCOLÍ	354564	4565231	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000217NPM)	-	40,07	M	105	112,598
2017/03/15	43144-0032	24	BAIX FRANCOLÍ	354564	4565231	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000217NPM)	-	38,57	M	105	114,098
2017/04/21	43144-0032	24	BAIX FRANCOLÍ	354564	4565231	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000217NPM)	-	38,03	M	105	114,638
2017/05/23	43144-0032	24	BAIX FRANCOLÍ	354564	4565231	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000217NPM)	-	42,19	M	105	110,478
2017/06/15	43144-0032	24	BAIX FRANCOLÍ	354564	4565231	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000217NPM)	-	42,66	M	105	110,008
2017/07/11	43144-0032	24	BAIX FRANCOLÍ	354564	4565231	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000217NPM)	-	47,85	M	105	104,818
2017/08/23	43144-0032	24	BAIX FRANCOLÍ	354564	4565231	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000217NPM)	-	50,57	M	105	102,098
2017/09/12	43144-0032	24	BAIX FRANCOLÍ	354564	4565231	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000217NPM)	-	51,86	M	105	100,808
2017/10/10	43144-0032	24	BAIX FRANCOLÍ	354564	4565231	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000217NPM)	-	51,93	M	105	100,738
2017/11/02	43144-0032	24	BAIX FRANCOLÍ	354564	4565231	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000217NPM)	-	45,33	M	105	107,338
2017/12/28	43144-0032	24	BAIX FRANCOLÍ	354564	4565231	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000217NPM)	-	39,47	M	105	113,198

Utilització de dades InSAR per a l'estudi de l'efecte de la sobreexplotació d'aqüífers en la subsidència del terreny



Aquest pou situat en camps de conreu de vinyes arriba fins als 105 m de fondària com podem veure baixa aproximadament uns 7 m, com veiem la tendència anual també és de què cada any que passa l'aigua no es recupera evidenciant així la sobreexplotació de l'aqüífer que estudiem.

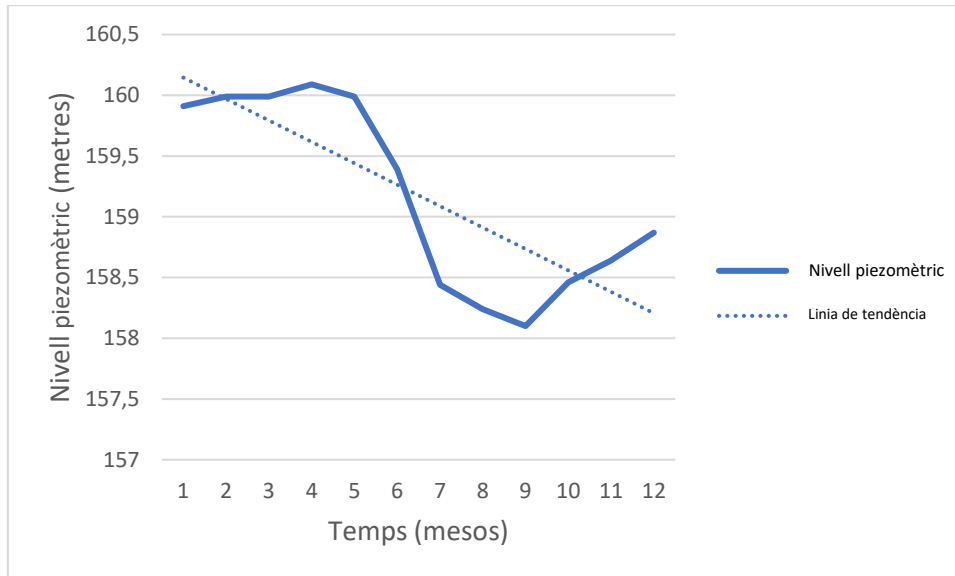
Utilització de dades InSAR per a l'estudi de l'efecte de la sobreexplotació d'aqüífers en la subsidència del terreny

4.2.8 43145-0139

TAULA 17 DADES NIVELL PIEZOMÈTRIC POU 43145-0139

Data	Codi Estació	Codi massa d'aigua	Massa d'aigua	UTM X	UTM Y	Variable	Profunditat mostra (m)	Valor	Unitat Mesura	Fondària Pou (m)	Cota del nivell piezomètric (m.s.n.m)
2017/01/09	43145-0139	26	BAIX CAMP	344311	4563517	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000208NPM)	-	46,08	M	127,8	159,91
2017/02/08	43145-0139	26	BAIX CAMP	344311	4563517	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000208NPM)	-	46	M	127,8	159,99
2017/03/08	43145-0139	26	BAIX CAMP	344311	4563517	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000208NPM)	-	46	M	127,8	159,99
2017/04/05	43145-0139	26	BAIX CAMP	344311	4563517	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000208NPM)	-	45,9	M	127,8	160,09
2017/05/02	43145-0139	26	BAIX CAMP	344311	4563517	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000208NPM)	-	46	M	127,8	159,99
2017/06/08	43145-0139	26	BAIX CAMP	344311	4563517	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000208NPM)	-	46,6	M	127,8	159,39
2017/07/12	43145-0139	26	BAIX CAMP	344311	4563517	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000208NPM)	-	47,55	M	127,8	158,44
2017/08/02	43145-0139	26	BAIX CAMP	344311	4563517	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000208NPM)	-	47,75	M	127,8	158,24
2017/09/07	43145-0139	26	BAIX CAMP	344311	4563517	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000208NPM)	-	47,89	M	127,8	158,1
2017/10/26	43145-0139	26	BAIX CAMP	344311	4563517	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000208NPM)	-	47,53	M	127,8	158,46
2017/11/06	43145-0139	26	BAIX CAMP	344311	4563517	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000208NPM)	-	47,35	M	127,8	158,64
2017/12/04	43145-0139	26	BAIX CAMP	344311	4563517	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000208NPM)	-	47,12	M	127,8	158,87

Utilització de dades InSAR per a l'estudi de l'efecte de la sobreexplotació d'aqüífers en la subsidència del terreny



Aquest pou situat en camps de cultius de no cítrics, però regadiu, això vol dir que la zona potser rep més aigua que altres pous de referència, com hem dit tota la recàrrega es dona per tots els afloraments, ja que, com hem comentat la infiltració es dona per tots llocs, igualment veiem que la tendència igualment és a la baixa i el pou està arriba fins a una fondària de 127,8 m.

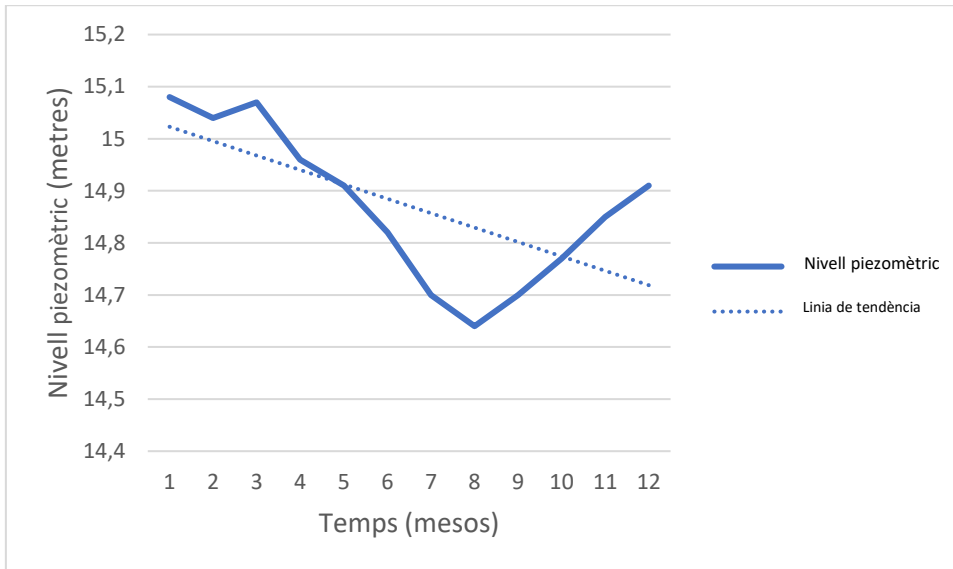
Utilització de dades InSAR per a l'estudi de l'efecte de la sobreexplotació d'aqüífers en la subsidència del terreny

4.2.9 43905-0030

TAULA 18 DADES NIVELL PIEZOMÈTRIC POU 43095-0030

Data	Codi Estació	Codi massa d'aigua	Massa d'aigua	UTM X	UTM Y	Variable	Profunditat mostra (m)	Valor	Unitat Mesura	Fondària Pou (m)	Cota del nivell piezomètric (m.s.n.m)
2017/01/18	43905-0030	24	BAIX FRANCOLÍ	343567	4550 907	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000238)	-	11,36	M	77,2	15,08
2017/02/15	43905-0030	24	BAIX FRANCOLÍ	343567	4550 907	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000238)	-	11,4	M	77,2	15,04
2017/03/15	43905-0030	24	BAIX FRANCOLÍ	343567	4550 907	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000238)	-	11,37	M	77,2	15,07
2017/04/21	43905-0030	24	BAIX FRANCOLÍ	343567	4550 907	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000238)	-	11,48	M	77,2	14,96
2017/05/23	43905-0030	24	BAIX FRANCOLÍ	343567	4550 907	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000238)	-	11,53	M	77,2	14,91
2017/06/14	43905-0030	24	BAIX FRANCOLÍ	343567	4550 907	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000238)	-	11,62	M	77,2	14,82
2017/07/10	43905-0030	24	BAIX FRANCOLÍ	343567	4550 907	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000238)	-	11,74	M	77,2	14,7
2017/08/23	43905-0030	24	BAIX FRANCOLÍ	343567	4550 907	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000238)	-	11,8	M	77,2	14,64
2017/09/12	43905-0030	24	BAIX FRANCOLÍ	343567	4550 907	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000238)	-	11,74	M	77,2	14,7
2017/10/10	43905-0030	24	BAIX FRANCOLÍ	343567	4550 907	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000238)	-	11,67	M	77,2	14,77
2017/11/02	43905-0030	24	BAIX FRANCOLÍ	343567	4550 907	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000238)	-	11,59	M	77,2	14,85
2017/12/28	43905-0030	24	BAIX FRANCOLÍ	343567	4550 907	NIVELL PIEZOMÈTRIC (F000238)	-	11,53	M	77,2	14,91

Utilització de dades InSAR per a l'estudi de l'efecte de la sobreexplotació d'aqüífers en la subsidència del terreny



Per últim el pou 43905-0030, aquest és el pou més pròxim a la costa per tant el descens que es mostra pot venir influenciat per la contaminació amb aigua marina ja comentat diversos cops durant aquesta memòria, tot així veiem que el nivell igualment té una tendència de baixada del nivell i entre aquelles dates de mitjana el nivell piezomètric va caure en un total de 0,4 m. Informar també que aquest pou situat en zona industrial i que arriba fins als 77,2 m de fondària.

#### 4.2.10 Punts InSAR

Igual que al mateix apartat de l'altre aqüífer mostrem només el mapa amb les medianes a sota, en aquesta zona com es pot apreciar per arribar a un mínim punts per poder tractar els resultats estadístics, i que fossin útils hem hagut d'engrandir les zones i podem trobar diversos casos que hem allargat fins als 2000 m des del pou.

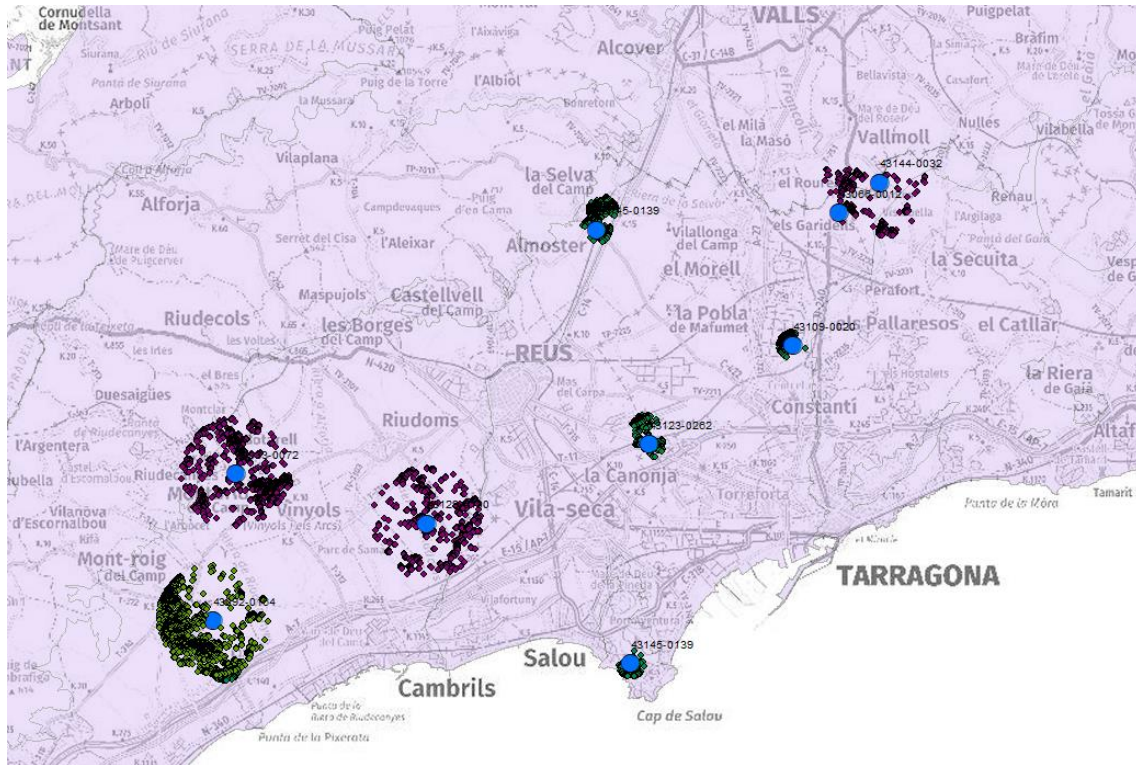


FIGURA 30 DISTRIBUCIÓ DELS NÚVOLS DE PUNTS DE INSAR DE LA ZONA

TAULA 19 MEDIANES DELS PUNTS PRÒXIMS ALS POUS ESTUDIATS

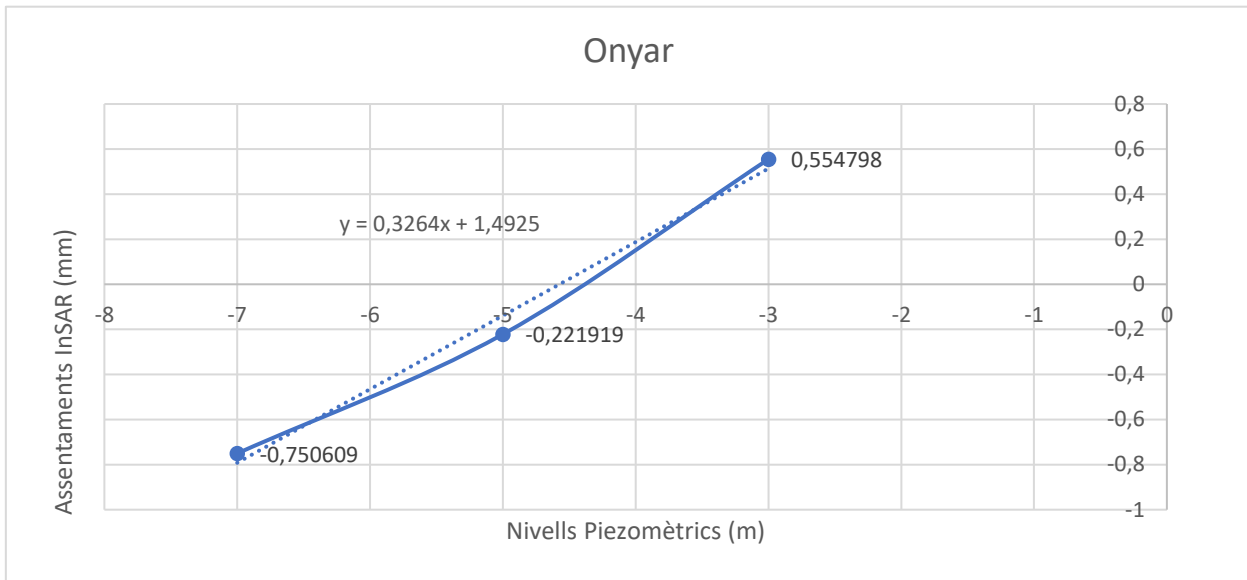
Pou	Mediana InSAR
43033-0072	-0,097906
43066-0012	0,267608
43092-0164	0,071797
43109-0020	-0,169703
43123-0262	-1,533854
43129-0180	-0,398149
43144-0032	0,11096
43145-0139	-0,4862645
43905-0030	-0,469947



### 4.3 Comparativa de les tècniques de control

#### 4.3.1 Resultats comparatius InSAR Nivell piezomètric

Per poder valorar els resultats adequadament utilitzant les medianes del InSAR, per poder comprovar si possiblement hi ha alguna relació es comparen, com podem veure tenen una relació lineal.



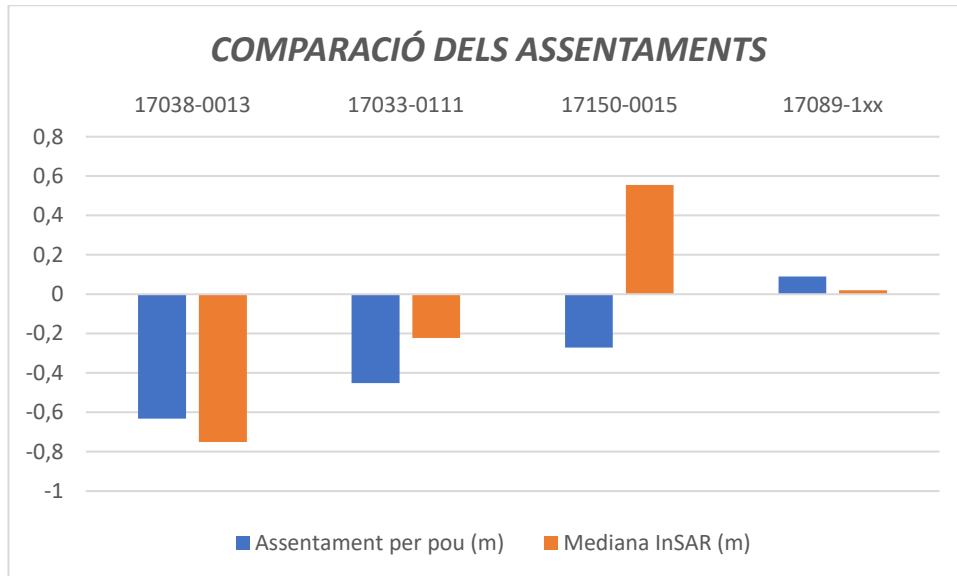
Llavors mitjançant les característiques de l'aqüífer, resumides a la taula següent, procedim a calcular els assentaments segons els piezòmetres de la zona.

TAULA 20 DADES CARACTERÍSTIQUES DE L'AQUÍFER

GRUIX SATURAT	1,7	M
COEFICIENT EMMAGATZEMATGE	0,15	
PES ESPECÍFIC	2,4	T/M
COMPRESSIBILITAT	0,0625	

TAULA 21 COMPARACIÓ DELS ASSENTAMENTS

POU	ASSENTAMENT PER POU (M)	MEDIANA INSAR (M)
17038-0013	-0,6321875	-0,750609
17033-0111	-0,4515625	-0,221919
17150-0015	-0,2709375	0,554798
17089-1XX	0,0903125	0,019581

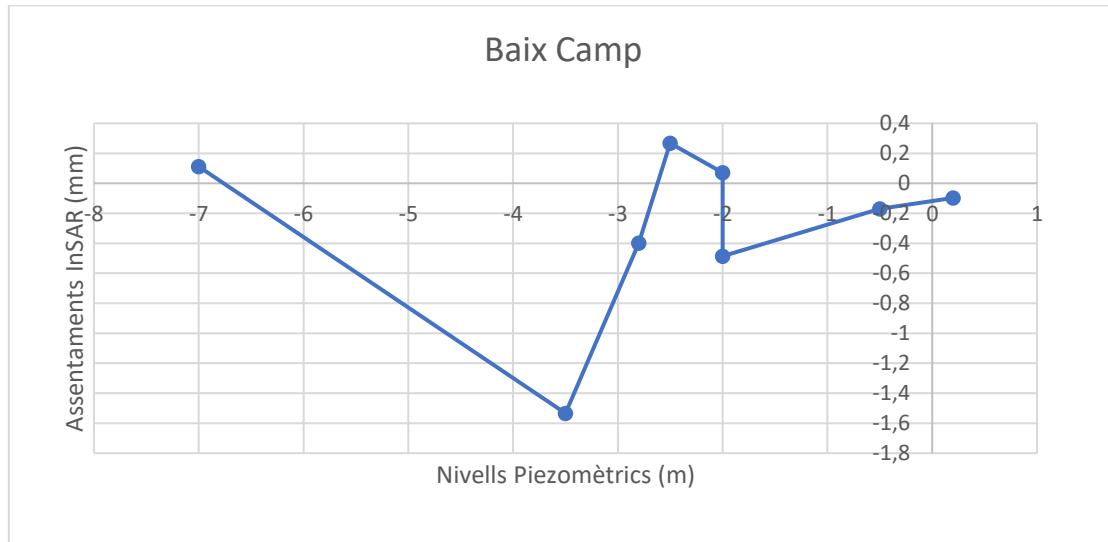


- Pou 17038-0013: Com podem veure els resultats són del mateix ordre, en el primer pou veiem que la diferència és de pocs centímetres.
- Pou 17033-0111: En el segon pou veiem que la diferència sí que és més gran que el primer, en aquest cas la diferència és decimètrica.
- Pou 17150-0015: Aquest és l'únic que veiem que no quadren de cap forma, és el tercer pou, si fem el càlcul utilitzant el piezòmetre i pel contrari el resultat del InSAR ens dona positiu.
- Pou 17089-1xx: Per últim els pous 1xx com podeu veure i com el primer pou la diferència és centimètrica.

Aquest son els resultats que extrèiem de la comparació calculada amb les metodologies explicades durant aquesta memòria.

#### 4.3.2 Resultats comparatius InSAR Nivell piezomètric

En aquest cas com podem veure en el següent gràfic, ja no veiem una relació lineal, això ja ens denota que el funcionament intern de l'aqüífer és més complexa i per tant és més fàcil que ens surtin resultats no concloents. Ara bé procedim a fer la comparativa com hem fet anteriorment per l'altre aqüífer, i igualment s'adjunta la taula amb especificacions de l'aqüífer.

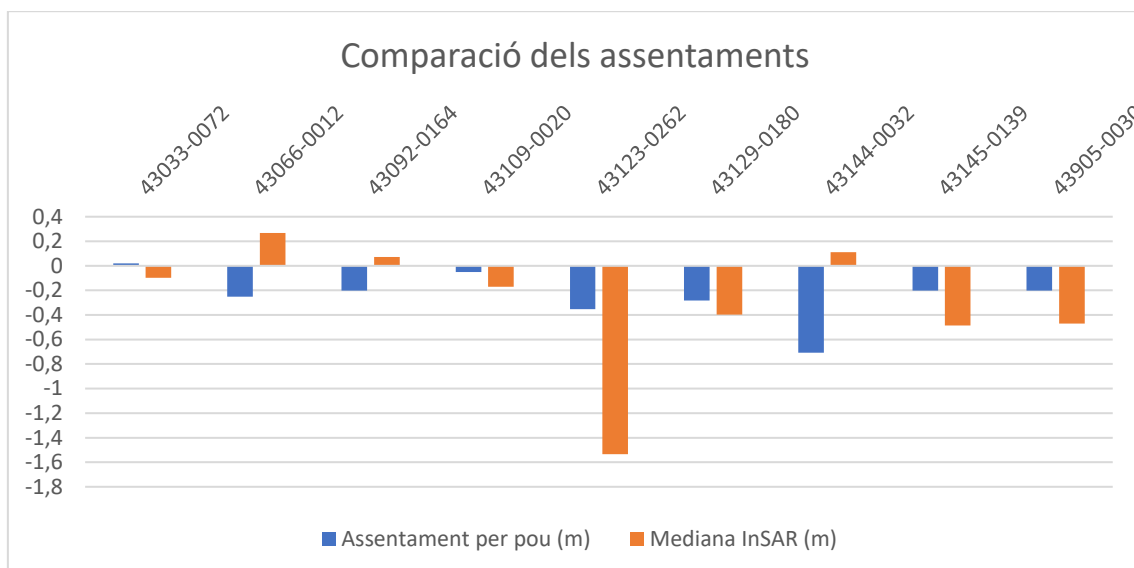


TAULA 21 DADES CARACTERÍSTIQUES DE L'AQUÍFER

GRUIX SATURAT	1,9	M
COEFICIENT EMMAGATZEMATGE	0,15	
PES ESPECÍFIC	2,4	T/M
COMPRESSIBILITAT	0,0625	

TAULA 22 COMPARACIÓ DELS ASSENTAMENTS

POU	ASSENTAMENT PER POU (M)	MEDIANA INSAR (M)
43033-0072	0,0201875	-0,097906
43066-0012	-0,25234375	0,267608
43092-0164	-0,201875	0,071797
43109-0020	-0,05046875	-0,169703
43123-0262	-0,35328125	-1,533854
43129-0180	-0,282625	-0,398149
43144-0032	-0,7065625	0,11096
43145-0139	-0,201875	-0,4862645
43905-0030	-0,201875	-0,469947



Com podem veure els resultats difereixen molt en general no només numèricament sinó que fins i tot que ens indiquen moviments contraris, procedim a analitzar cada un dels resultats.

- Pou 43033-0072: El primer cas ja evidencia, el comentari anterior difereix en centímetres, però la interpretació és totalment contrària, ja que segons l'estudi de pou no hi ha assentament, al contrari l'InSAR evidencia que sí que hi ha assentament.
- Pou 43066-0012: En aquest cas els números són gairebé idèntics, però tornem a tenir el mateix problema que tenen signe contrari en aquest cas és el pou que ens indica que hi ha assentament, i en aquest cas la diferència numèrica al ser de signe diferent parlem d'una diferència d'aproximadament 50 cm.
- Pou 43092-0164: En aquest cas directament ni números ni signe quadren.
- Pou 43109-0020: Aquest és el primer cas en què quadren els signes i part disten en 10 cm la distància és un ordre de diferència per tant tampoc són resultats conclouents.
- Pou 43123-0262: En aquest cas com l'anterior ens adonem que la diferència es triplica i fins i tot passem a tenir un metre de desnivell segons el InSAR.

Treball de final de Grau Utilització de dades InSAR per a l'estudi de l'efecte de la sobreexplotació d'aqüífers en la subsidència del terreny

- Pou 43129-0180: Aquest com en el pou 0020 la distancia entre InSAR i pou també és de 10 cm fent així complicada la fiabilitat del resultat per treure conclusions.
- Pou 43144-0032: En aquest cas les distancies son de signe diferent i la diferència és de 80 cm entre els resultats.
- Pou 43145-0139: En aquest cas veiem que els signes coincideixen per tant podem assumir que hi haurà realment assentaments en el terreny ara bé la diferència és de 20 cm entre resultat i resultat
- Pou 43905-0030: Com en l'anterior cas la diferència és de més de 20 cm

Com hem pogut veure els resultats d'aquest aqüífer son més complicats d'interpretar, en el següent apartat extraurem les conclusions de per què ha estat així.

## 5 Conclusions

D'acord amb els resultats obtinguts, es pot observar que els dos aqüífers donen resultats molt diferents.

La primera conclusió que es pot extreure és que la metodologia InSAR no és aplicable directament en totes les tipologies dels aqüífers.

Per molt que siguin els dos aqüífers de règim lliure, les litologies influeixen molt en el comportament hidràulic d'aquest. Com podem en el cas de l'Onyar, dels quatre pous analitzats i més de 1700 punts InSAR només un pou ens ha donat resultats no concloents. Aquest fet que permet la utilització de la metodologia InSAR a l'aqüífer de l'Onyar.

D'aquesta forma també adquiriríem un control més ràpid i que a part no és puntual. En ser un satèl·lit el que controla tota la zona, podríem detectar zones de perillositat; cosa que no podem fer amb el control de piezòmetres on es necessita informació de llargs períodes per poder extreure conclusions sòlides i per zones concretes.

Pel que refereix a l'aqüífer del camp de Tarragona la conclusió és que el comportament de l'aqüífer és massa complex per aplicar directament la metodologia InSAR.

Hem de tenir en compte les famílies de les discontinuïtats, les quals són peculiar i poden modificar el flux intern de l'aqüífer, a més, com sabem, la transmissivitat canvia a la zona 309; Per les proximitats de l'Hospitalet de l'infant oscil·la entre 1000-3000 m<sup>2</sup>/dia, des del límit sud-oest de l'aqüífer fins a Tarragona els valors oscil·len 200-1000 m<sup>2</sup>/dia a la resta de l'aqüífer pel contrari és de 50 m<sup>2</sup>/dia.

Les discontinuïtats particulars d'aquest aqüífer poden modificar el flux intern i la transmissivitat és d'ordres de magnitud diferent a distintes zones. Aquest fet pot modificar a gran escala el comportament hidrogeològic i, per tant, és possible que originis canvis en el grau de consolidació

En la zona de l'Onyar no es descarta que el problema de la transmissivitat també existeixi, ara bé, no està reflectit en cap bibliografia consultada de l'ACA, llavors se suposa que és homogènia en tota la zona d'estudi.

Aquests dos fets poden donar les complicacions per calcular el nivell piezomètric mitjançant la metodologia InSAR, perquè no calcula directament la diferència del nivell piezomètric sinó que ho fa a partir dels assentaments.

Utilitzant un total de nou pous de control amb més 3500 punts InSAR obtenim els resultats de què el mètode no és vàlid directament per controlar aquest segon aqüífer.

Pel que refereix a la precisió, un cop se sap que els resultats són concloents, aquesta és bona i fiable. Per tant seria interessant investigar en quins aqüífers de Catalunya es pot aplicar i poder així aplicar-ho a més zones, ja que com hem vist el mètode s'ha validat per l'aqüífer de l'Onyar.

Com a conclusió final, la metodologia InSAR es pot utilitzar en aqüífers concrets on que la relació del nivell piezomètric, comparat amb l'assentament de l'InSAR sigui lineal. Si no és així, podem trobar que els resultats no són concloents.

Treball de final de Grau Utilització de dades InSAR per a l'estudi de l'efecte de la sobreexplotació d'aqüífers en la subsidència del terreny

Per continuar amb la investigació es podria enfocar de dues formes diferents. La primera de totes ampliar la informació a més anys per així corroborar que amb períodes llargs de temps, la fiabilitat sigui la mateixa o fins i tot augmenti l'exactitud del control en els nivells piezomètrics

La segona línia d'investigació seria trobar la viabilitat de tots els aqüífers que controla l'ACA per així controlar-lo d'una forma més precisa i a zones més grans no oblidem que els piezòmetres són puntuals i InSAR fa un mapatge de tota la superfície d'estudi.

## Bibliografia

- AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA, 309 - ÀREA DE LA DEPRESSIÓ DEL CAMP DE TARRAGONA Informe hidrogeològic (2005). , pp. 35.
- Agència Catalana de l'aigua - 309 - ÀREA DE LA DEPRESSIÓ DEL CAMP DE TARRAGONA I.pdf*,. S.l.: s.n.
- aplicaciones\_tecnologia\_insar\_cartografia.pdf*,. S.l.: s.n.
- ARBIOL, R., PALÀ, V. y PÉREZ, F., . APLICACIONES DE LA TECNOLOGIA InSAR A LA CARTOGRAFIA. , pp. 6.
- Cigna et al. - 2019 - Wide-Area InSAR Survey of Surface Deformation in U.pdf*, . S.l.: s.n.
- ICGC - Vissir3. [en línea], . [Consulta: 30 mayo 2021]. Disponible en: <http://www.icc.cat/vissir3/>.
- ICGC\_Geoindex\_-\_Visualitzador\_Cartografia\_hidrogeologica.html* [en línea], . S.l.: s.n. [Consulta: 11 junio 2021]. Disponible en: [https://www.instamaps.cat/instavisor/97402247/35124f3852db7a53e75388f2e2d86d20/ICGC\\_Geoindex\\_-\\_Visualitzador\\_Cartografia\\_hidrogeologica.html?3D=false&embed=1#11/41.2097/0.9846](https://www.instamaps.cat/instavisor/97402247/35124f3852db7a53e75388f2e2d86d20/ICGC_Geoindex_-_Visualitzador_Cartografia_hidrogeologica.html?3D=false&embed=1#11/41.2097/0.9846).
- SDIM. [en línea], . [Consulta: 30 mayo 2021]. Disponible en: <http://aca-web.gencat.cat/sdim21/inici.do>.
- Selva - FITXES DE CARACTERITZACIÓ ADDICIONAL DE LES MASSES.pdf*, . S.l.: s.n.
- Techinques of Water-Resources investigations of the United States Geological Survey.pdf*, . S.l.: s.n.
- Visor ACA. [en línea], . [Consulta: 30 mayo 2021]. Disponible en: [https://sig.gencat.cat/visors/VISOR\\_ACA.html](https://sig.gencat.cat/visors/VISOR_ACA.html).
- Yang et al. - 2019 - Surface Deformation from Sentinel-1A InSAR Relati.pdf*, . S.l.: s.n.



## Índex de Figures

Figura 1 Distribució de falles i punts InSAR.....	10
Figura 2 Fotografies on es demostren els problemes d'assentament en el nucli urbà. ....	12
Figura 3 Velocitats dels desplaçaments en la zona de la Vall d'Aguascalientes .....	13
Figura 4 Interferometria de la Vall d'Aguascalientes .....	14
Figura 5 Evolució de la ciutat Aguascalientes .....	14
Figura 6 Canvis piezomètrics entre el 200-2014 .....	16
Figura 7 Distribució de la captació de dades i Tall geològic de la zona d'estudi.....	17
Figura 8 Distribució de punts de càlcul .....	18
Figura 9 Gràfics de les dades obtingudes de la zona d'estudi.....	19
Figura 10 Mapa velocitats verticals.....	20
Figura 11 Mapa de subsidències en la zona d'estudi.....	20
Figura 12 Comparació GPS (superior) amb resultats InSAR (inferior).....	21
Figura 13 Mapa de Catalunya amb els aqüífers d'estudi destacats («SDIM»; «ICGC - Vissir3») 23	
Figura 14 Situació concreta Aqüífer Baix Camp («Visor ACA») .....	24
Figura 15 Situació concreta Aqüífer Onyar («Visor ACA») .....	24
Figura 16 Descripció aqüífer la Selva.....	25
Figura 17 Mapa geològic de la zona d'estudi .....	27
Figura 18 Àmbits hidrogeològics .....	27
Figura 19 Mapa de localització de l'aqüífer de l'Onyar .....	29
Figura 20 Tall geològic del Riu Onyar (IGME, 1993) .....	29
Figura 21 Situació dels Aqüífers del camp de Tarragona .....	32
Figura 22 Distribució de litologies en l'aqüífer Plioquaternari .....	32
Figura 23 Tall geològic zona Camp Tarragona.....	33
Figura 24 Geometria de la interferometria SAR.....	36
Figura 25 Pous estudiats zona Onyar .....	41
Figura 26 Distribució dels pous en mapa d'usos .....	41
Figura 27 Situació dels pous estudiats i núvols de punts InSAR.....	50
Figura 28 POUS ESTUDIATS ZONA baix camp .....	52
Figura 29 ISTRIBUCIÓ DELS POUS EN MAPA D'USOS .....	52
Figura 30 Distribució dels núvols de punts de InSAR de la zona.....	71

## Índex de Taules

Taula 1 Quadre resum de l'aqüífer Plioquaternari .....	33
Taula 2. RECÀRREGA NATURAL .....	34
Taula 3 Extraccions per bombament: .....	34
Taula 4 Característiques aqüífer plioquaternari del camp de Tarragona .....	35
Taula 5 Dades nivell piezomètric pou 17033-0111 .....	42
Taula 6 Dades nivell piezomètric pou 17038-0013 .....	44
Taula 7 Dades nivell piezomètric pou 17089-1xx.....	46
Taula 8 Dades nivell piezomètric pou 17150-015 .....	48
Taula 9 Mediane dels punts pròxims als pous estudiats .....	50
Taula 10 Dades nivell piezomètric pou 43033-0072 .....	53
Taula 11 Dades nivell piezomètric pou 43066-0012 .....	55
Taula 12 Dades nivell piezomètric pou 43092-0164 .....	57
Taula 13 Dades nivell piezomètric pou 43109-0020 .....	59
Taula 14 Dades nivell piezomètric pou 43123-0262 .....	61
Taula 15 Dades nivell piezomètric pou 43129-0180 .....	63
Taula 16 Dades nivell piezomètric pou 43144-0032 .....	65
Taula 17 Dades nivell piezomètric pou 43145-0139 .....	67
Taula 18 Dades nivell piezomètric pou 43095-0030 .....	69
Taula 19 Mediane dels punts pròxims als pous estudiats .....	71
Taula 20 DADES CARACTERÍSTIQUES DE L'AQUÍFER .....	72
Taula 21 Dades característiques de l'Aqüífer .....	74
Taula 22 Comparació dels assentaments.....	74

## Annexos

Annex 1: Annex dades InSAR

Annex 2: Annex dades ACA