

**ADVERTIMENT.** La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX ([www.tesisenxarxa.net](http://www.tesisenxarxa.net)) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

**ADVERTENCIA.** La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR ([www.tesisenred.net](http://www.tesisenred.net)) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

**WARNING.** On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX ([www.tesisenxarxa.net](http://www.tesisenxarxa.net)) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author

Universitat Politècnica de Catalunya



## TESIS DOCTORAL

# ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIA ANUAL DE ACUÍFEROS: APLICACIÓN AL BAIX EBRE

**TESIS PRESENTADA POR:**

Sara Espinosa Martínez.

**DIRIGIDA POR:**

Dr. Emilio Custodio

Departamento de Ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica

BARCELONA, 2014

La autora de esta tesis doctoral agradece al Ministerio de Educación y Cultura la adjudicación de una beca de Formación de Personal Investigador (FPI) con referencia BES-2010-039108, asignada al proyecto (CGL2009-12910-C0301) REDESAC (Recarga y Descarga de Acuíferos) financiado por la CICYT (Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología) del MICINN, actual MINECO.

Quiero expresar mi especial gratitud al Dr. Emilio Custodio, director de esta tesis y coordinador del proyecto REDESAC, por darme la oportunidad de formar parte del proyecto REDESAC y por confiar en mi capacidad de trabajo en los momentos difíciles, alentándome a continuar y no caer en el abandono, para llevar este trabajo a buen puerto. Me siento muy agradecida de haber trabajado codo con codo con él y de haber adquirido a través de su experiencia tan valiosos conocimientos.

Así mismo quiero expresar mi especial agradecimiento a Maria del Carmen Cabrera (directora del grupo de investigación del proyecto REDESAC en la ULPGC), Anneti Benavides, Pilar Hernández-Quesada, Esmeralda Estévez, Tatiana Cruz y Gemma Naranjo por su acogida y hospitalidad durante la primera reunión a la que asistí del proyecto celebrada en la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, y por su ofrecimiento incondicional para resolver cualquier duda que me ha surgido a lo largo de estos cuatro años de trabajo.

También agradecer de forma especial a Marisol Manzano (directora del grupo de investigación del proyecto REDESAC en la UPCT) sus consejos al inicio de la investigación para la logística de los trabajos de campo, y a Lucía Ortega y Jorge Hornero por las breves conversaciones, pero fructíferas, de trabajo y futuro en general, en los congresos a los que hemos asistido juntos.

Muy agradecida con Bruno Pisani (Universidad de A Coruña) por su disponibilidad total en la resolución de dudas de operatividad del código Visual Balan, así como por los datos facilitados del modelo numérico que desarrolló con anterioridad de la zona de estudio.

Se agradece a Carlos Loaso, director de la oficina de Tortosa de l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA), su total disponibilidad para facilitar información de carácter bibliográfica y ayuda logística para el desarrollo de los trabajos de campo y a todos los inspectores y técnicos de campo de la ACA, que de manera desinteresada han hecho posible tanto la instalación de captadores de agua de lluvia como la localización de puntos de interés para de muestreo de agua subterránea. También se agradece la colaboración de Carlos Loaso para organizar reuniones con los precursores y miembros activos del Club

de Espeleología de Tortosa, dado el gran interés que teníamos en profundizar en el conocimiento del funcionamiento del macizo de los Ports.

Agradecer también a Pere Quintana (personal de investigación del Observatori de l'Ebre en Roquetes, Tortosa) el haber hecho posible ubicar un colector de agua de lluvia en la zona reservada a elementos de medición de variables meteorológicas.

También agradecer a Josep María Niñerola y a Josep Torrens Pla su tiempo en la explicación de sus trabajos realizados en la zona como profesionales de la hidrogeología.

Agradecer a Javier Lambán y a Antonio Azcón (Unidad del IGME de Zaragoza) sus consejos y aportaciones al conocimiento del área de aplicación en la que se enmarca la tesis, tanto documentales como personales, y en especial a Javier Lambán por su total disponibilidad en la consulta de dudas sobre metodologías aplicadas.

Deseo expresar mi gratitud a Teresa Carceller, Javier San Román y Miguel Ángel García Vera (Confederación Hidrográfica del Ebro) por su voluntariedad para facilitarnos documentación y transmitirnos sus conocimientos y estudios realizados en la zona.

Se agradece a Santiago Balague, director de Hidroanalítica S.L., su excelente eficiencia en la entrega de resultados y su paciencia con el tratamiento de las muestras de agua de lluvia. También agradecer y felicitar a los diferentes laboratorios que han colaborado en el análisis de muestras por su compromiso y eficiencia. Agradecer en especial la buena disposición de trabajo de Clemente Recio (Laboratorio de isotopía ambiental de la Universidad de Salamanca), de Mercè Olamendi y Albert Soler (Laboratorio de isotopía ambiental de la Universidad de Barcelona) y de M<sup>ª</sup>Fe Díaz Teijeiro (Laboratorio isotópico ambiental del CEDEX, Madrid).

Quiero mostrar mi gratitud a Margarida Valverde (gerencia FCIHS) por su completa disposición en la facilitación de información bibliográfica de la biblioteca interna de la FCIHS y por su ayuda con las gestiones administrativas. Así mismo quiero expresar mi agradecimiento a Jordi Sánchez-Vila por su disponibilidad incondicional y ayuda para la gestión de trámites administrativos y consejos de logística en alguna de las campañas de muestreo de campo, así como su voluntariedad para colaborar en los últimos trabajos de campo.

Y a título personal por la autora de esta tesis doctoral, agradecer desde lo más profundo de mi corazón a mi padre, Manuel Espinosa Moreno (del que en el ámbito laboral he aprendido a aplicar estas tres condiciones: objetividad, priorización de objetivos y eficiencia) y a Ignasi Tarrazona Gasque, mi pareja, el apoyo y ayuda en las campañas de muestreo de surgencias naturales y recogidas de muestra de agua de lluvia. A mi hermano, Javier Espinosa Martínez por su apoyo, ánimo y motivación en general. Y



especialmente a mi madre, Vicenta Martínez Martínez de la que he heredado el positivismo ante las adversidades, y que gracias a su lucha personal diaria he aprendido a valorar objetivamente lo importante de la vida, y a dar el 200% para lograr conseguir aquello que me proponga. Gracias familia por la más preciada de las herencias, la formación.

### **PEQUEÑO RELATO (bajo los efectos de la nostalgia)**

Mis queridos Puertos, evoco a vuestro recuerdo desde la distancia, sentada sobre el ancla que me une sine qua non a la condición urbanita.

Curvas...

Sol...

Cansancio...

Es lo que veo si cierro los ojos...

Mis queridos Puertos, recuerdo el respeto que me infundasteis al conoceros con vuestra simple presencia, alzando vuestra magnificencia imponiendo la planicie a vuestros pies. Algo escondíais y una luz me invitó a descubrir lo que era...

Percibí un atisbo de obligación en la invitación y no pude pensar ni decidir con claridad hasta que esa luz direccionó mis esfuerzos para concentrarlos frente a un prisma, me sentí atrapada, como un marinero por el canto de una sirena, no sabía si tenía vuelta atrás, pero tampoco ansiaba descubrirlo, así que me centré en el prisma. Si miraba por un lado me esperaba la soledad, el temor, el cansancio y todo ello concentrado en un tiempo finito y corto. Pero si lo miraba desde el otro lado del prisma me esperaba aventura, conocimiento y crecimiento, fue la avidez de sabiduría la que determinó el lado del prisma desde el cual mirar...y Mis queridos Puertos, no me equivoqué.

Tras meses comprendí lo que escondíais...era el origen de la vida a vuestras faldas.

Puse rumbo una y mil veces en busca de respuestas, largos paseos en soledad a lomos de mi corcel desgastando las efímeras líneas que dejáis abiertas a vuestro conocimiento pero, Mis queridos Puertos, sólo vosotros desde los adentros podíais ofrecérmelas.

Y mientras cavilaba cómo obtenerlas mi conocimiento aumentaba acercándome a la luz, pasando del respeto más frío y distante al calor de la mirada de apoyo, para no desanimar en la búsqueda de las tan ansiadas respuestas.

Mis queridos Puertos, hoy quiero gritar a los cuatro vientos que puedo encajar las piezas del puzzle que bailaban en mis manos como platillos chinos, esquivando la caída como por arte de magia!

Ego embriagado por el trabajo realizado, la energía y el poder me invaden para afrontar el que queda por hacer...pero a su vez, tristeza, Mis queridos Puertos, porque sé que os añoraré. Vuestro olor y color, cada recoveco de vuestro ser. Se ha forjado un huequito en mi corazón para no olvidaros jamás. Gracias por ofrecerme aquello que posee un valor incalculable, vuestro secreto.



Para investigar y avanzar en la estimación de valores de recarga media multianual de sistemas acuíferos, mediante la aplicación de métodos de gran escala y su comparación, se consideran dos métodos independientes entre sí. Los métodos de evaluación utilizados son el balance de la deposición atmosférica de ión cloruro y el balance de agua en el suelo, que en este caso se hace con el apoyo del código Visual Balan. La experimentación se realiza en un área que se caracteriza por la presencia de un gran macizo montañoso de clima húmedo adyacente a una cuenca sedimentaria baja de clima semiárido, el Baix Ebre, en sentido lato. Para la evaluación y comparación de resultados ha sido necesario avanzar en el conocimiento de la relación y conexión del sistema acuífero montaña-llano mediante la aplicación de técnicas hidrogeoquímicas e isotópicas ambientales de la molécula de agua para poder localizar y evaluar las zonas preferenciales de recarga y las condiciones del flujo del agua subterránea.

El área que aquí se considera como Baix Ebre está emplazada al noreste de la península Ibérica, entre Tortosa y Morella. El sistema acuífero es hidrodinámicamente complejo. Comprende la Plana de La Galera, entre los ríos Ebro y La Sènia, y parte de los Ports de Beseit-Tortosa, un elevado macizo montañoso carbonático. La precipitación media anual es de  $550 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  en la Plana de La Galera y  $1100 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  en los Ports de Beseit-Tortosa.

La hidrogeología del área viene condicionada por una tectónica compresiva que da lugar a grandes relieves y que configura un acuífero mesozoico regional con afloramiento principal en Ports de Beseit-Tortosa, seguida posteriormente por esfuerzos distensivos que dieron lugar a un relleno terciario y cuaternario que abarca toda la zona denominada Plana de La Galera.

Para la elaboración del modelo hidrogeológico conceptual, además de las consideraciones hidrodinámicas basadas en la piezometría, se han aplicado técnicas hidrogeoquímicas e isotópicas orientadas a identificar las áreas de recarga y caracterizar el flujo del agua subterránea. Con este fin se han utilizado análisis químicos del agua subterránea obtenidos de la base de datos de l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA), completados con otros realizados en trabajos anteriores y en especial durante la presente investigación, durante la que se han caracterizado partes del territorio sin datos o con escasos datos previos.

El modelo hidrogeológico conceptual de funcionamiento parte de una recarga producida preferentemente en los Ports de Beseit-Tortosa que se transfiere lateralmente a la Plana de La Galera a

través de los materiales detríticos de piedemonte y la extensión de los materiales mesozoicos bajo la Plana. Dicha recarga se mezcla puntualmente con la recarga local producida en la Plana. Los hidrogramas de niveles piezométricos en pozos y sondeos en la Plana de La Galera muestran dos tipos diferentes de comportamiento en cuanto a la oscilación de los niveles como respuesta a los eventos de lluvia producidos, uno que corresponde a materiales mesozoicos confinados y semiconfinados bajo la Plana, con respuesta rápida a eventos de lluvia acontecidos en los Ports de Beseit-Tortosa y oscilaciones del nivel piezométrico de hasta decenas de metros, y otro que se asocia a los materiales plio-cuaternarios y mesozoicos en contacto con los plio-cuaternarios, los cuales se comportan como un acuífero libre con una respuesta algo retardada respecto a los eventos de lluvia y con oscilaciones de nivel como mucho de escasos metros.

A partir de la definición del modelo hidrogeológico conceptual y del estudio global del funcionamiento hidrológico del macizo de los Ports de Beseit-Tortosa en todo su ámbito geográfico e hidrogeológico, más allá de la zona del estudio (vertiente NW, cuenca del río Matarraña) y vertiente SE, Plana de La Galera, ha sido posible hacer una estimación de la escorrentía superficial ocasional que se produce. Dado que no hay cursos de agua permanentes en el lado SE, se han analizado los hidrogramas de caudales de los cursos de agua (Pena, Ulldemó y Algars) de la vertiente NW, y el llenado y vaciado del embalse de Uldecona. Para cuantificar el detalle de esa escorrentía se ha aplicado el balance de agua en el suelo con el código Visual Balan para la cuenca receptora del embalse de Uldecona. Se han obtenido valores de la escorrentía superficial, que en buena parte corresponde a la escorrentía sub-superficial y descarga rápida de formaciones saturadas colgadas temporales cuya magnitud es de  $105 \pm 20 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  en el periodo de 15 años de datos.

Para la estimación de la recarga media multianual mediante el balance de la deposición atmosférica total de ión cloruro se ha caracterizado la composición química del agua de lluvia de la zona durante el periodo 2011-2014. Para ello han sido instalados 9 colectores abiertos totalizadores de agua de lluvia, distribuidos con el objetivo de cubrir perfiles altitudinales, en los que se ha muestreado con una periodicidad mensual y bimensual el agua de lluvia recogida durante los eventos de precipitación, analizándose la química elemental y los isótopos estables de la molécula de agua. A partir de los resultados se han identificado diferencias composicionales en función de la altitud, encontrando valores de  $\delta^{18}\text{O}$  en torno al  $-7 \text{ ‰}$  a  $-6 \text{ ‰}$  y extremos de  $-8 \text{ ‰}$  en los colectores localizados en los Ports de Beseit-Tortosa y alrededor del  $-5,5 \text{ ‰}$  y más pesados en la Plana de La Galera.

Para determinar la importancia de la deposición seca en el Baix Ebre respecto a la aportación total de ión cloruro en el agua de precipitación se ha muestreado un colector abierto expresamente ubicado en el Observatori de l'Ebre, en Roquetes, Tortosa, con el fin de poder comparar los resultados con la serie de datos del colector también abierto que se operó en el periodo 2002-2003 (Alcalá, 2005) y con la

serie de datos de aportación atmosférica húmeda que fue generada durante el periodo 1987-2003. La deposición seca es un porcentaje significativo de la deposición total, mayor para muestreos precedidos por época seca. Para la interpretación de resultados hay que considerar que el periodo de estudio 2011-2014 ha sido significativamente seco respecto al periodo total de funcionamiento de esa estación: 1987-2003.

Los valores de deposición atmosférica total obtenidos durante el periodo 2011-2014 están en torno a  $5 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$  en cotas altas de los Ports y a  $3 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$  en cotas bajas de la Plana de La Galera. Estos resultados difieren del patrón más común en otras áreas donde se suelen encontrar valores inferiores de deposición para cotas altas y alejadas de la línea de costa debido a una disminución de la concentración de cloruro atmosférico al evolucionar a condiciones ambientales más continentales. No es este el caso de los Ports de Beseit-Tortosa ya que existe un ambiente rico en sales atmosféricas que forma parte de la deposición seca, que es una parte importante de la deposición total, que parece tener pequeñas variaciones en el territorio, mientras que hay notables variaciones en la cantidad de precipitación.

Para la estimación de la tasa de recarga anual se han considerado 5 sub-zonas, dos de ellas en los Ports, otras dos en la Plana y otra en los macizos de Godall-Montsià. La recarga media anual en el periodo de datos según el balance de agua en el suelo en la Plana de La Galera varía entre  $215$  y  $240 \text{ mm a}^{-1}$ , con una desviación estándar entre  $20$  y  $25 \text{ mm a}^{-1}$ , según la sub-zona, y es de  $500 \pm 60 \text{ mm a}^{-1}$  en los Ports de Beseit-Tortosa. El balance de la deposición atmosférica de ión cloruro en la Plana de La Galera proporciona valores de la recarga media multianual de  $130$ - $175 \text{ mm a}^{-1}$  con una desviación estándar de  $35$ - $70 \text{ mm a}^{-1}$  y en los Ports de Beseit-Tortosa de  $315$ - $365 \text{ mm a}^{-1}$  con una desviación estándar de  $150$ - $160 \text{ mm a}^{-1}$ .

Los coeficientes de variación se sitúan en torno al  $0,1$  para el balance de agua en el suelo y al  $0,35$  con el balance de la deposición atmosférica de ión cloruro. Con este coeficiente de variación los valores obtenidos por el balance de agua en el suelo estarían dentro del rango esperable de recarga media anual producida según el balance de la deposición de cloruros.

Para valorar si los dos métodos se complementan entre sí, se ha realizado el test T de Student comparando las medias de los resultados para muestras emparejadas y las diferencias entre dichas medias. Puede asegurarse que la diferencia entre las medias de las dos series de resultados de recarga media anual es estadísticamente significativa. Por tanto, aunque con la aplicación de diversas técnicas independientes entre sí de manera simultánea es posible superar las limitaciones de cada método aplicado de manera aislada, consiguiendo así una mayor fiabilidad de los resultados, se presentan diferencias que dependen de otros factores, como la representatividad de las series de precipitación

que se aplican, cómo se tiene en cuenta la escorrentía superficial y los valores representativos de la concentración en ión cloruro en la recarga.

La dispersión de la relación recarga-pluviometría, incluso a nivel anual, es típica de climas semi-áridos, con un umbral medio de pluviometría necesario para que exista recarga de 240-300 mm·a<sup>-1</sup> en la Plana de La Galera y entre 56-108 mm·a<sup>-1</sup> para los Ports de Beseit-Tortosa, indicando una capacidad mayor de recarga en cotas altas en años secos. La distribución anual y mensual de la recarga se concentra en los meses de octubre, diciembre, enero y mayo con máximos que reflejan que la ocurrencia de recarga se produce, en buena parte, debido a eventos de precipitación extraordinarios, siendo el 1% de las lluvias de mayor magnitud el que produce el 70% de la recarga.

Las entradas al sistema se estiman en unos 285 hm<sup>3</sup>·a<sup>-1</sup>, que es la suma de la recarga por precipitación, la recarga por escorrentía superficial y los retornos de riego. Las salidas por bombeo y las descargas subterráneas, tanto al margen derecho del río Ebro como al Mar Mediterráneo en la franja litoral de la Plana de Alcanar, han sido estimadas entre 120-320 hm<sup>3</sup>·a<sup>-1</sup>, estas últimas muy difíciles de cuantificar, pero que enmarcan bien la evaluación de la recarga.

Per investigar i avançar en l'estimació dels valors de recàrrega mitjana multianual del sistema aquífers utilitzant mètodes de gran escala, i la seva comparació, es consideren dos mètodes independents entre ells mateixos. Els mètodes d'avaluació utilitzats són el balanç de deposició atmosfèrica de ió clorur i el balanç d'aigua en el sòl utilitzant el codi Visual Balan. La experimentació es du a terme en una zona que es caracteritza per la presència d'un gran massís de clima més humit, adjacent a una conca sedimentària inferior de clima semiàrid, el Baix Ebre, en sentit ampli. Per a l'avaluació i comparació dels resultats ha estat necessari avançar en el coneixement de la relació i connexió del sistema aquífer montanya-plana a través de l'aplicació de tècniques hidrogeoquímiques i isotòpics ambientals de la molècula d'aigua per tal de localitzar i avaluar les zones de recàrrega i les condicions de flux preferents de les aigües subterrànies.

L'àrea que es considera aquí com Baix Ebre està situada al nord-est de la península Ibèrica, entre Tortosa i Morella. L'aquífer és hidrodinàmicament complexe. Comprèn la Plana de La Galera, entre els rius Ebre i La Sénia i part d'els Ports de Beseit- Tortosa, un massís d'alta muntanya carbonatada. La precipitació mitjana anual és de  $550 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  a la Plana de La Galera i de  $1100 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  als Ports de Beseit-Tortosa.

La hidrologia de la zona està condicionada per una compressió tectònica que origina grans relleus i que configura un aquífer regional del Mesozoic amb l'aflorament principal als Ports de Beseit-Tortosa, seguit posteriorment d'esforços distensius que van ocasionar la depressió s'omplenès de materials d'edat Terciària i Quaternària que s'extenen sobre tota la zona anomenada Plana de La Galera.

Per a l'elaboració del model conceptual hidrogeològic, a més de les consideracions hidrodinàmiques basades en la piezometria, es van aplicar tècniques hidrogeoquímiques i isotòpiques ambientals per a identificar zones de recàrrega i caracteritzar el flux d'aigua subterrània. Les anàlisis químiques de les aigües subterrànies van a ser obtingudes de la base de dades de l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA), completada per les continguts en altres treballs anteriors i en particular generats durant la investigació actual, durant la qual s'han identificat parts del territori amb poques dades anteriors o cap dada.

El model conceptual hidrogeològic parteix d'una recàrrega produïda preferentment als Ports de Beseit-Tortosa, que és transferida lateralment a la Plana de La Galera a través dels materials detrítics del peudemont i l'extensió dels materials mesozoics sota la Plana. Aquesta recàrrega es barreja amb recàrrega local produïda a la Plana. El hidrogrames dels nivells piezomètrics de pous i sondatges en la Plana de La Galera mostren dos tipus diferents de comportament pel que fa a l'oscil·lació dels nivells en

resposta als esdeveniments de pluja produïts, un que correspon a materials mesozoics confinats i semi-confinats sota la Plana, amb ràpida resposta a esdeveniments de precipitacions succeïts en Els Ports de Beseit-Tortosa, amb oscil·lacions de nivells de fins a desenes de metres, i un altre que està associat amb la fossa plio-quadernària i materials mesozoics en contacte amb el omplenat plio-quadernari, materials que es comporten com un aquífer lliure, amb respostes una mica retardat respecte als esdeveniments de pluja i amb oscil·lacions de pocs metres.

A partir de la definició del model conceptual hidrogeològic i l'estudi global del funcionament hidrològic del massís dels Ports de Beseit- Tortosa en tot el seu àmbit geogràfic i hidrogeològic, més enllà de l'àrea d'estudi (vessant NW, conca del riu Matarranya) i vessant SE, Plana de La Galera, ha estat possible fer una estimació de l'escolament superficial ocasional que es produeix. Ja que hi ha cap cursos permanents d'aigua a la vessant SE, s'han analitzat els hidrogrames de cabals dels cursos d'aigua (Peña, Ulldemó i Algars) de la vessant NW, i l'ompliment i el buidatge de l'embassament d'Ulldecona. Per a quantificar el detall d'aquest escolament s'ha aplicat el balanç d'aigua al sòl amb el codi Visual Balan per a la conca de captació de l'embassament d'Ulldecona. S'ha obtingut valors de l'escolament superficial que en bona part corresponen a l'escolament sub-superficial i descàrrega ràpida de formacions saturades penjades temporals, amb magnitud de  $105 \pm 20 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  en el període de 15 anys de dades.

Per a l'estimació de la recàrrega mitjana multiannual mitjançant el balanç de la deposició atmosfèrica total d'ió clorur s'ha caracteritzat la composició química de l'aigua de pluja de la zona durant el període 2011-2014. Per a això s'han instal·lat 9 col·lectors oberts totalitzadors d'aigua de pluja, distribuïts amb l'objectiu de cobrir perfils altitudinals, en els quals s'ha mostrejat amb una periodicitat mensual i bimensual l'aigua de pluja recollida durant els esdeveniments de precipitació, analitzant la química elemental i els isòtops estables de la molècula d'aigua. A partir dels resultats s'han identificat diferències composicionals en funció de l'altitud, trobant valors de  $\delta^{18}\text{O}$  a l'entorn del -7 ‰ a -6 ‰ i extrems de -8 ‰ en els col·lectors localitzats en els Ports de Beseit-Tortosa i al voltant del -5,5 ‰ i més pesats a la Plana de La Galera.

Per a determinar la importància de la deposició seca al Baix Ebre respecte a l'aportació total d'ió clorur en l'aigua de precipitació s'ha mostrejat un col·lector obert expressament ubicat a l'Observatori de l'Ebre, a Roquetes, Tortosa, amb la finalitat de poder comparar els resultats amb la sèrie de dades del col·lector també obert que es va operar en el període 2002-2003 (Alcalá, 2005) i amb la sèrie de dades d'aportació atmosfèrica humida que va ser generada durant el període 1987-2003. La deposició seca és un percentatge significatiu de la deposició total, més per als mostrejos precedits per una època seca. Per a la interpretació de resultats cal considerar que el període d'estudi 2011-2014 ha estat significativament sec respecte al període total de funcionament d'aquesta estació: 1987-2003.



Els valors de deposició atmosfèrica total obtinguts durant el període 2011-2014 estan a l'entorn a  $5 \text{ gm}^{-2}\text{a}^{-1}$  a cotes altes dels Ports i a  $3 \text{ gm}^{-2}\text{a}^{-1}$  a cotes baixes de la Plana de la Galera. Aquests resultats difereixen del patró més comú en altres àrees on se solen trobar valors inferiors de deposició per cotes altes i allunyades de la línia de costa a causa d'una disminució de la concentració de clorur atmosfèric en evolucionar a condicions ambientals més continentals. No és aquest el cas dels Ports de Beseit-Tortosa ja que hi ha un ambient ric en sals atmosfèriques que forma part de la deposició seca, que és una part important de la deposició total, que sembla tenir petites variacions en el territori, mentre que hi ha notables variacions en la quantitat de precipitació.

Per a l'estimació de la taxa de recàrrega anual s'han considerat 5 sub-zones, dues en Els Ports, dues a la Plana i una altra als massissos de Godall - Montsià. La recàrrega mitjana anual en el període de dades segons el balanç d'aigua al sòl a la Plana de La Galera varia entre  $215$  i  $240 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ , amb una desviació estàndard entre  $20$  i  $25 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ , segons la sub - zona, i és de  $500 \pm 60 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  en Els Ports de Beseit-Tortosa. El balanç de la deposició atmosfèrica d'ió clorur a la Plana de La Galera proporciona valors de la recàrrega mitjana multianual de  $130$ - $175 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ , amb una desviació estàndard de  $35$ - $70 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  i als Ports de Beseit-Tortosa de  $315$ - $365 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  amb una desviació estàndard de  $150$ - $160 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ .

Els coeficients de variació se situen a l'entorn del  $0,1$  per al balanç d'aigua al sòl i del  $0,35$  amb el balanç de la deposició atmosfèrica d'ió clorur. Amb aquest coeficient de variació, els valors obtinguts pel balanç d'aigua al sòl estarien dins del rang esperat de recàrrega mitjana anual produïda segons el balanç de la deposició de clorurs.

Per a valorar si els dos mètodes es complementen entre si, s'ha realitzat el test T de Student en comparant les mitjanes dels resultats per a mostres aparellades i les diferències entre aquestes mitjanes. Es pot assegurar que la diferència entre les mitjanes de les dues sèries de resultats de recàrrega mitjana anual és estadísticament significativa. Per tant, tot i que amb l'aplicació de diverses tècniques independents entre si de manera simultània és possible superar les limitacions de cada mètode aplicat de manera aïllada, aconseguint així una major fiabilitat dels resultats, es presenten diferències que depenen d'altres factors, com la representativitat de les sèries de precipitació que s'apliquen, com es té en compte l'escolament superficial i els valors representatius de la concentració en ió clorur en la recàrrega.

La dispersió de la relació recàrrega-pluviometria, fins i tot a nivell anual, és típica de climes semi-àrids, amb un llinar mitjà de pluviometria perquè existeixi recàrrega de  $240$ - $300 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  a la Plana de La Galera i entre  $56$ - $108 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  als Ports de Beseit-Tortosa, indicant una capacitat major de recàrrega a cotes altes en anys secs. La distribució anual i mensual de la recàrrega es concentra en els mesos d'octubre, desembre, gener i maig, amb màxims que reflecteixen que l'ocurrència de recàrrega es

produeix, en bona part, a causa d'esdeveniments de precipitació extraordinaris, sent l'1% de les pluges de major magnitud el que produeix el 70% de la recàrrega.

Les entrades al sistema s'estimen en uns  $285 \text{ hm}^3\text{a}^{-1}$ , que és la suma de la recàrrega per precipitació, la recàrrega per escolament superficial i per als retorns de reg. Les sortides per bombament i les descàrregues subterrànies, tant al marge dret del riu Ebre com a la mar Mediterrània a la franja litoral de la Plana d'Alcanar, han estat estimades entre  $120\text{-}320 \text{ hm}^3\text{a}^{-1}$ , aquestes últimes molt difícils de quantificar però que emmarquen bé l'avaluació de la recàrrega.

To advance and research in the estimation of multi-annual average recharge values of aquifer systems, using large-scale methods and its comparison, two mutually independent methods are considered, namely, the balance of atmospheric chloride deposition and the Visual Balan code supported soil water balance. Field experimentation is carried out in an area that is characterized by the presence of a large mountain massif, adjacent to a lower sedimentary basin of semi-arid climate, here designated as Baix Ebre. For the evaluation and comparison of results it has been necessary to advance in the knowledge of the relationship and connection of the aquifer system between the mountain- and the basin through the application of hydrogeochemical and environmental isotopes of the water molecule techniques in order to locate and assess the preferential areas of recharge and groundwater flow conditions.

The area which is considered here as Baix Ebre is located to the northeast of the Iberian peninsula, between Tortosa and Morella. The aquifer is hydrodynamically complex. It comprises the Plana de La Galera, between the rivers Ebro and La Sènia, and part of Els Ports de Beseit-Tortosa, a high mountainous carbonate massif. The average annual rainfall is  $550 \text{ mm}\cdot\text{yr}^{-1}$  on the Plana de La Galera and  $1100 \text{ mm}\cdot\text{yr}^{-1}$  in the Ports de Beseit-Tortosa.

The hydrogeology of the area is conditioned by compressive tectonics which gives rise to large reliefs and that configures a Mesozoic regional aquifer whose main outcrop is the Ports de Beseit-Tortosa, followed by distensive efforts that resulted in a Tertiary and Quaternary materials filled depression called Plana de La Galera.

For the elaboration of the conceptual hydrogeological model, in addition to the hydrodynamic considerations based on piezometric maps and groundwater levels hydrographs, hydrogeochemical and atmospheric isotopic techniques has been applied to identify recharge areas and characterize groundwater flow. Chemical analysis of groundwater has been obtained from the database of Catalan Water Agency (ACA), completed by others from previous works and in particular those obtained during the present investigation, during which parts of the territory with little previous data or no data have been identified.

The conceptual hydrogeological model consists on part of the recharge produced preferably in the Ports de Beseit-Tortosa being transferred laterally to the Plana de La Galera through the detrital piedmont materials and the extension of the Mesozoic materials under the plain. This recharge is thoroughly mixed with local recharge produced in the Plana de La Galera. Groundwater level hydrographs belonging to wells and boreholes in the Plana de La Galera show two different types of behavior in terms of level

oscillation in response to rain events. One type corresponds to confined and semi-confined Mesozoic materials under the plain, with a quick response to rainfall events produced in the Ports de Beseit-Tortosa and piezometric oscillations of up to tens of meters. The other one is associated with the Plio-Quaternary materials and the Mesozoic formations in contact with the Plio-Quaternary materials covering them, which behave as water table aquifer with a delayed response to rain events and with fluctuations of less than few meters.

From the definition of the conceptual hydrogeological model and the global study of the hydrological functioning of the Ports de Beseit- Tortosa massif , beyond of the study area (NW slope, Matarranya River basin), and the SE slope, Plana de La Galera, it has been possible estimate surface runoff, an occasional fact. Since there are no permanent water courses on the SE slope, the hydrographs of the watercourses (Peña, Ulldemó and Algars) of the NW slope, and the filling and emptying of the Ulldecona surface reservoir has been analysed. Soil water balance was applied to quantify the detail of runoff applying the Visual Balan code to the catchment basin of Ulldecona reservoir. Values of surface runoff, which largely corresponds to the interflow runoff and fast discharge of temporary saturated perched aquifers, are approximately  $105 \pm 20 \text{ mm}\cdot\text{yr}^{-1}$  in the 15 years of data.

For the estimation of the multi-annual average recharge through the balance of atmospheric chloride deposition, the chemical composition of rainwater in the area during the period 2011-2014 has been characterized. For that 9 rainwater collectors were installed, distributed with the aim of covering altitudinal profiles, with monthly and bi-monthly sampling of rainwater Elementary chemistry and stable environmental isotopes were analyzed. Compositional differences have been identified, depending on the altitude, finding values of  $\delta^{18}\text{O}$  around - 7 ‰ to 6 ‰ and ends - 8 ‰ in the collectors located in the Ports de Beseit – Tortosa, and around – 5,5 ‰ and heavier in the Plana de La Galera.

To determine the importance of dry atmospheric deposition in the Baix Ebre to bulk chloride deposition an open collector specifically located in the Observatori de l'Ebre, in Roquetes, Tortosa, has been sampled in order to be able to compare the results with the data series from the also open-collector who operated in the period 2002-2003 (Alcalá, 2005) and compared with the data series from wet atmospheric contribution that was generated during the period 1987-2003. Dry atmospheric deposition is a significant percentage of the total deposition, greater for samplings preceded by a dry season. For the interpretation of results it should be considered that the 2011-2014 study period has been significantly dry compared to the total period of 1987-2003.

Total atmospheric deposition values obtained during the period 2011-2014 are around  $5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{yr}^{-1}$  at the Ports and  $3 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{yr}^{-1}$  in the Plana de La Galera. These results differ from the more common pattern in other areas where lower values of deposition for high altitudes and away from shoreline conditions are

generally found. This is not the case of the Ports de Beseit-Tortosa because there the environment contain soluble salt-rich aerosol that is part of the dry deposition, which is an important part of the total deposition. It seems to present small variations along the territory while there are significant variations in the amount of precipitation.

For the estimation of annual recharge rate 5 sub-zones have been considered, two of them in the Ports, two others in the plain and another in the Godall-Montsià massifs. Multi-annual average recharge in the period of data after the soil water balance in the Plana de La Galera varies between 215 and 240  $\text{mm}\cdot\text{yr}^{-1}$ , with a standard deviation between 20 and 25  $\text{mm}\cdot\text{yr}^{-1}$ , according to the sub-zone, and is  $500 \pm 60 \text{ mm}\cdot\text{yr}^{-1}$  on the Ports de Beseit-Tortosa. The balance of atmospheric chloride deposition in the Plana de La Galera provides values of the multi-annual average recharge of 130-175  $\text{mm}\cdot\text{yr}^{-1}$  with a standard deviation of 35-70  $\text{mm}\cdot\text{yr}^{-1}$  and 315-365  $\text{mm}\cdot\text{yr}^{-1}$  in the Ports de Beseit-Tortosa with a standard deviation of 150-160  $\text{mm}\cdot\text{yr}^{-1}$ .

The coefficients of variation are around 0.1 for the soil water balance and around 0.35 for the atmospheric chloride deposition balance. With this coefficient of variation the values obtained by the soil water balance are within the expected range of annual average recharge produced according to the atmospheric chloride deposition balance.

To determine if the two methods complement each other, the averages of results have been tested with the Student T-test by comparing outcomes for paired samples. It can be sure that the difference between the averages of the two series of results of annual average recharge is statistically significant. Therefore, although with different independent techniques among themselves at the same time it is possible to overcome the limitations of each method applied in isolation, thus achieving a greater reliability of the results, there are differences that depend on other factors, such as the representativeness of the precipitation series, how surface runoff is taken into account and the reliability of concentration of chloride in the recharge.

The dispersion of the ratio recharge-precipitation, including at the annual data, is typical of semi-arid climates, with an average threshold of rainfall required for recharge to occur between 240-300  $\text{mm}\cdot\text{yr}^{-1}$  on the Plana de La Galera and between 56-108  $\text{mm}\cdot\text{yr}^{-1}$  for the Ports de Beseit-Tortosa, indicating a greater capacity for recharge in the Ports in dry years. The annual and monthly distribution of recharge is concentrated in October, December, January and May, with peaks that show that recharge occurs due to extraordinary events of precipitation, being 1% of the rains of greater magnitude which produce 70% of the recharge.

The inputs to the system are estimated to be 285  $\text{hm}^3\cdot\text{yr}^{-1}$ . This is the sum of the recharge by precipitation, by surface runoff and as irrigation returns. The outputs by pumping and groundwater

discharges to the Ebro River and the Mediterranean Sea in the coastline of the Plana de Alcanar have been estimated between 120-320 hm<sup>3</sup>·yr<sup>-1</sup>, These lasts discharges are very difficult to quantify, but their range comprise the estimated range of recharge.

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN 1

1.1. MOTIVACIÓN Y ENCUADRE	1
1.2. ANTECEDENTES	2
1.3. OBJETIVOS	3

## CAPÍTULO 2. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO SOBRE LA RECARGA EN CLIMAS SEMI-ÁRIDOS 5

## CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA GENERAL PARA EL CÁLCULO DE LA RECARGA MEDIA ANUAL 9

3.1. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA EVALUACIÓN DE LA RECARGA: ASPECTOS DE ESCALA	9
3.2. TÉCNICAS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE RECARGA Y DEFINICIÓN DEL MODELO HIDROGEOLÓGICO	
CONCEPTUAL	10
3.2.1. HIDROGEOQUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA	10
3.2.2. ISÓTOPOS AMBIENTALES DE LA MOLÉCULA DE AGUA	10
3.3. MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA RECARGA	10
3.3.1. BALANCE HÍDRICO	11
3.3.2. BALANCE DE MASA DE TRAZADORES NATURALES	13
3.3.3. ANÁLISIS DEL FLUJO DE LA RECARGA EN EL SUELO	14
3.3.4. MÉTODOS DE CÁLCULO DE FLUJO	14
3.3.5. MÉTODOS EMPÍRICOS	15

## CAPÍTULO 4. CARACTERÍSTICAS ADMINISTRATIVAS, FÍSICAS, GEOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICAS DEL BAIX EBRE 17

4.1. MARCO GEOGRÁFICO Y ADMINISTRATIVO	17
4.2. CLIMATOLOGÍA	20
4.3. MARCO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b> 23
4.3.1. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	23
4.3.2. ESTRATIGRAFÍA	26
4.3.3. TECTÓNICA	29
4.3.4. CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL	30
4.4. MARCO HIDROGEOLÓGICO Y FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL SISTEMA	32
4.4.1. UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS	36
4.4.1.1. Unidad Ports de Beseit	37
4.4.1.2. Unidad Ports de Tortosa	37
4.4.1.3. Unidad Plana de La Galera y Mesozoico de La Galera	38
4.4.1.4. Unidad Aluvial de Tortosa	39
4.4.2. ACUÍFEROS	40
4.4.2.1. Acuífero regional de materiales mesozoicos	40
4.4.2.2. Acuíferos de piedemonte (plio-cuaternario), terciarios y mesozoicos	40

4.4.2.3. Acuíferos aluviales ligados al río Ebro	41
4.4.3. INTERACCIÓN ENTRE ACUÍFEROS	41
4.5. COBERTERA VEGETAL Y USOS DEL SUELO	43
4.6. CONDICIONES HIDROMÉTRICAS EN LOS CONTORNOS	45
4.7. BALANCE HÍDRICO GENERAL	49

## **CAPÍTULO 5. INFORMACIÓN EXPERIMENTAL** **51**

5.1. INFORMACIÓN EXISTENTE Y FUENTES DE DATOS	51
5.2. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA	51
5.3. MUESTREO DEL AGUA DE LLUVIA	56
5.4. MUESTREO DEL AGUA SUBTERRÁNEA	58
5.5. MÉTODOS ANALÍTICOS DE LABORATORIO	58
5.5.1. QUÍMICA ELEMENTAL	58
5.5.2. ISÓTOPOS DE LA MOLÉCULA DE AGUA	59

## **CAPÍTULO 6. HIDROQUÍMICA DEL AGUA DE LLUVIA** **61**

6.1. ANTECEDENTES EN EL ÁREA DE APLICACIÓN	61
6.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA E ISOTÓPICA AMBIENTAL DEL AGUA DE LLUVIA EN EL PERIODO 2010-2014	62
6.2.1. QUÍMICA ELEMENTAL DE AGUA DE LLUVIA	63
6.2.2. ISÓTOPOS AMBIENTALES DEL AGUA DE LLUVIA	65
6.2.3. CÁLCULO DE LA DEPOSICIÓN ATMOSFÉRICA DE IÓN CLORURO Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	69

## **CAPÍTULO 7. ORIGEN DEL AGUA SUBTERRÁNEA Y SU RECARGA** **73**

7.1. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS	73
7.1.1. VARIABILIDAD TEMPORAL	73
7.1.2. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL	73
7.2. ISÓTOPOS ESTABLES Y RADIOACTIVOS DE LA MOLÉCULA DE AGUA	79
7.2.1. ISÓTOPOS ESTABLES DE LA MOLÉCULA DE AGUA Y DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS	80
7.2.2. TRITIO DE LA MOLÉCULA DE AGUA Y DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS	81
7.3. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	83
7.3.1. CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA	83
7.3.2. CARACTERIZACIÓN ISOTÓPICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA	88
7.3.2.1. Isótopos estables de la molécula de agua ( $^{18}\text{O}$ y $^2\text{H}$ )	88
7.3.2.2. Isótopo radiactivo de la molécula de agua (tritio)	91

## **CAPÍTULO 8. ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIA ANUAL** **95**

8.1. BALANCE DE AGUA EN EL SUELO	95
8.1.1. TRATAMIENTO DE LOS DATOS	97
8.1.1.1. Datos hidrometeorológicos	97
8.1.1.1.1. Series diarias de datos hidrometeorológicos	97
8.1.1.1.2. Corrección de la serie diaria de evapotranspiración potencial	98



8.1.1.2.	Datos hidrométricos	98
8.1.2.	DIVISIÓN DE ZONAS	102
8.1.3.	BALANCE DE AGUA EN EL SUELO POR SUB-ZONAS	104
8.1.3.1.	Calibración del balance de agua en el suelo	108
8.1.3.2.	Análisis de sensibilidad del balance de agua en el suelo	113
8.1.3.3.	Cálculo de la incertidumbre de la recarga media anual	116
8.1.4.	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	117
8.2.	ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL MEDIA ANUAL EN LOS PORTS DE BESEIT-TORTOSA	126
8.2.1.	PROCESO DE CÁLCULO DE LA ESCORRENTÍA	126
8.2.2.	RESULTADOS	127
8.2.2.1.	Análisis de hidrogramas	127
8.2.2.1.1.	Embalse de Ulldecona	127
8.2.2.1.2.	Afluentes del río Matarraña y Algars	136
8.2.2.2.	Balace de agua en el suelo en la cuenca receptora del embalse de Ulldecona	138
8.2.2.2.1.	Calibración del balance de agua	140
8.2.2.2.2.	Análisis de sensibilidad del balance de agua	141
8.2.3.	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	144
8.3.	BALANCE DE LA DEPOSICIÓN ATMOSFÉRICA DE IÓN CLORURO	147
8.3.1.	VALORES DEL IÓN Cl EN EL AGUA DE RECARGA	148
8.3.2.	VALORES DE DEPOSICIÓN ATMOSFÉRICA DE IÓN Cl EN EL AGUA DE LLUVIA	154
8.3.3.	VALORES DE DEPOSICIÓN DE IÓN Cl EN EL AGUA DE ESCORRENTÍA	155
8.3.4.	ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIA MULTIANUAL	156
8.3.5.	ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIA MULTIANUAL SUPONIENDO EL SISTEMA DE MEZCLA	157
8.3.6.	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	159

## **CAPÍTULO 9. DISCUSIÓN GENERAL** **161**

9.1.	MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL	161
9.1.1.	HIDROMETRÍA	161
9.1.2.	HIDROQUÍMICA ELEMENTAL E ISOTOPÍA AMBIENTAL DEL AGUA SUBTERRÁNEA	164
9.1.3.	VALORES DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL EN EL SISTEMA	167
9.2.	ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIA ANUAL	169
9.2.1.	VALIDEZ DE LOS PARÁMETROS DEL BALANCE DE LA DEPOSICIÓN ATMOSFÉRICA DE IÓN CLORURO	170
9.2.2.	VALIDEZ DE LOS PARÁMETROS DEL BALANCE DE AGUA EN EL SUELO	174
9.3.	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS GENERALES	175
9.3.1.	DISCUSIÓN DE LAS DIFERENCIAS GENERALES DE RESULTADOS	175
9.3.2.	VALORACIÓN DE LOS RESULTADOS DE RECARGA MEDIA ANUAL DE AMBOS MÉTODOS	177
9.3.3.	REPRESENTATIVIDAD DE LA RECARGA MEDIA ANUAL RESPECTO DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL	178
9.4.	ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE ASOCIADA A LA RECARGA MEDIA ANUAL	179
9.5.	BALANCE GENERAL DEL ÁREA DE APLICACIÓN	180
9.5.1.	CÁLCULO DE ENTRADAS DEL BALANCE GENERAL	180
9.5.2.	CÁLCULO DE SALIDAS DEL BALANCE GENERAL	181
9.5.3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL BALANCE HÍDRICO GENERAL DE LA ZONA DE APLICACIÓN	182

## **CAPÍTULO 10. CONCLUSIONES** **185**

10.1.	MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL	185
10.2.	CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA	187
10.3.	ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIA ANUAL	187
10.4.	METODOLOGÍA APLICADA	188

**CAPÍTULO 11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS** 191

## ÍNDICE DE FIGURAS DE LA MEMORIA

Figura 4.1.a. Localización del Baix Ebre, sur de Cataluña, noreste de la Península Ibérica, España	17
Figura 4.1.b. Núcleos urbanos y límites de la zona de estudio	18
Figura 4.1.c. Mapa topográfico con localización de los núcleos urbanos y límites de la zona de estudio	19
Figura 4.2.a. Distribución anual de la precipitación media mensual para el periodo 1994-2011	21
Figura 4.2.b. Mapa de isoyetas del Baix Ebre (Tourís, 1986)	21
Figura 4.2.c. Temperaturas medias anuales en el Baix Ebre (periodo 1994-2011)	22
Figura 4.2.d. Desviación acumulada de la precipitación diaria respecto a la media del periodo 1994-2011	23
Figura 4.3.1.a. Mapa geológico de la zona de estudio ( <a href="http://hidrologia.geoslab.com/HydroGeoEbro/">http://hidrologia.geoslab.com/HydroGeoEbro/</a> )	25
Figura 4.3.1.b. Corte geológico A-B (Beseit-Mar Mediterráneo) según Bayó et al.,1992	25
Figura 4.3.2.a. Variaciones espaciales del Cretácico en los Ports de Besseit (Tourís, 1986)	28
Figura 4.3.2.b. Correlación lateral del Cretácico en el lado SE de los Ports de Besseit-Tortosa (Tourís, 1986)	28
Figura 4.2.3.c. Variaciones regionales del Cretácico (Tourís, 1986)	28
Figura 4.3.4.a. Ubicación de los cortes (Badiella, 2009)	31
Figura 4.3.4.b. Corte geológico general entre la Cuenca del Ebro y la Sierra del Montsià (Badiella, 2009)	31
Figura 4.3.4.c. Corte 1: Ports Besseit-Tortosa-La Carrova (Badiella, 2009)	31
Figura 4.3.4.d. Corte 0: Santa Bárbara-La Carrova y Corte 2: Bc. Galera-canal Xerta-Sénia (Badiella, 2009)	32
Figura 4.3.4.e. Corte 3: Mas de Barberans-La Galera-Freginals (Badiella 2009)	32
Figura 4.3.4.f. Corte 4: La Galera-Vinallop (Badiella, 2009)	32
Figura 4.4.a. Piezometría del acuífero regional y superficial (Tourís, 1986)	33
Figura 4.4.b. Líneas de flujo preferentes y evolución hidroquímica a partir de diagramas modificados de Stiff	35
Figura 4.4.1. Unidades hidrogeológicas de la zona de estudio y ubicación de los cortes geológicos	36
Figura 4.4.1.1. Corte hidrogeológico de los Ports de Besseit según Bayó et al. 1992	37
Figura 4.4.1.2. Corte hidrogeológico de los Ports de Tortosa según Bayó et al. 1992	38
Figura 4.4.1.3. Corte ilustrativo hidrogeológico en el área de La Carrova (Plana de La Galera) (CHE 1991)	39
Figura 4.4.1.4. Corte hidrogeológico del Aluvial de Tortosa (CHE, 1991)	39
Figura 4.4.3.a. Localización y características de los puntos de control	42
Figura 4.4.3.b. Hidrograma de niveles piezométricos (materiales detríticos) vs hidrograma de pluviometría	43
Figura 4.4.3.c. Hidrograma de niveles piezométricos (materiales carbonáticos) vs pluviometría	43
Figura 4.5. Distribución de usos de suelo en el Baix Ebre	44
Figura 4.6.a. Distribución de la red fluvial y ubicación de subcuencas de la vertiente Matarraña	46
Figura 4.6.b. Mapa de tramos fluviales de ganancia-pérdida según aforos diferenciales (CHE, 1991)	49
Figura 5.2.a. Distribución de captaciones de agua subterránea con registro piezométrico histórico continuo	53
Figura 5.2.b. Distribución de los puntos con información química elemental completa de agua subterránea	54
Figura 5.2.c. Distribución de los puntos con información isotópica de la molécula de agua subterránea	55
Figura 5.3. Ubicación de los colectores de agua de lluvia	57
Figura 6.2. Ubicación de los colectores de agua de lluvia y puntos de descarga	62

Figura 6.2.1.a. Diagrama Schoeller-Berkaloff de las muestras de agua de lluvia de los TMM P1-A_D	63
Figura 6.2.1.b. Diagrama Schoeller-Berkaloff de las muestras de agua de lluvia de los TMM P2-A y P2-B	63
Figura 6.2.1.c. Diagrama Schoeller-Berkaloff de las muestras de agua de lluvia de los TMM P3-A, 3-B y 3C	64
Figura 6.2.1.d. Exceso de Na respecto al exceso de SO <sub>4</sub> y exceso de SO <sub>4</sub> respecto al Cl	65
Figura 6.2.2.a. Representación de los valores isotópicos ambientales de agua de lluvia	66
Figura 6.2.2.b. Representación de los valores isotópicos ambientales de agua de lluvia de la estación ES03	66
Figura 6.2.3.a. Distribución de cloruro atmosférico medio y deposición atmosférica total anual (2011-2014)	67
Figura 6.2.3.b. Distribución de cloruro atmosférico medio y deposición atmosférica total anual (11-14_02-03)	68
Figura 6.2.3.c. Concentración de Cl atmosférico y distribución de deposición atmosférica total anualizada	70
Figura 6.2.3.d. Concentración de Cl atmosférico y distribución deposición atmosférica húmeda (1987-2003)	71
Figura 7.1.2.a. Estudio de la distribución espacial. Diagramas Schoeller-Berkaloff grupos 1 y 2	74
Figura 7.1.2.b. Estudio de la distribución espacial. Diagramas Schoeller-Berkaloff grupos 3 y 4	75
Figura 7.1.2.c. Estudio de la distribución espacial. Diagramas Schoeller-Berkaloff grupos 5, 6 y 7	75
Figura 7.1.2.d. Estudio de la distribución espacial. Diagramas modificados de Stiff, grupos 1, 2, 3 y 4	77
Figura 7.1.2.e. Estudio de la distribución espacial. Diagramas modificados de Stiff, grupos 5, 6 y 7	78
Figura 7.2. Distribución espacial de los puntos de control muestreados y material acuífero	79
Figura 7.2.1.a. Análisis de isótopos estables de la molécula de agua de las aguas subterráneas de pozos	80
Figura 7.2.1.b. Análisis de isótopos estables de la molécula de agua de las aguas subterráneas de manantiales	81
Figura 7.2.2. Distribución de análisis de tritio de diferentes captaciones de agua subterránea	81
Figura 7.3.1.a. Ubicación de los cortes transversales del modelo conceptual	83
Figura 7.3.1.b. Perfil 1 (Ports de Beseit- Tortosa centro-Mar Mediterráneo) Primera hipótesis	84
Figura 7.3.1.c. Perfil 1 (Ports de Beseit- Tortosa centro-Mar Mediterráneo) Segunda hipótesis	85
Figura 7.3.1.d. Perfil 2 (Ports de Beseit- Tortosa centro-río Ebro) Segunda hipótesis	85
Figura 7.3.1.e. Perfil 3 (Ports de Beseit- Tortosa sur-Mar Mediterráneo)	86
Figura 7.3.1.f. Composición química del agua de lluvia (ES03) vs agua subterránea de los grupos 1 y 2	87
Figura 7.3.1.g. Composición química del agua de lluvia (ES03) frente a la del agua subterránea grupos 3 y 4	87
Figura 7.3.1.h. Composición química del agua de lluvia (ES03) frente a la del agua subterránea grupos 5,6 y 7	88
Figura 7.3.2.1.a. Análisis de isótopos estables de la molécula de agua de las aguas subterráneas	89
Figura 7.3.2.1.b. $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ (‰) del agua subterránea (2012-2013)	89
Figura 7.3.2.1.c. $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ (‰) del agua de lluvia (2011-2014)	90
Figura 7.3.2.2.a. Concentración de tritio en el agua subterránea	91
Figura 7.3.2.2.b. Diferenciación de extremos en concentración de tritio en el agua subterránea	92
Figura 7.3.2.2.c. Distribución de frecuencias y diagrama de cajas de concentración de tritio del agua subt	92
Figura 8.1. Esquema de los principales componentes del balance hidrometeorológico (Samper et. al. 1997)	96
Figura 8.1.1.2.a. Localización de los puntos de control y de las estaciones meteorológicas	100
Figura 8.1.2. División de la zona de estudio y ubicación de puntos de control	103
Figura 8.1.3. Zonación de regadío inscrito oficialmente en la Plana de La Galera	106
Figura 8.1.3.1.a. Hidrograma de niveles calculados vs niveles medidos y su ajuste en la sub-zona SZ1	108
Figura 8.1.3.1.b. Resultados diarios y mensuales de precipitación, caudales y esorrentía superficial en SZ1	109

Figura 8.1.3.1.c. Hidrograma de niveles calculados vs niveles medidos y su ajuste en la sub-zona SZ2	109
Figura 8.1.3.1.d. Resultados diarios y mensuales de precipitación, caudales y escorrentía superficial en SZ2	109
Figura 8.1.3.1.e. Hidrograma de niveles calculados vs niveles medidos y su ajuste en la sub-zona SZ3	110
Figura 8.1.3.1.f. Resultados diarios y mensuales de precipitación, caudales y escorrentía superficial en SZ3	110
Figura 8.1.3.1.g. Hidrograma de niveles calculados vs niveles medidos y su ajuste en la sub-zona SZ4	110
Figura 8.1.3.1.h. Resultados diarios y mensuales de precipitación, caudales y escorrentía superficial en SZ4	111
Figura 8.1.3.1.i. Hidrograma de niveles calculados vs niveles medidos y su ajuste en la sub-zona SZ5. S 1	111
Figura 8.1.3.1.j. Hidrograma de niveles calculados vs niveles medidos y su ajuste en la sub-zona SZ5. S 2	111
Figura 8.1.3.1.k. Resultados diarios y mensuales de precipitación, caudales y esc superficial en SZ5.S 1	112
Figura 8.1.3.1.l. Resultados diarios y mensuales de precipitación, caudales y esc superficial en SZ5. S 2	112
Figura 8.1.3.2.a. Sensibilidad de los componentes del caudal total frente al espesor del suelo. Plana	113
Figura 8.1.3.2.b. Sensibilidad de los componentes del caudal total frente al número de curva. Plana	114
Figura 8.1.3.2.c. Sensibilidad de los componentes del caudal total frente al CKRD. Plana	114
Figura 8.1.3.2.d. Sensibilidad de los componentes del caudal total frente al espesor del suelo. Ports	115
Figura 8.1.3.2.e. Sensibilidad de los componentes del caudal total frente al número de curva. Ports	115
Figura 8.1.3.2.f. Sensibilidad de los componentes del caudal total frente al CKRD. Ports	116
Figura 8.1.4.a. Relación entre la pluviometría y la recarga anuales producida para SZ1, SZ2, SZ3, SZ4 Y SZ5	119
Figura 8.1.4.b. Hidrograma de recarga diaria y precipitación para el periodo 1994-2011	121
Figura 8.1.4.c. Distribución de frecuencias de los eventos de lluvia que producen recarga acumulada	122
Figura 8.1.4.d. Distribución de máx, mín, Q y mediana de la recarga media mensual 1994-2011. Plana	123
Figura 8.1.4.e. Distribución de la mediana y Q de la recarga media mensual del periodo 1994-2011. Plana	123
Figura 8.1.4.f. Distribución de máx, mín y mediana de la recarga media mensual 1994-2011. Ports	124
Figura 8.1.4.g. Distribución de la mediana y Q de la recarga media mensual del 1994-2011. Ports	124
Figura 8.1.4.h. Diagramas de cajas de recarga media anual para el periodo 1994-2011	125
Figura 8.2.1. Ubicación de subcuencas de la vertiente Matarraña y embalse de Ulldecona	127
Figura 8.2.2.1.1.a. Localización de los puntos de control de calidad del agua del embalse de Ulldecona	129
Figura 8.2.2.1.1.b. Localización de los puntos de muestreo en el cuerpo de presa	130
Figura 8.2.2.1.1.c. Evolución temporal de la concentración de cloruro para los diferentes muestreos	130
Figura 8.2.2.1.1.d. Comparación de química de puntos de muestreo del cuerpo de presa y el agua de lluvia	132
Figura 8.2.2.1.1.e. Comparación de química de puntos de muestreo del cuerpo de presa	132
Figura 8.2.2.1.1.f. Relación entradas-precipitación anuales ( $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ ) del embalse de Ulldecona	134
Figura 8.2.2.1.1.g. Cálculo del agotamiento en los caudales de entrada del embalse de Ulldecona	135
Figura 8.2.2.1.1.h. Entradas al embalse de Ulldecona en el periodo octubre 1994-septiembre 2009	136
Figura 8.2.2.1.1.i. Caudal de los ríos Figueras, Pena, Ulldemó y Algars en el periodo (1994-2009)	137
Figura 8.2.2.2.a. Variación del flujo de salida de la zona edáfica con el contenido de humedad del suelo	139
Figura 8.2.2.2.b. Relación del coeficiente de la evapotranspiración real y potencial	139
Figura 8.2.2.2.1.a. Caudales diarios medidos y calculados ( $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ) y precipitación ( $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ )	140
Figura 8.2.2.2.1.b. Calibración con caudales diarios medidos y calculados modificados ( $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ )	141
Figura 8.2.2.2.2.a. Sensibilidad de los componentes del caudal total vs al espesor del suelo	142

Figura 8.2.2.2.2.b. Sensibilidad de los componentes del caudal total vs al número de curva	142
Figura 8.2.2.2.2.c. Sensibilidad de los componentes del caudal total vs al coeficiente de flujo preferente	143
Figura 8.2.2.2.2.d. Sensibilidad de los componentes del caudal total vs al coeficiente de agotamiento	143
Figura 8.2.3. Hidrograma de precipitación versus escorrentía producida en los Ports ( $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ )	146
Figura 8.3.1.a. Esquema de mezcla de agua de recarga de distinto origen (Custodio, 2009 y Custodio 2013)	149
Figura 8.3.1.b. Puntos de control en las diferentes sub-zonas con la concentración de cloruro ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	150
Figura 8.3.1.c. Distribución de frecuencias de concentración de cloruro de las aguas subt en la SZ1a y b	151
Figura 8.3.1.d. Distribución de frecuencias de concentración de cloruro de las aguas subt en la SZ2	151
Figura 8.3.1.e. Distribución de frecuencias de concentración de cloruro de las aguas subt en la SZ3	152
Figura 8.3.1.f. Distribución de frecuencias de concentración de cloruro de las aguas subt en la SZ4	152
Figura 8.3.1.g. Distribución de frecuencias de concentración de cloruro de las aguas subt en la SZ5	153
Figura 8.3.2 Localización de los colectores de agua de lluvia	155
Figura 8.3.5.a. Esquema del modelo de mezcla de distinto origen (Custodio 2013) y formulación	157
Figura 8.3.5.b. Modelo de flujo paralelo y modelo de flujo siguiendo líneas discretas de flujo	158
Figura 9.1.1. Hidrograma tipo de niveles piezométricos en materiales detríticos y carbonáticos	162
Figura 9.1.2. Esquema del modelo hidrogeológico conceptual con valores de isotopos ambientales	166
Figura 9.2.1. Desviación acumulada de la precipitación diaria respecto a la media del periodo 1994-2011	171
Figura 9.5.3. Esquema del balance general del Baix Ebre	183

## ÍNDICE DE TABLAS DE LA MEMORIA

Tabla 4.2.a. Datos sintéticos de precipitación y temperatura (enero 1994-diciembre 2011)	20
Tabla 4.2.b. Secuencias de años húmedos y secos para el Baix Ebre	21
Tabla 4.3.2. Resumen de la geología e hidrogeología en Baix Ebre	27
Tabla 4.5. Agrupaciones de usos de suelo y superficie ocupada	44
Tabla 4.6.a. Volúmenes totales en el periodo correspondiente a cada estación	47
Tabla 4.6.b. Aportaciones anuales extraídos de los hidrogramas de las estaciones de aforo	48
Tabla 4.6.c. Años húmedos y secos para las estaciones de aforo y estaciones meteorológicas	48
Tabla 4.7. Resultados del balance hídrico subterráneo medio de la Plana de La Galera en distintos estudios	50
Tabla 5.2.a. Inventario de puntos de agua seleccionados de la Agència Catalana de l'Aigua	52
Tabla 5.2.b. Ampliación de inventario de puntos de agua de la ACA durante el desarrollo de esta tesis doct.	52
Tabla 5.3. Datos geográficos de las estaciones de muestreo de agua de lluvia en el Baix Ebre	57
Tabla 6.2.3. Precipitación media anual en cada periodo para cotas altas (Ports) y bajas (Plana)	67
Tabla 7.1.2. Clasificación y características de cada grupo, además del dominio de $\text{HCO}_3$ y Ca	74
Tabla 7.2.2. Resultado de análisis de tritio (CEDEX) de diferentes captaciones de agua subterránea	82
Tabla 8.1.1.1.1.a. Características de las estaciones meteorológicas Mas de Barberans y PN els Ports	97
Tabla 8.1.1.1.1.b. Factores de corrección para la generación de la serie de datos de la estación de Els Ports	97
Tabla 8.1.1.1.2. Factor de corrección para la generación de la serie de datos 1994-2011 de ETP diaria	98
Tabla 8.1.1.2.a Puntos de control preseleccionados y duración del registro piezométrico	99
Tabla 8.1.1.2.b. Puntos de control vs. evolución piezométrica de Mas de Barberans	100
Tabla 8.1.1.2.c. Parámetros hidráulicos del grupo A	101
Tabla 8.1.1.2.d. Parámetros hidráulicos del grupo B	101
Tabla 8.1.1.2.e. Parámetros hidráulicos del grupo C	101
Tabla 8.1.1.2.f. Parámetros hidráulicos del grupo D	101
Tabla 8.1.1.2.g. Parámetros hidráulicos del grupo E	101
Tabla 8.1.2.a. Características de las sub-zonas	103
Tabla 8.1.2.b. Características generales de los puntos de control	103
Tabla 8.1.2.c. Propiedades hidráulicas de los puntos de control	104
Tabla 8.1.3.a. Valores del coeficiente de proporcionalidad (CKRD) y umbral del flujo preferente (FRD)	105
Tabla 8.1.3.b. Superficie total de sub-zonas y de regadío inscrito (Superficie total y regadío inscrito en $\text{km}^2$ )	105
Tabla 8.1.3.c. Parámetros hidráulicos finales del balance de agua en el suelo	107
Tabla 8.1.3.d. Nivel de base y coeficiente de agotamiento del acuífero de partida y ajustado	107
Tabla 8.1.3.e. Resultados del balance de agua en el suelo por sub-zonas	108
Tabla 8.1.3.f. Resultados de recarga ponderados por la superficie	108
Tabla 8.1.3.1. Error de ajuste en los balances de agua en el suelo para cada sub-zona	112
Tabla 8.1.3.3. Incertidumbre de la recarga en las diferentes sub-zonas	117
Tabla 8.1.4.a. Resultados del balance de agua en el suelo por sub-zonas	118

Tabla 8.1.4.b. Valores de precipitación y recarga anual producida para SZ1, SZ2	118
Tabla 8.1.4.b'. Valores de precipitación y recarga anual producida para SZ3, SZ4 y SZ5	119
Tabla 8.1.4.c. Relación entre la pluviometría anual con la recarga producida	120
Tabla 8.1.4.d. Análisis de la incertidumbre asociada a la recarga media anual en función del periodo	125
Tabla 8.2.2.1.1.a. Características de los puntos de muestreo del agua del embalse	129
Tabla 8.2.2.1.1.b. Puntos de muestreo de agua subterránea	129
Tabla 8.2.2.1.1.c. Valores medios, mín y máx de ión cloruro en el embalse de Ulldecona	130
Tabla 8.2.2.1.1.d. Química elemental del agua del embalse, agua de lluvia del TMM P3-B	133
Tabla 8.2.2.1.1.e. Evapotranspiración (ETP), (Ev),(E) y relación Ev/E	134
Tabla 8.2.2.1.1.f. Cálculo de las dos fases de agotamiento en el caudal de entrada al embalse de Ulldecona	135
Tabla 8.2.2.1.1.g. Aportaciones medias anuales al embalse de Ulldecona ( $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ ) para el periodo 94-09	136
Tabla 8.2.2.1.1.h. Aportaciones medias anuales ( $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ ) para los afluentes del río Matarraña y Algars	137
Tabla 8.2.2.2.a. Parámetros hidráulicos finales para la obtención del balance de agua en el suelo	139
Tabla 8.2.2.2.b. Resultados del balance de agua en el suelo (valores medios en $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ )	140
Tabla 8.2.2.2.a. Caudal total acumulado calculado y medido para el periodo 1994-2009	141
Tabla 8.2.3.a. Química elemental del agua del embalse y agua de lluvia del TMM P3-B	145
Tabla 8.2.3.b. Valores de escorrentía media anual obtenida por los diferentes métodos de estimación	145
Tabla 8.3.1. Concentración química e isotópica del agua de recarga en la Plana de La Galera	153
Tabla 8.3.4.a. Resultados de la estimación de la recarga media para los periodos de 2011-2014	156
Tabla 8.3.4.b. Resultados de la estimación de la recarga para el periodo 2011-2014	157
Tabla 8.3.5.a. Resultados de la recarga media anual en la Plana de La Galera con modelo de flujo paralelo	158
Tabla 8.3.5.b. Resultados de la recarga media anual en la Plana de La Galera para líneas discretas de flujo	158
Tabla 9.1.3. Valores de escorrentía media anual obtenida por los diferentes métodos de estimación	169
Tabla 9.2. Resultados de la estimación de la recarga por sub-zonas periodo 2011-2014	172
Tabla 9.2.1.b. Análisis estadístico básico de la variabilidad temporal de ión cloruro en el agua de recarga	173
Tabla 9.3.1. Resultados del balance de agua en el suelo con el código Visual Balan con Els Valentins	176
Tabla 9.3.2.a. Resultados obtenidos del test T de Student	177
Tabla 9.3.2.b. Valores estadísticos básicos de los resultados obtenidos del test T de Student	177
Tabla 9.3.3. Relación entre la pluviometría anual con la recarga producida	178
Tabla 9.5.1.a. Entradas máximas y mínimas por precipitación	180
Tabla 9.5.1.b. Entradas por escorrentía superficial	181
Tabla 9.5.2.a. Puntos de control considerados para la obtención de la transmisividad	182
Tabla 9.5.2.b. Descargas subterráneas máx y mín en el margen derecho del río Ebro y en el margen litoral	182
Tabla 9.3.5. Resultados del balance general de la zona de aplicación	182



## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. MOTIVACIÓN Y ENCUADRE

El conocimiento de la recarga de origen natural a los acuíferos en zonas áridas y semiáridas es un reto científico, además de ser fundamental para la evaluación de los recursos hídricos subterráneos, tanto para su conservación como para la gestión y planificación a corto, medio y largo plazo. La importancia del conocimiento de la recarga en dichas regiones radica en que su valor medio en el territorio es sólo una pequeña fracción de la precipitación, dado que el suelo edáfico y la parte superior del terreno tiene déficit de humedad durante una parte significativa del año, tanto más acusadamente cuanto mayor es la aridez (Custodio, 2011). Dado que en muchas de estas zonas la concentración de población estable y estacional y las actividades agrícolas suelen ser importantes, el estudio de la cantidad y calidad de los recursos de agua subterránea en sus acuíferos es necesario para la buena gestión de los recursos hídricos y la conservación de los ecosistemas y de sus funciones y servicios.

Esta Tesis Doctoral viene enmarcada dentro del proyecto REDESAC (Recarga y Descarga de Acuíferos, CLG2009-12910-C03), financiado por la CICYT (Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología). El proyecto REDESAC consiste en 3 subproyectos coordinados, cada uno de ellos con un grupo de investigación, los cuales tienen como objetivo común la investigación y desarrollo de las técnicas de estimación de la recarga a los acuíferos y de su descarga en situaciones y áreas concretas. Los tres grupos de investigación se localizan en el Departament d'Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica de la Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), en el Departamento de Física de la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC) y en el Departamento de Ingeniería Minera, Geológica y Cartográfica de la Escuela de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos y de Ingeniería de Minas de la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT), que tienen como Investigadores principales respectivos al Dr. Emilio Custodio (coordinador), la Dra. María del Carmen Cabrera y la Dra. Marisol Manzano.

En la Universidad Politécnica de Cataluña se ha desarrollado la presente investigación con la ayuda de la beca FPI concedida en junio de 2010 por el Ministerio de Ciencia e Innovación, dedicada a la aplicación de métodos de balance de la deposición atmosférica de ión cloruro y de agua en el suelo, con el apoyo de técnicas hidrogeoquímicas e isotópicas ambientales, para la cuantificación de la recarga y su incertidumbre, con una aplicación específica pero no exclusiva a la región semiárida del Baix Ebre. Una de las motivaciones del desarrollo de esta Tesis Doctoral es investigar la aplicabilidad de los métodos de

evaluación de la recarga y la estabilidad de los resultados en un área costera mediterránea de clima semiárido, con un sistema de flujo complejo y dependiente de la transferencia de flujo de un macizo montañoso carbonatado colindante. Esto conlleva analizar y valorar las limitaciones y cómo solucionarlas, con la finalidad de su aplicación en futuros trabajos y cálculo de la recarga para áreas de estas características.

El Baix Ebre es un área costera emplazada al noreste de la península Ibérica, entre Tortosa y Morella, en el extremo sudoeste de Cataluña. Comprende la Plana de La Galera entre los ríos Ebro y Sènia, de clima mediterráneo semi-árido, y los Ports de Beseit-Tortosa, un elevado macizo montañoso, de clima más lluvioso. La precipitación media es de  $550 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  en la Plana y de  $1100 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  en Los Ports. La caracterización de la zona de aplicación se desarrolla en el Capítulo 4.

## 1.2. ANTECEDENTES

La experiencia a nivel nacional e internacional en la temática de la presente investigación ha sido adquirida mediante estudios e investigaciones desarrollados desde la década de 1970 hasta la actualidad, con énfasis en la vertiente mediterránea (Cuencas Internas de Cataluña; Sierra de Tramuntana y Depresión Central de Mallorca), sudeste y sur peninsular (Sierra de Gádor; Doñana), islas atlánticas (Gran Canaria, Tenerife y Fuerteventura) y Sudamérica (acuífero de Azul, Argentina; acuífero Guaraní en Brasil, Uruguay, Argentina y Paraguay; Regiones andinas del norte de Chile).

Los estudios a nivel nacional comenzaron en el ámbito del proyecto europeo GRACE (Groundwater resources and climate change effects, durante 1994-1996), financiado por el programa Environment de la UE; la parte española estuvo coordinada por el Dr. Emilio Custodio. Los estudios desarrollados en este proyecto dieron como resultado las tesis del Dr. G. Cardoso da Silva (Cardoso, 1997) y del Dr. J. Lambán (Lambán, 1998). Las zonas de aplicación de los métodos de recarga considerados en estos estudios son sistemas acuíferos kársticos con sistemas de flujo complejos, el primero en un ambiente mediterráneo insular (Sierra de Tramuntana, Mallorca) y el segundo en un área mediterránea continental de la Cordillera Prelitoral Catalana (unidad de Anoia). A partir del modelo conceptual obtenido por J. Lambán (Lambán, 1998) pudo realizarse el modelo de flujo matemático de la unidad de Anoia (Queralt, 2002). En ambas tesis (Cardoso y Lambán) se aplicó el balance de la deposición atmosférica de ión cloruro y el modelo de balance de agua en el suelo con el código Visual Balan, haciéndose evidentes las dificultades de calibración para sistemas kársticos y la mayor fiabilidad de los resultados obtenidos en esos mismos casos por el balance de deposición de ión cloruro para evaluar los valores medios multianuales.

De estos estudios y de un detallado inventario de los trabajos realizados por diferentes investigadores y en distintos trabajos se ha derivado una cartografía de la recarga media de todo el territorio peninsular, además de una estimación de su incertidumbre medida por el coeficiente de variación, en el entorno de

0,3 (Alcalá, 2005; Alcalá y Custodio, 2008a; 2008b; 2012; 2014). Se ha verificado la aplicabilidad de una aproximación metodológica de cuantificación del balance hídrico anual en regiones semiáridas a partir del cálculo de escorrentía total aplicado en Sierra de Gádor (Almería), donde también se han realizado estimaciones de recarga por balance de la deposición atmosférica de ión cloruro (Alcalá et al., 2006 y Alcalá et al., 2011).

En 2010 se inició el proyecto REDESAC antes mencionado, dentro del cual, una de las líneas de investigación es desarrollar nuevos modelos conceptuales hidrológicos en acuíferos en laderas (Custodio, 2010; 2013). Dichos modelos se están aplicando especialmente en los materiales volcánicos insulares en el norte de Gran Canaria en estudio en la ULPGC (Hernández-Quesada et al., 2011; Cruz-Fuentes et al., 2011; Custodio y Naranjo, 2012; Naranjo et al., 2012; Cabrera et al. 2013) y también en la UPC con el desarrollo de esta Tesis Doctoral (Custodio et al. 2011; Espinosa et al. 2012; 2013; Espinosa y Custodio, 2014).

Una línea de investigación complementaria dentro del proyecto REDESAC es el desarrollo de técnicas hidrogeoquímicas e isotópicas para el conocimiento de la recarga y descarga de acuíferos, con investigaciones en desarrollo en la UPCT y en colaboración con el Instituto de Hidrología de Llanuras (IHLLA), con aplicación a la Loma de Ubeda (Jaén)(Heredia et al., 2013), a la unidad acuífera de Alcadozo (Albacete) (Hornero et al., 2012 y 2013), el acuífero Azul (Provincia de Buenos Aires, Argentina) (Varni et al. 2013; Varni y Custodio, 2013) y la investigación más reciente, en el Manto Eólico Litoral de Doñana (MELD, Huelva) con la defensa de la Tesis Doctoral de Horacio Higuera, donde han sido aplicados diversos métodos de estimación de la recarga, entre ellos el balance de la deposición atmosférica de ión cloruro y balance de agua en el suelo (Higuera, 2014). Para la identificación y cuantificación de las descargas de los acuíferos a cuerpos de agua superficial, en el grupo de investigación de la UPCT se está avanzando en la verificación de la aplicabilidad de los métodos isotópicos mediante análisis de gas radón. Las zonas de experimentación se localizan en Sudamérica en los Esteros de Iberá (Corrientes, Argentina), en el acuífero Guaraní en su descarga al río Uruguay, entre Argentina y Uruguay, y en el sureste peninsular en la Loma de Ubeda (Jaén) (Heredia et al., 2013) y en la unidad acuífera de Alcadozo (Albacete) en su descarga al río Mundo (Ortega et al., 2012 y Ortega et al., 2013).

### 1.3. OBJETIVOS

El objetivo general de esta Tesis Doctoral es avanzar en la investigación sobre la utilización de técnicas hidrogeoquímicas e isotópicas ambientales de estimación de la recarga a los acuíferos y de su descarga. Esto se hace a partir de los resultados experimentales de recarga media multianual obtenidos de la aplicación del método de balance de la deposición atmosférica de ión cloruro y del balance de agua en el suelo en el Baix Ebre, una región compleja de clima mediterráneo semiárido conectada

hidrogeológicamente a un sistema montañoso más húmedo, los Ports de Beseit-Tortosa. Para cubrir los objetivos ha sido necesario avanzar en el conocimiento del funcionamiento hidrodinámico del sistema acuífero a fin de establecer un modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico coherente con la información existente y con la generada desde el inicio de esta tesis.

Para el cumplimiento del objetivo general descrito, esta Tesis Doctoral tiene como objetivos concretos:

1. Contribución al conocimiento del funcionamiento hidrodinámico de la zona de estudio a partir del conocimiento del origen del agua subterránea y localización de áreas y fuentes de recarga mediante métodos hidroquímicos y técnicas isotópicas ambientales.
2. Conocimiento de la concentración de ión cloruro del agua de recarga, para lo cual se utilizan análisis químicos históricos del agua subterránea obtenidos de la base de datos de l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA), completados con otros elaborados en trabajos anteriores y en especial durante el desarrollo de esta Tesis Doctoral dentro del proyecto REDESAC.
3. Cálculo de la deposición atmosférica total anual media de cloruro ( $\text{g m}^{-2} \text{a}^{-1}$ ) mediante el montaje de estaciones abiertas de muestreo de la precipitación, cuyo conocimiento es necesario para poder aplicar el método de balance de deposición atmosférica de ión cloruro a la estimación de la recarga media multianual ( $\text{mm a}^{-1}$ ).
4. Estimación de la escorrentía superficial y sub-superficial en el macizo de los Ports de Beseit-Tortosa mediante la aplicación del balance de agua en el suelo y del análisis de hidrogramas de caudales de aforo.
5. Aplicación del método comparativo de balance de agua en el suelo (código Visual Balan) a partir de la calibración con niveles piezométricos de la base de datos de la ACA, para estudiar la coherencia entre los dos métodos de balance y finalmente verificar si se pueden complementar entre ellos para su aplicación conjunta.

## CAPÍTULO 2. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO SOBRE LA RECARGA EN CLIMAS SEMI-ÁRIDOS

Las diferentes aspectos científicos y técnicos del cálculo de la recarga han sido detallados en distintos textos y publicaciones como Custodio y Llamas, 1976/1982; Claasen et al., 1986; Sukhija et al. (1988); Dettinger, 1989; Lerner et al., 1990; Sharma et al., 1990; Jury et al., 1991; Simmers et al., 1997; Custodio et al., 1997; Wood, 1999; Custodio, 2010; Wood and Sanford, 1995; Scanlon et al., 2006. En ellos se recomienda el uso de métodos hidrodinámicos y de técnicas hidrogeoquímicas e isotópicas ambientales de forma simultánea para el estudio de la recarga y que sean, dentro de lo posible, lo más independientes entre sí para paliar las limitaciones que tiene cada uno de los métodos.

Dentro de los diferentes métodos de estimación de recarga por precipitación a escala regional se encuentra el balance de deposición atmosférica de ión cloruro, obteniéndose como resultado valores de recarga media multianual por la precipitación a partir del conocimiento de la deposición total atmosférica de dicho ión conservativo y la concentración del mismo, tanto en el agua de recarga como en el agua de precipitación y de escorrentía. Es un método muy difundido y experimentado dada la facilidad de aplicación, la rapidez de las determinaciones y el bajo coste que conlleva, con la limitación de proporcionar sólo valores medios multianuales en condiciones estacionarias.

A partir de los primeros estudios realizados por Eriksson (1960), y con un ejemplo regional de aplicación (Eriksson y Khunakasem, 1969), se obtuvieron tasas de recarga aceptables, comparables con los obtenidos por otros métodos de cálculo más convencionales aplicados a la llanura costera de Israel. Como recomendaciones para la aplicación del método esos autores apuntaron que es necesario conocer la tasa de deposición de cloruro en el área de estudio y que la aplicación es fiable cuando se tiene un sistema simple de flujo. Los estudios de Allison et al. (1994) y Scanlon et al. (2002) muestran las limitaciones y dan recomendaciones sobre el método. Allison et al. (1994) lo aplica a un área homogénea y a otra más heterogénea de Australia y observan que en el área heterogénea la variación en los resultados puede ser de hasta dos órdenes de magnitud; por ello se recomienda el uso de técnicas complementarias en el estudio. En el estudio de Scanlon et al. (2002) se concluye que el uso de métodos de estimación de recarga con trazadores naturales es uno de los más fiables, pero que en función de la zona y la escala, tanto temporal como espacial a la que se aplique, su contraste con otras técnicas también es fundamental puesto que una amplia variedad de enfoques contribuye a reducir la incertidumbre y a aumentar la confianza en la estimación de la recarga.

Edmunds et al. (1988) y Wood et al. (1997), concluyen que la fiabilidad relativa del método de balance de masas con el ión cloruro respecto a los otros métodos es mayor en climas semi-áridos. Por ejemplo, en el balance de agua en el suelo, el conocimiento de la evapotranspiración real (variable de mayor magnitud en climas semi-áridos) lleva asociada una incertidumbre significativamente elevada. Sin embargo este término no interviene en la ecuación del balance de la deposición atmosférica de ión cloruro.

Estudios recientes en esta línea de investigación se han llevado a cabo en el acuífero de Azul (Argentina) (Weinzettel y Usunoff, 2005), donde se ha calculado la recarga a partir del método de balance de masa del ión cloruro en una parcela experimental, midiendo la deposición del ión cloruro y la concentración del mismo en el agua de recarga medido con cápsulas de succión, comparándola con los resultados de concentración de cloruro en el acuífero. En la región semi-árida de Campo de Cartagena en el sureste Peninsular donde se practica la agricultura intensiva, se emplearon cápsulas de succión para la observación de parámetros en el medio no saturado en parcelas experimentales (Jiménez-Martínez, 2010). La aplicabilidad de dicho método es válida para zonas homogéneas con suelos desarrollados. La posibilidad de extrapolación de resultados a nivel de cuenca está limitada por las características hidrogeológicas y fisicoquímicas, siendo un método fiable a escala local.

Dettinger (1989) aplicó el balance de la deposición atmosférica de ión cloruro en 16 cuencas intermontanas en Nevada (Estados Unidos) obteniendo resultados comparables a las estimaciones realizadas con la aplicación del balance de agua en el suelo, haciendo evidente la necesidad de la consideración del sistema de flujo regional frente al estudio local de la recarga.

El caso particular de recarga de frente montañoso y llano fue definido en un inicio por Keith (1980) y dividido en dos componentes de flujo (Anderson et al., 1992; Chávez et al., 1994a; Manning, 2002): 1) flujo regional de entrada al llano desde las montañas adyacentes y 2) infiltración de la recarga en el frente de montaña. Fue definido como "Mountain Block Recharge (MBR)" por Manning (2002) dividiendo el sistema en cuatro partes diferenciadas y conectadas: macizo montañoso, frente montañoso, suelo de la cuenca y las zonas de descarga. Considera que existe un flujo regional perteneciente a la zona saturada del macizo y de la cuenca del llano y que la recarga es el proceso de adición de agua desde la superficie a través de la zona no saturada. Por otro lado Meinzer (1923) ya distinguía y definía estas dos contribuciones a la recarga de acuíferos como la recarga directa (a partir de la zona no saturada) y la recarga indirecta (a partir de otras formaciones saturadas).

Un caso de aplicación de estimación de la recarga considerando dicho sistema fue desarrollado por Wilson y Guan (2004) en la cuenca de Río Grande (Nuevo México), aportando la incorporación de una visión completa y general de todo el sistema con una nueva definición. Esta perspectiva más completa

examina los procesos hidrológicos que tienen lugar desde la cota más elevada en el macizo hasta la zona más profunda de circulación de flujo subterráneo. Considera por un lado la recarga en el frente montañoso (MBR) debida a las precipitación, deshielo y a través de fracturas y fallas, así como agua devuelta a la atmósfera a través de la vegetación controlada por la evapotranspiración, y por otro lado la transferencia de recursos del macizo a la cuenca adyacente, a lo que denomina MFR (Mountain Front Recharge).

Esta visión completa a escala regional sobre la recarga en sistemas con áreas de recarga preferenciales localizadas en macizos elevados conectados con una cuenca o llano también ha sido investigada en diversos trabajos a nivel nacional, en los cuales se ha definido como recarga difusa en ladera. Los casos de aplicación han sido en Canarias: área insular árida de ambiente atlántico, en el macizo de Amurga (Gasparini, 1990) en el llano de Telde (Cabrera, 1995) y en la isla de Fuerteventura (Herrera, 2001), además de los ya mencionados correspondientes al proyecto REDESAC. En todos los casos se han aplicado modelos de balance de agua en el suelo y balance químico de la deposición atmosférica de cloruros para cuantificar la tasa de recarga media anual en condiciones climáticas y territoriales estacionarias. Los resultados han sido coherentes y validados para ambos métodos.

Actualmente está en desarrollo la interpretación de los trazadores ambientales en muestras de aguas subterráneas para evaluación de la recarga con entrada espacialmente variable de forma determinada, en condiciones geométricas simplificadas que consideran formaciones homogéneas y transporte de los mismos en estado estable a través de la zona saturada y no saturada en sistemas con flujo paralelo, radial convergente y radial divergente (Custodio y Custodio-Ayala, en preparación).





## CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA GENERAL PARA EL CÁLCULO DE LA RECARGA MEDIA ANUAL

La recarga natural de los acuíferos es una de las magnitudes clave en el estudio de recursos y reservas de agua subterránea y por tanto para la gestión y planificación hídrica. La problemática del estudio de dicha magnitud radica en la notable incertidumbre que la caracteriza, debido a la complejidad de cálculo de todas las variables que intervienen y a las heterogeneidades dentro del proceso de recarga al acuífero y territoriales. La importancia de evaluar tanto la recarga anual como su incertidumbre asociada hace necesario el uso de diversas técnicas y modelos hidrodinámicos que puedan aplicarse de forma simultánea y que sean independientes entre sí. Además se busca reducir en lo posible esa incertidumbre optimizando el tratamiento de los datos.

### 3.1. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA EVALUACIÓN DE LA RECARGA: ASPECTOS DE ESCALA

La recarga de agua a un acuífero depende de gran cantidad de variables y por ello relacionar valores de la recarga sobre un territorio extenso con una o pocas observaciones sobre áreas reducidas o puntuales, o relacionar la distribución temporal de la recarga con observaciones en determinados momentos o en intervalos de tiempo limitados, son algunas de las dificultades que aún no se han superado (Custodio et al., 2000). Para evitar la problemática de la variabilidad espacial hay métodos que regionalizan los parámetros o consideran variables regionalizadas. En cuanto a la variabilidad temporal, en función del periodo de estudio puede considerarse un sistema estacionario suponiendo que dentro de dicho periodo no existen variaciones climáticas ni de uso ni de tipo de suelo (Custodio, 1997).

Además, para la evaluación de la recarga y descarga de acuíferos es fundamental partir de un buen modelo hidrológico conceptual. Para definir dicho modelo conceptual se aplican técnicas hidrogeoquímicas e isotópicas ambientales, consistentes en la caracterización de las aguas subterráneas mediante análisis de química elemental completa y de los isótopos estables y radioactivos de la molécula de agua, combinadas con la información disponible de carácter geoestructural e hidrogeológica regional.

Para los sistemas en los que se encuentra un gran macizo montañoso y un llano es importante trabajar a escala regional para considerar la contribución de los sistemas montañosos a la recarga de acuíferos en cuencas adyacentes (Manning, 2002). En los acuíferos de cuenca la recarga puede producirse por pérdida de caudal en los cauces fluviales o a través de los materiales de piedemonte, pero en ocasiones la fuente principal de recarga se produce por transferencia lateral desde estos macizos (Hely et al., 1971;

Maurer et al., 1999). Además la recarga difusa de los acuíferos de cuenca en climas áridos o semi-áridos a través de la infiltración directa por precipitación suele ser muy escasa debido a los grandes espesores de las zonas no saturadas, o por bajas magnitudes de precipitaciones en la cota a la que se encuentran dichas cuencas. Sin embargo, en las zonas montañosas debido a efectos altitudinales y orográficos las precipitaciones suelen tener mayor magnitud y se ven afectados por otros factores que reducen el potencial de evapotranspiración (temperaturas más bajas y mayor albedo si hay nieve, poco espesor de suelo y existencia de fracturas de la roca que facilitan una circulación de flujo vertical más rápido) (Wilson y Guan, 2004).

La recarga se determina mediante la aplicación de métodos seleccionados en función de la viabilidad de su aplicación y de la escala de trabajo, que es función de la variabilidad espacial y temporal de la recarga en el sistema. A continuación se describen las técnicas empleadas para la definición del modelo conceptual de flujo, los métodos de cálculo de la recarga media anual contemplados y la justificación de su selección.

## **3.2. TÉCNICAS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE RECARGA Y DEFINICIÓN DEL MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL**

### **3.2.1. Hidrogeoquímica del agua subterránea**

A partir de los principales procesos físico-químicos que afectan al agua subterránea se puede determinar el funcionamiento del acuífero para obtener el modelo hidrológico conceptual para el estudio de la recarga.

Para establecer una relación entre la evolución química elemental del agua subterránea a lo largo de distintas líneas de flujo preferente deducidas de la piezometría, se utilizan los diagramas de columnas verticales logarítmicas (Schoeller-Berkaloff) y diagramas modificados de Stiff como elementos de apoyo al razonamiento, que luego se complementan con consideraciones de detalle y valores estadísticos.

### **3.2.2. Isótopos ambientales de la molécula de agua**

A su vez, se estudian conjuntamente los isótopos del agua para determinar el origen de las aguas subterráneas y ubicar las zonas de recarga.

La diferencia de fraccionamiento del  $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$  en función de la cota y en función de la distancia a la línea de costa es una herramienta de utilidad en la localización de zonas de recarga.

Para determinar el periodo de renovación de las aguas subterráneas se ha recurrido al análisis de tritio, con el cual pueden definirse flujos rápidos o lentos de circulación para la definición de un modelo de flujo más consistente.

### 3.3. MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA RECARGA

A continuación se describen las características de los métodos de cálculo de recarga y las ventajas, limitaciones y motivos de selección para su aplicación.

Pueden diferenciarse métodos de balance hídrico, de trazadores, medidas directas, aproximaciones de Darcy y empíricos (Lerner, 1990 y Simmers et al., 1988).

#### 3.3.1. Balance hídrico

Para hacer un balance hídrico ha de aplicarse el principio de la conservación de masa a una cierta región conocida (volumen de control), definida por unas condiciones de contorno, durante un período de tiempo. La diferencia en las entradas y las salidas debe ser igual al cambio en el almacenamiento de agua. La mayor parte de los métodos de balance de agua determinan la recarga a partir de los demás componentes. Este tipo de balances se puede hacer en la zona superficial, en la zona no saturada y en la saturada (Samper 1997).

La expresión más sencilla que define el balance de agua en el suelo en un periodo de tiempo determinado es la que considera la recarga igual a la precipitación en dicho periodo menos la escorrentía superficial, evapotranspiración y la variación de almacenamiento, donde se asume que la recarga es igual al flujo subterráneo o descarga y la divisoria de la cuenca coincide con la divisoria de aguas subterráneas (Freeze y Cherry, 1979).

$$R = P - Es - ET - DS$$

(R = recarga, P = precipitación, Es = escorrentía, ET = evapotranspiración, DS = variación de almacenamiento).

La limitación principal radica en la incertidumbre de los componentes que intervienen en la estimación del balance (Scanlon, 2002), además de la necesidad de una buena caracterización hidrogeológica, lo que requiere realizar mediciones para cuantificar parámetros como el estado de humedad del suelo, almacenamiento, punto de marchitez y capacidad de campo, así como de transmisividad, coeficiente de almacenamiento y porosidad eficaz, o en su defecto su estimación con la incertidumbre que se le asocia. Dicha incertidumbre se incrementa en climas áridos puesto que este método fue concebido para su aplicación en zonas de clima húmedo. Por ello los resultados serán más certeros cuando el balance se realiza en suelos desarrollados con mayores condiciones de humedad (Samper, 1997).

Otra limitación es la necesidad de trabajar con registros diarios, tanto pluviométricos y de temperaturas como de niveles piezométricos, debido a que la recarga es fuertemente dependiente de los eventos pluviométricos diarios, sobretudo en regiones de clima semiárido (Forte Lay y Villagra, 1986).

Por otro lado, la facilidad del procesamiento de los datos, el bajo coste de su aplicación y la exactitud de resultados para zonas propicias a su aplicación hacen de los balances hídricos un método ventajoso.

Dentro de los muchos modelos de balance hídrico desarrollados en función de las necesidades y objetivos de las investigaciones se encuentran diferentes modelos y códigos. A continuación se describen algunos de ellos.

Para el estudio del impacto de diferentes prácticas de uso de suelo y gestión regional de cuencas hidrográficas mediante el cálculo de la recarga en suelos desarrollados, con parámetros hidráulicos bien conocidos y propiedades homogéneas, el SWAT (Soil and Water Assessment Tool desarrollado en el United States Department of Agriculture-Agricultural Research Service (USDA-ARS); (Neitsch et al., 2005a-b)) es una herramienta de gran utilidad, pero para la investigación que aquí se presenta resulta inadecuada debido a la necesidad de conocimiento de los muchos parámetros de entrada para la estimación de la recarga y debido a que es una herramienta útil para zonas con suelos desarrollados, careciendo de ellos la zona de estudio de esta Tesis Doctoral.

Un modelo más sencillo es el Easy\_Balan V4.0, desarrollado por el Grupo de Hidrología Subterránea en la Universidad Politécnica de Cataluña (Barcelona), el cual requiere de series diarias o mensuales de precipitación y temperatura, evapotranspiración mensual y características del suelo edáfico. Sus limitaciones vienen dadas por su simplificación en el cálculo, por lo que sus resultados adquieren un valor interpretativo y aproximado a la realidad.

El código VISUAL BALAN (Samper et. al, 1999), es un modelo simple en 1D capaz de realizar el balance de agua en el suelo aplicando diferentes métodos para el cálculo de cada una de las variables que intervienen en el proceso, tanto de forma agregada (monocelda) como de forma distribuida en la cuenca de estudio (multicelda). Permite hacer estimación de la recarga con calibración de niveles piezométricos o con datos de aforo de manantiales y realizar análisis de sensibilidad de los parámetros hidráulicos que intervienen en el proceso en el suelo edáfico y en la zona no saturada (ver desarrollo en Capítulo 8.1).

Este último modelo ha sido el seleccionado para la estimación de la recarga dado que es una herramienta de acceso público capaz de generar simulaciones de cuencas de todo tipo de tamaños y dada la accesibilidad a sus creadores.

Para la simulación, la cuenca es subdividida en un número determinado de subcuencas, las cuales tienen propiedades de suelo y usos de suelo características, pudiendo así tener en cuenta las heterogeneidades más destacables en el área de estudio. La información de entrada para todas las subcuencas se agrupa

por categorías, las cuales son función del clima del área de estudio, del uso de suelo, tipo de suelo y gestión que se da en cada subcuenca (tiene en cuenta las dotaciones de riego).

### 3.3.2. Balance de masa de trazadores naturales

El principio general del método de trazadores es el balance de la masa del trazador, asumiéndose que el agua y el trazador son transportados a la misma tasa. El trazador se utiliza para seguir el movimiento del agua por lo que debe ser soluble, no reactivo e inalterable durante su transporte, además de cuantificable.

Existen dos grandes grupos de trazadores, los naturales o ambientales y los artificiales. Los trazadores artificiales son sustancias no reactivas añadidas al medio para realizar mediciones puntuales de representatividad local-puntual, por lo que en esta investigación no han sido considerados.

Los naturales son aniones e isótopos ambientales de la molécula de agua. Los isótopos más importantes son los del hidrógeno (deuterio y tritio), los del oxígeno ( $^{18}\text{O}$ ) y los del carbono ( $^{12}\text{C}$  y  $^{13}\text{C}$ ). Los isótopos del agua permiten cuantificar la recarga y localizar las posibles fuentes de la misma. Los isótopos  $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$  son muy buenos trazadores para la identificación de zonas de recarga, pero debido al fraccionamiento que pueden experimentar por la evaporación presentan dificultades para la estimación de la recarga. Sin embargo el tritio es un excelente isótopo tanto para la localización de fuentes de recarga, como para la estimación de periodos de renovación de los acuíferos. Además puede utilizarse para la estimación de las tasas de recarga a partir de perfiles de tritio en la zona no saturada (Allison, 1988). Las limitaciones radican en el coste que supone su análisis.

El  $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$  y el tritio han sido considerados en esta investigación para la localización de las principales zonas de recarga y para la determinación del modelo conceptual de flujo. El tritio ha sido desestimado para la estimación de la tasa de recarga debido a las condiciones de la zona vadosa que caracterizan la zona de estudio, las cuales hacen inviable su aplicación.

Los aniones más comunes son el Nitrato (utilizado para obtener la tasa de movimiento del agua en la zona vadosa en zonas con alta actividad agrícola, pero puede reducirse y ser absorbido por las plantas, por lo que no es fácil su medición) y el Bromuro (caracterizado por su movilidad y su fácil detección es utilizado para hacer mediciones de distribución en el perfil del suelo e incluso para inferir tasas de recarga producidas por exceso de irrigación (Rice et al., 1986)). Ninguno de estos dos trazadores son aplicables en la zona de estudio debido a que no es una zona homogénea y las mediciones de estos trazadores tienen representatividad local.

El cloruro es el anión más importante debido a su excelente movilidad, a su ausencia de intercambio con el medio y a su estabilidad química. Por ello, la aplicación del balance de la deposición atmosférica de

ión cloruro (húmeda de la precipitación y seca del polvo atmosférico), es el método óptimo para aplicar a escala regional en esta investigación. Además permite cuantificar la recarga media multianual a partir de las concentraciones de cloruro agregadas, lo cual es importante dado que en climas semi-áridos la distribución de los eventos de precipitación a lo largo de un año hidrológico es heterogénea. En la formulación no incluye la evapotranspiración, lo cual resulta una ventaja ya que es una variable con una gran incertidumbre asociada (ver desarrollo en Capítulo.8.3).

Para su aplicación es necesario asumir que no existen entradas externas de agua superficial o subterránea en el sistema, que el régimen es estacionario y la ausencia de aportes de cloruro por el terreno o actividades antrópicas, por lo tanto, el agua subterránea freática recibe un flujo másico de cloruro que coincide con el resultado de restar a la aportación de agua precipitada el flujo de salida de escorrentía superficial y sub-superficial (Wood y Sanford, 1995; Custodio et al., 1997).

### **3.3.3. Análisis del flujo de la recarga en el suelo**

Las medidas directas de flujo pueden realizarse mediante lisímetros o mediante cápsulas de succión.

Con el lisímetro se mide la cantidad de flujo en un tanque de suelo aislado siendo una muestra representativa de la zona de estudio.

Con las cápsulas de succión se calcula la recarga media multianual mediante un balance de masas partiendo del método planteado por Erikson y Khunakasem (1969) obteniendo valores de concentración de ión cloruro del agua recargada en la zona no saturada. Para el muestreo del agua en la zona no saturada han de instalarse cápsulas de succión y medirse tanto la succión como la humedad volumétrica para conocer la posición del plano de flujo cero en cada momento del muestreo. El método ha sido experimentado por Weinzettel y Usunoff (2005), donde se detalla el procedimiento.

Las medidas directas han sido descartadas dado que la zona en la que se desarrolla esta investigación presenta una importante heterogeneidad del terreno, gran extensión y por tanto se hace latente la inviabilidad logística dada la lejanía al centro de trabajo, lo cual impide realizar el muestreo con la frecuencia que se requiere.

### **3.3.4. Métodos de cálculo de flujo**

Las ecuaciones derivadas de la expresión de Darcy en la determinación de volúmenes de flujo pueden resolverse analíticamente o mediante métodos numéricos. Cuando la complejidad del sistema lo requiere dichas ecuaciones pueden resolverse con modelos numéricos.

Entre los códigos más destacados están TRANSIN (desarrollado por el Grupo de Hidrología Subterránea de la UPC), visual-CORE (desarrollado en la Universidad Politécnica da Coruña) y MODFLOW (desarrollado por el Servicio Geológico de Estados Unidos, USGS).

Las principales limitaciones son las derivadas de la formulación de los modelos conceptuales del sistema de recarga y de la definición de las condiciones iniciales y de contorno del modelo (Scanlon et al., 2002). Los modelos numéricos generalmente están diseñados para analizar situaciones complejas de flujo integrando una notable cantidad de datos y parámetros que requieren gran cantidad de tiempo para su computación, siendo necesaria la utilización de un software específico (Samper, 1997).

El objetivo de esta investigación no es generar un modelo numérico para el conocimiento del sistema de flujo y la validación del modelo conceptual. No obstante, existen modelos numéricos realizados y en curso de la zona de estudio (Samper y Pisani, 2010; Padial (comunicación personal) cuyos resultados serán de utilidad para la comparación de la magnitud de recarga obtenida con el balance de agua en el suelo y con el balance de la deposición atmosférica de ión cloruro.

### 3.3.5. Métodos empíricos

Los métodos empíricos relacionan la recarga producida en un área con otras variables hidrológicas (precipitación, temperatura, flujo del agua superficial, etc) utilizando constantes empíricas en la formulación representativas del clima o del terreno de una cuenca determinada. El grado de validez de este método es limitado puesto que cada zona de estudio tiene unas características diferentes, y los resultados no serán válidos si las características del área en cuestión difieren de las constantes empíricas asignadas (Samper, 1997). Otra limitación es que la recarga no puede ser calculada únicamente en función de otra variable (como por ejemplo la precipitación) ya que la recarga está afectada por más variables con una gran incertidumbre asociada.

Existen modelos basados en métodos empíricos, entre ellos cabe destacar el Kessler, con el cual se obtuvieron valores de recarga en una región kárstica de Hungría (Kessler, 1965). Recientemente ha sido aplicado junto con otros métodos para comparar los resultados obtenidos de recarga en el acuífero Ventós-Castellar (Alicante) (Touhami, 2009) resultando una sobreestimación de la misma con Kessler.

Otro modelo empírico es el APLIS (Andreo et al., 2008), el cual permite determinar la recarga media anual en acuíferos carbonáticos como un porcentaje de la precipitación basándose en las variables de altitud (A), pendiente (P), litología (L), infiltración (I) y suelo (S). Para cada variable han sido establecidos una serie de categorías o intervalos, que alcanzan valores comprendidos entre 1 (mínima influencia en la recarga) y 10 (máxima influencia), expresados en un Sistema de Información Geográfica. La superposición de las capas correspondientes a cada variable permite obtener el mapa de distribución

espacial de la tasa de recarga y su valor medio para el conjunto del acuífero, a partir de:  $R = (A+P+3L+2I+S)/0,9$ .

Estos dos métodos han sido ensayados para acuíferos con unas características geológicas, climáticas y topográficas específicas y por lo tanto su aplicación a zonas con características que difieren de las de dichos modelos pueden proporcionar resultados no representativos del sistema en estudio.



## CAPÍTULO 4. CARACTERÍSTICAS ADMINISTRATIVAS, FÍSICAS, GEOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICAS DEL BAIX EBRE

### 4.1. MARCO GEOGRÁFICO Y ADMINISTRATIVO

La zona de estudio en la que se realizan las investigaciones se localiza al sur de Cataluña, en el noreste de la Península Ibérica, en la provincia de Tarragona, en su límite con las Comunidades Autónomas de Valencia (Castellón) y Aragón (Teruel).

Más concretamente se encuentra situada en las comarcas Baix Ebre-Montsià, englobando los Ports de Beseit con sus vertientes hacia la cuenca del Matarraña al noroeste y la Plana de La Galera al sudeste (Figura 4.1.a-b).

El ámbito de trabajo denominado Baix Ebre, en sentido lato, se encuentra limitado por la divisoria de aguas superficiales de Ports de Beseit (siendo los Ports de Beseit-Tortosa el área incluida en la zona de estudio), el margen derecho del río Ebro, el margen izquierdo del río Sènia y al este con el Delta del Ebro y la línea de costa (Mar Mediterráneo), ocupando una superficie de 845 km<sup>2</sup> en las provincias de Tarragona y Castellón (Figura 4.1.c).



Figura 4.1.a. Localización del Baix Ebre, sur de Cataluña, noreste de la Península Ibérica, España.

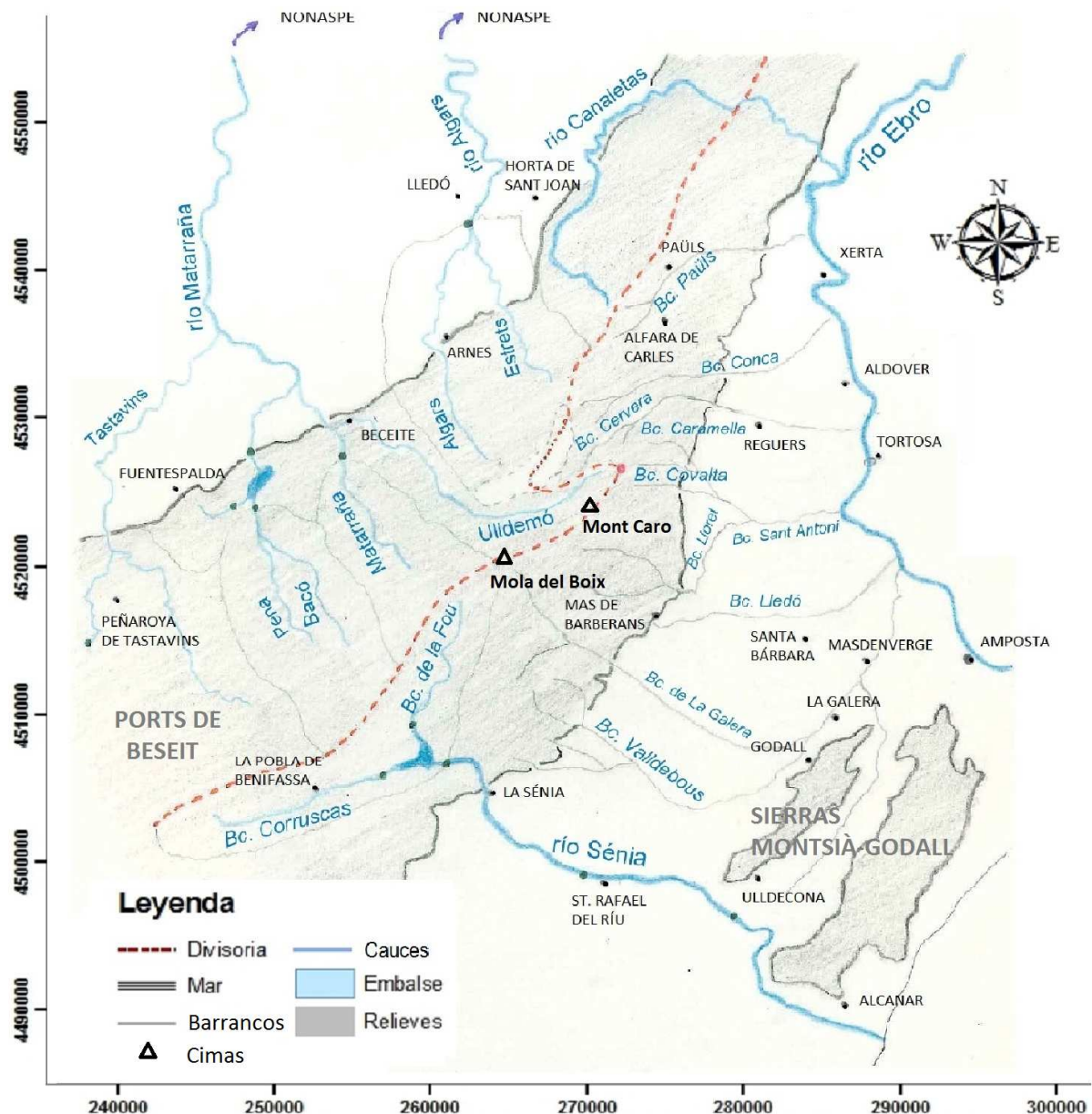


Figura 4.1.b Detalle del Baix Ebre, sur de Cataluña, noreste de la Península Ibérica, España.

En la divisoria de aguas superficiales de Ports de Beseit- Tortosa y en el margen derecho del río Sénia se ha ampliado el límite de la zona de estudio de 2 a 3 km para tener una visión más general. Ocupando así una extensión de aproximadamente 1000 km<sup>2</sup>.

Geomorfológicamente se trata de un área con fuerte contraste de relieves, que pasa de 1338 m snm en la Mola del Boix (Ports de Beseit) a 140 m snm en la vertiente noroeste en Nonaspe (cuena del Matarraña), y de 1447 m snm en Mont Caro (Ports de Beseit-Tortosa) a 3 m snm en la vertiente sudeste en la Plana de La Galera (río Ebro a la altura de Amposta) (Figura 4.1.b).

En este territorio se encuentran los términos municipales de Xerta, Aldover, Alfara de Carles, Roquetes, Tortosa, Santa Bárbara, Masdenverge, Amposta, Sant Carles de la Rápita, La Galera, Godall, Mas de Barberans, La Sènia, Ulldecona y Alcanar (ver localización de los núcleos urbanos y topografía en Figura 4.1.c).

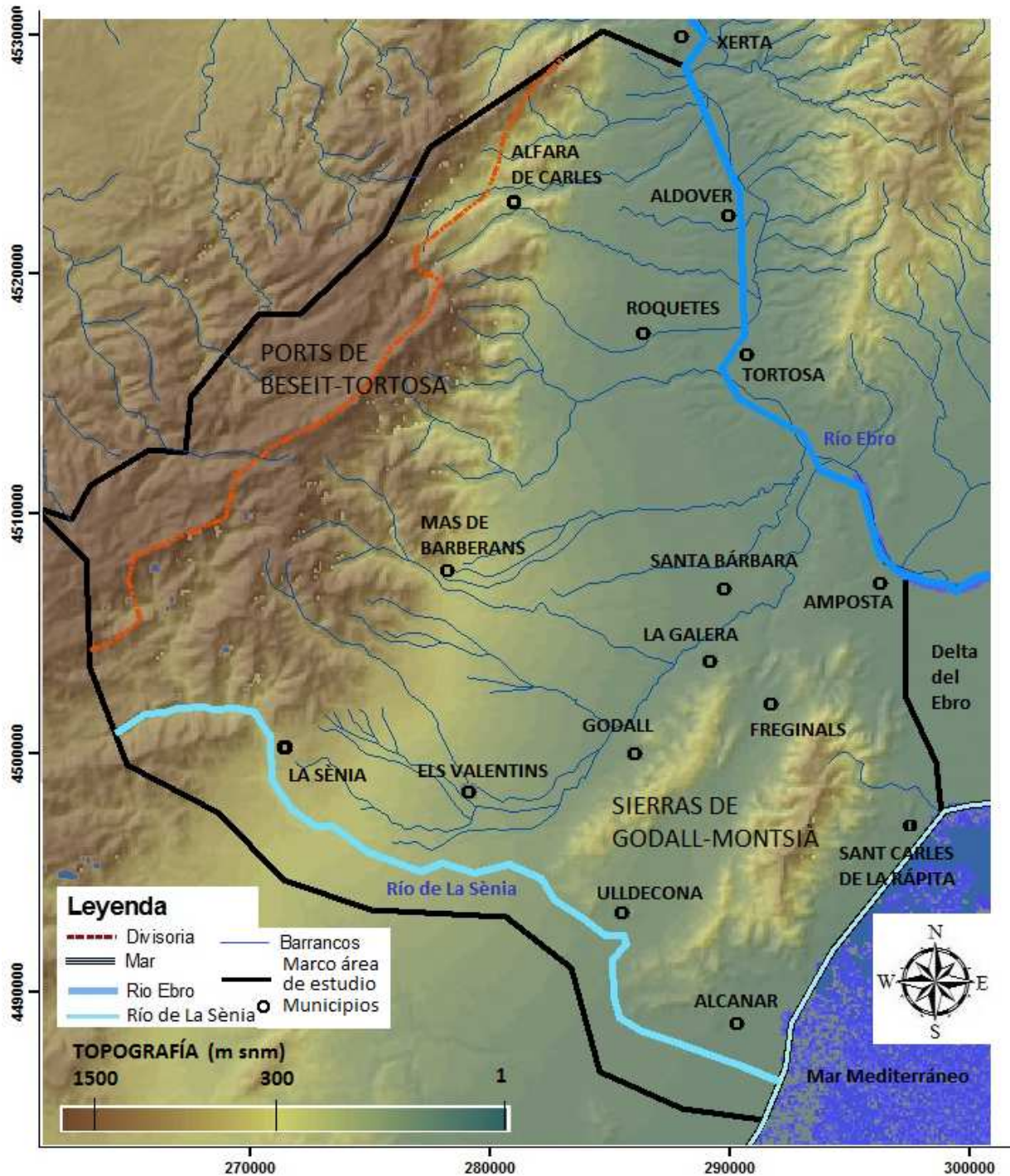


Figura 4.1.c. Mapa topográfico con localización de los núcleos urbanos y límites de la zona de estudio.



## 4.2. CLIMATOLOGÍA

Para el estudio de la climatología en el Baix Ebre se han recuperado y analizado las series de datos diarias de precipitación y temperatura disponibles en la zona de estudio (Anexo 4) para el periodo 1994-2011, completando la información con datos extraídos de la bibliografía (Tourís, 1986; Badiella, 2009; CHE, 2008).

En la vertiente del río Matarraña la precipitación media anual varía entre  $380 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  en cotas bajas y  $670 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  en cotas altas (CHE, 2008), y en la vertiente a la Plana de La Galera oscila entre  $550 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  y  $1100 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  (Tabla 4.2.a). Se puede catalogar de clima mediterráneo semi-árido, exceptuando las zonas altas de los Ports de Beseit-Tortosa de la vertiente sudeste donde según la media de precipitación anual es de tipo mediterráneo sub-húmedo. Los máximos de precipitación se dan en otoño y primavera, con mínimos en invierno y verano (Figura 4.2.a). La temperatura media anual para ambas vertientes es de  $16 \text{ }^{\circ}\text{C}$  a cotas bajas y  $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$  a cotas altas (Figuras 4.2.a-c y CHE, 2008). Para estas estimaciones se ha considerado la serie de datos diarios de enero 1994-diciembre 2011 de las estaciones de Amposta, Roquetes y Mas de Barberans como representativas de cotas bajas (datos extraídos de Badiella, 2009) y la estación de PN els Ports como representativa de cotas altas (no se ha extendido el periodo hasta 2014 porque la estación de Mas de Barberans ha dejado de existir).

Los datos sintéticos de las estaciones meteorológicas consideradas aparecen recogidos en la Tabla 4.2.a. y Figuras 4.2.a-c.

Tabla 4.2.a. Datos sintéticos de precipitación y temperatura (enero 1994-diciembre 2011). (Análisis de datos de Roquetes, Mas de Barberans y Amposta en Badiella, 2009).

PERIODO	1994-2009				2007-2011			
	Amposta		Roquetes		Mas de Barberans		PN els Ports	
	3 m snm		51 m snm		240 m snm		1055 m snm	
Estación meteorológica	P (mm)	T (°C)	P (mm)	T (°C)	P (mm)	T (°C)	P (mm)	T (°C)
Enero	38.4	9.8	39.4	10.1	62.6	8.6	86.1	3.4
Febrero	25.4	10.6	25.8	11.2	41.7	9.6	69.0	4.4
Marzo	23.6	12.7	35.4	13.5	43.9	11.9	126.5	5.3
Abril	46.5	14.8	52.1	15.5	67.9	13.7	142.0	8.9
Mayo	50.4	18.2	60.4	18.9	74.4	17.1	115.5	12.5
Junio	18.6	21.0	15.8	22.3	26.5	20.8	38.6	16.5
Julio	14.2	23.0	16.6	24.7	21.1	23.1	24.4	19.6
Agosto	31.8	23.5	32.1	25.2	30.2	23.5	22.0	19.6
Septiembre	54.8	20.8	69.6	21.8	76.1	20.0	99.4	15.4
Octubre	55.9	18.0	72.4	18.2	100.5	16.8	159.5	11.0
Noviembre	35.3	13.9	45.2	14.0	45.2	12.5	30.5	6.0
Diciembre	50.9	11.2	51.7	11.3	65.5	10.0	185.1	3.5
Total medio anual	445.7		516.4		655.7		1098.4	
Media anual		16.4		17.2		15.6		10.5
Desviación mensual	14.0	4.7	18.2	5.2	22.7	5.1	53.4	5.9
media mensual	37.1		43.0		54.6		91.5	
CV mensual	0.38	0.29	0.42	0.42	0.42	0.33	0.58	0.56

\*Els Ports: el periodo considerado es de enero 2007- diciembre 2011, ya que la estación comenzó a funcionar en enero de 2007.

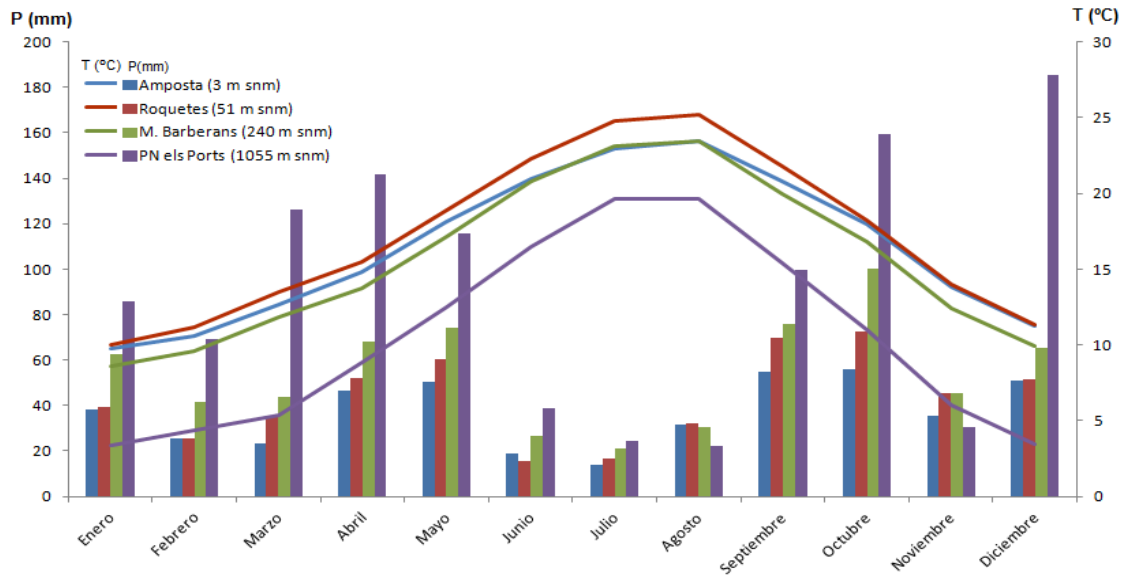


Figura 4.2.a. Distribución anual de la precipitación media mensual y temperatura para el periodo 1994-2011 en la zona de estudio.

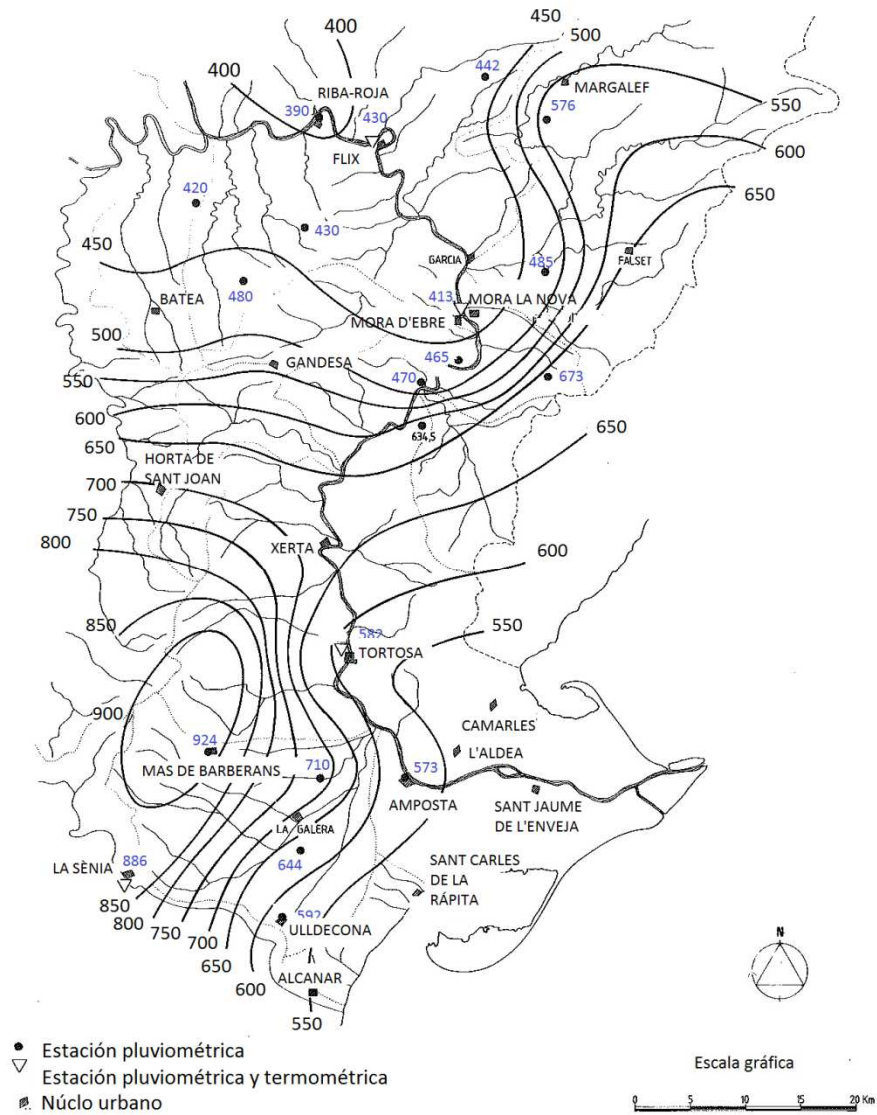


Figura 4.2.b. Mapa de isoyetas del Baix Ebre (Tourís, 1986).

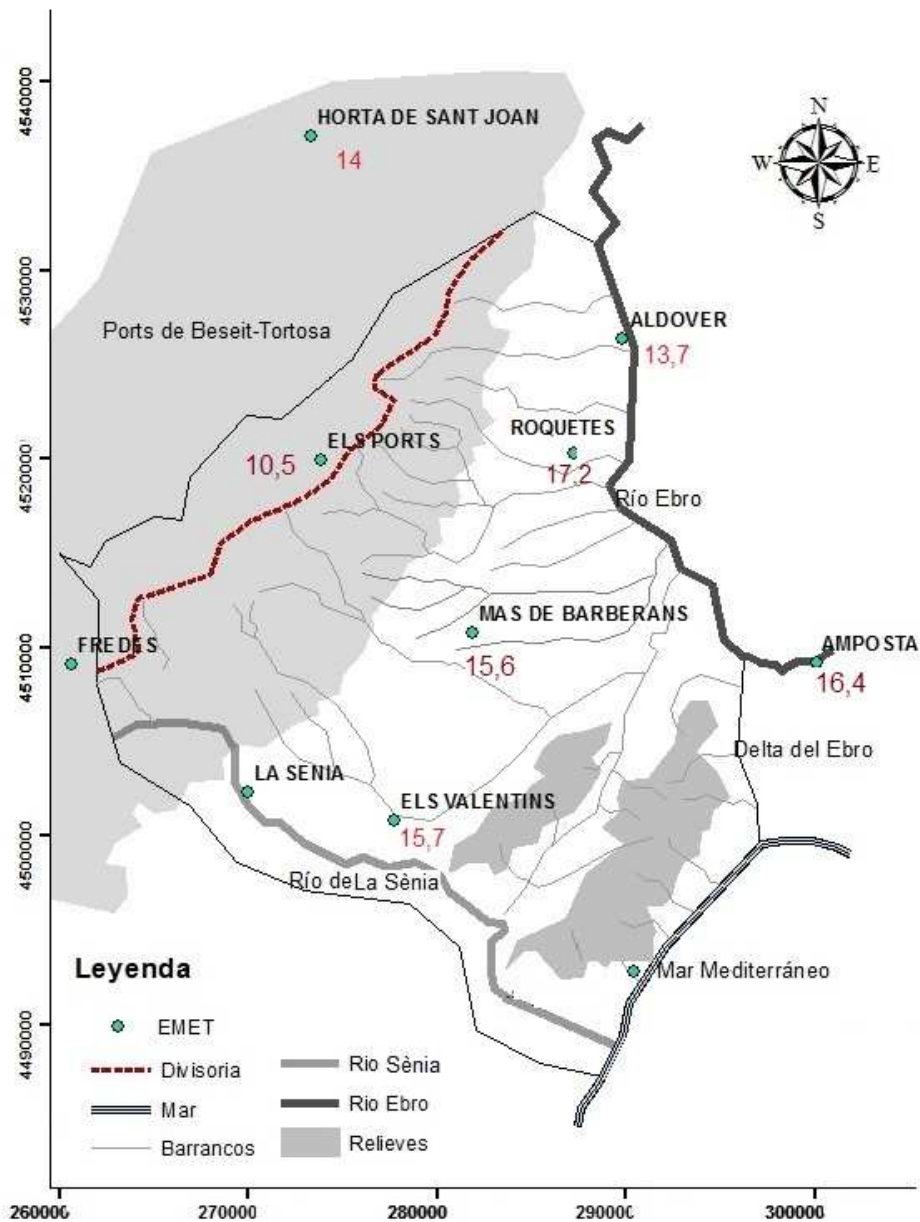
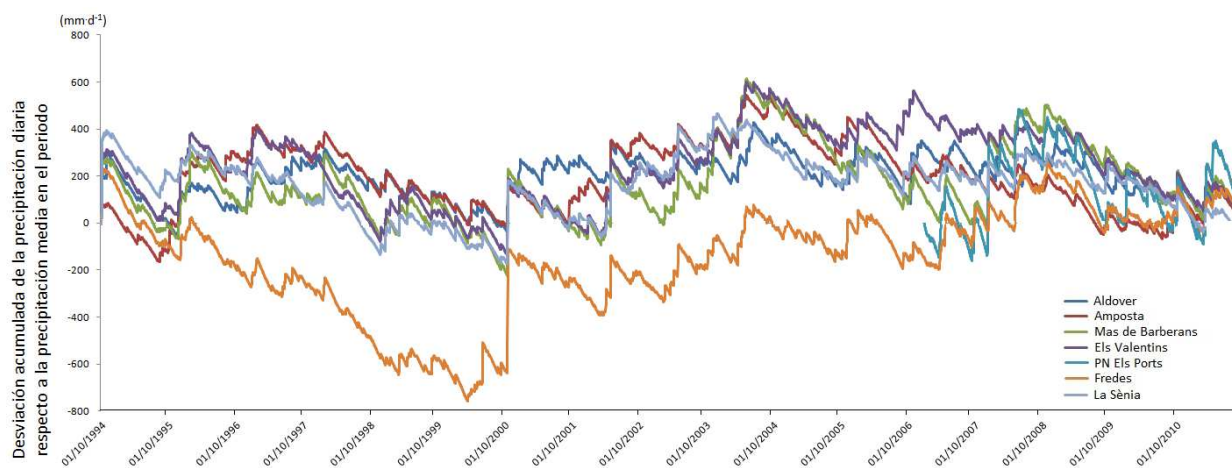


Figura 4.2.c. Temperaturas medias anuales en el Baix Ebre (periodo 1994-2011).

Se ha realizado un análisis de la distribución de años húmedos y secos, en función de la desviación de la precipitación diaria acumulada respecto a la precipitación media en el periodo a partir de las series diarias disponibles de las estaciones meteorológicas de la zona (Tabla 4.2.b y Figura 4.2.d). La estación de Fredes desacumula más precipitación en periodos secos respecto al resto de estaciones debido a que la media de precipitación que registra es superior a la del resto de estaciones, ya que representa una zona más húmeda situada a cota alta (1165 m snm), este mismo comportamiento no se ha podido observar en la estación PN Els Ports porque (situada a 1055 m snm) porque entró en funcionamiento en 2007. Existe cierta ciclicidad con periodos trianuales o cuatrianuales húmedos seguidos de periodos con tendencia seca. El periodo en que se han desarrollado las investigaciones se caracteriza por una tendencia seca.

Tabla 4.2.b. Secuencias de años húmedos y secos para el Baix Ebre (H: húmedos, M: medios, S: secos y SD: sin dato).

Periodo	Aldover	Amposta	Mas de Barberans	Els Valentins	PN els Ports	Fredes	La Sènia
1994-1997	H	H	H	H	SD	S	S
1997-2000	S	S	S	S	SD	S	S
2000-2004	H	H	H	H	SD	H	H
2004-2006	S	S	S	M	SD	S/M	M
2006-2008	H	M	M/H	M	SD	H	H
2008-2011	S	S	S	S	S	S	S

Figura 4.2.d. Desviación acumulada de la precipitación diaria ( $\text{mm d}^{-1}$ ) respecto a la media del periodo 1994-2011 de las estaciones meteorológicas de la zona de estudio.

### 4.3. MARCO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO

Las fuentes de información geológica principales han sido los trabajos de Tourís (1986), CHE (1991), Bayó et al. (1992) y Badiella (2009) completada con el conocimiento transmitido de forma oral por Carlos Loaso (Director de la ACA en la oficina de Tortosa). Como aportación al conocimiento geoestructural de la zona se incluye la reelaboración de la columna estratigráfica (Tabla 4.3.2).

#### 4.3.1. Contexto geológico regional

La zona de estudio pertenece a la rama NE de la Cordillera Ibérica en su tránsito a la Cordillera Prelitoral Catalana. Se pueden distinguir tres zonas: Los Ports de Beseit-Tortosa, que son la cabecera de la red hidrográfica, con sus dos vertientes, la cuenca del Matarraña limitando con la depresión del Ebro al noroeste de los Ports, y la Plana de La Galera al sudeste de los Ports.

En los Ports de Beseit-Tortosa predominan los materiales Mesozoicos, marcando un tránsito entre los dominios de la Cordillera Ibérica y las Cordilleras Costero-Catalanas. Estos materiales se apilan en pequeños cabalgamientos con direcciones dominantes SW-NE (dirección Catalánide) y vergencia general hacia el NW en la zona oriental y dirección NW-SE (dirección Ibérica) y vergencia dominante también al NW en la zona occidental. Este plegamiento está asociado a una gran fracturación de los materiales

según escamas cabalgantes, fallas y pliegues de vergencia NW, donde los niveles arcillosos (Muschekalk medio y Keuper) actúan como nivel de despegue. Los materiales dominantes son las calizas y dolomías mesozoicas, además de conglomerados terciarios asociados al frente de cabalgamiento. Las calizas y dolomías mesozoicas también afloran formando las sierras de Godall y Montsià al sureste de la zona de estudio (Figura 4.1.b).

Estos relieves son el resultado de esfuerzos compresivos alpinos que actuaron durante el Paleógeno y de esfuerzos distensivos durante el Neógeno. Por tanto dichos materiales existen bajo la cobertera neógena y cuaternaria de la Plana de la Galera aunque muy dislocados tectónicamente (Figuras 4.3.1.a y 4.3.1b).

Los materiales más abundantes en la depresión del Ebro son de edad Cenozoica (Terciario y Cuaternario). Son materiales terrígenos (conglomerados, areniscas y margas), calizas lacustres y evaporitas (yesos). Los cauces principales (Matarraña y Algars) se encajan en su tramo medio-bajo en los depósitos aluviales, aflorando en el lecho del río a lo largo de todo el recorrido (CHE, 2008).

La Plana de la Galera forma parte de una fosa tectónica (graben) delimitada por un conjunto de fallas subverticales que separan la fosa rellena de materiales de edad terciaria a cuaternaria con predominancia de materiales plio-cuaternarios (Plana de La Galera) de los bloques levantados (al SE Horst del Montsià y Godall y al NE-SW Ports de Beseit-Tortosa) donde afloran materiales de edad mesozoica. El río Ebro circula por una falla de desgarre que desplaza su margen izquierdo en dirección NW respecto a su margen derecho; esta falla actúa de límite geológico e hidrogeológico.

La fosa se formó durante una etapa distensiva pre-pliocénica. Sus límites se extienden desde el cierre de las Sierras prelitorales Ports de Beseit-Tortosa y Cardò-Montaspre en Tivenys en el N de la zona de estudio hasta el SE en el cierre de la sierra de Irta en Castellón, presentando su mayor anchura en dirección W-E en la Plana de Vinaròs (fuera de los límites de la zona de estudio). Su relleno se produjo durante la época pliocena, durante un periodo de ambiente deposicional de tipo estuario, dando como resultado potentes depósitos de arcillas y margas estuáricas sobre las cuales se encuentran generalmente conglomerados y gravas poligénicas poco cementadas cuaternarias con capas de arcillas del Cuaternario antiguo y pliocénicas, areniscas y margo-calizas que se indentan lateralmente con conglomerados monogénicos de abanicos aluviales. Localmente se pueden encontrar depósitos de conglomerados del Terciario medio bajo las margas pliocenas (Touris, 1986).



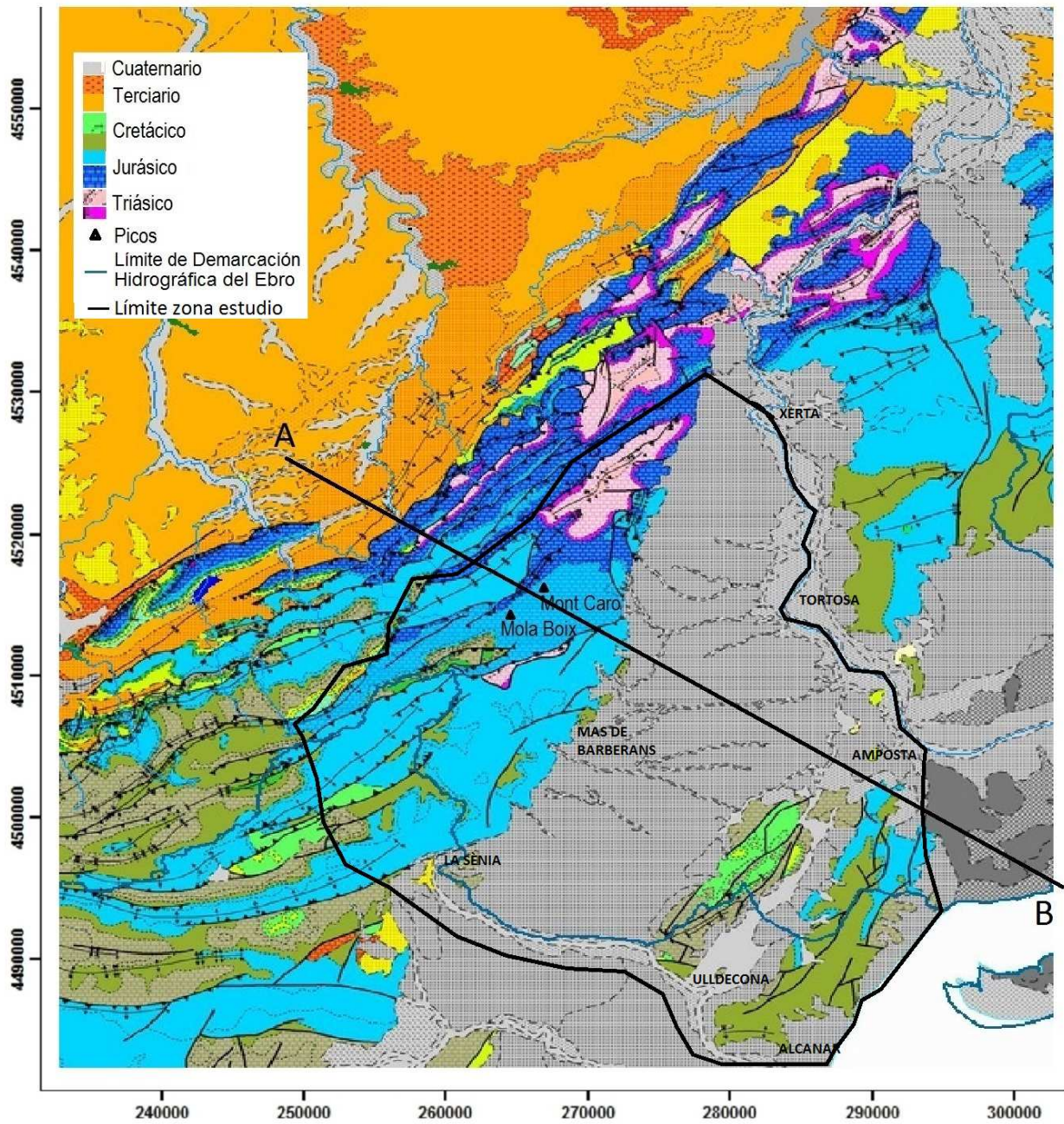


Figura 4.3.1.a. Mapa geológico de la zona de estudio (<http://hidrologia.geoslab.com/HydroGeoEbro/>).

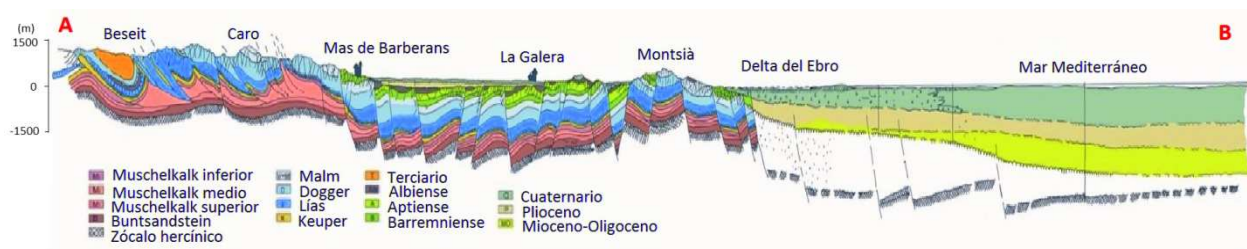


Figura 4.3.1.b. Corte geológico A-B (Beseit-Mar Mediterráneo) según Bayó et al., 1992.

### **4.3.2. Estratigrafía**

Los materiales registrados en testificaciones e identificados en afloramientos son de edades Jurásicas a Cuaternarias (<http://www.igme.es/internet/ServiciosMapas/siasweb/sias.htm>) (Figura 4.3.1.a-b y Tabla 4.3.2).

Tabla 4.3.2. Resumen de la geología e hidrogeología en Baix Ebre (elaboración propia a partir de la de CHE, 1991, con incorporación de nueva información).

Edad		Estratigrafía	Litología	Esp (m)	Acuífero	Características del acuífero	Descarga	Caudal	P. hidr	
CEÑOZOICO	NEÓGENO	Cuaternario	53 Playas actuales y dunas asociadas; 52 Barras de playa, cordones litorales; 51 Marismas limos orgánicos y turbas; 50 Arcillas y limos; 49 Aluviales actuales. Limos orgánicos abundantes; 48 Terrazas del Ebro. Cantos poligénicos; 47 Piedemonte en PGalera. Congl de cantos calizos. Ambiente de abanicos fluviotorrencales. Su base puede ser de edad pliocena.	Terrazas 10-100	Aluviales del Ebro actual y antiguo	Cuaternario antiguo: recarga por transferencia de acuíferos profundos y del río Ebro en Xerta-Aldover; en carga y localmente surgente en pozos. Cuaternario actual: sólo está conectado al río Ebro.		> 100 Ls <sup>-1</sup>		
			Piedemonte 100-200	Cuaternario de la Plana de La Galera	Recarga por precipitación directa en su superficie y por transferencia lateral de los materiales mesozoicos de la unidad hidrogeológica de los Ports de Tortosa (ver apartado 4.2).	Posiblemente drena hacia los "horst" del zócalo mesozoico en La Plana y descarga al río Ebro.	10-20 Ls <sup>-1</sup>			
	PALEOGENO	Plioceno								
		Mioceno								
		Oligoceno								
CRETÁCICO	SUPERIOR	Maestrichtiense	46 Fm Ebro. Sandstones, arenas margosas, margas y arcillas grises; 45 Fm Mora. Lutitas; 44Fm Fontanelles. Congl masivos; 43 Fm Caspe. Lutitas y areniscas; 42 Fm Fatorella. Calizas lacustres y areniscas; 41 Fm Flix Lutitas areniscas y yesos; 40 Fm Fórnoles. Cong masivos; 39 Fm Portellada. Lutitas y areniscas; 38 Fm Margalef. Conglomerados, areniscas y lutitas; 37 y 36 Fm Montsant y Rafales. Conglomerados masivos; 35 Fm Cornudella. Lutitas, areniscas, yesos y calizas.	50-200						
		Campaniense								
		Santonense								
	INFERIOR	Turonense	34 Fm Calizas Glauconíticas de sierra de Llaberia. Wackestones y packestones de lamelibranchios. Medio sedimentario de plataforma interna.							
		Cenomaniense	32 Fm Bc* Degollados. Dolomías y calizas ambiente de lagoon interno (33) abarca (31-32). 31 Fm Mosqueruela. Wackestones y packestones y grainstones con prealveolina cretacea.	20-25	Acuífero cretácico superior	Poca entidad regional. Drena el cuaternario.. Significativamente explotado. Descarga al río Ebro mediante surgencias como el Ullal de la Carrova.	Hacia la cuenca del Matarraña	7,5 Ls <sup>-1</sup> (fuentes) 15-35 Ls <sup>-1</sup> (pozos)	400 m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> (puntual)	
JURÁSICO	MALM	Albense	29 Fm Utrillas. Arenas, calizas arenosas de ambiente fluvial-costero. (30) agrupa (27-29); 28 Fm Escucha. Arcillas rojas y negras (lignitos al N) ambiente de transición (continental-marino)	100	Acuífero cretácico medio	Se drena a barrancos de la Plana de La Galera y al río Ebro. Acuífero profundo en la fosa. Explotado en el entorno de Godall.	A pocas fuentes	0,5-5 Ls <sup>-1</sup>		
		Aptiense	Sup	27 Fm Benasal. Calizas y margocalizas algunas arenosas; 26 Fm Villarroya. Calizas masivas con toucasia y mesorbitolina; 24-25 Morella. Calizas; 23 Fm Xert. Calizas y margas nuds. A techo niv margoso gris verde.	50	Acuífero cretácico inferior	Poca extensión superficial y escasa continuidad hidráulica. Cambios laterales de facies de margas a calizas provoca que al oeste de la zona hace que la recarga se transfiera al acuífero inferior (Malm). Se drena hacia el embalse de Ulldacona y a la Plana de La Galera. Es el acuífero profundo de la fosa.	Font del Rossegadors, Sant Pere. Abastecimiento a La Sénia, St. Rafael del Riu, Rosell y Ulldacona.	24-35 Ls <sup>-1</sup>	
			Inf	22 Fm Morellic. Margas y arcillas rojas de ambiente palustre; 21 Fm Artoles. Alternancias de calizas y margas de plataforma costera con influencia estuaria; 20 Fm Cantaperdius. Calizas blancas, lateritas y niveles de conglomerados intraformacionales.	110					
	DOGGER	Hauteriviense	19 Fm Herbers. Wackestones grises de carofitas o techo barra de grainstones oolíticos y Fm Mangroners. Alternancia de calizas y margas.	100	Acuífero del Malm	Aflora en los Ports de Besit. Es una zona preferencial de recarga en la unidad hidrogeológica de los Ports de Tortosa. Se drena por manantiales y flujo subterráneo a la Plana de La Galera.	Manantiales del río de La Sénia y por transferencia a los acuíferos profundos en la Plana de La Galera.	20 Ls <sup>-1</sup>	Poros diag y fract. Buena permeabilidad vertical y horizontal.	
		Valanginiense	18 Fm Polacos. Wackestones de miliólidos, algas y grainstones de oolitos y bioclastos; 17 Fm Dolomías de los Talales Doloesparitas (14 a 16)	250						
		Berriasiense	16 Fm la Pleta. Calizas y dolomías tableadas de ambiente de "tidal flat" (15) Fm Bovalar. Calizas con grainstones oolíticos y bioclastos; 14 Fm Asclá (margas oscuras de talud con una base de areniscas de estratificación cruzada). Fm Pulpis (calizas tableadas micriticas de plataforma abierta o rampa). Fm Sot de Xera (margas de formación distal o prodeltaico). Fm Yátova (calizas de esponjas paso lateral al Mb sierra de la Creu Col-biocástica.							
		Titónico	13 Fm Cardó. Margas amarillentas con fauna de Ammonites y Concellophycua; 12 Fm Besit. Calizas de filamentos algales o margocalizas y margas de (13); 11 Fm Pauls. Calizas con cherts, parcialmente dolomitizada pasa lateralmente a (12)							
LIÁS	Kimmeriogiense	10 Fm Turmiel (alternancia de margas y calizas a techo se desarrolla un oolito ferruginoso). Fm Borahona (calizas bioclasticas). Fm Cerro del Paz (margas belg o margocalizas y calizas con estratificación nodulosa); 9 Fm Cuevas labradas. Calizas y dolomías con techo de calizas margosas. "Margas de Uptonia"; 8 Fm Cortes de Tajuña. Brechas y carniolas, secuencias de profundidad creciente, las brechas son de colapso de la plataforma carbonatada "Slumps".	250	DISCONTINUIDAD (arcillas y margas)						
	Oxfordiense	7 Fm Imón. Dolomías tableadas y calcarenitas oolíticas, "Tidal flats" someros.	220-250	Acuífero Liásico	área de recarga. Se drena por manantiales y flujo a la Plana de La Galera. Acuífero regional.	Río Algars, Estrets, Canaletas, Matarraña F. Ullals y Gubies	15-20 Ls <sup>-1</sup>	50-150 Ls <sup>-1</sup>		
	Calloviense	6 Areniscas, lutitas rojas con yesos nodulares de lagunas costeras (Sebkhas), arcillas verdes de lagunas mareales. Basaltos y doleritas.	25-30							
	Bathoniense	5 Calizas y dolomías, desde medios mareales a facies más profundas o abiertas.	80-100							
Bajociense	4 Arcillas y areniscas de medios supramareales e intramareales. Yesos de Sebkhas costeros.									
TRIÁSICO	CARN-LADIENSE-ANSIENSE	Toarciense	3 Calizas de poca profundidad pero creciente con niveles de mayor energía (oolitos-bioclastos). Por diagénesis aparecen dolomías.	120	Acuífero Mushelkalk inferior	Desconocido a nivel regional. Aflora en Pauls y barranco de La Xalamera.	Bc. Xalamera			
		Pliensbachiense			Acuífero Mushelkalk superior	Se drena por manantiales y a barrancos. Uso para regadío y abastecimiento. Conectado con el Liásico por cabalgamientos.	Río Algars, Estrets Canaletas (PB) Fuentes y barrancos	100-150 Ls <sup>-1</sup>	Permeab media-baja	
		Sinemuriense								
Hettangiense										
PALEOZOICO			Granito, granodiorita, arcillas, calizas y areniscas. Poco conocido			Poco conocido. Incluye acuíferos de roca fracturada de pequeña entidad				



La existencia de niveles pliocenos en profundidad no ha sido detectada en todos los pozos que llegan hasta el zócalo, lo cual hace pensar en una sedimentación pliocénica no uniforme debida a ambientes sedimentarios individualizados, posiblemente por basculaciones del zócalo mesozoico durante la sedimentación. De forma general, el zócalo está basculado hacia el SW de la zona de estudio, alcanzando profundidades de unos 300 m en el entorno de La Sènia. La existencia o no de niveles más o menos permeables en determinadas zonas puede afectar a la comunicación hidráulica entre los acuíferos. La disposición en bloques del zócalo mesozoico, alineados según la dirección principal SW-NE, concuerda con los datos obtenidos del inventario de pozos (Tourís, 1986).

La variación lateral y en profundidad de los materiales cretácicos en los Ports de Beselit-Tortosa se muestra en los cortes de las Figuras 4.3.2.a-c.

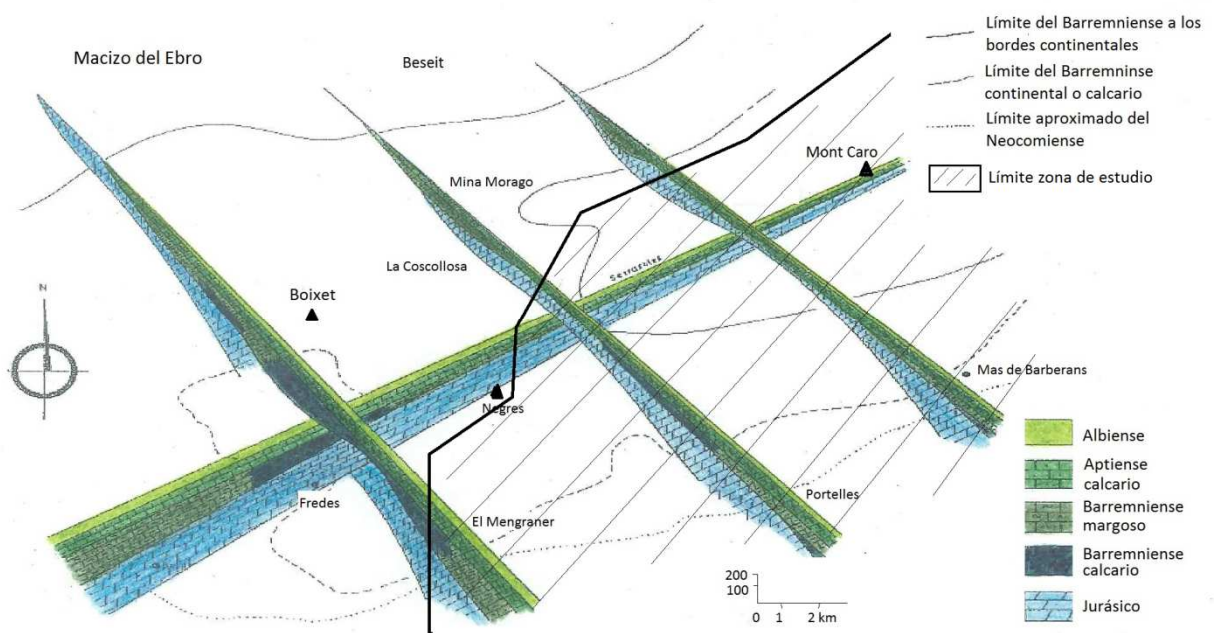


Figura 4.3.2.a. Variaciones espaciales del Cretácico en los Ports de Beselit (Tourís, 1986).

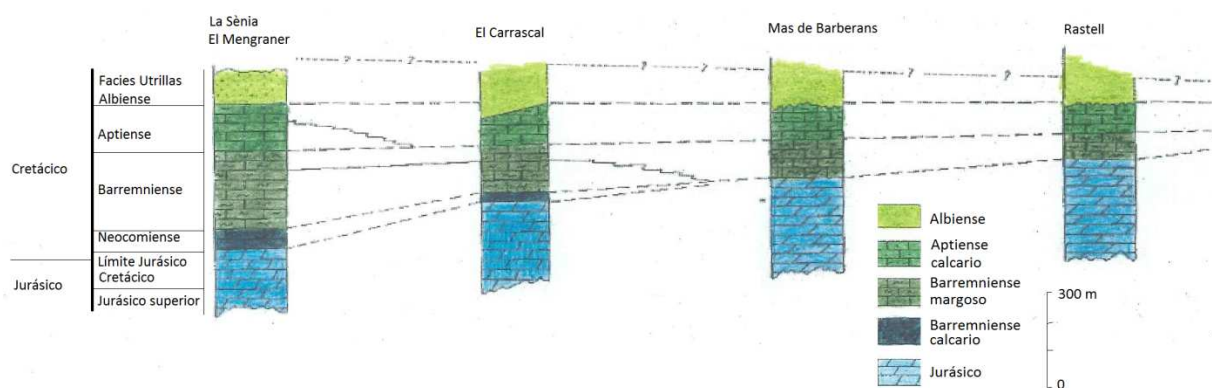


Figura 4.3.2.b. Correlación lateral del Cretácico en el lado sureste de los Ports de Beselit-Tortosa (Tourís, 1986).

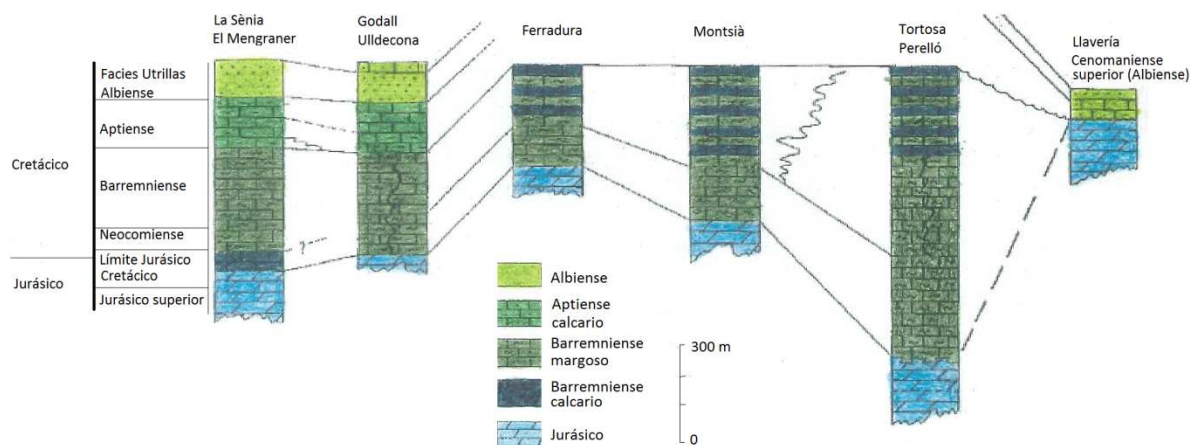


Figura 4.3.2.c. Variaciones regionales del Cretácico (Tourís, 1986).

### 4.3.3. Tectónica

La zona considerada se encuentra enclavada dentro de la rama NE de la Cordillera Ibérica-tránsito a los Catalánides denominada por algunos autores como Sierra Prelitoral Interna (Ports de Beseit y Tortosa-Beseit y macizos de Godall-Montsià), la zona media y baja de la Depresión del Ebro (cuenca del Matarranya) y la plana del litoral (Plana de la Galera) (Figuras 4.3.1.a y b, fuentes de información Tourís, 1986 y Badiella, 2009).

#### 4.3.3.1. Sierra Prelitoral Interna

El sector SW de la Sierra Prelitoral Interna, con orientación NE-SW (Ports de Beseit) tiene una anchura de 10-15 km, se estrecha hacia el NE y forma una franja de 4-5 km de ancho que limita en el contacto con el Paleozoico del Priorat.

Los Ports de Beseit contienen la cobertura mesozoica de mayor potencia de toda la Sierra Prelitoral, con más de 2000 m. Los pliegues que deforman estos materiales son de compresión, con fracturas sincrónicas de dirección paralela a sus ejes, dando lugar en la mayoría de los casos a cabalgamientos. En los frentes de cabalgamiento es frecuente encontrar horizontes de Keuper y Muschelkalk medio, lo que puede indicar que estas estructuras tienen su plano de despegue en este nivel.

Estas estructuras presentan simetría bilateral, con vergencia contraria a ambos costados de los Ports de Beseit. En el sector NW la vergencia es fuerte y en dirección a la Depresión del Ebro y al SE es en sentido opuesto y más suavizada. La fuerte vergencia NW hace que el contacto con los materiales terciarios de la Depresión del Ebro (Plana de la Galera) se produzca mediante un cabalgamiento que verticaliza e incluso invierte las capas del Paleógeno. Hacia el norte de los Ports de Beseit la potencia mesozoica disminuye a 1800 m, aflorando ampliamente en los núcleos anticlinales desventrados las calizas y dolomías del Lías, y en la zona de Paüls y Alfara de Carles también lo hace el Triásico.

En general, los accidentes tectónicos más importantes en la zona son las fallas y los pliegues con dirección NE-SW. Las fallas principales son las que delimitan los contornos del horst tectónico que forma el conjunto de las sierras paralelas del Montsià y Godall y las que separan ambas sierras, dando lugar a la semifosa de Ulldecona. Estructuralmente la sierra de Godall consiste en un sinclinal de gran radio afectado por fracturas; dentro de su núcleo se conservan materiales modernos de la serie mesozoica. También aparecen fracturas ortogonales a las anteriores. Todas son de origen alpino. Las que aparecen en Masdenverge y la zona de La Carrova son fracturas profundas de alineación catalánide (NE-SW).

#### 4.3.3.2. Depresión del Ebro

Está rellena de materiales terciarios. Los del Paleógeno han estado sometidos a los mismos esfuerzos que deformaron los materiales Mesozoicos, pero la mayoría de estos sedimentos son sinorogénicos o postorogénicos, horizontalizándose según se eleva la serie Terciaria. En el margen SE de la depresión los materiales detríticos sintectónicos se disponen marcando una discordancia angular progresiva hasta el inicio del Mioceno.

En la zona de estudio, la estructura del Mesozoico se caracteriza por un plegamiento laxo orientado de NE a SW en el que predominan estructuras de fracturación pertenecientes en su mayoría a las últimas fases de la orogenia alpina. El resto de fracturas son de origen distensivo, individualizando bloques emergidos (sierras de Godall y Montsià) sobre otros deprimidos y recubiertos parcialmente por los depósitos neógenos y cuaternarios.

Dentro de la zona existe neotectónica en la línea de costa que afecta a la morfología de la plataforma costera y a la depresión sobre la cual se desarrolla el eje del delta del Ebro (Badiella, 2009).

#### 4.3.4. Contexto geológico local

A partir del estudio hidrogeológico de la zona de estudio (Badiella, 2009) se han recuperado los cortes geológicos obtenidos de los mapas 1:50.000 del Instituto Geológico y Minero de España y del Institut Geològic de Catalunya realizados a partir de las testificaciones de pozos proporcionados por l'Agència Catalana de l'Aigua (Figuras 4.3.4.a-f).



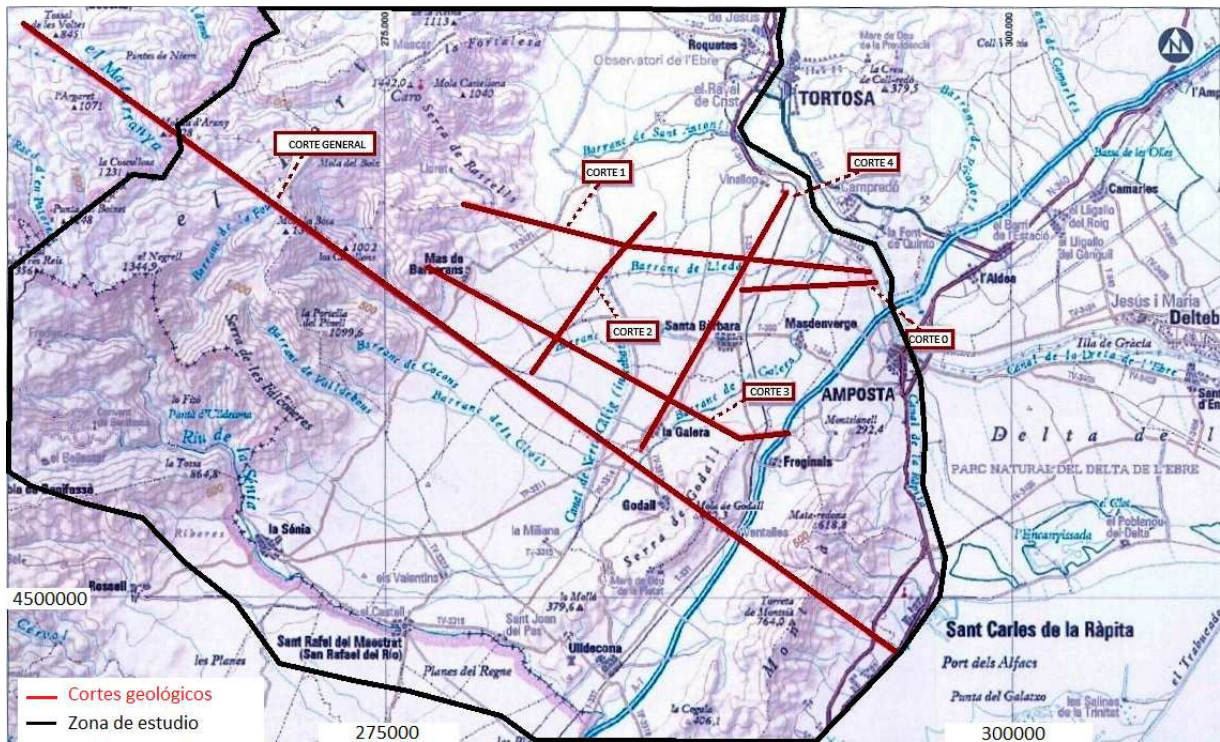


Figura 4.3.4.a. Ubicació de los cortes que se muestran en las Figuras 4.3.4.b-f (Badiella, 2009).

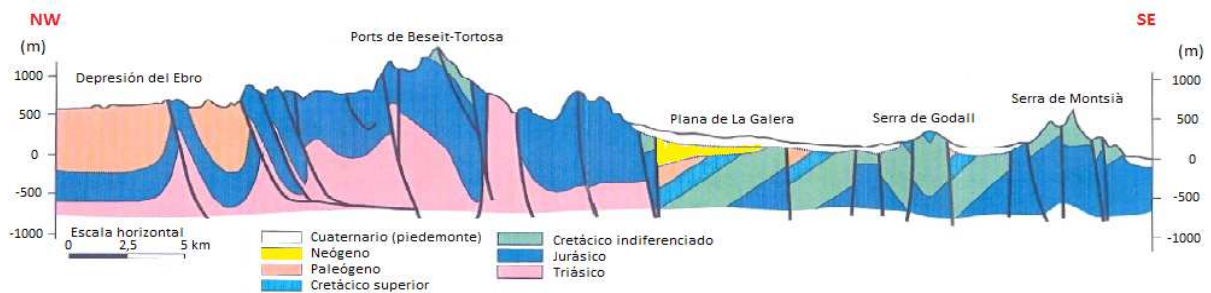


Figura 4.3.4.b. Corte geológico general entre la Cuenca del Ebro y la Sierra del Montsià (Badiella, 2009).

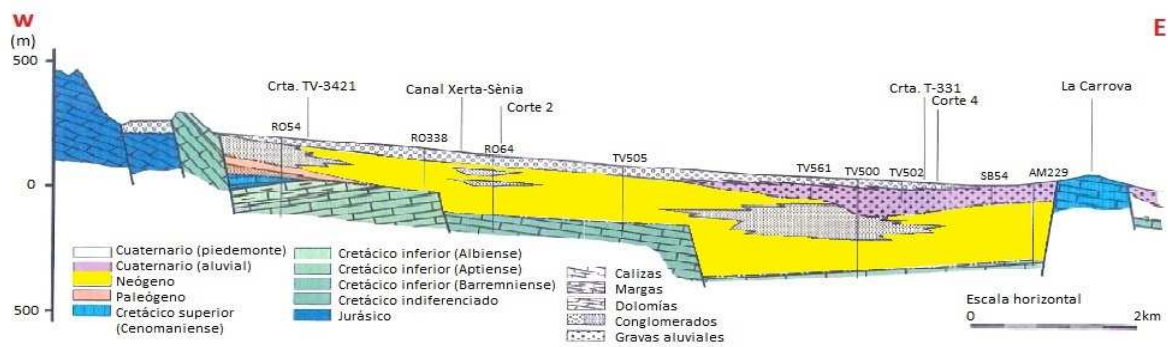


Figura 4.3.4.c. Corte 1: Ports Besit-Tortosa-La Carrova (Badiella, 2009).

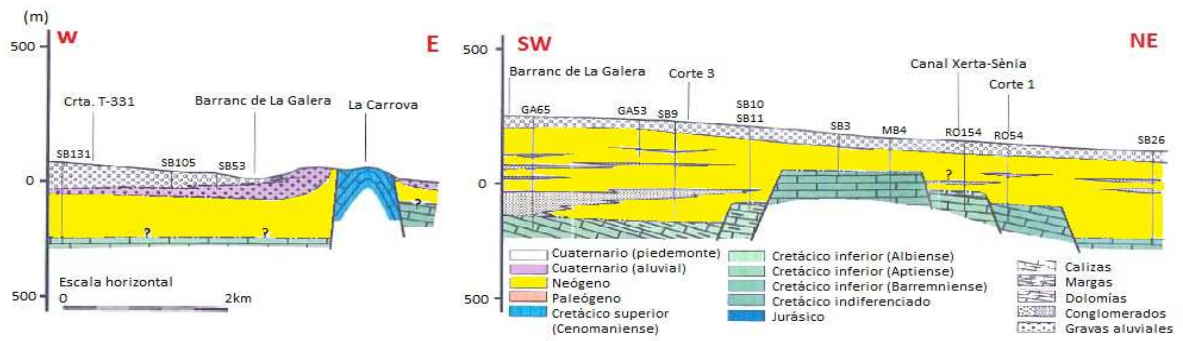


Figura 4.3.4.d. Corte 0: Santa Bárbara-La Carrova y Corte 2: Bc. Galera-canal Xerta-Sènia (Badiella, 2009).

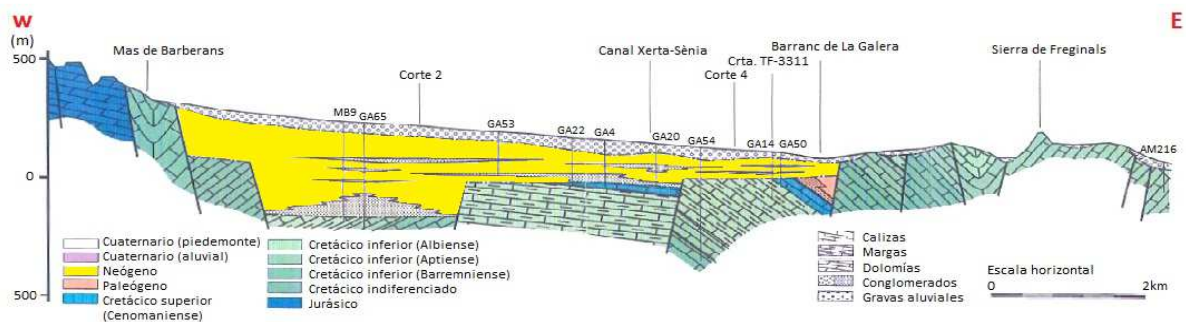


Figura 4.3.4.e. Corte 3: Mas de Barberans-La Galera-Freginals (Badiella 2009).

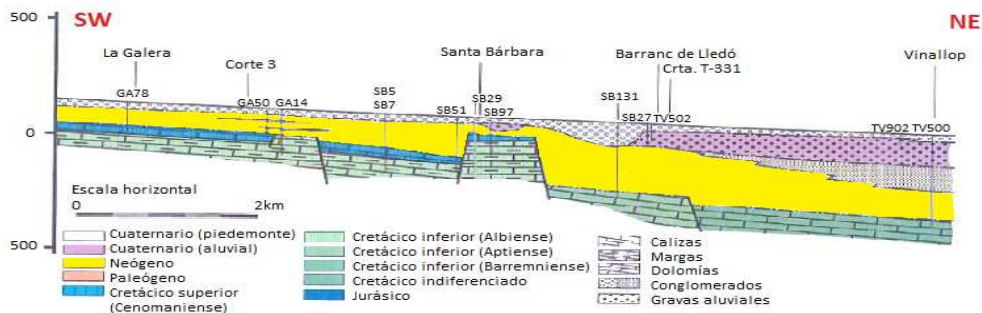


Figura 4.3.4.f. Corte 4: La Galera-Vinallop (Badiella, 2009).

#### 4.4. MARCO HIDROGEOLÓGICO Y FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL SISTEMA

Para comprender el modelo hídrico de la zona de estudio ha sido necesaria la interpretación de las superficies piezométricas obtenidas en trabajos previos (Tourís, 1986; Badiella, 2009; Ansón y Yáñez, 2010) (ver Figura 4.4.a).



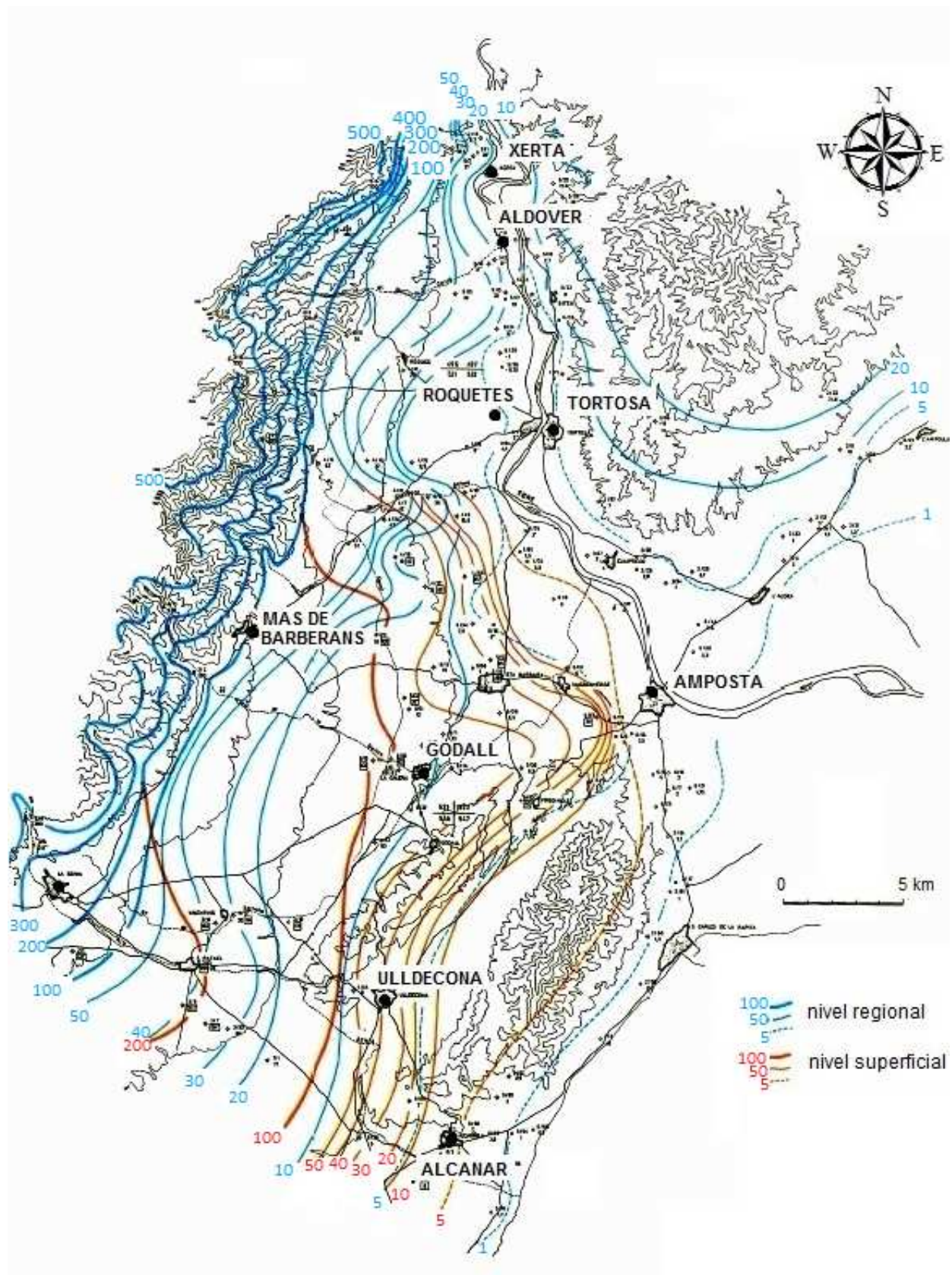


Figura 4.4.a. Piezometría del acuífero regional y superficial (Tourís, 1986).

En todos los mapas piezométricos previos existentes se separan dos niveles acuíferos, uno menos profundo asociado a materiales de edad terciaria-cuaternaria y otro más profundo regional asociado al

acuífero en materiales de edad mesozoica, aunque a día de hoy todavía no se ha probado la desconexión entre los dos sistemas. En algún caso se producen fenómenos locales en los cuales el nivel piezométrico difiere del registrado en el entorno. Uno de estos casos se produce en el municipio de Santa Bárbara registrando un nivel de base de -80 m snm (Punto de control OSB17 ver localización en Anexo 5.2), dicho nivel es dinámico permanente a causa del bombeo continuado (aunque puede ser intermitente) manteniendo ligeramente una tendencia descendente en el registro histórico producida posiblemente por una conexión hidráulica limitada con su entorno pero existente, ya que químicamente el agua subterránea analizada en el punto OSB17 (Anexo 3.3-4) es semejante a los muestreos de agua subterránea de alrededor con nivel piezométrico representativo del acuífero regional, es más, isotópicamente presenta periodo de renovación relativamente reciente (Anexo 3.4), lo cual indica la existencia de una recarga directa local-puntual (Capítulo 7.3.2.2). Otra anomalía son dos niveles localizados en el entorno de Godall cuyo valor mínimo no desciende de los 70 m snm; los pozos que registran estos niveles extraen agua del nivel Cretácico superior (Cenomaniense, ej. Punto de Control OGO9 ver localización en Anexo 5.2) el cual, en esta zona, está en contacto con el muro de los materiales de edad plio-cuaternaria, por lo que este nivel representa la piezometría de la unidad acuífera superficial (la química de dicho punto de control también muestra coherencia con la de su entorno (Capítulo 7.3.2.2) e isotópicamente refleja la marca de concentración en UT del orden de la atmosférica que caracteriza el periodo de estudio, interpretándose así su representatividad de la recarga directa local-puntual en la zona).

En rasgos generales, las principales líneas de flujo subterráneo, tanto para el acuífero menos profundo como el regional, van desde la zona de Ports de Beseit-Tortosa hasta tres zonas de descarga preferente: (1) el margen derecho del río Ebro entre Xerta y Tortosa, (2) la franja costera en el entorno de San Carles de la Rápita y (3) la Plana de Vinaròs (Figura 4.4.b).

Este funcionamiento puede corroborarse mediante las características hidrogeoquímicas del agua subterránea. Para su estudio se han representado diagramas modificados de Stiff. La composición de las aguas subterráneas está fuertemente influenciada por la litología. De forma general se observan dos tipos de agua diferenciados, uno bicarbonatado cálcico-magnésico procedente de los Ports de Beseit-Tortosa, con descarga hacia el río Ebro y posiblemente hacia la Plana de Vinarós, y otro bicarbonatado cálcico con menor variación evolutiva a lo largo de una posible línea de flujo en la zona de la Plana de La Galera y semifosa de Ulldecona (Figura 4.4.b).

La marca magnésica se debe a las rocas carbonáticas de los Ports de Beseit-Tortosa, donde predominan materiales dolomíticos de edad jurásica. La evolución de esta marca hidrogeoquímica hace evidente que por lo menos una de las zonas de recarga sea este margen montañoso. Otra zona de recarga de carácter

local se ubica en la Fosa de Ulldecona, entre los macizos Godall-Montsià, con la marca de agua correspondiente a la composición litológica carbonatada cálcica de edad cretácica.

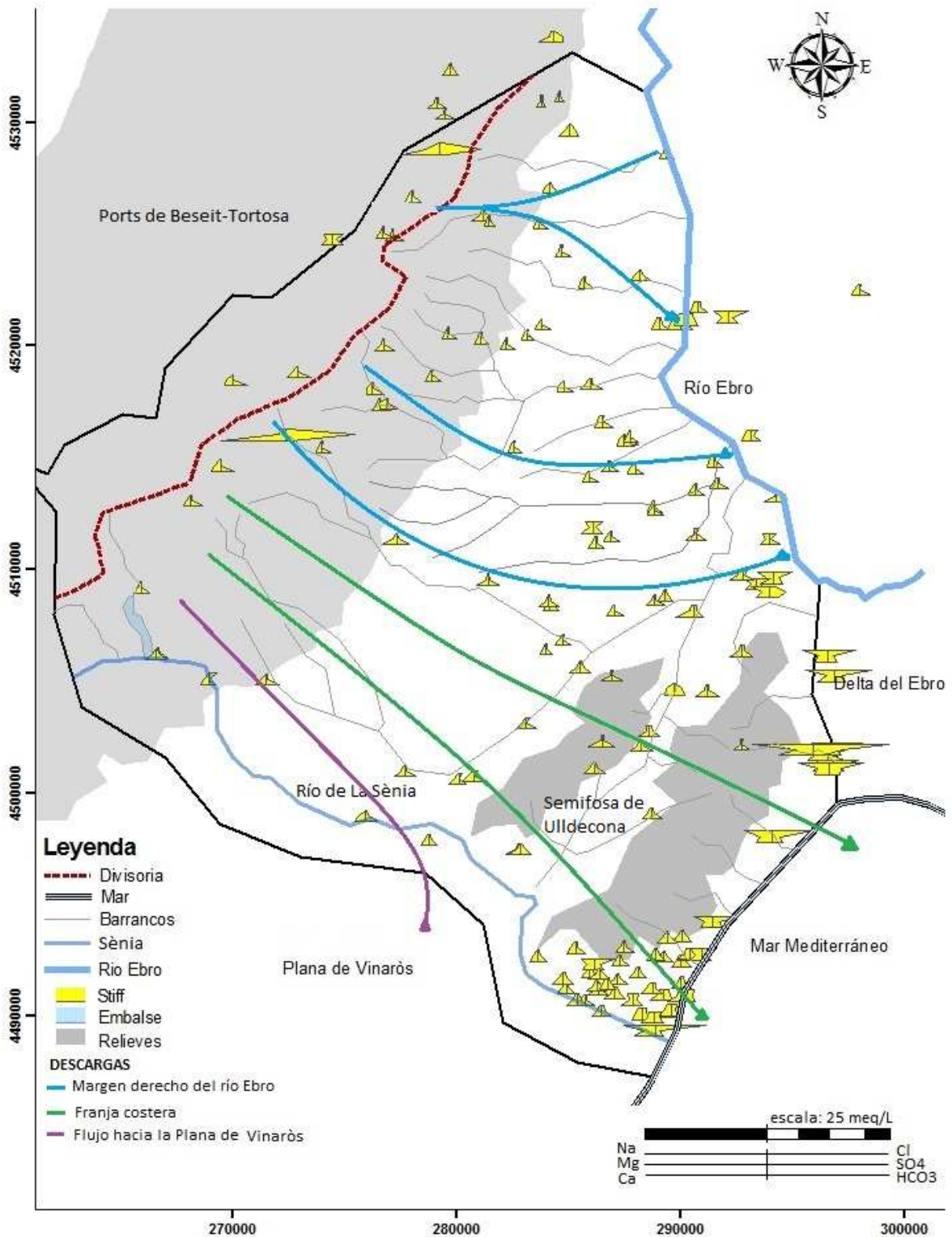


Figura 4.4.b. Líneas de flujo preferentes y evolución hidroquímica a partir de diagramas modificados de Stiff.





#### 4.4.1.1. Unidad Ports de Beseit

La estructura geológica existente facilita la presencia repetitiva de afloramientos permeables de edad mesozoica con alto grado de karstificación y una potente zona no saturada (vadosa). La disposición de los materiales triásicos (fundamentalmente Keuper y Mushelkalk medio) de baja permeabilidad da lugar a manantiales que generan el caudal de base superficial en la cabecera de los ríos Matarraña y Algars (Figuras 4.4.1.1.a y b).

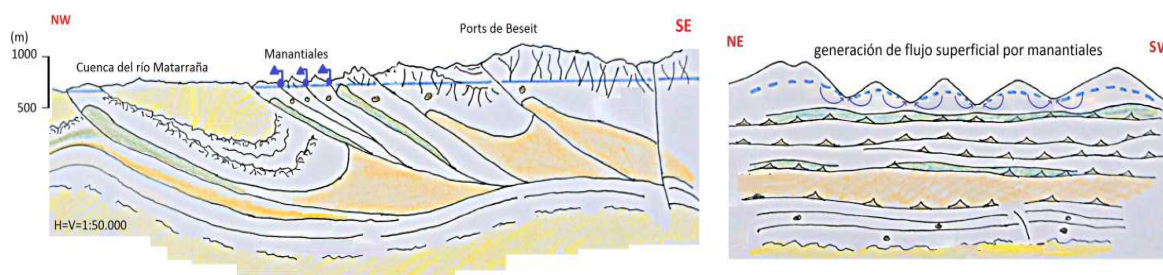


Figura 4.4.1.1. Corte hidrogeológico (A en Figura 4.4.1) de los Ports de Beseit (izquierda) y sección perpendicular al mismo (derecha), según Bayó et al. 1992.

En la sección perpendicular (Figura 4.4.1.1) puede verse como el flujo producido por la disposición de los materiales triásicos converge hacia los valles dando lugar a las surgencias de agua subterránea.

#### 4.4.1.2. Unidad Ports de Tortosa

Los acuíferos presentes en los Ports de Tortosa corresponden a una serie fundamentalmente dolomítico-calcárea que abarca el Triásico, Jurásico y Cretácico (Mesozoico). Aunque existen tramos margosos de baja permeabilidad intercalados, especialmente en la series del Triásico y del Dogger, la compleja fracturación tectónica pone en contacto los diferentes niveles permeables, de forma que cabe considerarlo como un solo acuífero kárstico de elevada heterogeneidad. La karstificación tiene un desarrollo muy diferente en función de su localización en la serie estratigráfica, su posición con respecto los niveles freáticos y la existencia de flujo concentrado.

La complejidad geométrica del acuífero determina la existencia de otros flujos de carácter local, los cuales pueden ser interceptados por barreras de baja permeabilidad, fundamentalmente afloramientos triásicos que tapizan los planos de cabalgamiento y provocan la presencia de niveles permeables colgados respecto al flujo regional, dando origen a manantiales como el de Paüls, entre los más relevantes, que originan cursos de agua que terminan por infiltrarse más adelante en los materiales detríticos de la Plana de La Galera (CHE, 2009).

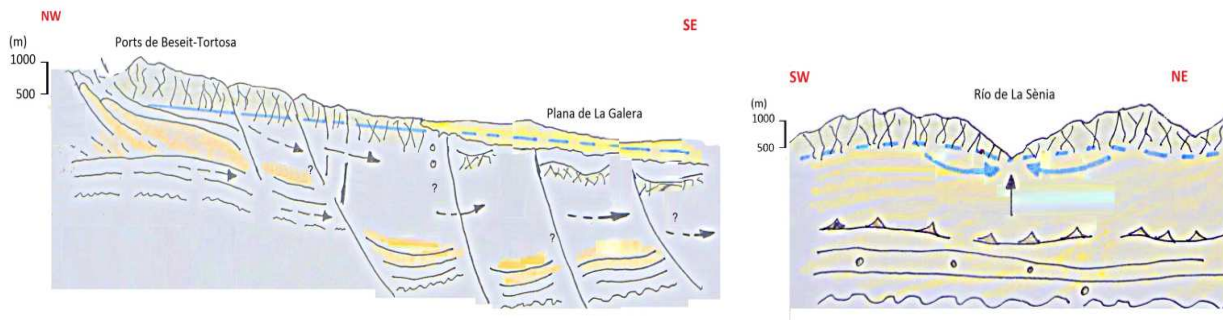


Figura 4.4.1.2. Corte hidrogeológico (B en Figura 4.4.1) de los Ports de Tortosa (izquierda) y sección perpendicular al mismo (derecha), según Bayó et al. 1992.

La continuidad en profundidad de los materiales mesozoicos karstificados aflorantes en los Ports hacia la Plana de La Galera produce una homogeneización de la permeabilidad desde la zona karstificada en el macizo hacia la zona confinada en la Plana, produciéndose un flujo perpendicular a las estructuras y transfiriéndose así a la Plana de La Galera desde los Ports.

A pie de los Ports y distribuidos de N a S existen surgencias ocasionales denominadas “bufadors” que responden al fenómeno de “trop plein”, es decir, cuando el macizo se llena como consecuencia a unas condiciones hidrometeorológicas previas determinadas y además se supera la capacidad de transferencia de flujo máxima del acuífero mesozoico libre en los Ports hacia la zona confinada en la Plana de La Galera, el agua subterránea excedentaria descarga a superficie por estas surgencias situadas en niveles superiores al nivel piezométrico del acuífero en situación de no rebosamiento.

#### 4.4.1.3. Unidad Plana de La Galera y Mesozoico de La Galera

El espesor de las formaciones detríticas es menor en la zona noroeste, donde alcanza espesores entre 100 y 200 m, aumentando hacia el sudeste hasta valores del orden de 300 m.

La recarga natural se produce en toda su extensión por infiltración de agua de lluvia y por infiltración en cauces perdedores (Barrancos de Lloret y de la Galera) y por transferencia lateral desde los Ports de Tortosa-Beseit. La dirección de flujo predominante es hacia el este en la región norte, con una componente noreste en la región sur. La componente NW, orientada hacia el aluvial de Tortosa, tiene como resultado un grupo de surgencias, siendo la de mayor importancia el Ullal de La Carrova (Figura 4.4.1.3).

Además, por la proximidad del nivel piezométrico de los materiales mesozoicos a la superficie del terreno en la zona del oeste de Amposta, el barranco de la Galera es efluente (ganador) en ese tramo, concretamente en sus 2 km finales. La relación Mesozoico-Terciario en la plana y conectividad hidráulica se desarrolla en el apartado 4.4.3.

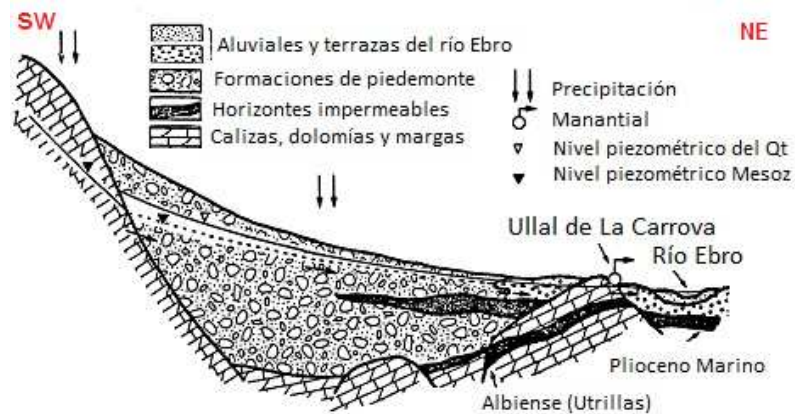


Figura 4.4.1.3. Corte ilustrativo (C en Figura 4.4.1) del funcionamiento hidrogeológico en el área de La Carrova (Plana de La Galera) (CHE 1991).

#### 4.4.1.4. Unidad Aluvial de Tortosa

Se encuentra emplazada sobre un zócalo mesozoico afectado por una tectónica distensiva neógena. La semifosa se encuentra rellena por materiales cuaternarios procedentes de antiguas terrazas y aluviales del Río Ebro, constituyendo una serie de depósitos detríticos conectados puntualmente con niveles del cretácico superior (Cenomaniense) infrayacente. Su límite inferior viene definido por el acuífero mesozoico de la Plana de La Galera, que se sitúa a muro de la serie cuaternaria antigua y en casos puntuales se encuentra en contacto con la serie cuaternaria moderna. Dicho acuífero mesozoico aflora en superficie y da lugar a los denominados “ullals” (surgencias), como es el caso del Ullal de Solsó (barranc de Lledó) o de La Carrova, entre otros. Otra buena parte de la descarga subterránea de esta unidad hidrogeológica se produce en el margen derecho del río Ebro y en los acuíferos hidráulicamente conectados (cuaternario de la Plana de La Galera y Cretácico profundo (Figuras 4.4.1.3 y 4.4.1.4).

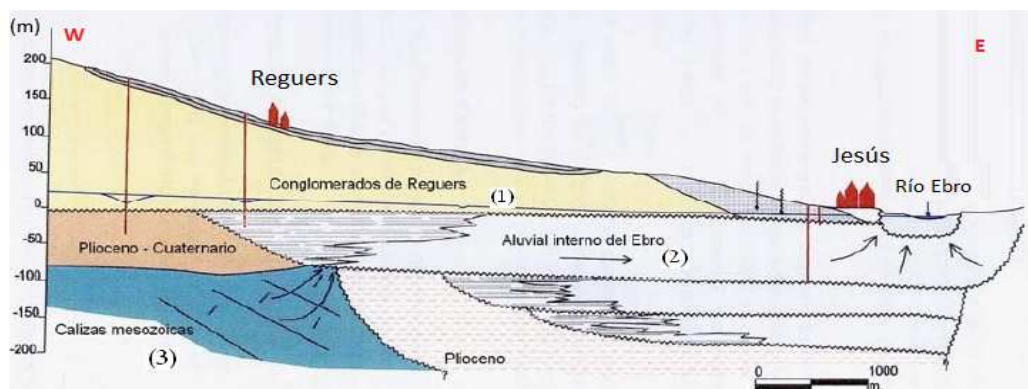


Figura 4.4.1.4. Corte hidrogeológico (D en Figura 4.4.1) del Aluvial de Tortosa (CHE, 1991).

#### 4.4.2. Acuíferos

##### 4.4.2.1. Acuífero regional de materiales mesozoicos

Son considerados acuíferos cautivos en la zona de la Plana de La Galera, también conocidos como acuífero regional de la Plana de la Galera. Se desarrollan en los niveles del Aptiense aunque hay pozos que extraen de niveles del Albiense. No se encuentra de forma homogénea por toda la extensión de la plana dada la basculación del zócalo y la disposición de niveles margosos directamente sobre el Barremniense.

Debido a la tectónica distensiva de la zona que da lugar a los bloques elevados y hundidos que se encuentran bajo el relleno terciario, estos niveles acuíferos no han sido perforados por toda la Plana de la Galera, existiendo un vacío de captaciones de agua subterránea que las alcancen en el entorno entre Mas de Barberans y La Sènia, donde el mesozoico se encuentra a mayor profundidad.

La profundidad de los pozos puede llegar hasta los 400 m con caudales de extracción de 0,5 a 5 L·s<sup>-1</sup>. En el pie de Ports de Tortosa-Beseit existen algunos pozos que captan de niveles jurásicos e incluso triásicos con caudales no superiores a 20 L·s<sup>-1</sup>, pero son muy locales. Las surgencias permanentes localizados en los Ports suelen tener un caudal de 20 a 35 L·s<sup>-1</sup>.

##### 4.4.2.2. Acuíferos de piedemonte (plio-cuaternario), terciarios y mesozoicos

Son acuíferos libres que se encuentran sobre el regional. La profundidad de los pozos que captan de estos acuíferos suele ser de 125-150 m, con niveles piezométricos en los acuíferos cuaternarios de 100 m snm a los pies de los Ports (entorno del barranco de La Galera) a 10 m snm en el entorno de Amposta. Los caudales de explotación de las captaciones que extraen de materiales plio-cuaternarios son del orden de 10 y 20 L·s<sup>-1</sup>. Observando la piezometría general (ver Figura 4.4.a) estos niveles son superiores a los observados en los pozos que extraen del acuífero regional en toda la extensión de la zona de estudio.

Existen niveles acuíferos en materiales cenomanienses (Mesozoico), que están conectados en su mayoría con los niveles cuaternarios, mostrando coherencia y conservando el gradiente de la piezometría general. Los caudales de extracción de las captaciones son del orden de 15 a 35 L·s<sup>-1</sup>. En el entorno de Santa Bárbara y Godall aparecen niveles piezométricos pertenecientes a estos mismos materiales del Cenomaniense por debajo de la cota del nivel del mar y otros con cota de 80 m snm, considerándose que pueden pertenecer a estas series acuíferas, pero desconectadas por la disposición de los materiales en profundidad debido a la tectónica distensiva que caracteriza la zona.



#### 4.4.2.3. Acuíferos aluviales ligados al río Ebro

Se trata de un acuífero semiconfinado y ocasionalmente libre que puede ofrecer en pozos bien desarrollados caudales superiores a  $30 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  por captación, y que en algunos casos superan los  $100 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  (pozos de Vinallop para abastecimiento complementario al Camp de Tarragona). La profundidad de los pozos suele ser en torno a los 50 m y el nivel piezométrico está ligado a la cota de la lámina de agua del río Ebro, generalmente por encima.

#### 4.4.3. Interacción entre acuíferos

Dado que la situación piezométrica permite diferenciar dos sub-unidades principales (Figura 4.4.a) para verificar la conectividad o no conectividad hidráulica entre el acuífero regional de materiales mesozoicos y los acuíferos de piedemonte en la zona de la Plana de La Galera, se han representado los hidrogramas de niveles piezométricos de puntos de control localizados en la zona y de los cuales se conoce su nivel de extracción, comparándolos a su vez con el hidrograma de pluviometría correspondiente a la estación de Mas de Barberans (en el Anexo 4 se desarrolla el estudio de estaciones meteorológicas y dicha estación puede considerarse como representativa la Plana de La Galera; ver selección de puntos de control en el Anexo 5.2) y así observar la respuesta del nivel piezométrico frente a los eventos de precipitación (Figuras 4.4.3. a-c).

Se pueden distinguir varios comportamientos en los hidrogramas de niveles: (1) respuestas rápidas a los eventos de lluvia pero con fluctuación de pocos m snm que representarían la recarga producida por eventos de precipitación local perteneciente a los acuíferos libres de la zona. (2) Otro con las mismas características pero con retardo en la respuesta de la subida de niveles, lo que estaría representando recarga de eventos de lluvia producida aguas arriba en cotas más altas. (3) Y respuestas inmediatas y en algunas ocasiones con cierto retardo respecto al momento en el que se producen los eventos de precipitación que representarían lluvias producidas en la zona de los Ports cuya recarga al acuífero se traduce en ascensos de nivel piezométrico en los puntos de control de varios m snm, correspondiente a acuíferos confinados (Figuras 4.4.3. a-c).

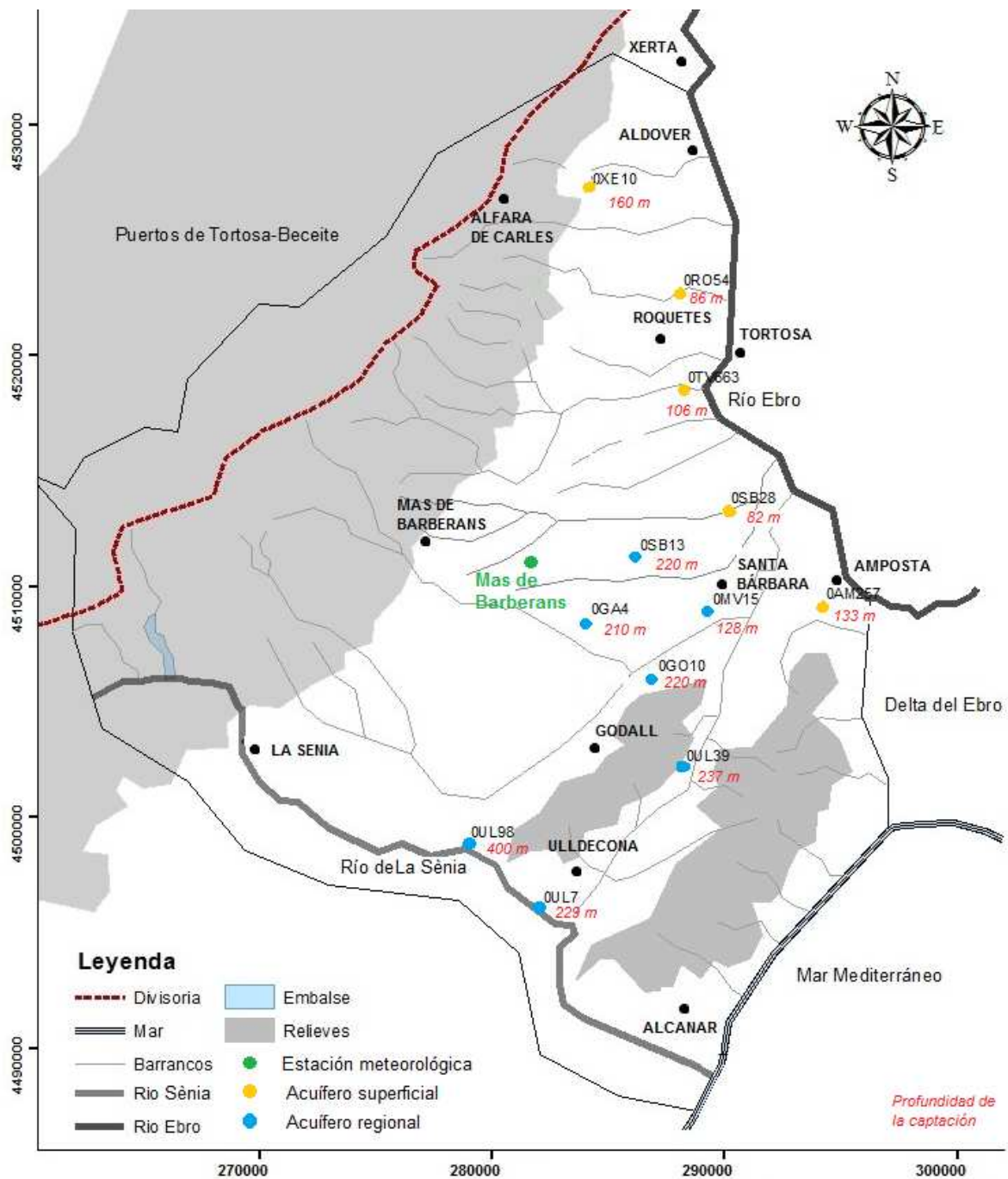


Figura 4.4.3.a. Localización y características de los puntos de control.

En el Capítulo 7 se intenta identificar la existencia de la transferencia de los recursos de Ports de Besit-Tortosa a la Plana de La Galera a través de los materiales de piedemonte.

En el acuífero aluvial, el nivel piezométrico está relacionado con el de la zona de descarga, por lo que no supera cotas de 10 m snm, siendo habitual 3-5 m snm. Además, está ligada a la piezometría regional actuando como zona de tránsito antes de la descarga al río Ebro.

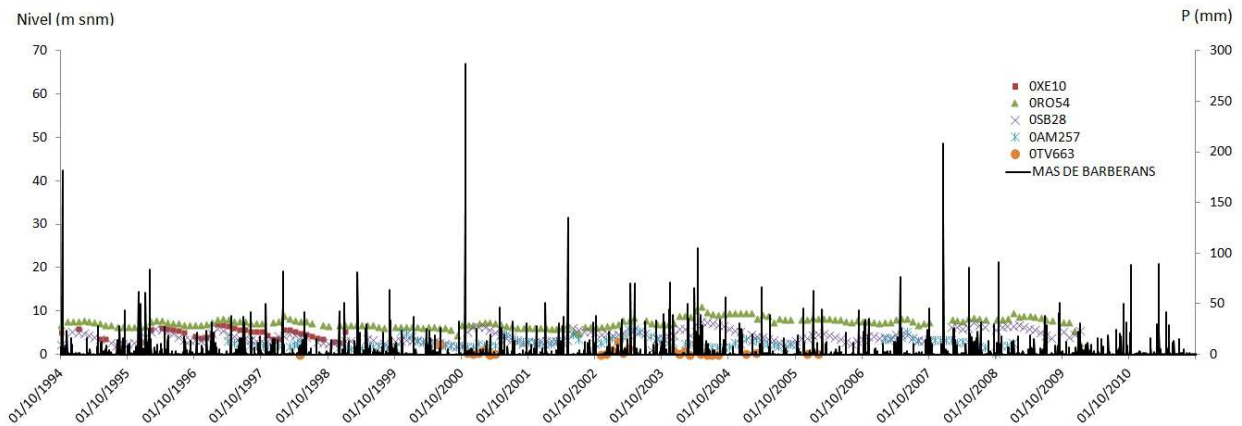


Figura 4.4.3.b. Hidrograma de niveles piezométricos de captaciones en materiales detríticos comparados con el hidrograma de pluviometría.

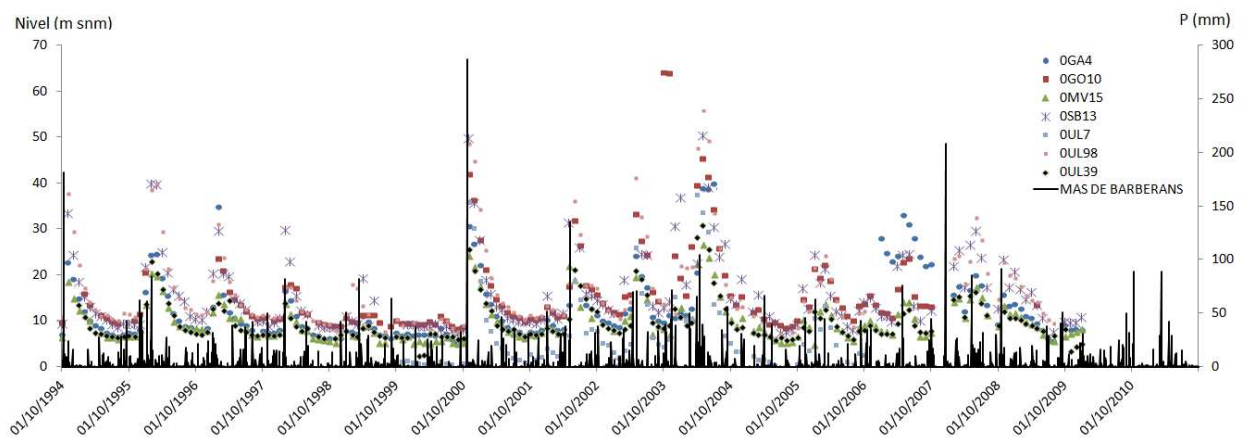


Figura 4.4.3.c. Hidrograma de niveles piezométricos de captaciones en materiales carbonáticos comparados con el hidrograma de pluviometría.

#### 4.5. COBERTERA VEGETAL Y USOS DEL SUELO

Según la base de datos de la Agencia Europea de Medio Ambiente, CORINE Land Cover (Coordination of Information on the Environment) el número total de usos de suelo en la zona de estudio es de 22 (Anexo A.6.2), los cuales, para simplificar su consideración, han sido agrupados en 4 según la su importancia en cuanto a superficie ocupada (Tabla 1.5). El criterio de selección de usos dentro de esas 4 agrupaciones ha sido el siguiente:

- Eliminar los polígonos menores de 375 ha, fusionándolos con el polígono colindante, dando prioridad a los polígonos de linde del mismo uso.
- Agrupar polígonos con cultivos de similar consumo de agua.
- Dar prioridad a las mayores concentraciones de polígonos de un mismo uso dentro de un área que contenga polígonos de uso diferente, que se encuentren aislados y cuyo uso carezca de significación en cuanto al regadío.

Tabla 4.5. Agrupaciones de usos de suelo y superficie ocupada.

Tipo y uso de suelo	Superficie (ha)	Descripción
Coníferas	34 602	Incluye flora de hoja grande y la clasificada como bosque mixto. Es importante su consideración para el cálculo de la recarga ya que este tipo de vegetación influye en la cuantificación de la ET. Predomina el pinar (>85%).
Matorral bajo	13 261	Incluye vegetación esclerófila, praderas, roca desnuda y superficie con escasa vegetación y cultivo en transición. Se considera también por su ser posibles áreas de recarga preferente.
Olivar	26 622	La mayor parte de la superficie agrícola es de secano, pero una superficie creciente está siendo cultivada con riego de apoyo por goteo. A esta última clasificación, dentro de la agrupación de olivar se incorporan el cultivo del algarrobo y del almendro, ya que los tres tipos tienen una dotación media de riego de 700-2000 m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> ·a <sup>-1</sup> (ver Anexo 6). Sólo se riega el 10-15%
Cultivo mixto (frutales)	26 327	Incluye los cítricos en su mayoría con cultivo muy aislado de melocotoneros, albaricoqueros y cerezos. La dotación del cítrico está entre 4000-5000 m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> ·a <sup>-1</sup> . El riego se realiza con agua subterránea, salvo la superficie de cultivo que queda por debajo de la cota 8 m snm junto al Ebro, que se riega con agua procedente del Canal de la Dreta de l'Ebre. También incluye las superficies urbanas, periurbanas e industriales por tener un área inferior a 375 ha y estar en las inmediaciones de estos cultivos.
Sup. total	100 812	

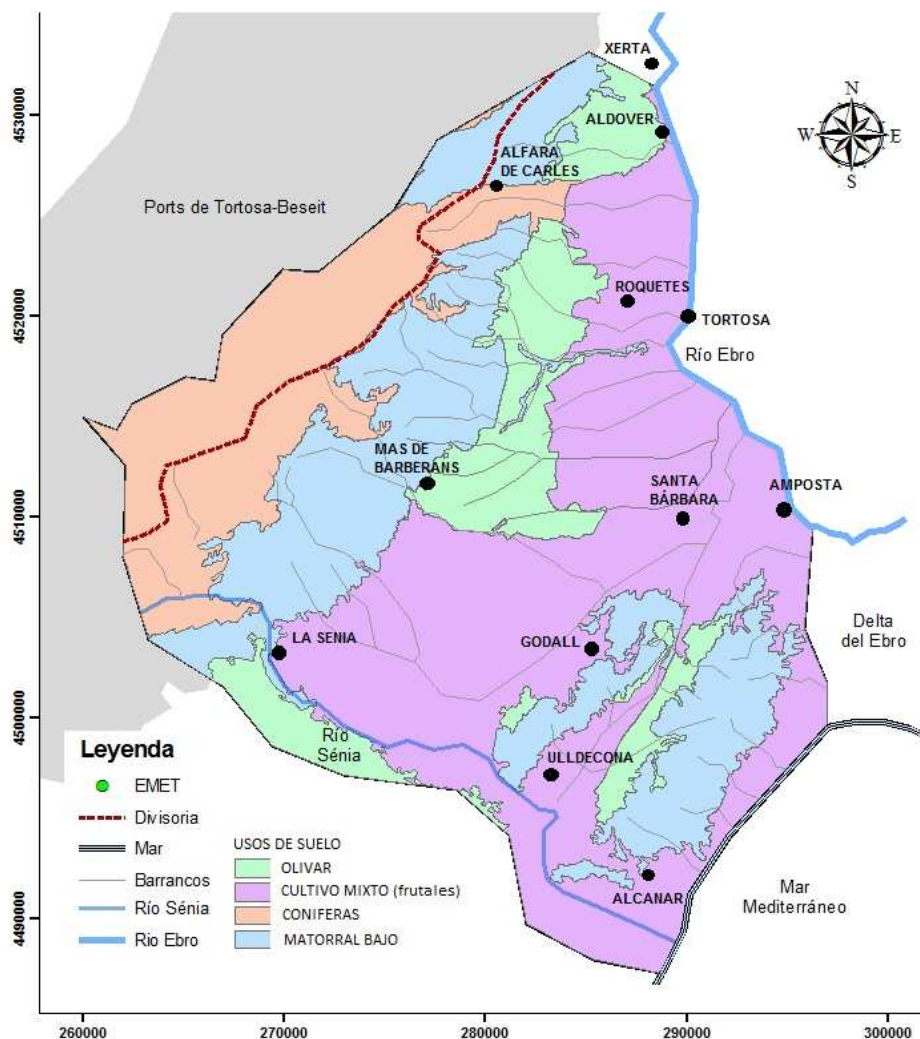


Figura 4.5. Distribución de usos de suelo en el Baix Ebre según fuente: <http://www.eea.europa.eu> (2011).

El mapa de la Figura 4.5 es el resultado de la síntesis de los datos oficiales publicados en <http://www.eea.europa.eu>. Según observaciones de campo existiría cultivo generalizado de olivar en el área comprendida entre La Sènia y Mas de Barberans limitando al NW con la base de los Ports. La superficie total considerada en estas clasificaciones de uso de suelo excede a los límites de la zona de estudio en una franja de 2-3 km para tener una visión más amplia de dichos límites. Dichas superficies recogidas en la Tabla 4.5 corresponden a la medida aproximada sobre el mapa de la Figura 4.5.

#### **4.6. CONDICIONES HIDROMÉTRICAS EN LOS CONTORNOS**

Los principales cauces presentes en la unidad hidrogeológica de los Ports de Beseit, ordenados de SW a NE, corresponden a los ríos Tastavins, Pena, Matarraña y Ulldemó (constituyendo la cabecera del río Matarraña), Algars y finalmente el río Canaleta. Todos ellos muestran curso meandriforme, adaptado a los cambios orográficos, que a su vez están condicionados por la geología-tectónica, con barrancos de mayor pendiente en cabecera y que se suavizan hacia la depresión del Ebro. La orientación de los cauces va de S a N en el sector occidental y cambia a SE-NW en el sector oriental.

A diferencia de los Ports de Beseit, en los Ports de Tortosa la red fluvial está compuesta por una serie de barrancos que recogen la descarga de los niveles acuíferos vinculados tanto a la masa de agua subterránea de Ports de Beseit como a la de Ports de Tortosa, desembocando en el margen derecho del río Ebro. Los barrancos de mayor entidad son los Barranco de Xalamera, Paüls, Conca, Lloret, Sant Antoni y La Galera (Figura 4.6.a).



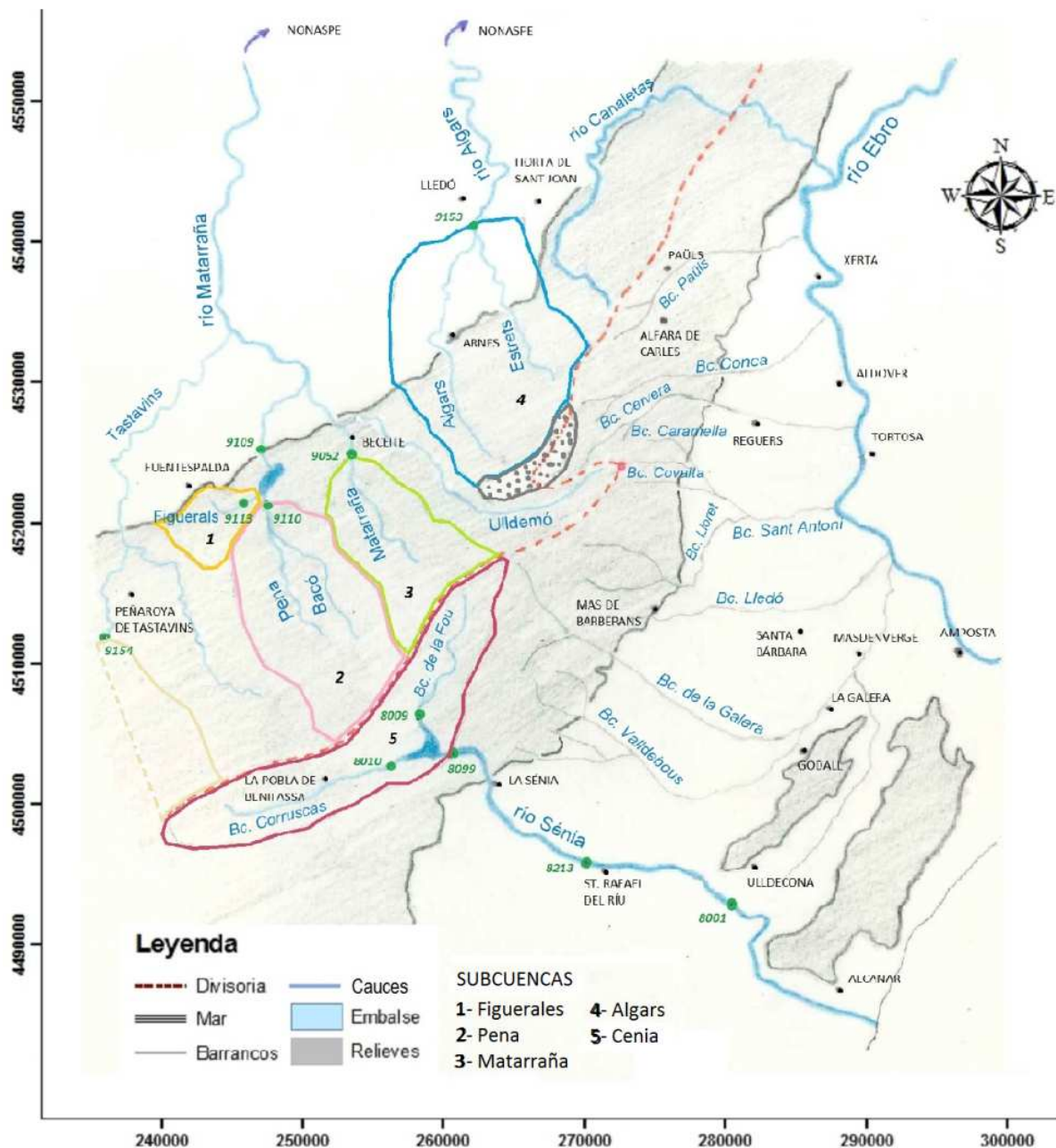


Figura 4.6.a. Distribución de la red fluvial de la zona de estudio y ubicación de subcuencas de la vertiente Matarraña.

Existen dos embalses construidos en la década de 1960, uno en la vertiente oeste, embalse de Pena, y otro en la vertiente este, embalse de Ulldecona, de 18 hm<sup>3</sup> y 11 hm<sup>3</sup> de capacidad respectivamente. En ambos casos el agua embalsada se destina al abastecimiento y riego.

A partir del inventario de puntos de control de agua superficial de la Confederación Hidrográfica del Ebro y de la Confederación Hidrográfica del Júcar se ha obtenido información de las 10 estaciones de aforo existentes en la zona de estudio. Actualmente todas están operativas excepto dos. En estas estaciones se dispone de los valores diarios de caudal desde su instalación y de análisis de química elemental realizados de los muestreos de las campañas de control, sin regularidad y continuidad definida (Anexo 1 y 3).

A partir de los datos recopilados de trabajos previos (Tourís, 1986; CHE, 1991; CHE, 2009; Badiella, 2009) y de los registros temporales de las estaciones de aforo, se ha realizado un estudio preliminar general de las condiciones hidrométricas de contorno y de los límites de la zona de estudio. Para ello se han tratado los datos diarios de caudales registrados en las estaciones de aforo para la serie temporal 1994-2010, obteniendo los volúmenes y aportaciones en el periodo, los que se comparan con los resultados del informe CHE (1991) (Tablas 4.6.a-b y Figura 4.6.a).

Por otro lado, con las series pluviométricas de las estaciones meteorológicas PN els Ports y Fredes y con los hidrogramas de aforo para el periodo 1994-2010 se ha realizado un estudio de la distribución de años húmedos y secos, en función de la desviación de la pluviometría acumulada anual respecto a la pluviometría media anual, existiendo coherencia entre los datos registrados por las estaciones de aforo y los eventos de lluvia registrados por las estaciones meteorológicas (Tabla 4.6.c).

Tabla 4.6.a. Volúmenes totales en el periodo correspondiente a cada estación, extraídos de los hidrogramas elaborados a partir de datos hidrométricos de las estaciones de aforo (volúmenes en  $\text{hm}^3$ ; Q: caudal mínimo en  $\text{Ls}^{-1}$ ).

PERIODO	ID	ESTACIÓN	Volúmenes en el periodo				Q min
			VT	VSS	VS	VL	
1994-2010	9113	Figuerales	1.98	1.76	0.22		0.00
1949-1978	9113	Figuerales	6.09				0.00
1994-2010	9110	Pena (Beceite)	41.15	37.82	3.33		0.00
1947-1978	9110	Pena (Beciete)	161.2				57.87
1969-1978	9109	Pena (Valderrobles)	75.6				
1994-2007	9052	Matarraña (Ulldemó)	110.22	50.65	9.65	49.92	0.58
1931-1978	9052	Matarraña (Ulldemó)	662.7				555.56
1974-1978	9176	Matarraña (Nonaspe)	232.8				
1994-2010	9153	Algars (Horta SJ)	331.45	296.13	35.32		0.00
1966-1978	9153	Algars (Horta SJ)	432				138.89
1974-1978	9177	Algars (Nonaspe)	95.2				
1967-1978	9154	Tastavins					
1958-1976	8009	Cenia (Bc de la Fou-mas Retor)	165.38	148.99	16.39		0.00
1945-1974	8009	Cenia (Bc de la Fou-mas Retor)	217.5				0.00
1946-1976	8010	Cenia (Bc. Corruscar-Mangraners)	81.43	61.96	19.47		0.00
1957-1974	8010	Cenia (Bc Corruscar- Mangraners)	85				0.00
1928-1957	8099	Cenia (salida embalse 1)	364.67	201.42	52.67	110.58	0.00
1961-2013	8099	Cenia (salida embalse 2)	1380.62	1132.51	84.24	163.87	0.00
1993-2007	8099	Cenia (salida embalse 3)	259.18				
1928-2013	8099	Cenia (salida embalse)	1888.29				0.00
1928-1974	8099	Cenia (salida embalse)	1465.8				763.89
1912-1930	8001	Ulldecona Molí	410.78	308.63	41.74	60.41	0.00
1991-2013	8213	Los Bancalots (SRafael del riu)	239.21	137.16	34.88	67.17	0.00
1993-2007		EMBALSE DE ULLDECONA					
		Entradas	181.71	128.38	53.33		0.00
		Salidas	175.94				

\*V: volúmen (T: total, SS: escorrentía zona vadosa, S: escorrentía superficial, L: de escorrentía lenta).

Tabla 4.6.b. Aportaciones anuales extraídos de los hidrogramas resultantes de la elaboración de datos hidrométricos de las estaciones de aforo (S: superficie en km<sup>2</sup>).

PERIODO	ID	ESTACIÓN	Años	S	Aportaciones medias anuales							
					hm <sup>3</sup> a <sup>-1</sup>				mm a <sup>-1</sup>			
					AT	ASS	AS	AL	AT	ASS	AS	AL
1994-2010	9113	Figuerales	16	55	0.12	0.11	0.01		2.25	2.00	0.25	
1949-1978	9113	Figuerales	29	55	0.21				3.82			
1994-2010	9110	Pena (Beceite)	16	49	2.57	2.36	0.21		52.49	48.24	4.25	
1947-1978	9110	Pena (Beciete)	31	49	5.20				106.12			
1969-1978	9109	Pena (Valderrobles)	9	79	8.40				106.33			
1994-2007	9052	Matarraña (Ulldemó)	13	48	8.48	3.90	0.74	3.84	176.63	81.17	15.46	80.00
1931-1978	9052	Matarraña (Ulldemó)	47	48	14.10				293.75			
1974-1978	9176	Matarraña (Nonaspe)	4	1260	58.20				46.19			
1994-2010	9153	Algars (Horta SJ)	16	115	20.72	18.51	2.21		180.14	160.94	19.20	
1966-1978	9153	Algars (Horta SJ)	12	115	36.00				313.04			
1974-1978	9177	Algars (Nonaspe)	4	335	23.80				71.04			
1967-1978	9154	Tastavins	11	42	12.70				302.38			
1958-1976	8009	Cenia (Bc de la Fou-mas Retor)	18	41	10.00	8.28	0.91		224.09	201.88	22.21	
1945-1974	8009	Cenia (Bc de la Fou-mas Retor)	29	41	7.50				182.93			
1946-1976	8010	Cenia (Bc Corruscar-mas Vidre)	30	48	3.00	2.07	0.65		56.55	43.03	13.52	
1957-1974	8010	Cenia (Bc Corruscar-mas Vidre)	17	48	5.00				104.17			
1928-1957	8099	Cenia (salida embalse 1)	29	97	12.57	6.95	1.82	3.81	129.64	71.60	18.72	39.31
1961-2013	8099	Cenia (salida embalse 2)	52	97	26.55	21.78	1.62	3.15	273.72	224.53	16.70	32.49
1993-2007	8099	Cenia (salida embalse 3)	52	97	4.98				51.38			
1928-2013	8099	Cenia (salida embalse)	85	97	22.22				229.02			
1928-1974	8099	Cenia (salida embalse)	42	97	34.90				359.79			
1912-1930	8001	Ulldecona Molí	18	97	23.00	17.15	2.32	3.36	235.27	176.76	23.91	34.60
1991-2013	8213	Los Bancalots (SRafael del riu)	22	130	11.00	6.23	1.59	3.05	86.64	47.96	12.20	23.49
1990-1991	*6	Canaletas 1	1		4.70	1.30		3.4	87.64			
1990-1991	*7	Canaletas 2	1		21.00				88.64			
1990-1991	*8	Barranc Paüls	1		1.40	0.10		1.3	89.64			
1990-1991	*9	Barranc de la Conca	1		5.70	4.60		1.1	90.64			
1990-1991	*11	Barranc de la Vall Cervera	1		3.80	1.80		2	91.64			
1993-2007		EMB ULLDECONA										
		Entradas	14	126	12.98	9.17	3.81		103.01	72.78	30.23	
		Salidas	14	126	12.57				99.74			

\*A: aportación (T: total, SS: escorrentía zona vadosa, S: escorrentía superficial, L: de escorrentía lenta).

Tabla 4.6.c. Años húmedos y secos para las estaciones de aforo y estaciones meteorológicas del área de estudio (H: húmedos, M: medios, S: secos)

Periodo	Estaciones meteorológicas		Estaciones de aforo				Embalse Ulldecona
	PN els Ports	Fredes	Figuerales	Pena	Ulldemó	Algars	
1994-1995	M	S	S	S	S	S	M
1995-1996	M	S	S	S	S	S	M
1996-1997	M	S	S	S	S	S	S
1997-1998	M	S	S	S	S	S	S
1998-1999	M	S	S	S	S	S	S
1999-2000	S	S	S	S	S	S	S
2000-2001	H	H	H	H	H	H	M
2001-2002	H	H	H	H	H	H	M
2002-2003	H	H	H	H	H	H	H
2003-2004	H	H	H	H	H	H	H
2004-2005	S	M	S	S	S	S	M
2005-2006	S	M	S	S	S	S	M
2006-2007	S	M	S	S	S	S	M
2007-2008	H	H	S	H	SD	M	M
2008-2009	S	S	S	S	SD	S	M





Tabla 4.7. Comparación de resultados del balance hídrico subterráneo medio de la Plana de La Galera en distintos estudios. Se presenta a título informativo y al único efecto de presentar el orden de magnitud de las cifras.

ENTRADAS ( $\text{hm}^3 \text{ a}^{-1}$ )	LOASO (1985)	ANSON Y YAÑEZ (2010)
Recarga directa por precipitación	26	27,9
Aportes laterales subterráneos de Ports de Beseit-Tortosa	45	28,6
Recarga por infiltración de aportes laterales superficiales*	4,6	2,9
Retornos de riego	7,7	0,4
Retornos de pérdidas en red de abastecimiento		0,1
<b>TOTAL ENTRADAS (<math>\text{hm}^3 \text{ a}^{-1}</math>)</b>	<b>83,3</b>	<b>60,1</b>
SALIDAS ( $\text{hm}^3 \text{ a}^{-1}$ )		
Descarga subterránea al aluvial del Ebro	45,6	75,1
Descarga subterránea litoral	6,9	4,4
Bombeos	30,8	10,1
<b>TOTAL SALIDAS (<math>\text{hm}^3 \text{ a}^{-1}</math>)</b>	<b>83,3</b>	<b>89,6</b>
<b>VARIACIONES ALMACENAMIENTO (<math>\text{hm}^3 \text{ a}^{-1}</math>)**</b>	<b>0</b>	<b>-29,3</b>

\* término no identificado y supuesto como aporte de manantiales de las formaciones de Ports de Tortosa-Beseit.

\*\* Las variaciones de almacenamiento de Anson y Yáñez (2010) son debidas a la infravaloración de las extracciones totales en la zona y en la dificultad que entraña la cuantificación de los aportes laterales subterráneos de Ports de Beseit-Tortosa.

## CAPÍTULO 5. INFORMACIÓN EXPERIMENTAL

### 1.1. INFORMACIÓN EXISTENTE Y FUENTES DE DATOS

Se ha llevado a cabo una búsqueda bibliográfica para adquirir datos generales y específicos sobre el área de aplicación. Como parte de la investigación bibliográfica se incluye la obtención de datos con registro histórico, para lo cual ha sido fundamental la puesta a disposición de los mismos por las Administraciones públicas que colaboran con este proyecto: bases de datos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), Agència Catalana de l'Aigua (ACA), Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE), Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ) y Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea (FCIHS)).

Los organismos que se ocupan de mantener y recopilar la información de las redes de control del agua subterránea en el área de estudio son la ACA desde su oficina de Tortosa y la CHE desde su sede en Zaragoza. La ACA facilitó el acceso al inventario de puntos de agua (IPA) interno y la información facilitada por la CHE es de acceso público a través de su web. A partir de este IPA se ha generado y completado una base de datos extensa con información de hidrometría, química elemental e isotópica.

Se dispone de estudios hidrogeológicos previos con información descriptiva del área de investigación, que incluyen datos del inventario de puntos de agua de la ACA (Touris, 1986; CHE 2008; Badiella, 2009; Ansón y Yañez, 2010) los cuales han sido completados con información piezométrica, química elemental e isotópica ambiental durante el desarrollo de esta Tesis Doctoral. Otra fuente de información general ha sido la Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea (FCIHS) con los trabajos de curso realizados en el Baix Ebre. En cuanto a los datos previos existentes de agua de lluvia, se han recuperado los datos de los análisis de iones mayoritarios de agua de lluvia del colector de agua de lluvia TMM PA y de la estación ES03 (Alcalá, 2005).

### 1.2. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

La base de datos desarrollada durante este estudio parte del IPA que la Agència Catalana de l'Aigua puso a disposición de esta investigación. Este IPA cuenta con un total de 4526 puntos identificados, todos ellos captaciones de agua subterránea, 3155 pertenecientes a la comarca del Baix Ebre y 1371 a la comarca del Montsià (ambas consideradas en este trabajo como Baix Ebre). Para desarrollar la base de datos de esta Tesis Doctoral se hizo una selección de puntos de interés basándose en la ubicación de los puntos y en la información disponible de cada punto, primando la información sobre la perforación,

existencia de registro piezométrico histórico del punto y análisis químicos completo del mismo (ver Anexo 1). Como resultado la base de datos cuenta con un total de 352 registros del IPA y con una ampliación de 72 nuevos puntos entre pozos, sondeos y manantiales registrados y muestreados durante el desarrollo de esta Tesis Doctoral (Tabla 5.2.a y 5.2.b).

Tabla 5.2.a. Inventario de puntos de agua seleccionados de la Agència Catalana de l'Aigua.

Tipo de punto	Número de registros	Registro piezométrico histórico	Química elemental completa
Pozos	335	26	106
Sondeos	17	12	7
Total	352	36	113

Tabla 5.2.b. Ampliación de inventario de puntos de agua de la ACA durante el desarrollo de esta tesis doctoral.

Tipo de punto	Número de registros	Nivel puntual puntual	Química elemental completa	Isótopos
Pozos	13	11	9	27
Sondeos	7	7	1	2
Manantiales	52		33	25
Total	72	18	43	45

De los 36 puntos que tienen registro piezométrico histórico se han seleccionado 20 para el estudio de hidrometría. El criterio de selección se ha basado en la continuidad del registro piezométrico en el tiempo y en la información sobre las características constructivas del punto de captación (Figura 5.2.a y Anexo 1).

En cuanto a las características constructivas de estas captaciones, se apunta que ha sido necesario reprofundizar algunas de ellas a lo largo del tiempo por bajo rendimiento del pozo en niveles superiores, aunque no es el caso de los puntos seleccionados para el estudio de hidrometría. Además, en alguno de estos casos, hay falta de sellado entre sistemas acuíferos, por lo que estos puntos de captación además pueden ser vías preferenciales de transferencia de los recursos de los diferentes materiales.

La mayor densidad de puntos se concentra en el N-NE y SE del área de estudio. Esta distribución es debida la disposición de materiales potencialmente acuíferos de agua subterránea que existe en la zona. La mayor parte de los pozos extraen agua de niveles profundos asociados al acuífero regional. Otros explotan de materiales de edad terciaria. La mayoría de los pozos son para uso agrícola o de abastecimiento de grandes poblaciones, como Santa Bárbara, Amposta y Tortosa. Existe un vacío de perforaciones, y por tanto de información, entre las poblaciones de Mas de Barberans, La Sènia y Els Valentins debido a la gran profundidad a la que se encuentran los posibles materiales acuíferos y a los intentos fallidos de captación de agua subterránea en esta zona.

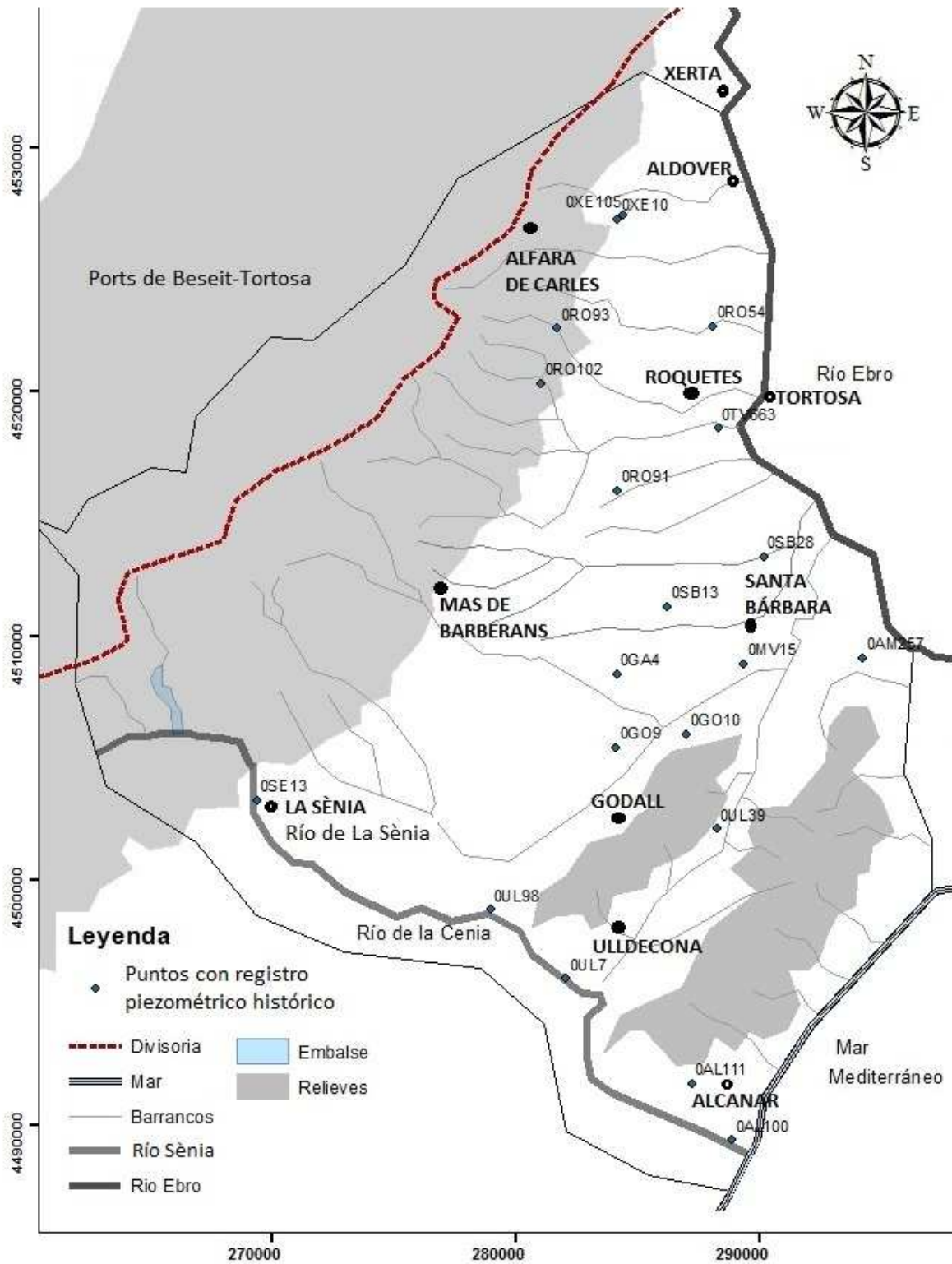


Figura 5.2.a. Distribución de captaciones de agua subterránea con registro piezométrico histórico continuo.

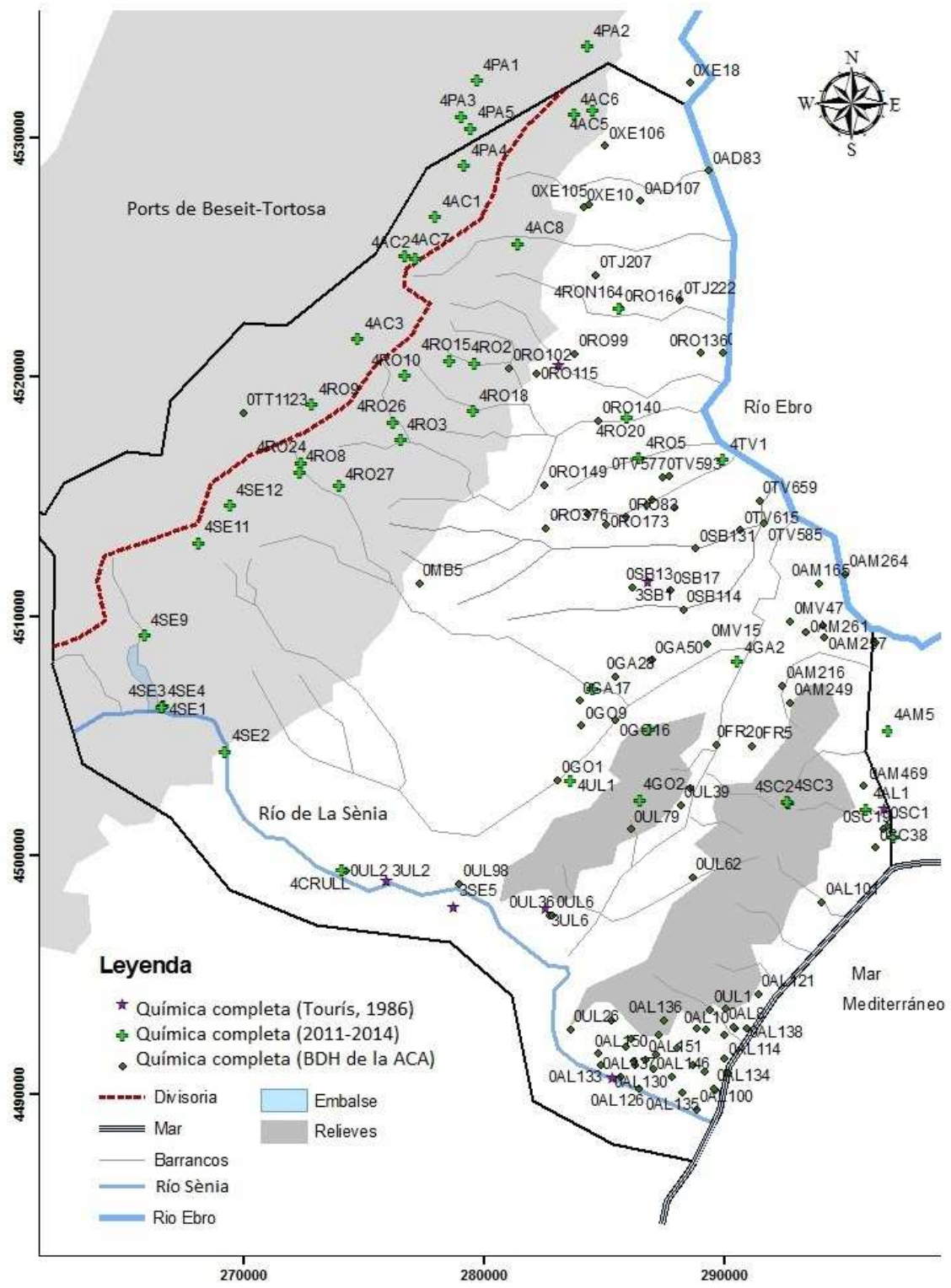


Figura 5.2.b. Distribución de los puntos con información química elemental completa de agua subterránea.



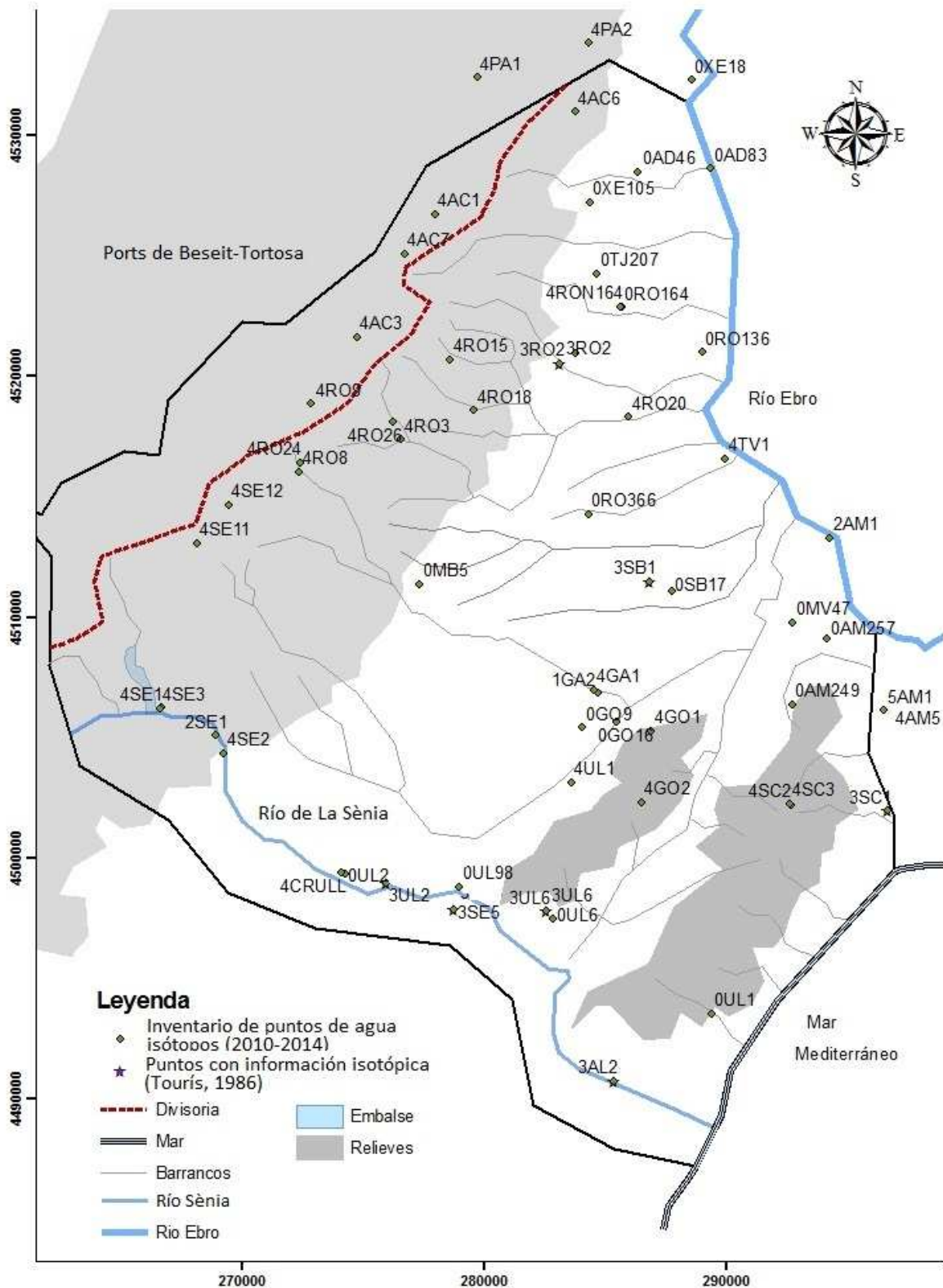


Figura 5.2.c. Distribución de los puntos con información isotópica de la molécula de agua subterránea.

De los 113 puntos de la red de control de la ACA con información de química elemental se han seleccionado 101 puntos con análisis pertenecientes a pozos, con un total de 417 análisis. Al existir puntos con repeticiones de análisis a lo largo del tiempo se ha podido realizar un estudio de la



variabilidad temporal de la química del agua subterránea. Por otro lado se cuenta con dos trabajos con estudio de la química de las aguas subterráneas: Tourís (1986); Ansón y Yáñez (2010). Los análisis realizados en el trabajo de Ansón y Yáñez (2010) fueron repeticiones de puntos registrados en la base de datos de la ACA, por lo que se han utilizado para completar el estudio de la variabilidad temporal de la composición de las aguas subterráneas. Los 9 puntos analizados en Tourís (1986) se han utilizado para completar el registro de la base de datos de la ACA.

A partir de dichos análisis se procedió a estudiar la distribución espacial de los puntos con análisis completos. Se observó que faltaba información sobre la química de las surgencias naturales de la zona, localizadas en su mayoría en Ports de Beseit-Tortosa y en los macizos de Godall y Montsià. Dicha ausencia de información se justifica por la dificultad de acceso y a la falta de información de detalle para encontrar dichas surgencias. Para completar el estudio sobre las mismas se procedió a la organización de un programa exhaustivo de muestreo de manantiales que se desarrolló en 2 subcampanas invierno-verano durante dos años (2011-2013) con la intención de ampliar el registro espacialmente y observar la variabilidad estacional y temporal de los mismos, ampliándose el registro con 33 puntos. A su vez se amplió el registro con 11 puntos nuevos de captaciones de agua subterránea (Figura 5.2.b y Anexo 1).

En cuanto a la información isotópica previa disponible, se ha recuperado la información de 9 puntos con análisis de  $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$  y  $^3\text{H}$  recopilados en Tourís (1986). Se ha completado con un total de 54 análisis de  $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$ , y en 41 de dichas muestras se han realizado también análisis de  $^3\text{H}$  (Figura 5.2.c y Anexo 1).

### 1.3. MUESTREO DEL AGUA DE LLUVIA

Se han instalado 9 colectores de agua de lluvia distribuidos en todo el área de estudio, configurando 3 perfiles longitudinales de mayor a menor cota topográfica, con el fin de poder apreciar posibles influencias tanto altitudinales como de situación en función de la distancia a la línea de costa y consecuente influencia del aerosol marino. Para su ubicación también se ha tenido en cuenta la proximidad a pluviómetros en funcionamiento para poder obtener la pluviometría acumulada en el periodo de tiempo muestreado y compararla con la pluviometría estimada a partir del volumen de agua recolectada en el colector (Figura 5.3 y Tabla 5.3).

Ocho de los colectores se instalaron en diciembre de 2010. El noveno colector fue instalado en diciembre de 2011 en el Observatori de L'Ebre con vistas a poder prolongar la serie de datos de deposición total de ión cloruro obtenida en ese mismo punto durante el desarrollo de la tesis de F.J. Alcalá (Alcalá, 2005), donde también se dispone de una serie de datos de deposición húmeda de la estación permanente automática de captación de agua de lluvia ubicada en este mismo punto y utilizada para estudios de calidad del aire. Los muestreos se han llevado a cabo desde diciembre 2010-febrero de 2011 hasta febrero de 2014.

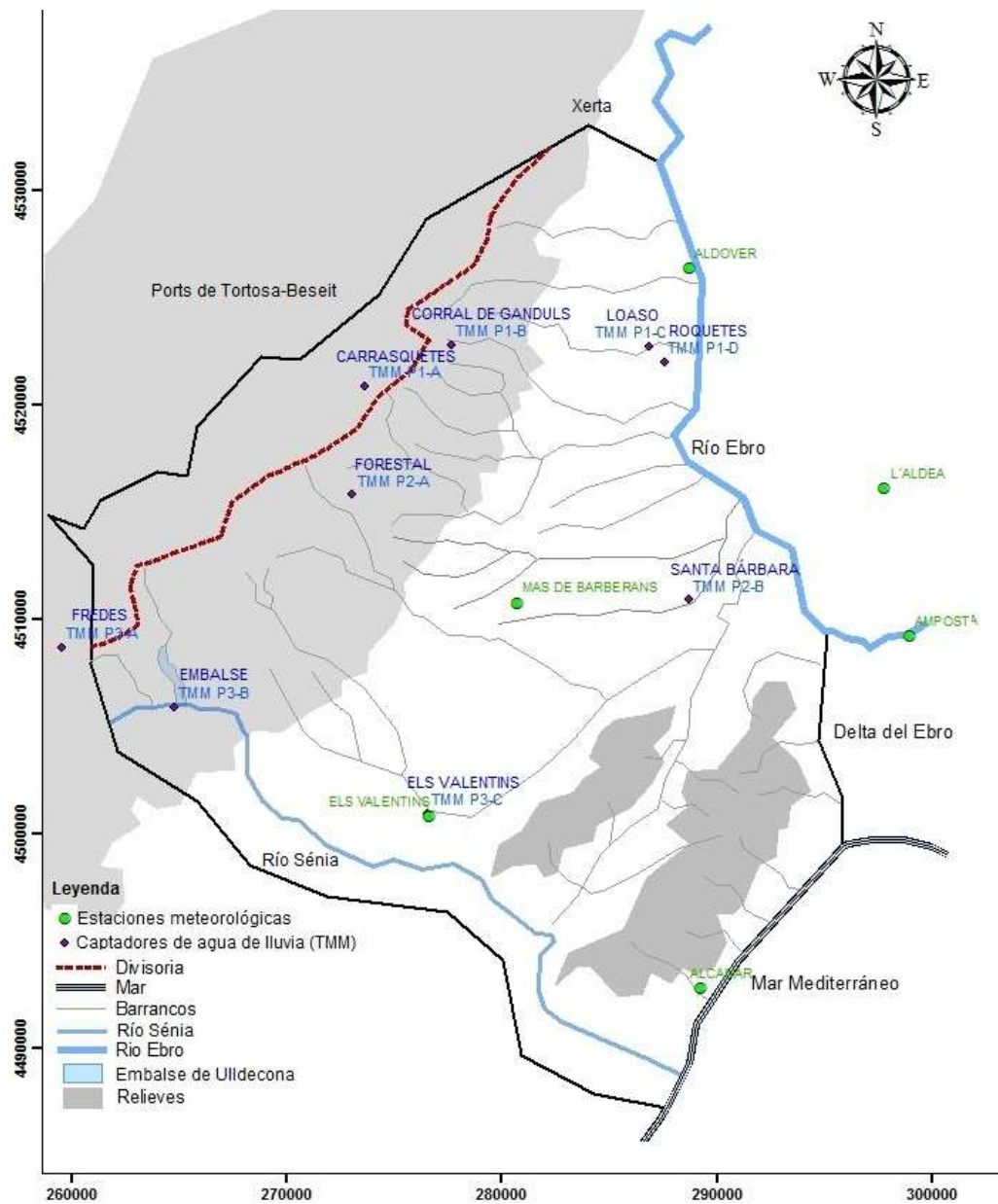


Figura 5.3. Ubicación de los colectores de agua de lluvia (TMM = tomamuestras; P1-2-3 = perfil al que pertenecen; A-B-C-D = emplazamiento de mayor a menor cota topográfica). Situación de las estaciones meteorológicas más cercanas.

Tabla 5.3. Datos geográficos de las estaciones de muestreo de agua de lluvia en el Baix Ebre.

Estación	Toponimia	X (m)	Y (m)	Z (m snm)
TMM P1-A	Carrasquetes	274731	4520916	1010
TMM P1-B	Corral de Ganduls	278761	4522814	575
TMM P1-C	Loaso	287976	4522766	40
TMM P1-D	Roquetes	288696	4522023	49
TMM P2-A	Forestal	274194	4515835	590
TMM P2-B	Santa Bárbara	289837	4510943	54
TMM P3-A	Fredes	260660	4508741	1050
TMM P3-B	Embalse	265897	4505944	500
TMM P3-C	Els Valentins	277684	4500991	210

Las muestras de agua de lluvia se han recogido con frecuencia mensual o bimensual, tras eventos de precipitación, salvo en el periodo de estiaje que puede llegar a ser trimestral por ausencia de lluvias. Para evitar la pérdida de muestra de agua de lluvia por evaporación durante el periodo de tiempo que permanece el agua precipitada en el tomamuestras se coloca una capa de 2 mm de parafina en el vaso graduado.

En la recogida de la muestra de agua de lluvia se mide el volumen total de agua recogido en el vaso graduado para realizar una estimación aproximada de la precipitación caída durante el periodo de muestreo y así comparar con la precipitación registrada en la estación meteorológica más cercana al punto de muestreo. Para el análisis se recoge como máximo 1,5 L de agua de lluvia, que es la capacidad de la botella de muestreo que se utiliza en este estudio. La parafina contenida en la muestra es retirada en el laboratorio. Cada vez que se realiza un muestreo se vuelve a depositar 1-2 mm de espesor de esta sustancia para evitar la evaporación de la muestra de lluvias futuras. El procedimiento de montaje de los colectores de agua de lluvia se describe en Anexo 2.2.

#### **1.4. MUESTREO DEL AGUA SUBTERRÁNEA**

Los muestreos tuvieron lugar durante las campañas de campo programadas para invierno y verano de los años 2011, 2012 y 2013. El volumen de las muestras es de 1,5 L de agua subterránea para análisis de iones mayoritarios y para sílice. Los pozos muestreados son entubados y con bomba; se ha dejado funcionar el pozo de 15 a 20 minutos antes de ejecutar el muestreo para asegurar la renovación del agua del pozo. En las surgencias naturales (manantiales) la muestra se ha tomado directamente del punto en que mana el agua.

#### **1.5. MÉTODOS ANALÍTICOS DE LABORATORIO**

##### **1.5.1. Química elemental**

El análisis de química elemental se ha ejecutado en el laboratorio Hidroanalítica S.L. con los siguientes métodos:

- pH: electrométrico con electrodo de vidrio.
- Conductividad: puente de Wheatstone.
- Alcalinidades: volumétrico.
- Cloruros: método de Mohr.
- Sulfatos: complexometría con EDTA sódico y acetato de plomo en medio hidro-alcohólico en presencia de indicador.
- Nitratos: espectrometría de absorción molecular con ácido sulfosalicílico.
- Sodio y Potasio: espectrometría de absorción atómica.
- Calcio y Magnesio: valoración con EDTA.
- Sílice: espectrometría de absorción molecular con molibdato amónico.

### 1.5.2. Isótopos de la molécula de agua

El análisis de isótopos estables de la molécula de agua de la primera campaña 2011 se ha realizado en el laboratorio de isotopía ambiental de la Universidad de Salamanca mediante equilibrio con CO<sub>2</sub> para determinación de  $\delta^{18}\text{O}$  (‰) SMOW en un espectrómetro de tipo flujo continuo modelo Isoprime y reducción del agua a H<sub>2</sub> con Cr para la determinación de  $\delta^2\text{H}$  (‰) SMOW en un segundo espectrómetro de tipo flujo continuo modelo Isoprime.

Las muestras obtenidas en las campañas posteriores (2012-2013) se han analizado en el laboratorio de isotopía ambiental de la Universidad de Málaga, a través de la Universidad de Barcelona, con equipo de espectroscopía láser (CRDS, cavity ring-dong spectroscopy) modelo I2120i-CRS = WS-CRDS, previa filtración a 0,45  $\mu\text{m}$ .

El análisis de tritio ( $^3\text{H}$ ) (UT) de las muestras obtenidas en las campañas 2011-2013 se ha realizado en los laboratorios de isotopía ambiental del CEDEX (Madrid) con concentración electrolítica y medición en contador de centelleo líquido de muy bajo fondo.



## CAPÍTULO 6. HIDROQUÍMICA DEL AGUA DE LLUVIA

Para la estimación de la recarga mediante el balance de la deposición atmosférica de ión cloruro es necesaria la obtención de la deposición de ión cloruro atmosférica, la cual se calcula a partir de la composición química del agua de lluvia y de la magnitud de la misma (Capítulo 3.3.2 y Capítulo 8.3). En primer lugar se ha realizado un estudio de caracterización del agua de precipitación a partir de su química elemental y de su composición isotópica. Dicho estudio ha sido completado con datos recuperados de trabajos previos (Anexo 2.1). Posteriormente se ha calculado la deposición atmosférica total de ión cloruro.

### 6.1. ANTECEDENTES EN EL ÁREA DE APLICACIÓN

Durante el periodo de tiempo octubre 2002-septiembre 2003 se llevó a cabo una campaña de muestreo de agua de lluvia mediante la instalación de un colector temporal (TMM PA) en el Observatori de l'Ebre, Roquetes (Tortosa) con el fin de obtener la concentración de cloruro atmosférico y poder estimar la deposición atmosférica total de ión cloruro para la estimación de la recarga y elaboración de una cartografía a escala regional de la misma (Alcalá, 2005). Además, se pudo hacer una comparación entre la deposición atmosférica total y la deposición atmosférica húmeda puesto que en el Observatori de l'Ebre hay un recinto destinado a medidas de carácter meteorológico donde existía un colector automático de agua de lluvia (ES03) del que se analizaba la deposición atmosférica húmeda, con datos desde 1987 a 2003 (Anexo 2.1.1).

De los resultados de comparar el periodo común (2002-2003) de la estación de muestreo de deposición total (TMM PA) y la de deposición húmeda (ES03) se observa que:

- La precipitación registrada en el colector de deposición total (TMM PA) y la registrada en el pluviómetro automático del Observatori de l'Ebre no coinciden, siendo mayor la registrada en el TMM PA.
- Para el TMM PA se obtiene: deposición atmosférica anualizada  $A_p = 1,12 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$  y concentración de cloruro promediado por la lluvia anual  $\text{Cl} = 1,85 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ .
- El valor de concentración de cloruro atmosférico es superior generalmente para la estación de deposición húmeda (ES03) salvo para los periodos de muestreo en los que la precipitación es inferior a los 20 mm.

Se han recuperado los datos de los análisis de iones mayoritarios de agua de lluvia del TMM PA y de la estación ES03 (Alcalá, 2005), donde se observa que las concentraciones de sales aumentan para periodos de muestreo secos, ya sea en verano como en invierno, sin embargo, la concentración de cloruro atmosférico no muestra variaciones significativas estacionales (Anexo 2.1.2).

## 6.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA E ISOTÓPICA AMBIENTAL DEL AGUA DE LLUVIA EN EL PERIODO 2010-2014

Este estudio tiene dos enfoques: analizar (1) la evolución temporal de concentraciones de ión cloruro para cada colector y (2) la distribución espacial para cada muestreo y posteriormente la evolución temporal de dicha distribución espacial. Para ello se ha realizado un estudio de la química elemental y de los isótopos del agua de lluvia (ver análisis en Tablas de Anexo 2.2.5-6). Para su análisis se ha procedido a la instalación de nueve colectores de precipitación distribuidos en perfiles altitudinales cubriendo la zona de estudio (Figura 6.2) con muestreo de la precipitación de periodicidad mensual o bimensual. Los muestreos realizados y considerados para el análisis aparecen recogidos en el Anexo 2.2.3.

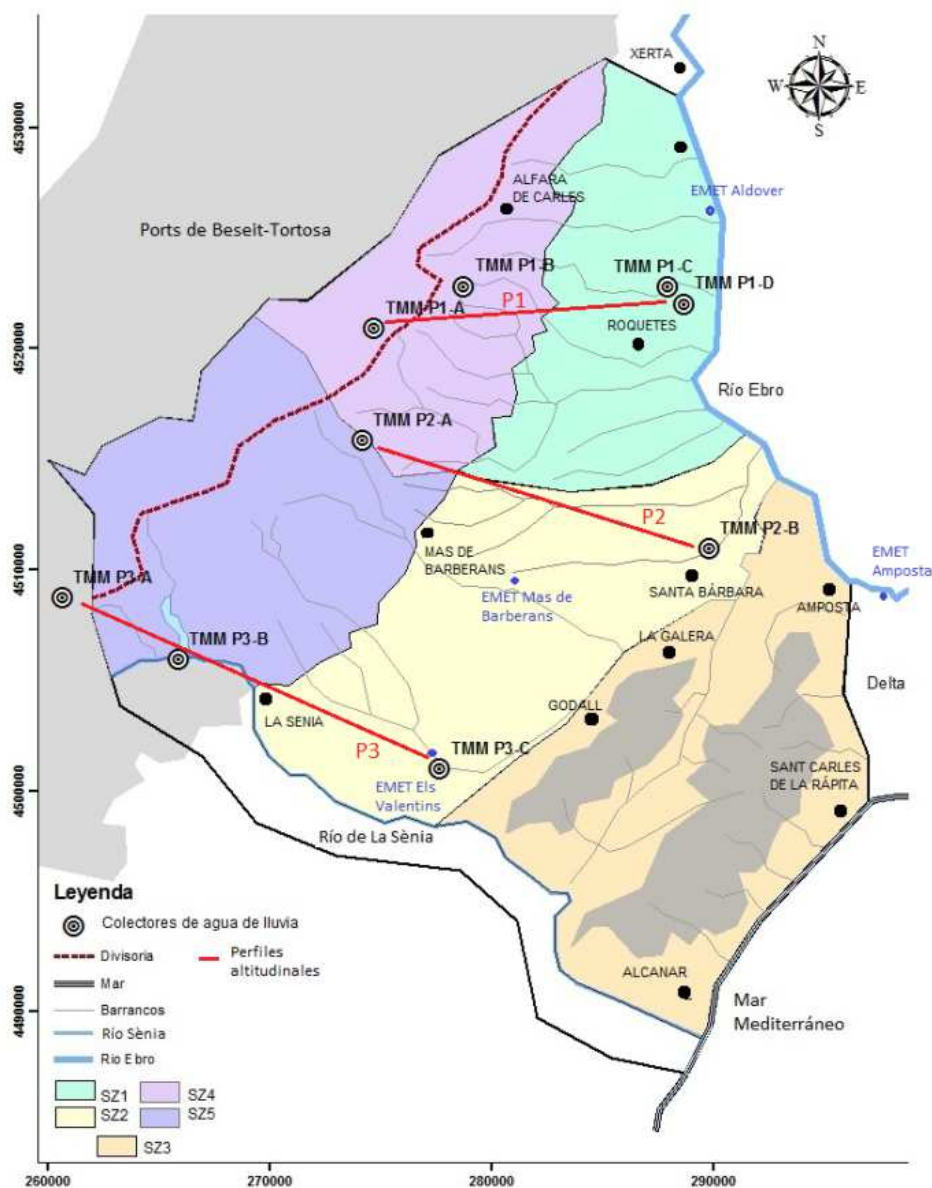


Figura 6.2. Ubicación de los colectores de agua de lluvia (TMM = tomamuestras; P1-2-3 = perfil al que pertenecen; A-B-C-D = emplazamiento, de mayor a menor cota topográfica). Situación de las estaciones meteorológicas más cercanas.



### 6.2.1. Química elemental de agua de lluvia

Se ha representado mediante columnas verticales logarítmicas (Figuras 6.2.1.a-d) la concentración de iones mayoritarios de las muestras recogidas en los colectores totalizadores de agua de lluvia (TMM, ver Anexo 2.2.5) para ver la composición general de las lluvias acontecidas en la zona y si se pudiera, hacer una clasificación. Para el gráfico que representa el TMM P1-C y TMM P1-D se ha añadido el rango de concentraciones media registrado en la estación ES03 (deposición húmeda), con los percentiles 25 y 75 haciendo de límite inferior y superior del rango respectivamente, para comparar la composición de la deposición húmeda con la deposición total atmosférica, sirviendo de herramienta para estudiar de nuevo la importancia de la deposición seca en la zona.

Para los análisis de la estación ES03 no se dispone de datos de  $\text{HCO}_3$  por lo que se ha considerado que la concentración de  $\text{NO}_3$  puede servir como equivalente.

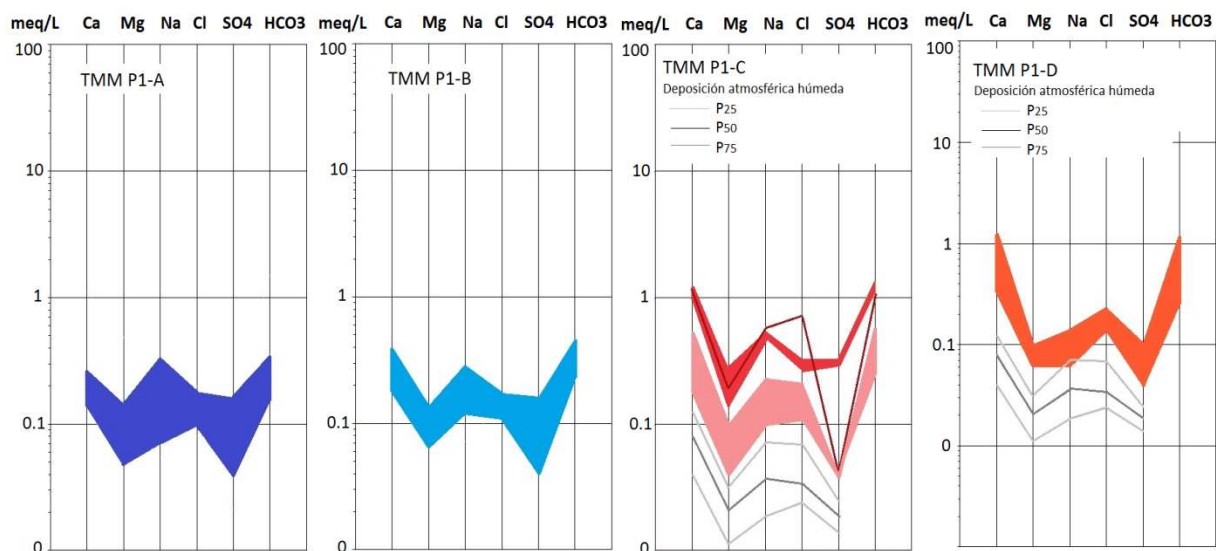


Figura 6.2.1.a. Diagrama Schoeller-Berkaloff de las muestras de agua de lluvia de los TMM P1-A\_D (los diferentes tonos dentro de un mismo diagrama reflejan concentraciones diferenciadas en el agua muestreada en el colector de agua de lluvia).

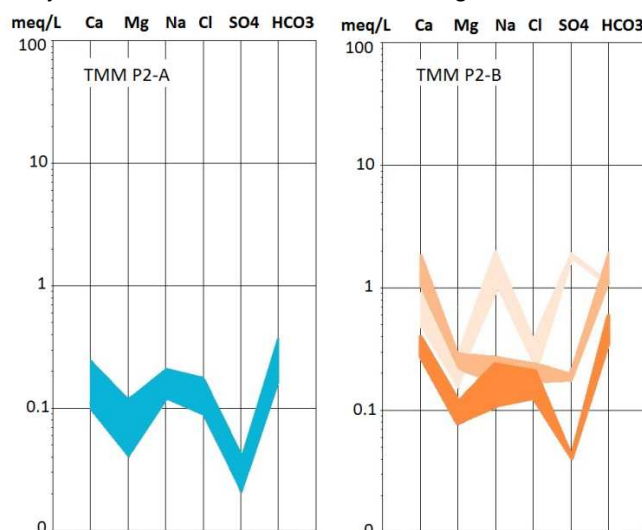


Figura 6.2.1.b. Diagrama Schoeller-Berkaloff de las muestras de agua de lluvia de los TMM P2-A y P2-B (los diferentes tonos dentro de un mismo diagrama reflejan concentraciones diferenciadas en el agua muestreada en el colector de agua de lluvia).

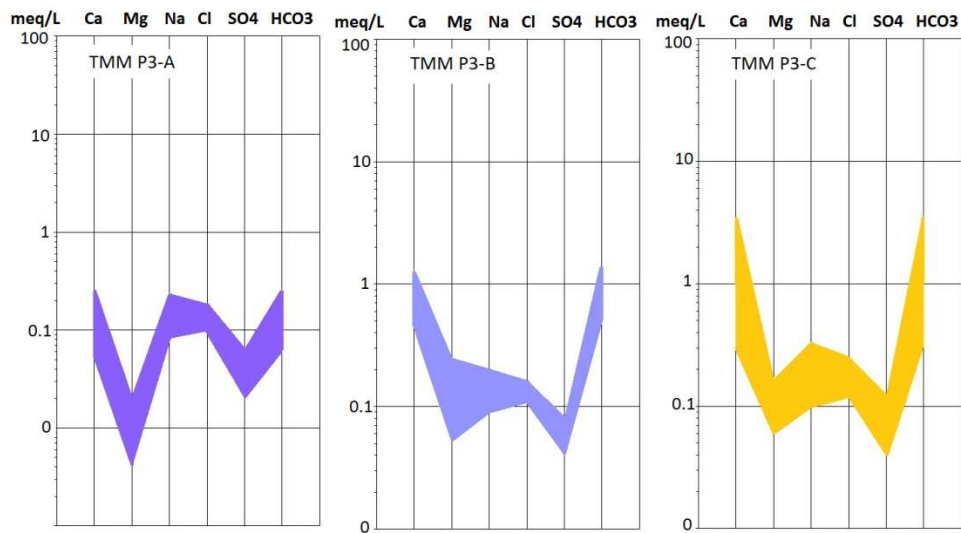


Figura 6.2.1.c. Diagrama Schoeller-Berkaloff de las muestras de agua de lluvia de los TMM P3-A, 3-B y 3C.

#### Observaciones:

- Se pueden distinguir dos tipos de lluvias. Unas con baja relación  $r_{SO_4/Cl}$  y otras con alta  $r_{SO_4/Cl}$ . El exceso de  $SO_4$  respecto al  $SO_4$  marino se podría explicar por la posible influencia de fuentes salinas del interior (cuencas yesíferas como los Monegros) o influencia de la Central Térmica de Andorra (Teruel)).
- En general todas presentan un exceso de Na respecto al Cl que podría estar relacionado con el exceso de  $SO_4$ . Esta observación se corrobora con la Figura 6.2.1.d en la que se observa como las muestras tienden a presentar un exceso de Na cuando el exceso de  $SO_4$  respecto al Cl es mayor. Lo que no parece tan correlacionable es el exceso de  $SO_4$  respecto al Cl con el aumento de concentración de Cl (Figura 6.2.1.d); por lo tanto el Cl no tiene por qué verse incrementado por las fuentes de aportación de  $SO_4$  que afectan a la zona. El exceso de Na respecto al Cl puede ser de aporte litogénico de algún tipo de silicato, corroborado por el alto contenido en potasio, típico de las aguas de lluvia cuando hay aporte por presencia de minerales silicatados. Para esclarecer este comportamiento del sodio se ha analizado la concentración de Si de la muestra de agua de lluvia agregada perteneciente a los meses de agosto y septiembre de 2013, para probar una posible aportación de sodio por disolución de polvo; la concentración tiene un valor medio de  $0,52 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , siendo un valor significativamente alto para ser agua de lluvia, con lo que podría atribuirse el origen del exceso de Na a una fuente de aportación de silicatos de sodio local (procedente del cemento –obras en la zona-), pero sin verificación clara.

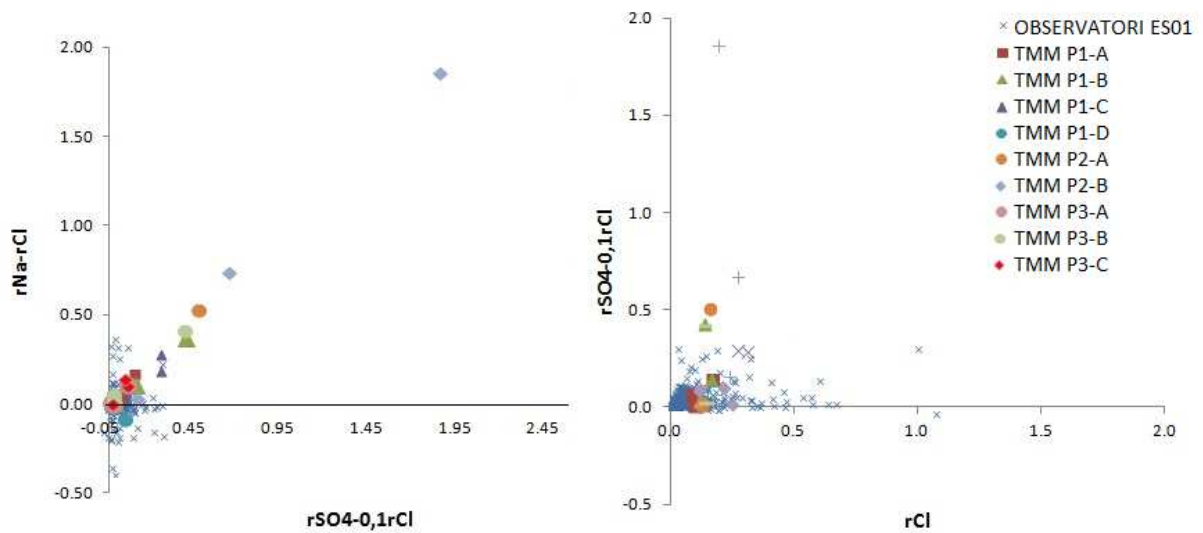


Figura 6.2.1.d. Exceso de Na respecto al exceso de  $\text{SO}_4$  y exceso de  $\text{SO}_4$  respecto al Cl.

- Existe también una alta concentración de bicarbonatos compensada por la disolución de carbonatos, mayormente carbonato cálcico en todos los TMM (ver  $r\text{Ca}/r\text{Mg}$ ), lo cual puede estar relacionado con la cierta recirculación atmosférica local y contaminación antrópica. Los valores bajos de bicarbonatos, como en el caso de diciembre para el TMM P3A se explican con una disminución del pH (Tabla A.2.2.5 en Anexo 2.2.5).

### 6.2.2. Isótopos ambientales del agua de lluvia

Los resultados isotópicos muestran valores más ligeros correspondientes a cotas altas y alejadas de la costa, siendo más ligeros los valores en invierno que en verano (Tabla A.2.2.6 en Anexo 2.2.6 y Figura 6.2.2.a). Además, el desplazamiento estacional es coherente, es decir, que las muestras más ligeras de cada campaña, tanto para julio como para diciembre, pertenecen a los mismos colectores de agua de lluvia, salvo para el colector TMM P2-B que muestra un mayor aligeramiento para la época invernal respecto a su homólogo de julio 2011. En julio de 2012, las muestras TMM P1-C, 1-D y 2B muestran efectos de evaporación.

Al comparar las Figura 6.2.2.a con la 6.2.2.b (muestras del periodo 2000-2012 de la estación de Roquetes (ES03) con datos proporcionados por de la Red de Vigilancia de Isótopos en Precipitación (REVIP), gestionada por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) en colaboración con la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)), se observa una coherencia de los análisis presentándose algo más evaporadas para la estación ES03, ya que durante el procedimiento de recolección de agua de lluvia no es posible que se haya producido fraccionamiento por evaporación en la muestra. Existen lluvias significativamente ligeras para representar zonas de baja cota (Roquetes-la Plana de La Galera) que pueden corresponder a eventos de lluvia de épocas húmedas.

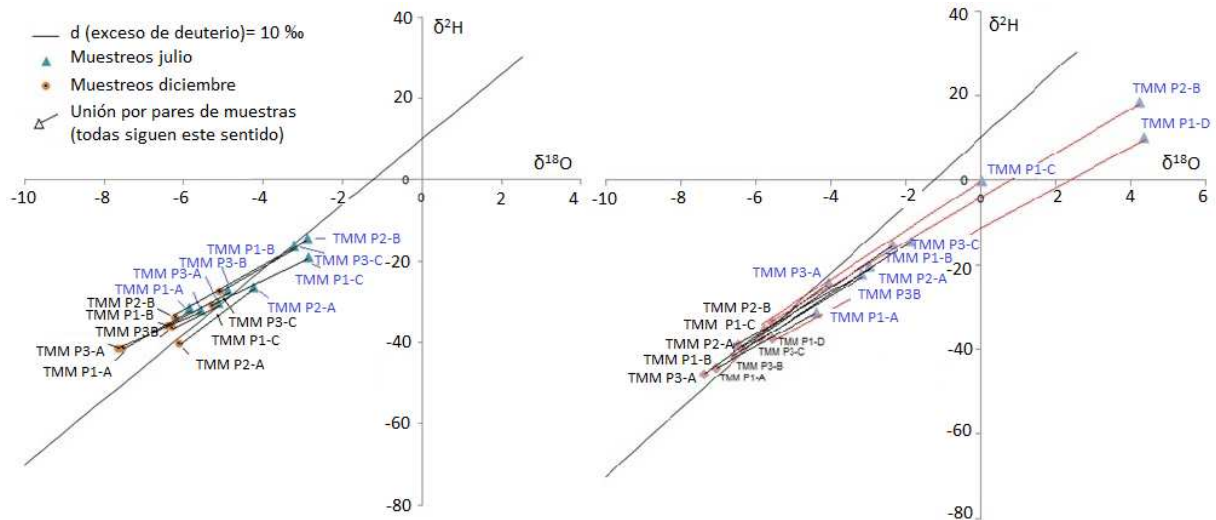


Figura 6.2.2.a. Representación de los valores isotópicos ambientales de agua de lluvia. Eje de abscisas representa  $\delta^{18}\text{O}$  y eje de ordenadas representa los valores de  $\delta^2\text{H}$  (año de muestreo 2011 (izquierda) y 2012 (derecha)).

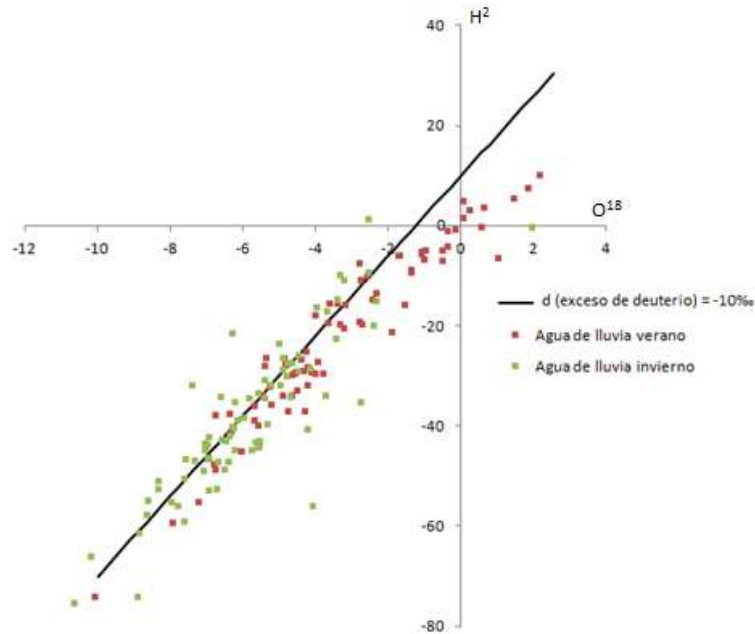


Figura 6.2.2.b. Representación de los valores isotópicos ambientales de agua de lluvia de la estación ES03 (Observatori de l'Ebre, Tortosa). Eje de abscisas representa  $\delta^{18}\text{O}$  y eje de ordenadas representa los valores de  $\delta^2\text{H}$  (periodo de muestreo 2000-2012).

Como se observa en la Tabla 6.2.3, el periodo de estudio actual es meteorológicamente seco, por lo que los valores de los isótopos estables pudieran ser más pesados que los que representaron en su día a lluvias en época más húmeda integradas en el agua de recarga muestreada actualmente. Este efecto ha de considerarse para el estudio isotópico de las aguas subterráneas de cara a la localización y caracterización de las zonas de recarga.

### 6.2.3. Cálculo de la deposición atmosférica de ión cloruro y discusión de los resultados

Con los resultados del análisis de la química elemental se ha calculado la deposición atmosférica total de ión cloruro (ver Tablas de resultados en Anexo 2.2.4) para la posterior estimación de la recarga media multianual (ver Capítulo 8.3).

Para la interpretación de los resultados ha de considerarse que no todas las lluvias contribuyen en los procesos de recarga y para determinar la representatividad de las concentraciones de ión cloruro, tanto en el agua de lluvia como en el agua de recarga para su integración dentro del balance de la deposición atmosférica de ión cloruro, es preciso tener una visión general de las características climatológicas del periodo de tiempo considerado. La evolución de la precipitación para el periodo de 1994 a 2011 se ha descrito en el Capítulo 4.2.

A continuación se presenta la precipitación media anual de los tres años de muestreo (2011-2014) y del periodo total de estudio (1994-2014) (ver Tabla 6.2.3).

Tabla 6.2.3. Precipitación media anual en cada periodo para cotas altas (Ports) y bajas (Plana).

Periodo	1994-2014		2011-2012		2012-2013		2013-2014	
P (mm·a <sup>-1</sup> )	Ports	Plana	Ports	Plana	Ports	Plana	Ports	Plana
	1100	560	1259	517	1247	698	621	394

Se observa que los dos primeros años de muestreo son húmedos respecto a la media del periodo 1994-2011 y el último año de muestreo seco respecto a la media del periodo 1994-2011.

En la Figura 6.2.3.a y 6.2.3.b se representa la concentración de ión cloruro del agua de lluvia y la tasa de deposición atmosférica total anual de ión cloruro para cada colector de agua de lluvia (Tablas de resultados Anexo 2.2.4).

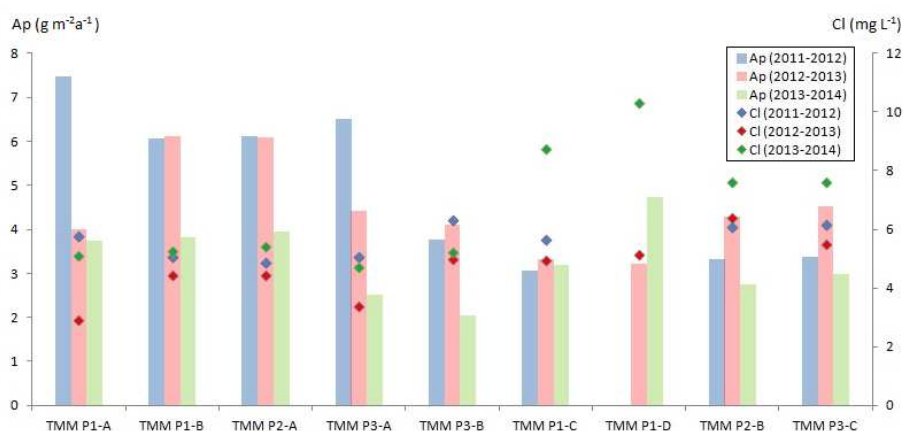


Figura 6.2.3.a. Distribución de cloruro atmosférico medio y deposición atmosférica total anual en la zona de estudio (feb 2011-feb 2012, mar 2012-feb 2013 y mar 2013-mar 2014).

Se obtiene una distribución general de cloruros similar para los tres años de muestreo (2011-2012, 2012-2013 y 2013-2014) salvo para los TMM P1-C y D en el periodo 2013-2014 con concentración de ión cloruro más elevada. Existe cierta tendencia al aumento de la concentración de cloruro atmosférico con la disminución de cota y la proximidad a la línea de costa (Figura 6.2.3.b).

Por otro lado se obtienen deposiciones atmosféricas de ión cloruro que son mayores para los dos primeros años que para el último, esto es debido a que su precipitación anual está por encima de la media del periodo considerado para el estudio y el último por debajo de dicha media (ver Tabla 6.2.3).

Los valores difieren del patrón espacial normalmente esperable en zonas costeras, consistente en la disminución progresiva de la tasa de deposición total atmosférica de cloruro tierra adentro y con la altitud (Alcalá 2005). En otros trabajos del proyecto REDESAC se está estudiando dicho fenómeno ya que parece no ser un caso aislado.

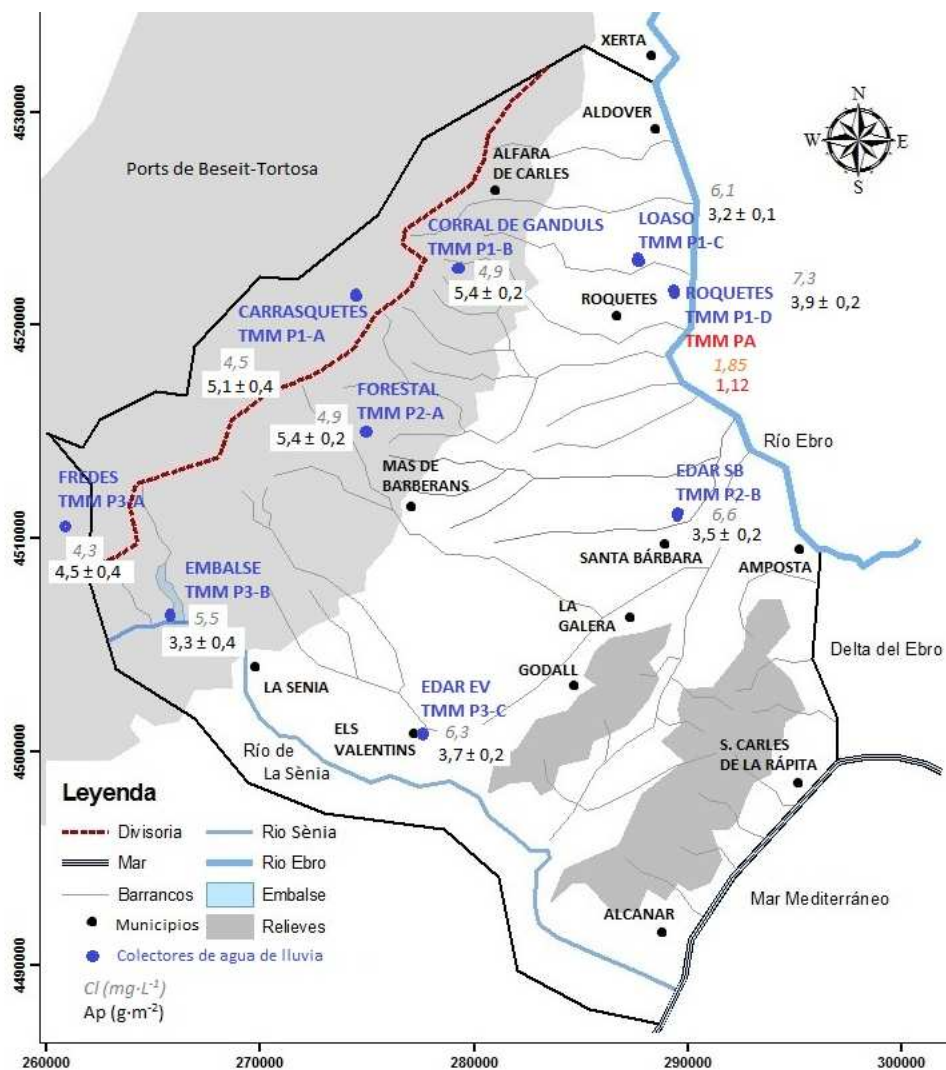


Figura 6.2.3.b. Distribución de cloruro atmosférico medio y deposición atmosférica total anual en la zona de estudio (feb 2011-mar 2013). Aparece incluido la Ap calculada para TMM PA-Roquetes representando el periodo anual 2002-2003.

Los valores altos de deposición atmosférica de ión cloruro y ubicados a suficiente distancia de la franja costera se explican por la mayor pluviosidad de Ports de Beseit-Tortosa combinada con una moderada disminución de la deposición atmosférica de cloruro con el aumento de la distancia a la costa, es decir, aunque la concentración de cloruro atmosférico sea menor, al existir una mayor tasa de precipitación, el valor de la deposición es elevado.

Si se compara el valor medio anual de deposición del periodo anual 2011-2012 y 2012-2013 del TMM P1-C (Loaso) con el del TMM PA (Roquetes, periodo 2002-2003) hay una diferencia significativa ya que la distancia entre los colectores es menor a 5 km y la diferencia de cota despreciable. Debido a la observación de esta diferencia se instaló un colector de agua de lluvia en la misma posición que TMM PA (Roquetes) en enero de 2011 para descartar errores en los análisis de 2002-2003. Se observa que la diferencia de la media acumulada anual de deposición total de ión cloruro para el mismo periodo (diciembre-noviembre) en los colectores TMM PA y TMM P1-D sigue siendo significativa.

A continuación se estudia de forma más detallada la coherencia entre las series obtenidas de octubre 2002-noviembre 2003 (TMM PA; Alcalá, 2005) en el tomamuestras ubicado en el Observatori de l'Ebre, con las obtenidas en el periodo 2012-2014 en el colectores TMM P1-D ubicado en el mismo lugar (Figura 6.2.3.c).

Se denominará serie 1 a la correspondiente al colector TMM PA en el periodo 2002-2003 (Tabla A.2.1.1.a en Anexo 2.1.1) y serie 2 a la correspondiente al colector TMM P1-D en el periodo 2012-2014 (Tabla A.2.2.4.c en Anexo 2.2.4)

En la serie 1 los valores mayores de deposición atmosférica corresponden a periodos con mayor precipitación acumulada. En la serie 2 en general el periodo es más seco, pero también se observa la tendencia a obtener una mayor deposición de cloruro atmosférico con los mayores eventos de lluvia para el periodo de muestreo. Sin embargo no ocurre lo mismo con la concentración de ión cloruro analizada, es decir, que no existe relación de la variación de la concentración de ión cloruro en función de la cantidad de pluviometría registrada.



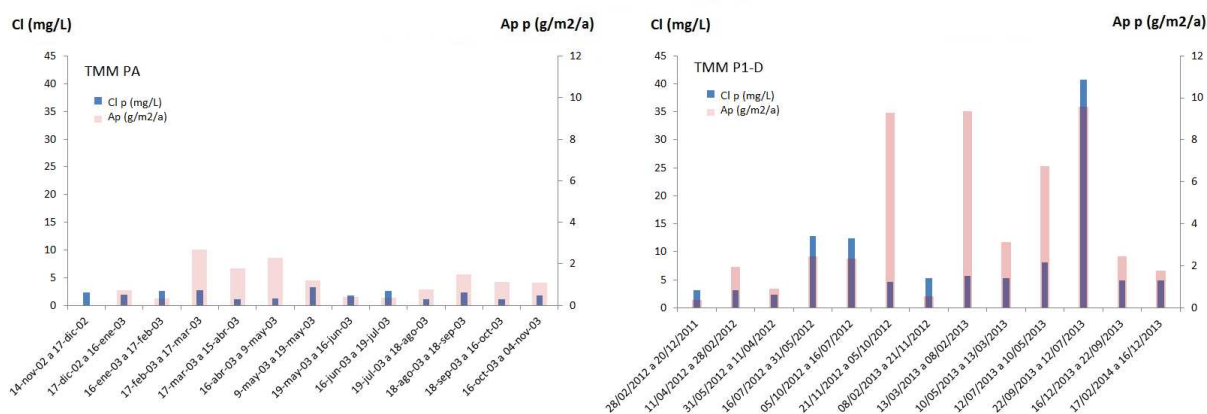


Figura 6.2.3.c. En el gráfico de la izquierda, se muestra la concentración de Cl atmosférico y distribución de deposición atmosférica total anualizada,  $Ap$  ( $g\ m^{-2}\ a^{-1}$ ) (Estación de Roquetes, periodos 2002-2003 y 2012-2014). En el gráfico de la derecha, la deposición atmosférica húmeda anualizada (Estación ES03, periodo 2002-2003).

Para hacer un estudio más detallado y poder deducir cuál es la fuente de cloruros predominante en el registro, se ha analizado de nuevo la serie de datos de deposición de cloruro atmosférico de deposición húmeda registrada por la estación emplazada en el mismo lugar para el periodo 1987-2003 (Tabla A.2.1.1.b en Anexo 2.1.1, Figura 6.3.d) y del periodo común con el TMM PA 2002-2003.

El periodo de 16 años muestra un valor medio de deposición atmosférica húmeda de ión cloruro, obtenida a partir del promedio de las aportaciones calculadas para cada muestreo en cada año analizado, de  $0,68\ g\ m^{-2}\ a^{-1}$  con una precipitación media de  $395\ mm\ a^{-1}$ , siendo para el periodo 2002-2003 de  $0,74\ g\ m^{-2}\ a^{-1}$  con una precipitación media de  $461\ mm\ a^{-1}$ . Para el colector TMM PA (2002-2003) la precipitación media es de 588 y la deposición total de  $1,09\ g\ m^{-2}\ a^{-1}$  y para el colector TMM P1-D (2011-2014) la precipitación media es de  $540\ mm\ a^{-1}$  con una deposición total de  $3,9\ g\ m^{-2}\ a^{-1}$ . Con lo que comparando la deposición húmeda con la total de ambos colectores totalizadores representa aproximadamente el 60 % del valor de deposición atmosférica total de ión cloruro para la serie 1 y el 20 % para la serie 2.

Dado que el valor de deposición total atmosférica que mejor encaja a nivel general en la zona es el del TMM P1-D (respecto al del TMM PA), se tomará este valor para evaluar el peso de la deposición seca en la zona. De esta manera, la deposición húmeda representa el 20% de la deposición atmosférica total de ión cloruro en la zona de estudio. Por tanto, en el Baix Ebre la deposición seca tiene una importancia relevante.

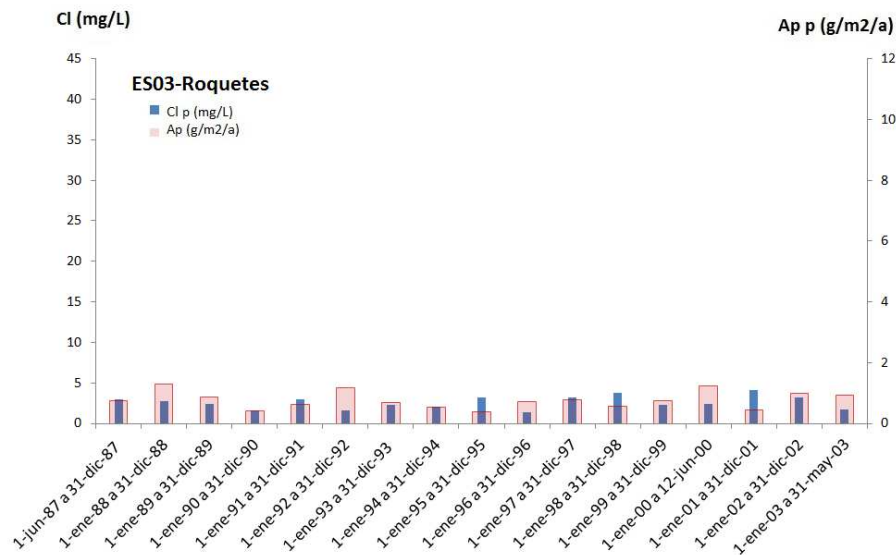


Figura 6.2.3.d. Concentración de Cl atmosférico y distribución de deposición atmosférica húmeda anualizada ( $Ap$  ( $g\ m^{-2}\ a^{-1}$ )).

Estación Roquetes (ES03), periodo (1987-2003).

Representando la distribución anual de la deposición atmosférica total para el periodo anual 2002-2003, para el periodo 2012-2014 y para el periodo correspondiente (2002-2003) de la estación ES03 (Figuras 6.2.3.c y 6.2.3.d) se observa en general que la deposición atmosférica de ión cloruro total depende directamente de la cantidad de precipitación del periodo muestreado, obteniéndose mayores valores para las épocas húmedas (primavera y otoño). Sin embargo, la concentración de ión cloruro tiene una distribución más homogénea a lo largo del año, obteniéndose mayores valores para periodos en los que la precipitación ha sido menor y cuando el periodo de muestreo ha sido más largo. Ello indica que la deposición atmosférica seca de ión cloruro en la zona de estudio es mayor que la húmeda, como era de esperar.

De forma general, para el periodo 2002-2003 los valores de cloruro oscilan entre 1 y 3  $mg\ L^{-1}$  y la deposición atmosférica total anual de ión cloruro entre 1 y 2,5  $g\ m^{-2}\ a^{-1}$  (Tabla A.2.1.1.a en Anexo 2.1). Para el periodo 2012-2014 los valores de cloruro oscilan entre 3 y 13  $mg\ L^{-1}$  (Tabla A.2.2.4.c en Anexo 2.2.4). Esta diferencia podría explicarse como una mayor acumulación de cloruro atmosférico tras periodos secos, si no fuera porque el muestreo de diciembre-febrero registró poca pluviometría y los cloruros también fueron bajos.



## CAPÍTULO 7. ORIGEN DEL AGUA SUBTERRÁNEA Y SU RECARGA

El objetivo principal es caracterizar la composición química elemental e isotópica del agua de recarga para deducir su origen y verificar el modelo conceptual de flujo y el sistema de recarga que tiene lugar en el Baix Ebre, para poder implementar de manera correcta el balance de deposición atmosférica de ión cloruro con los valores medios representativos de concentración de ión cloruro del agua de recarga o que se relacionen con el patrón de flujo.

### 7.1. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Para la caracterización se han recopilado todos los análisis completos existentes, tanto previos a este estudio como generados durante el mismo (Anexo 3.1).

#### 7.1.1. Variabilidad temporal

Primeramente se ha hecho una evaluación global de los análisis, seleccionando los 38 puntos existentes con análisis repetidos en el tiempo y estudiando su variabilidad temporal. Para ello se han utilizado gráficos de columnas verticales logarítmicas. Salvando algunas anomalías por problemas de muestro, identificación o circunstancias especiales, se ha observado que la composición química de las aguas subterráneas es constante a lo largo del tiempo (Anexo 3.2). Por tanto, se ha seleccionado para cada punto con repetición de análisis el más representativo en base a la media de concentración en iones mayoritarios. El total de puntos que caracterizan las aguas subterráneas de la zona de estudio (incluyendo los 38 puntos del estudio de variabilidad temporal) son 121 (Tabla Anexo 3.2).

#### 7.1.2. Distribución espacial

Una vez realizada la selección de todos los análisis representativos se ha hecho un estudio de la distribución espacial. Con la distribución espacial se pretende verificar la primera hipótesis que se propone de modelo conceptual de funcionamiento para el cual existen 2 tipos de recarga diferenciados: (1) recarga en los materiales mesozoicos que afloran en los Ports de Beseit-Tortosa y en los macizos de Godall-Montsià, cuya agua pasaría a formar parte de las reservas del acuífero regional mesozoico y (2) recarga local en materiales terciarios en la Plana de La Galera.

Dada la cantidad de puntos representativos de la zona y considerando tanto el material acuífero del cual extraen el agua como su localización en la zona de estudio, se ha recurrido al estudio de gráficos de columnas verticales logarítmicas (Schoeller-Berkaloff), clasificando las aguas en 7 grupos, los cuales se han representado sobre el mapa de la zona de estudio con gráficos modificados de Stiff para mostrar la distribución espacial y la posible evolución sobre líneas preferentes de flujo (Figuras 7.1.2.a a 7.1.2.e).

Todas las aguas subterráneas de la zona de estudio tienen como característica común una marca litológica bicarbonatada cálcica ligeramente magnesiana. Por tanto los iones que producen las diferencias que caracterizan los grupos son Cl, SO<sub>4</sub> y Na (Tabla 7.1.2 y Figuras 7.1.2.a, b y c). En las Figuras 7.1.2 se muestran la bandas que engloban la mayoría de representaciones y las representaciones extremas, que pueden corresponder a anomalías en la agrupación.

Tabla 7.1.2. Clasificación y características de cada grupo, además del dominio de HCO<sub>3</sub> y Ca

Clasificación	Descripción
Grupo 1	Cl < SO <sub>4</sub> Cl ≈ Na
Grupo 2	Cl >> SO <sub>4</sub> ≈ Na
Grupo 3	Cl >>SO <sub>4</sub> Cl > Na
Grupo 4	Na << Cl ≈ SO <sub>4</sub>
Grupo 5	Cl > SO <sub>4</sub> ≈ Na
Grupo 6	Cl ≈ SO <sub>4</sub> ≈ Na
Grupo 7	Cl ≈ Na < SO <sub>4</sub>

En las Figuras 7.1.2.a-c se observa de forma clara la división de los 7 grupos recogidos en la Tabla 7.1.2. Existe una marca diferenciada para los grupos 2, 3 y 5, con predominio de los iones Na y Cl respecto al SO<sub>4</sub> que es una característica típica de la composición de agua de lluvia muestreada en los colectores de agua de lluvia instalados y operados para este estudio.

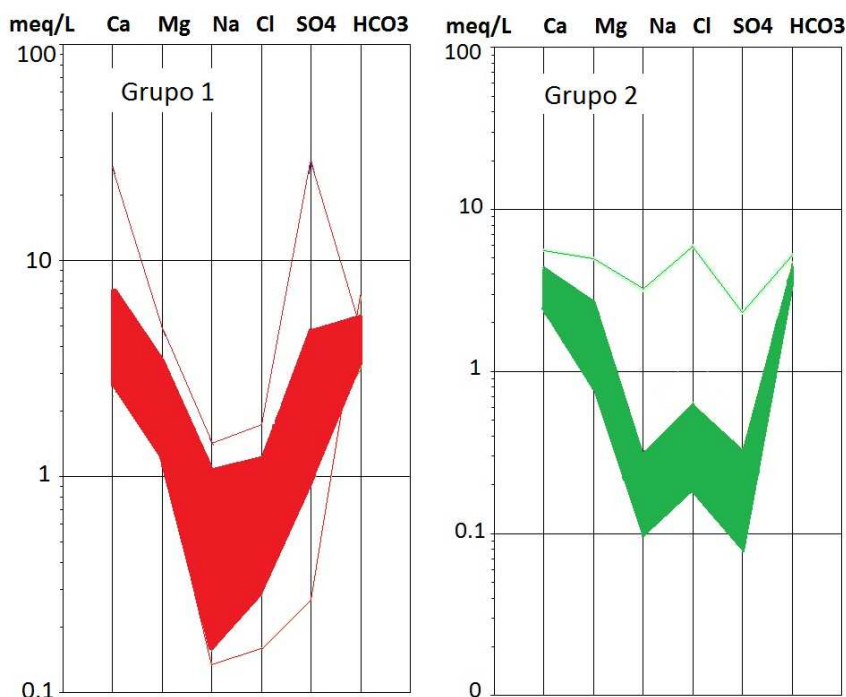


Figura 7.1.2.a. Estudio de la distribución espacial. Diagramas Schoeller-Berkaloff grupos 1 (izquierda) y 2 (derecha) (las líneas indican análisis anómalos pero con diagrama similar dentro de un mismo grupo).

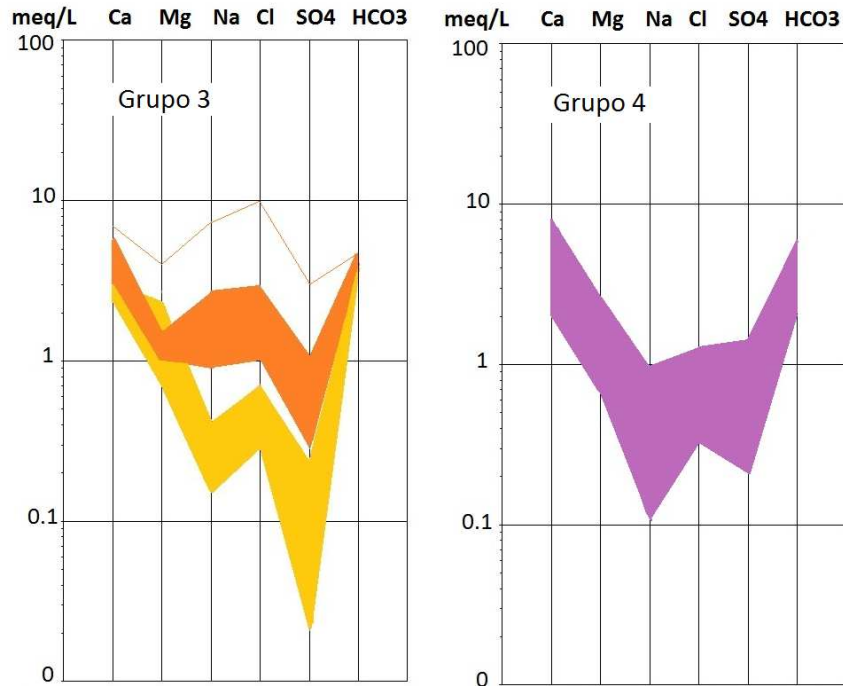


Figura 7.1.2.b. Estudio de la distribución espacial. Diagramas Schoeller-Berkaloff grupos 3 (izquierda) y 4 (derecha) (las diferentes tonalidades dentro de un mismo grupo indican subgrupos dentro del mismo grupo sin diferenciación notable como para formar un nuevo grupo, las líneas indican análisis anómalos pero con diagrama similar dentro de un mismo grupo).

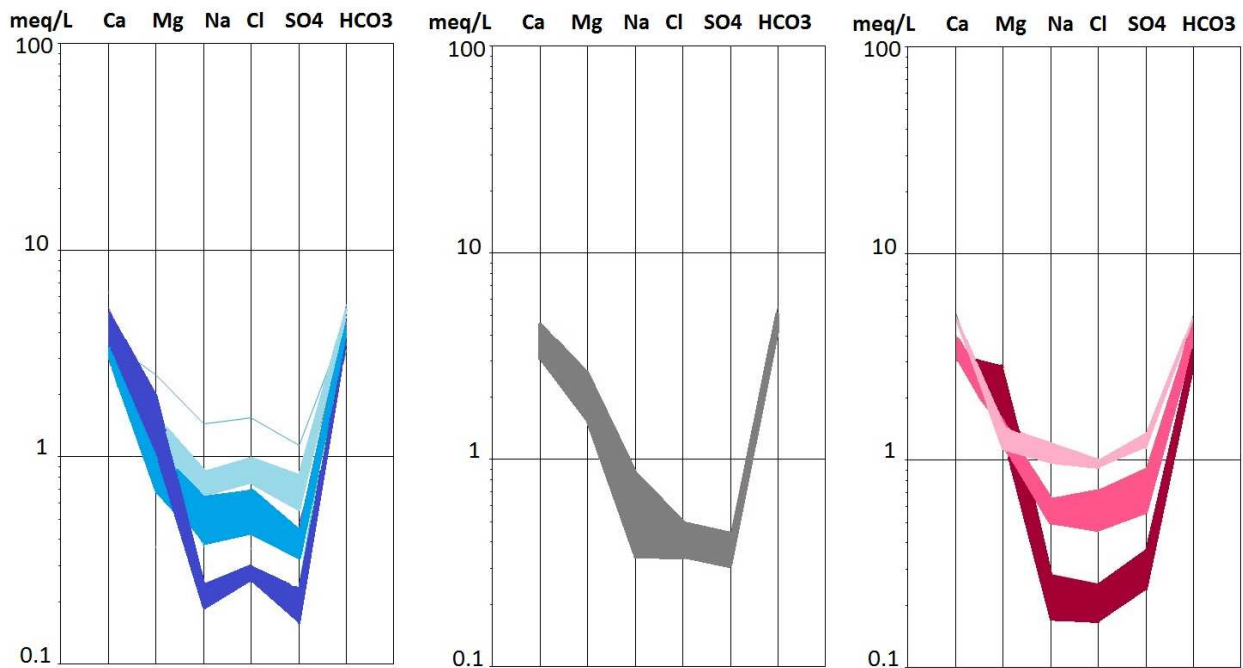


Figura 7.1.2.c. Estudio de la distribución espacial. Diagramas Schoeller-Berkaloff grupos 5 (izquierda), 6 (centro) y 7 (derecha) (las diferentes tonalidades dentro de un mismo grupo indican subgrupos dentro del mismo grupo sin diferenciación notable como para formar un nuevo grupo, las líneas indican análisis anómalos pero con diagrama similar dentro de un mismo grupo).

En las Figuras 7.1.2.d y 7.1.2.e se puede ver la distribución espacial de dichos grupos, con predominio del grupo 1 en los Ports de Tortosa-Beseit, donde existen afloramientos de materiales triásicos; el mayor contenido de sulfatos de este grupo puede explicarse la litología. Los puntos del grupo 2, 3, 5, 6 y 7 se distribuyen predominantemente en la zona centro de los Ports de Tortosa-Beseit y en la zona centro y norte de la Plana de La Galera, sin aportar una zonación predominante por concentraciones.







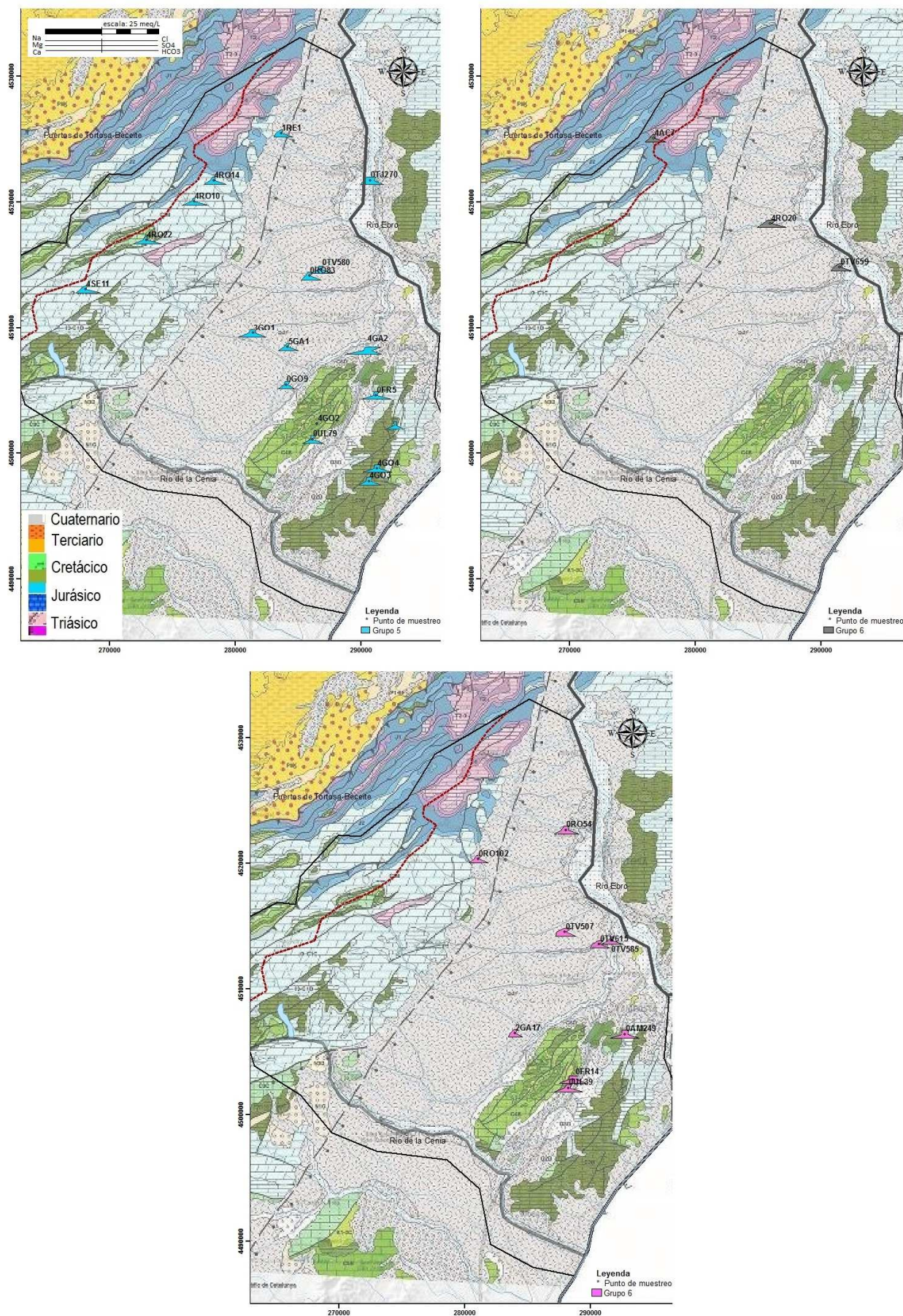


Figura 7.1.2.e. Estudio de la distribución espacial. Diagramas modificados de Stiff, grupos 5, 6 y 7\*.



## 7.2. ISÓTOPOS ESTABLES Y RADIOACTIVOS DE LA MOLÉCULA DE AGUA

Se ha recurrido al análisis isotópico de las aguas subterráneas como herramienta para validar la primera hipótesis sobre el modelo conceptual de flujo y sistema de recarga. Se analizan los isótopos estables de la molécula de agua para determinar el origen de recarga.

En este caso el Baix Ebre presenta 2 posibles orígenes de recarga diferenciados, uno localizado en zonas altas (Ports de Beseit- Tortosa y macizos de Godall-Montsià) y otro en zona baja (Plana de La Galera). A partir de la composición isotópica del agua de lluvia se observa que existen valores más ligeros de  $^{18}\text{O}$  y de  $^2\text{H}$  en zonas altas y alejadas de la costa (Ports de Beseit) y valores más pesados para las zonas bajas (Plana de La Galera) (Capítulo 6.2.2), por lo que cabe esperar que esta diferenciación en la composición isotópica se encuentre también en las aguas subterráneas.

Además se analiza el tritio ( $^3\text{H}$ ) para evaluar de manera cualitativa el tiempo de renovación de las muestras de agua subterránea consideradas. Los puntos muestreados así como la edad del material acuífero al que se supone que pertenece el agua subterránea muestreada se presentan en la Figura 7.2.

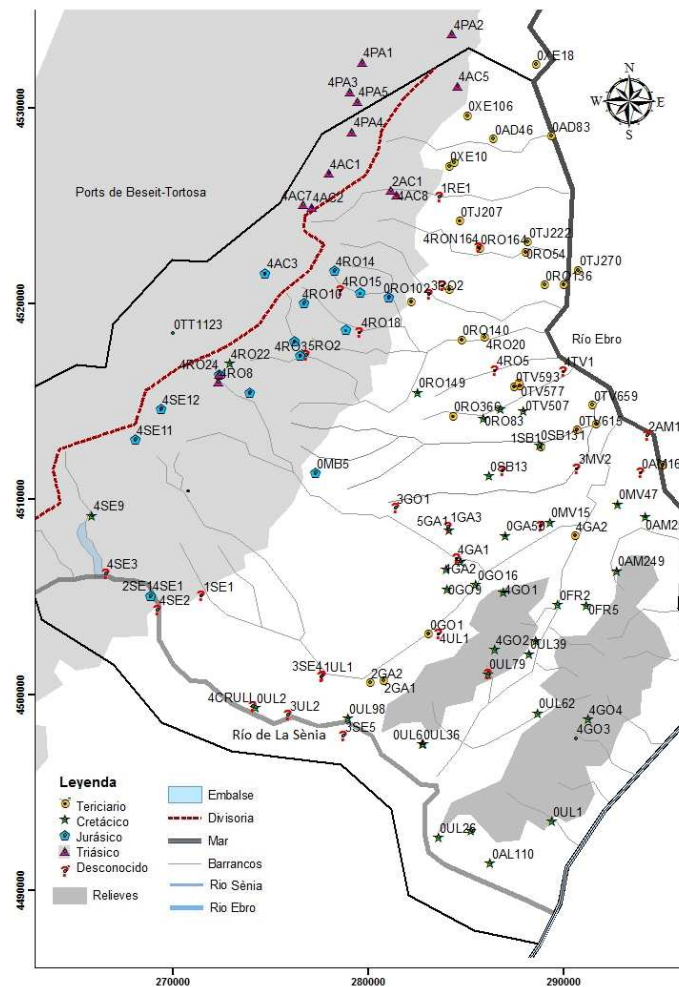


Figura 7.2. Distribución espacial de los puntos de control muestreados y material acuífero al que pertenece la muestra de agua subterránea.

**7.2.1. Isótopos estables de la molécula de agua y de las aguas subterráneas**

Se ha seleccionado el análisis de 49 muestras de entre los 70 análisis totales existentes, 9 de ellos de Touris (1986), escogiendo los más recientes por la mayor fiabilidad de los resultados proporcionados por el laboratorio isotópico ambiental de los Servicios Técnicos de la Universidad de Barcelona (ver Anexo 3.4). El exceso de deuterio ( $d=8^{18}\text{O}+10\text{‰}$ ) en el agua subterránea muestreada en los pozos y manantiales está en el entorno de -16,5 ‰, siendo el del agua de lluvia de -11,5 ‰, típico del área mediterránea. Esta diferencia puede ser debida a que el agua subterránea muestreada es la mezcla de aguas con distinto origen espacial y temporal (ver Figuras 7.2.1.a y b):

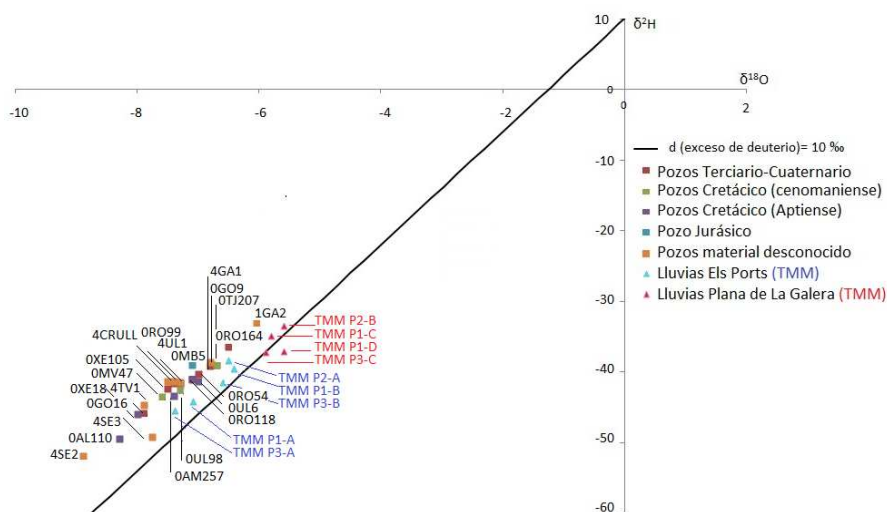


Figura 7.2.1.a. Análisis de isótopos estables de la molécula de agua de las aguas subterráneas de los muestreos realizados en diciembre 2012 y marzo 2013 de los pozos del Baix Ebre. Valores en ‰ relativos al V-SMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water).

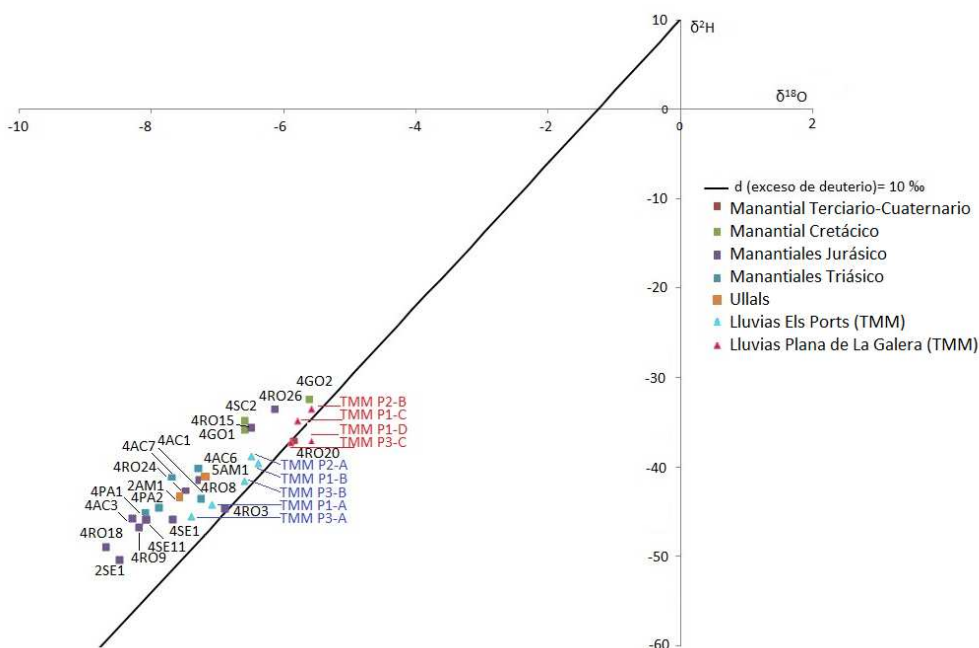


Figura 7.2.1.b. Análisis de isótopos estables de la molécula de agua de las aguas subterráneas de los muestreos de diciembre 2012 y marzo 2013 de los manantiales del Baix Ebre. Valores en ‰ relativos al V-SMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water).

**7.2.2. Tritio de la molécula de agua y de las aguas subterráneas**

Se ha analizado el tritio de las aguas subterráneas con el objetivo de ver la velocidad de renovación de las aguas subterráneas y poder definir con mayor fiabilidad el modelo conceptual de la zona de estudio. Se han analizado 17 pozos que captan agua de diferentes niveles acuíferos y 18 manantiales que drenan diferentes materiales (Figura 7.2.2 y Tabla 7.2.2).

Con ello se espera ver diferencias entre las aguas muestreadas en los pozos profundos (captan agua en materiales que afloran en los Ports de Beseit-Tortosa) y en pozos con captación en materiales del Terciario (acuífero libre de la Plana de La Galera).

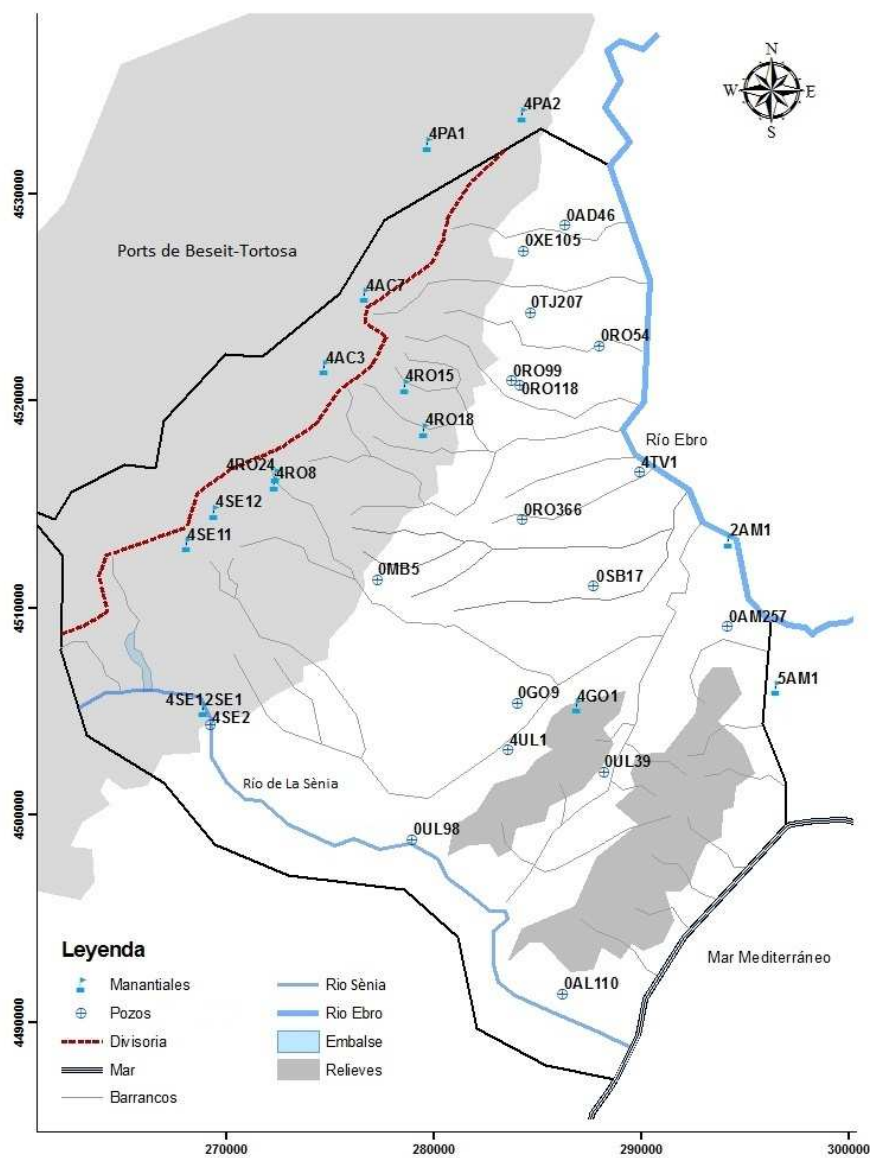


Figura 7.2.2. Distribución de análisis de tritio de diferentes captaciones de agua subterránea.

Tabla 7.2.2. Resultado de análisis de tritio (CEDEX) de diferentes captaciones de agua subterránea (P: pozo, F: fuente, sd: sin dato, Qac3 y Qt2: Pleistoceno mediano y superior; NMcgl y NPcgg: Oligoceno; Capcm, CApC2 y CApC1: Cretácico inferior (Aptiense), CBc: Cretácico inferior; JcC, JcD y JdM: Jurásico; Tm2 y Tm3: Triásico, Tk: Triásico (Keuper). Error de  $^3\text{H}$  en  $2\sigma$ ).

Nombre	x	y	z	Tipo	Topónimo	Grupo químico	Edad material explotado	Prof (m)	niv. Piez. (m snm)	Fecha	$^3\text{H(UT)}$
ORO54	288042	4522665	57.6	P	Bc. de Vallcervera/Ventós	7	Qac3	86	6	15/03/2013	1.65±0.43
ORO118	284155	4520750	120	P	Poc Augment	2	Qt2	140	8	12/03/2013	1.39±0.50
OAD46	286380	4528460	112.8	P	Plana d'Alfara	1	NMcgl	130	23.5	14/03/2013	1.17±0.49
OXE105	284365	4527210	150	P	Tereoles	1	NPcgg	sd	25	12/03/2013	0.94±0.49
ORO366	284318	4514261	136	P	Pou Finca La Pastora	3	NPcgg+Capcm	260	24	13/12/2012	1.76±0.45
OTJ207	284666	4524238	129	P	Pou Camp de Futbol	3	NPcgg+Capcm	155	28	11/03/2013	0.97±0.49
OAM257	294194	4509105	55.93	P	Pou Dipòsit Tosses	3	KCTc	133	-1	11/03/2013	1.45±0.50
OGO9	284065	4505425	135.49	P	ARCIS	5	KCTc	166	83	15/03/2013	3.01±0.49
OUL39	288225	4502110	116	P	Pou Ventalles	7	CApAc	237	5	12/03/2013	1.17±0.42
OAL110	286260	4491400	109.55	P	Casc urbà	1	CApC2	209	4.5	12/03/2013	1.23±0.49
OUL98	278970	4498815	203.2	P	Uldecona-3 (Sant Joan Del Pas I)	4	Capcm	400	8	13/03/2013	1.05±0.41
ORO99	283785	4520950	130	P	Pou Miralles Mas de la Dama	3	Sd	250	26	12/03/2013	0.66±0.48
4SE2	269227	4504364	416	P	Tolls dels Arenals	1	Sd	Sd	416	13/03/2013	1.26±0.42
4TV1	289987	4516549	34.8	P	Pou Vinallop nuevo	3	Sd	401	47	11/03/2013	0.37±0.47
4UL1	283606	4503145	135	P	La Miliana	3	Sd	Sd	25	12/03/2013	2.42±0.53
0SB17	287755	4511060	82	P	Pou Forcada	Sd	Capcm	230	-112	23/04/2013	3.14±0.63
0MB5	277290	4511365	363	P	Pou granja Camí de la Vall	1	JcC	250	238	13/03/2013	6.19±0.67
4GO1	286911	4505268	150	F	Font del Arboç	3	CApAp/Qac3		150	10/12/2012	3.37±0.62
4SC2	492707	4502179	399	F	Font del Burgar	5	CBc/JcC		399	13/12/2012	3.44±0.62
4SE1	268891	4505096	430	F	Font de Rossegadors	1	JcC/JcD		430	12/12/2012	3.28±0.56
4AC3	274742	4521588	1050	F	Font del Mascà	3	JcD		1050	11/12/2012	3.31±0.56
4RO18	279560	4518569	219	F	Bufador de Covalta	3	JcD		219	15/03/2013	2.66±0.46
4RO9	272848	451883	1000	F	Font Cova Avellanes	3	JcD		1000	11/12/2012	3.54±0.57
4SE11	268096	4513063	700	F	Font del Teix FOU	5	JcD		700	12/12/2012	3.96±0.58
4SE12	269410	4514638	1000	F	Font del Retaule	4	JcD		1000	12/12/2012	3.32±0.56
4RO24	272359	4516409	775	F	Font del Bosc	1	JcD/CApC1		775	13/12/2012	3.60±0.57
4RO8	272338	4516013	750	F	Font de la Cendrossa	1	JcD/CApC1/Tm2		750	12/12/2012	3.44±0.57
2SE1	268891	4505096	380	F	Font de Sant Pere	1	JdM/JcD/Qac3		380	12/12/2012	2.22±0.53
4AC7	276696	4525074	540	F	Font del Ferro (Toscà)	6	Tk/Trd		540	11/12/2012	3.16±0.61
4PA1	279700	4532371	450	F	Font de Sant Roc	1	Tm3		450	11/12/2012	3.00±0.61
4AC6	283778	453094	400	F	Font Nova	4	Tm3/Tk		400	11/12/2012	3.64±0.63
4PA2	284312	4533803	125	F	Font de Pauls	1	Tm3/Tk		125	11/12/2012	2.58±0.59
4RO15	278598	4520683	350	F	Font de la Caramella	3	Sd		350	12/12/2012	2.81±0.60
5AM1	296550	4506125	0.8	F	Ullals de Baltasar (Ariste)	Sd	Sd		0.8	10/12/2012	2.52±0.59
2AM1	294277	4513276	5	F	Ullal de la Carrova	1	Sd		5	23/04/2013	4.64±0.67

## 7.3. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

### 7.3.1. Caracterización hidroquímica del agua subterránea

Observando únicamente la distribución espacial resultante del estudio de la química elemental del agua subterránea (Figuras 7.1.2.a a 7.1.2.e) no se puede verificar la primera hipótesis de modelo conceptual para la cual existen los dos tipos de recarga diferenciados (1) recarga en materiales mesozoicos que afloran en Ports de Tortosa-Beseit y en los macizos Godall-Montsià, agua que pasaría a formar parte de las reservas del acuífero regional mesozoico y (2) recarga local en materiales terciarios en la Plana de La Galera (Figuras 7.3.1.a y b). No es posible verificarla puesto que no existe una diferenciación clara composicional de aguas pertenecientes al Terciario y aguas pertenecientes al Mesozoico.

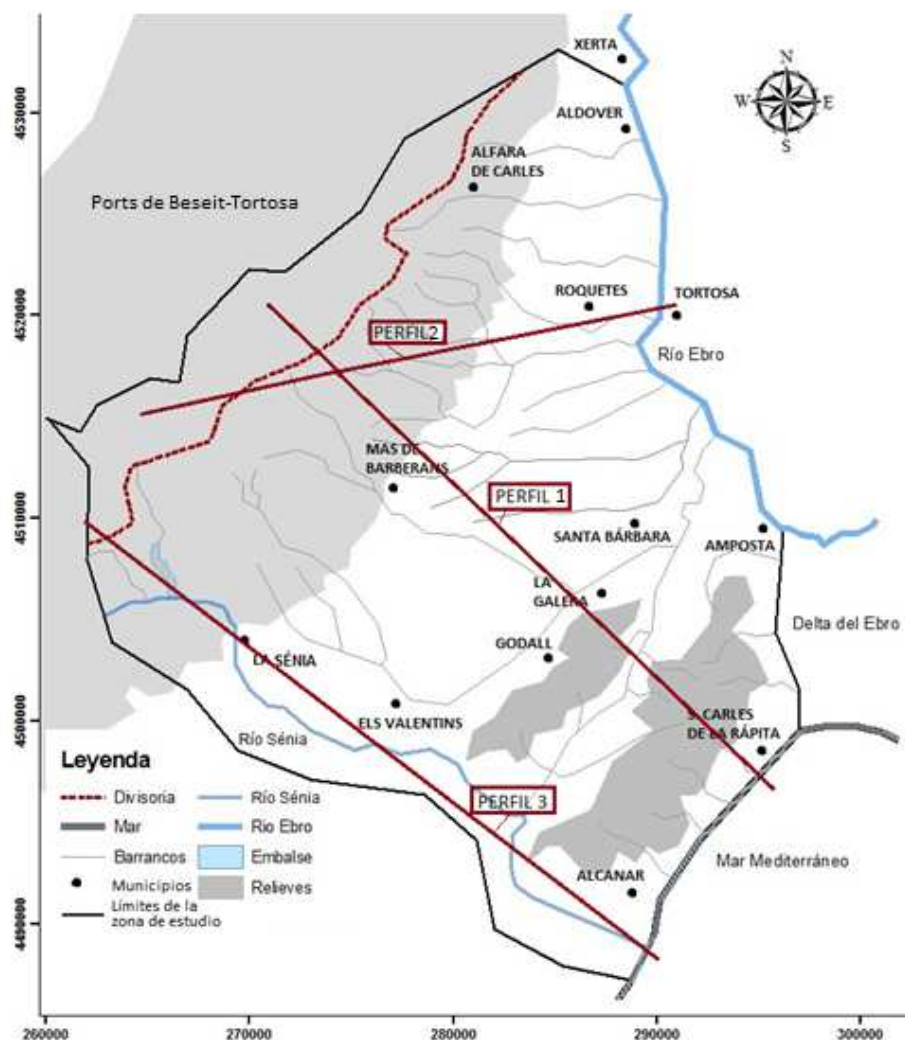


Figura 7.3.1.a. Ubicación de los cortes transversales del modelo conceptual.



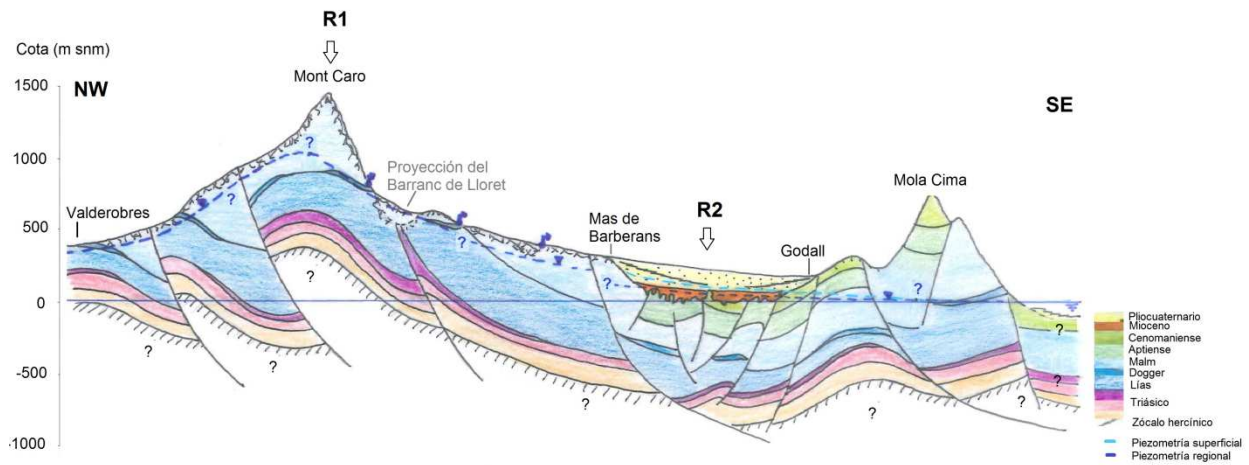


Figura 7.3.1.b. Perfil 1 (Ports de Beseit- Tortosa centro-Mar Mediterráneo). Modelo conceptual de la primera hipótesis (dos orígenes de recarga diferenciados). (R1: recarga producida en Ports de Beseit-Tortosa, R2: recarga producida en la Plana de La Galera).

Se ha completado el estudio para comprobar si la química del agua subterránea muestreada en la Plana de La Galera refleja la composición de la química del agua de lluvia registrada en los colectores de agua de lluvia situados en la Plana de La Galera mediante las relaciones iónicas  $rSO_4/rCl$  y  $rNa/rCl$  y mediante la relación entre la concentración de ión cloruro y la  $rSO_4/rCl$ ; no existe una relación aparente entre ellas. Este estudio comparativo se ha realizado considerando por separado la división del agua subterránea tanto por grupos (Tabla 7.1.2) como por edades de material acuífero.

Por tanto, dado que no hay resultados concluyentes para verificar la primera hipótesis del modelo conceptual, se plantea una segunda hipótesis de modelo conceptual de flujo del sistema: (1) Existe una recarga en los afloramientos de materiales mesozoicos en los Ports de Beseit-Tortosa y en los macizos de Godall-Montsià y (2) una recarga local en toda la superficie de la Plana de la Galera sobre los materiales terciarios, pero que no se muestra netamente en las muestras de agua subterránea puesto que existe una transferencia lateral de la recarga (1) producida en los Ports de Beseit-Tortosa, directamente o a través de los materiales de piedemonte, la cual se mezcla con la recarga (2) producida en la Plana de La Galera (Figura 7.3.1.c-e), la que presumiblemente es menor.

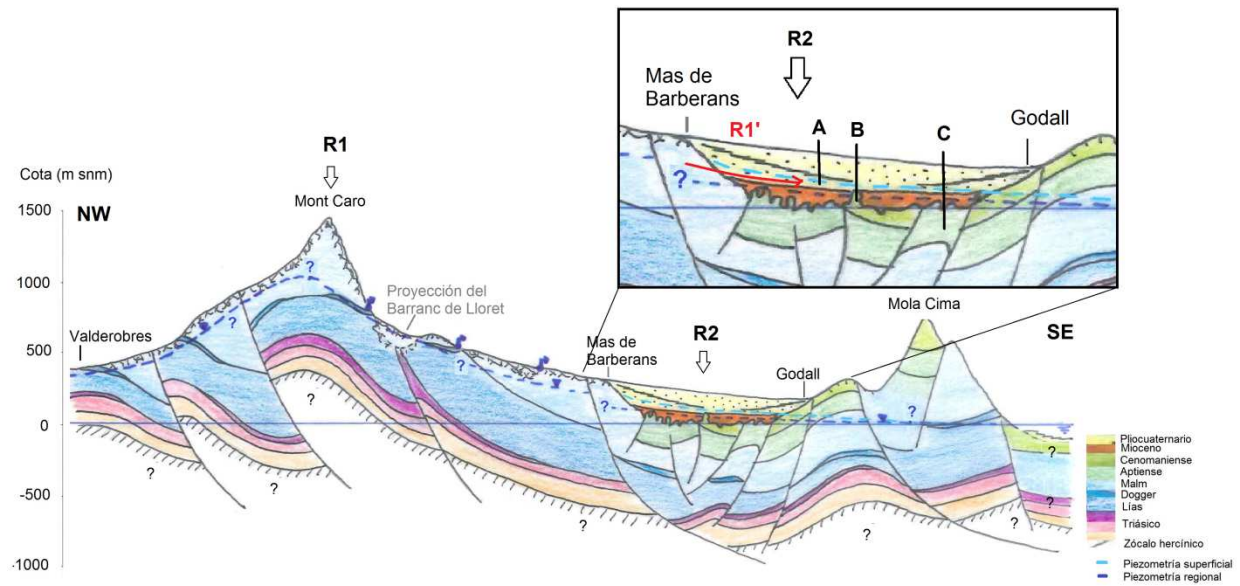


Figura 7.3.1.c. Perfil 1 (Ports de Beseit- Tortosa centro-Mar Mediterráneo). Modelo conceptual de la segunda hipótesis (R1: recarga producida en los Ports de Beseit-Tortosa (POZO C), R2: recarga producida en la Plana de La Galera (POZO B), R1' + R2: recarga transferida de los Ports de Beseit- Tortosa a la Plana de La Galera mezclada con la recarga producida en la Plana de La Galera (POZO A)).

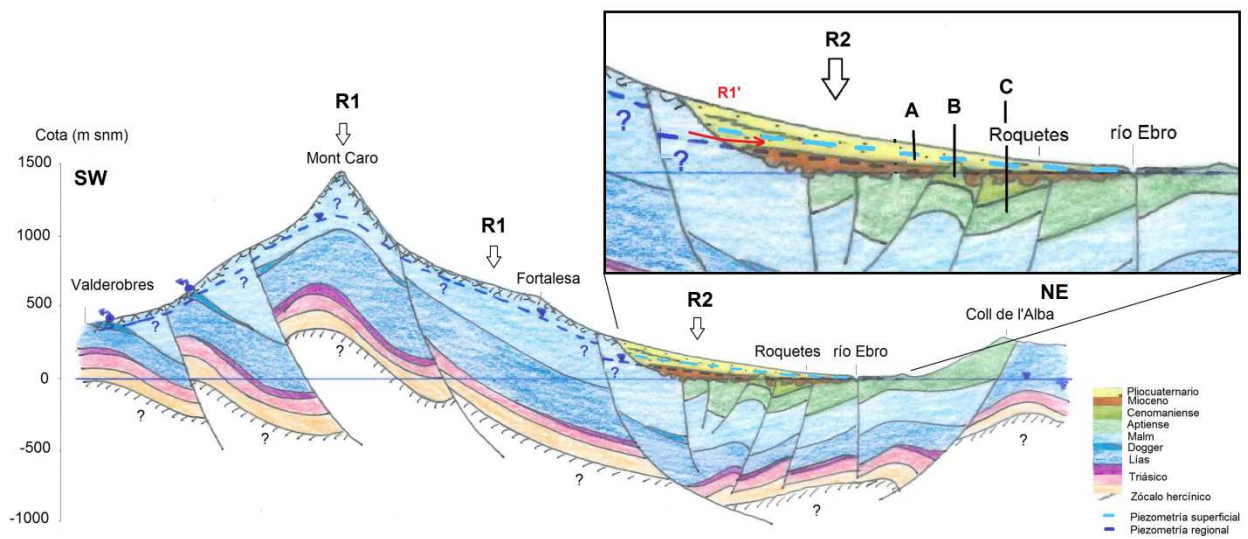


Figura 7.3.1.d. Perfil 2 (Ports de Beseit- Tortosa centro-río Ebro) Modelo conceptual de la segunda hipótesis (R1: recarga producida en los Ports de Beseit-Tortosa (POZO C), R2: recarga producida en la Plana de La Galera (POZO B), R1' + R2: recarga transferida de los Ports de Beseit- Tortosa a la Plana de La Galera mezclada con la recarga producida en la Plana de La Galera (POZO A)).

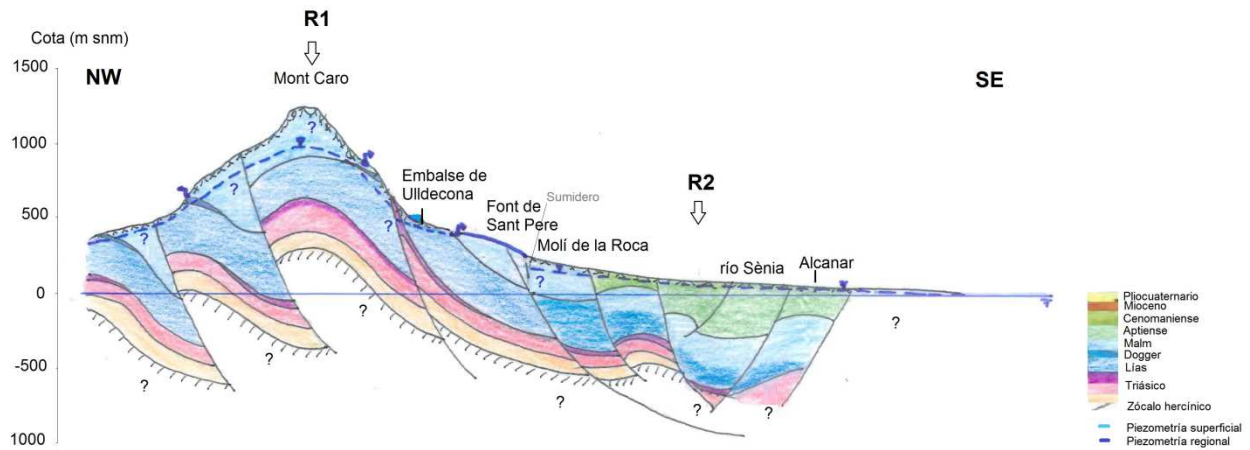


Figura 7.3.1.e. Perfil 3 (Ports de Beseit- Tortosa sur-Mar Mediterráneo). Transcurso del río de La Sènia desde su nacimiento hasta su desembocadura (relación río acuífero: río de La Sènia desconectado del acuífero regional desde el Molí de la roca).

Una de las herramientas para la verificación de esta segunda hipótesis ha sido la comparación de los gráficos de columnas verticales logarítmicas (Schoeller-Berkaloff) obtenidos por grupos de agua subterránea con los del agua de lluvia analizada en la ES03 (1987-2003). Dada la gran cantidad de análisis existentes para cada grupo, para la comparación se han considerado los más representativos dentro del mismo, observándose que la tendencia descrita por los percentiles 25, 50 y 75% de la composición química elemental del agua de lluvia para los iones Na, Cl y  $\text{SO}_4$  (Tabla A.2.1.2.b del Anexo 2.1.2) se reproduce de manera similar para los grupos 2, 3 y 5 (Figuras 7.3.1.f-h).

Observando la distribución de diagramas modificados de Stiff de dichos grupos (Figuras 7.1.2.d y 7.1.2.e), la dirección de flujo que describen va desde el área de recarga (1) en la zona central de los Ports de Beseit-Tortosa, pasando por la zona central-superior de la Plana de La Galera, donde se produciría la recarga (2) y mezcla con la recarga (1) transferida directamente o por el piedemonte, hasta su descarga en el río Ebro.

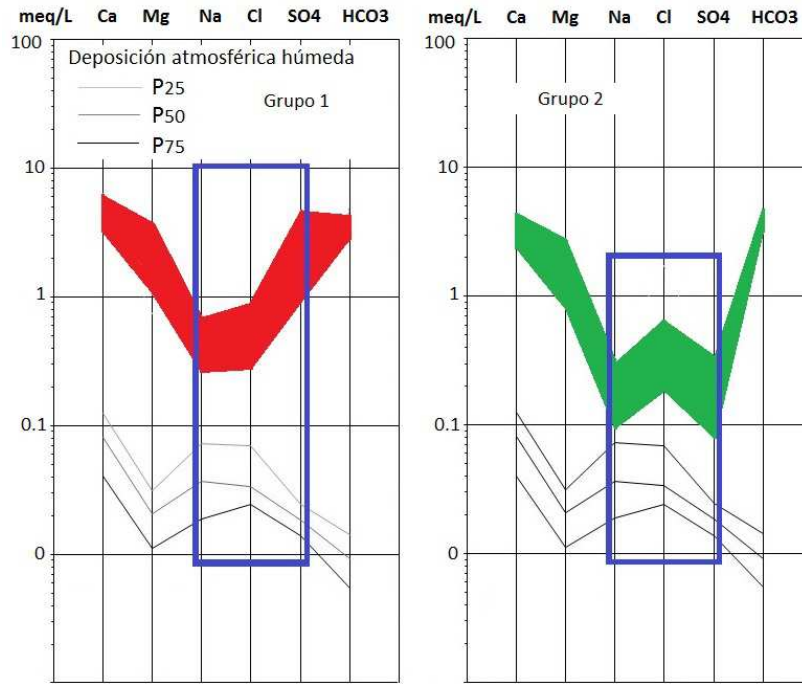


Figura 7.3.1.f. Composición química del agua de lluvia (deposición húmeda-ES03) frente a la del agua subterránea de los grupos 1 (izq.) y 2 (dcha.) (las diferentes tonalidades dentro de un mismo grupo indican subgrupos dentro del mismo grupo sin diferenciación notable como para formar un nuevo grupo).

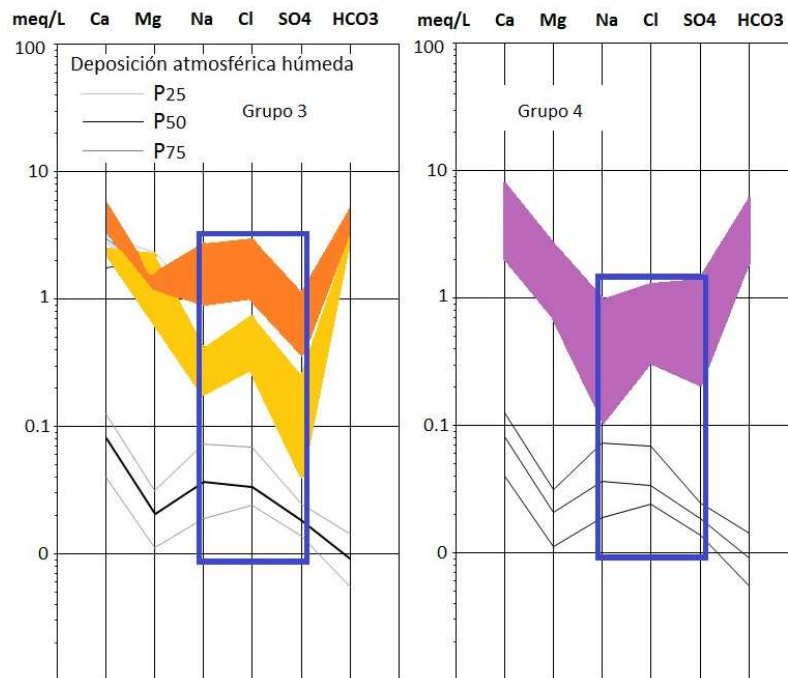


Figura 7.3.1.g. Composición química del agua de lluvia (deposición húmeda-ES03) frente a la del agua subterránea de los grupos 3 (izq.) y 4 (dcha.) (las diferentes tonalidades dentro de un mismo grupo indican subgrupos dentro del mismo grupo sin diferenciación notable como para formar un nuevo grupo).

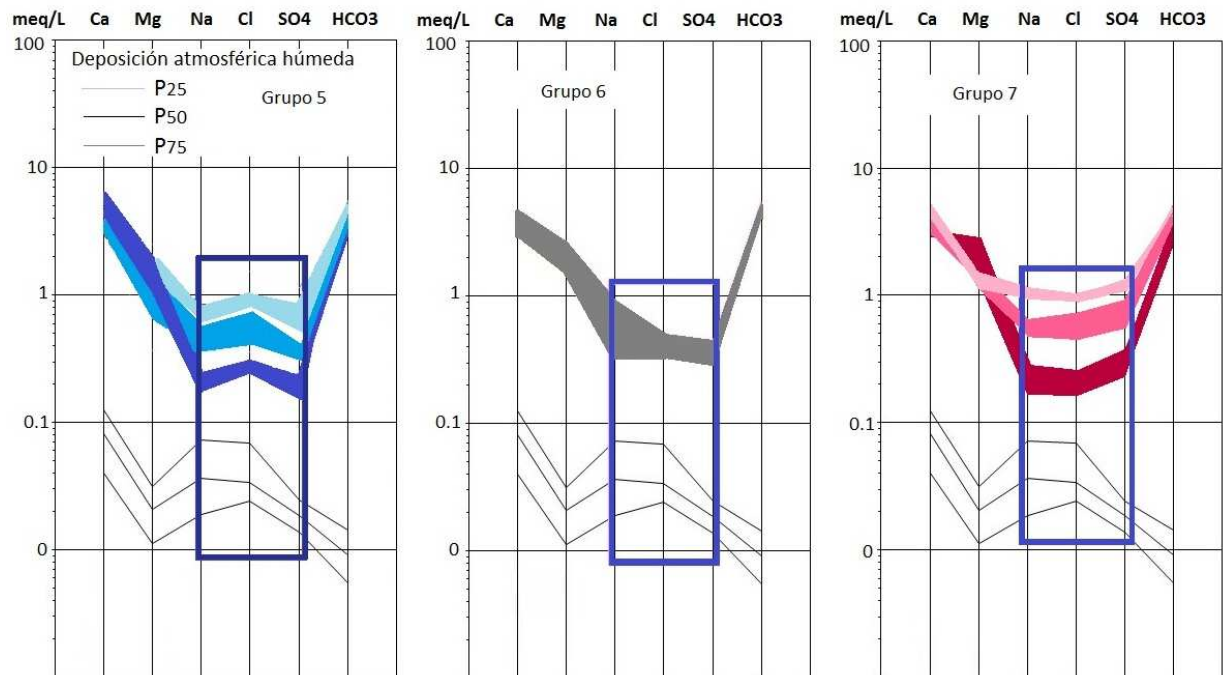


Figura 7.3.1.h. Composición química del agua de lluvia (deposición húmeda-ES03) frente a la del agua subterránea de los grupos 5 (izq.), 6, 7 (dcha.) (las diferentes tonalidades dentro de un mismo grupo indican subgrupos dentro del mismo grupo sin diferenciación notable como para formar un nuevo grupo).

### 7.3.2. Caracterización isotópica del agua subterránea

Para apoyar la validación de la segunda hipótesis del modelo conceptual de flujo determinando el sistema de recarga existente con mayor robustez, se ha recurrido a la composición isotópica de la molécula de agua de las aguas subterráneas.

#### 7.3.2.1. Isótopos estables de la molécula de agua ( $^{18}\text{O}$ y $^2\text{H}$ )

Tanto para el agua subterránea muestreada en pozos como en manantiales se distinguen 3 agrupaciones (Figura 7.3.2.1.a):

- Primera:  $\delta^{18}\text{O}$  de -7,6 ‰ a -8,7 ‰, que correspondería a aguas del acuífero con renovación lenta, pertenecientes a eventos de recarga producidos durante periodos húmedos.
- Segunda:  $\delta^{18}\text{O}$  entre -6,5 ‰ a -7,5 ‰ que correspondería a aguas subterráneas influenciadas por las lluvias en los Ports de Beseit-Tortosa.
- Tercera:  $\delta^{18}\text{O}$  entre -5,5 ‰ a -6,4 ‰ que correspondería a aguas subterráneas influenciadas por la recarga local producida por lluvias en la Plana de La Galera.



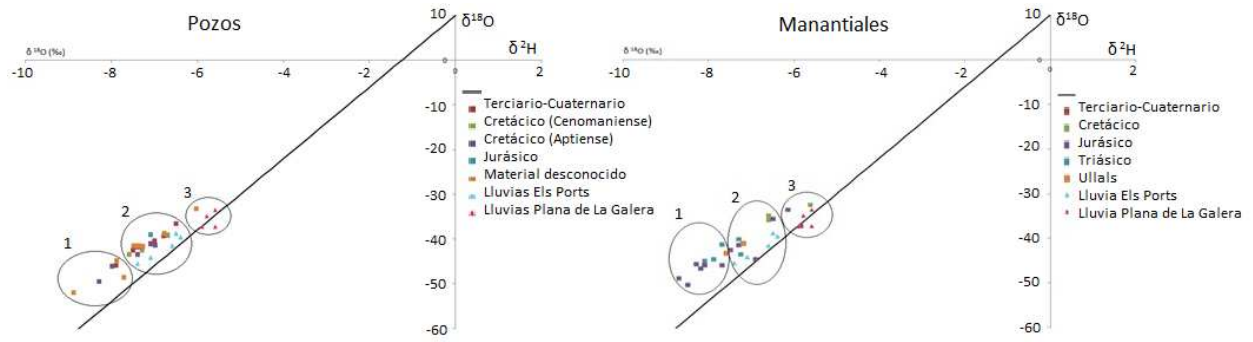


Figura 7.3.2.1.a. Análisis de isótopos estables de la molécula de agua de las aguas subterráneas perteneciente a los muestreos realizados en diciembre 2012 y marzo 2013 de los pozos y manantiales del Baix Ebre.

\*Para identificar los puntos muestreados ver Figuras 7.2.1.a y b.

Para determinar qué agua muestreada pertenece al agua de recarga producida por la precipitación, se ha generado un mapa de distribución de valores medios de  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^2\text{H}$  del agua de lluvia de las muestras de los colectores recogidas tras eventos de lluvia (fundamentalmente las pertenecientes a invierno) y otro de distribución de valores de  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^2\text{H}$  del agua subterránea para ver la posible influencia (Figura 7.3.2.1.b).

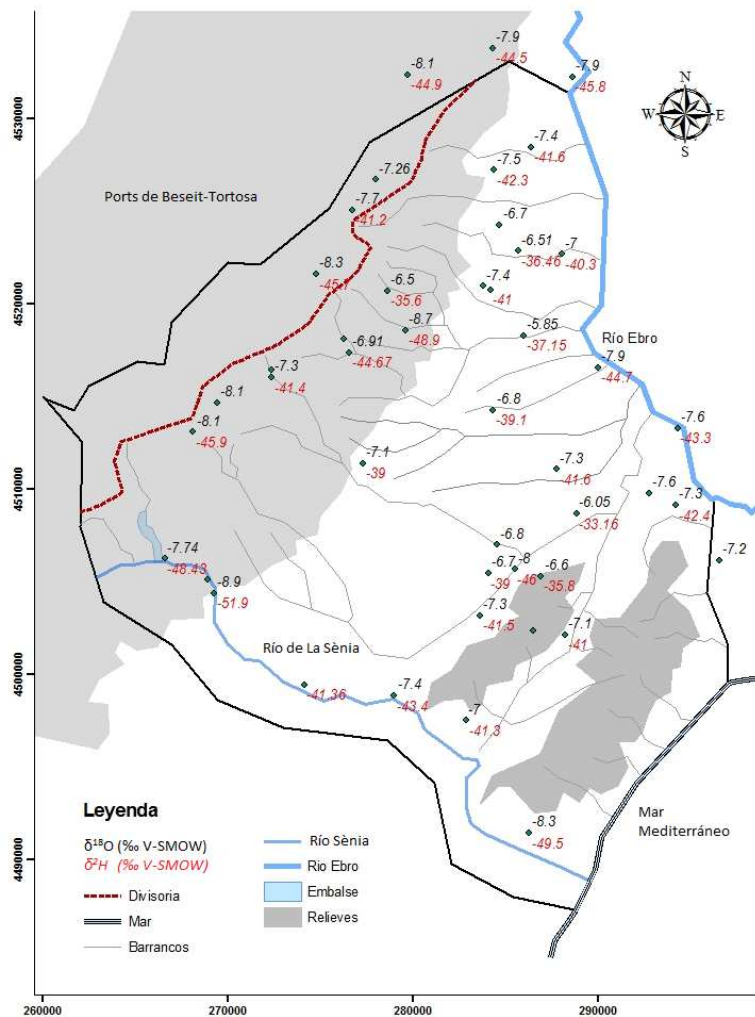


Figura 7.3.2.1.b.  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^2\text{H}$  (‰) del agua subterránea de los muestreos realizados durante diciembre 2012-marzo 2013 y del agua de lluvia de muestreos pertenecientes a la época de invierno 2011-2014.

Poniendo atención en el  $\delta^{18}\text{O}$ , las aguas pertenecientes a la recarga producida estrictamente en Ports de Beseit-Tortosa deben mostrar valores en el entorno al -7 y -6‰ y en el entorno al -5,5‰ las aguas de recargadas estrictamente en el ámbito de la Plana de La Galera. Estos valores corresponden a las medias composicionales ponderadas del agua de lluvia para estas zonas. Los resultados obtenidos muestran que existe una diferenciación entre las aguas recargadas en zonas altas (Ports de Beseit-Tortosa y macizos de Godall-Montsià) y aguas recargadas en zonas bajas (Plana de La Galera) (Figura 7.3.2.1.c), pero a diferencia de las aguas recargadas en zonas altas a las que puede atribuirse un origen estricto en los Ports, con una composición de  $\delta^{18}\text{O}$  entorno al -7 y -6‰, las aguas recargadas en zonas bajas muestran unos resultados interpretables como agua de mezcla ( $\delta^{18}\text{O}$  entorno al -6 ó -7‰) entre la recarga local producida a cotas bajas con  $\delta^{18}\text{O}$  entorno al -5,5‰ mezclada con el agua recargada a cotas altas con un  $\delta^{18}\text{O}$  entorno al -7‰ y transferida, directamente o por el piedemonte, a las zonas bajas de la Plana de La Galera.

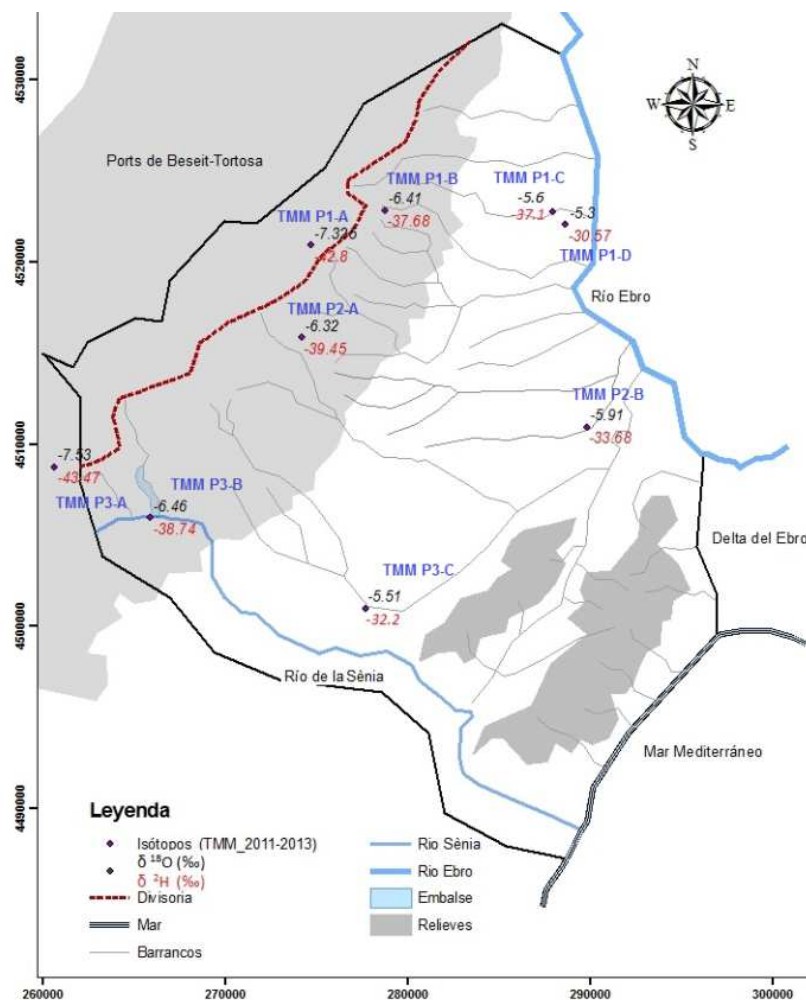


Figura 7.3.2.1.c.  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^2\text{H}$  (‰) del agua de lluvia de muestreos pertenecientes a la época de invierno 2011-2014.

El origen de los valores que se encuentran en el entorno de -8‰ puede atribuirse a aguas de recarga durante periodos más húmedos (Figuras 6.2.2.a y 6.2.2.b), lo cual indica el peso significativamente mayor de la composición de las lluvias en periodo húmedo respecto a las producidas en periodo seco.



Con esto se validaría la segunda hipótesis del modelo conceptual de flujo y sistema de recarga en el Baix Ebre.

### 7.3.2.2. Isótopo radiactivo de la molécula de agua (tritio)

Se ha representado la concentración de tritio (UT) en función de la cota de la superficie del terreno en la cual se encuentra el punto de muestreo, considerando el material acuífero al cual pertenece el agua subterránea muestreada para diferenciar posibles agrupaciones por cota de recarga (Figura 7.3.2.2.a).

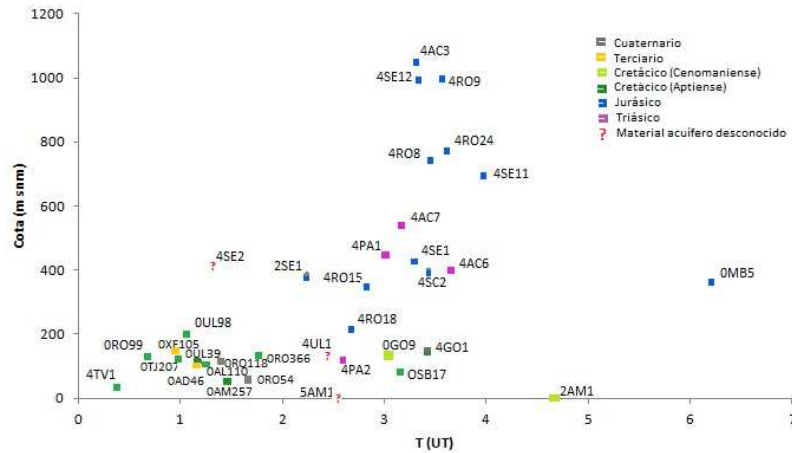


Figura 7.3.2.2.a. Concentración de tritio en el agua subterránea en función de la cota de recarga y de la edad del material acuífero al que pertenecen.

Se observa una relación entre la concentración de tritio y el material acuífero al que pertenece la muestra. Se tienen valores entre  $0,66 \pm 0,48$  UT y  $1,76 \pm 0,45$  UT para materiales de edad aptiense cuyos puntos de muestreo pertenecen a pozos situados en la Plana de La Galera y de  $2,22 \pm 0,53$  UT a  $3,96 \pm 0,58$  UT para materiales de edad triásica y jurásica muestreados en surgencias localizadas en los Ports de Beseit-Tortosa.

Además pueden diferenciarse dos extremos (Figura 7.3.2.2.b): (A) muestras mayoritariamente de edad aptiense con concentración de tritio por debajo de 2 UT y (B) muestras mayoritariamente del Jurásico y Triásico con concentraciones entre 3 y 4 UT, con un valor máximo aislado entorno a 6 UT (punto de muestreo OMB5), estas muestras son en su mayoría manantiales de los Ports de Beseit con algún punto ubicado en la Plana de La Galera. Los valores actuales de tritio en la lluvia según la Estación REVIP de L'Observatori de l'Ebre en Tortosa oscilan entre 3,5 y 4,1 UT, por lo que se considera que las aguas subterráneas muestreadas que están dentro de este rango son de renovación rápida. Para determinar si 6 UT es una concentración anómala para la zona o está dentro de la variación estacional se ha procedido al cálculo de la variabilidad relativa del tritio atmosférico a partir de los datos de la estación de Barcelona (CEDEX) para el periodo 1971-1987) resultando de un 0,3 (Anexo 3.4). Se ha diferenciado el Grupo C puesto que por edad del material acuífero del cual extraen agua las concentraciones de tritio

esperables son menores a 2 UT (como en el extremo A) pero que tienen concentración similar al extremo B, por lo que las muestras pueden estar alteradas por entrada directa de agua de lluvia en la captación desde superficie.

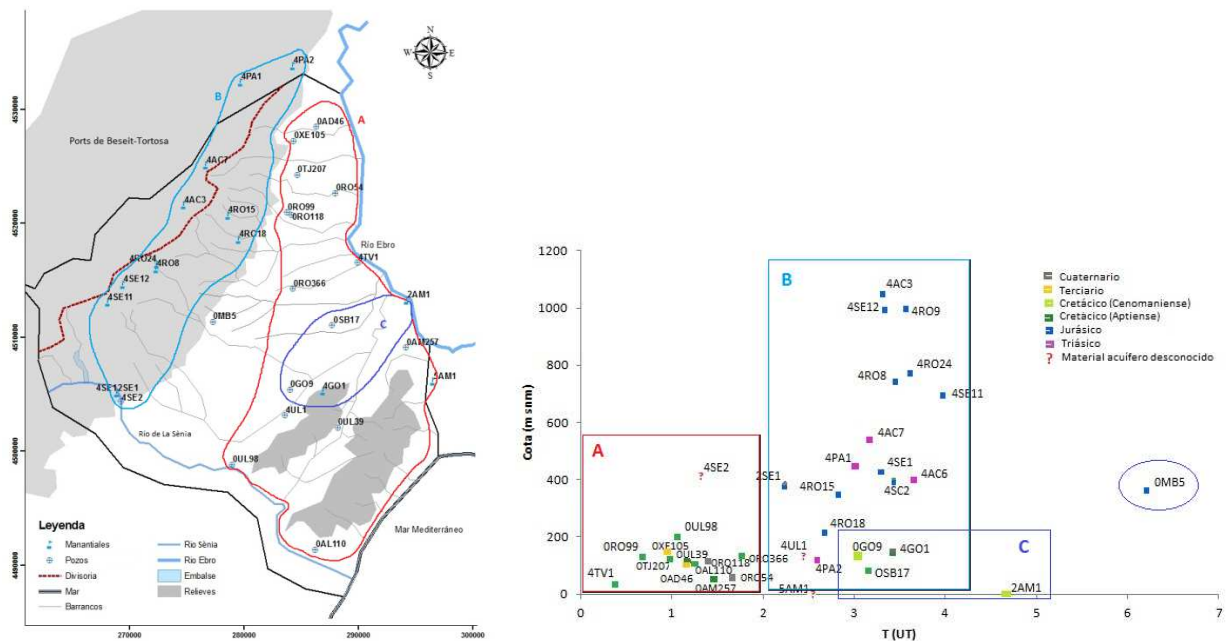


Figura 7.3.2.2.b. Diferenciación de extremos en concentración de tritio en el agua subterránea en función de la cota de recarga y de la edad del material acuífero al que pertenecen.

Paralelamente se ha tratado de ver la correlación entre cota-tritio-grupo hidrogeoquímico, pero no se aprecia diferenciación significativa, por lo que de nuevo se verifica que se trata de un sistema de mezcla. Además, tras el estudio de distribución de frecuencias (ver Anexo 3.4) se hace patente la diferenciación de los extremos observados en la Figura 7.3.2.2.b, resultando una distribución con dos máximos pertenecientes a los dos extremos A y B (ver Figura 7.3.2.2.c).

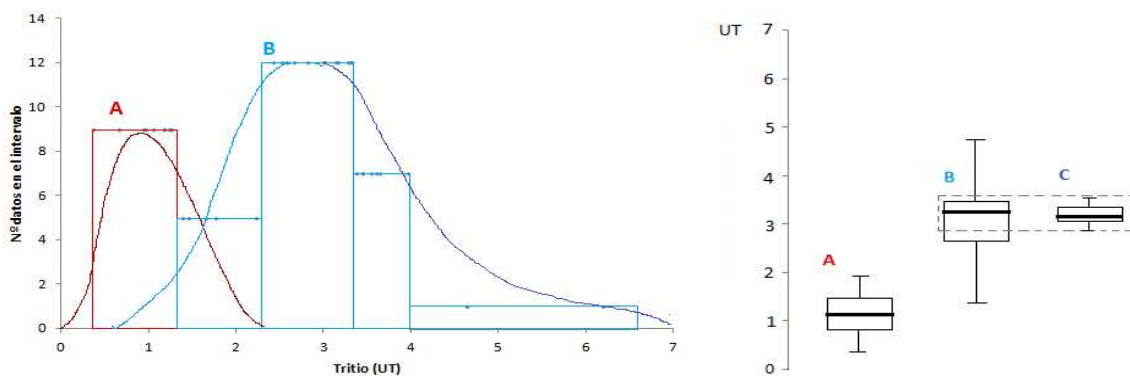


Figura 7.3.2.2.c. Distribución de frecuencias y diagrama de cajas de concentración de tritio del agua subterránea en el Baix Ebre.

Tras analizar el diagrama de cajas puede considerarse que los extremos B y C son uno sólo, resultando finalmente dos extremos (A) con valores de tritio menor a 2 UT, lo que indica una renovación lenta del

agua subterránea muestreada y (B) con valores en el entorno de 3 UT, que es valor típico de la zona de tritio en la lluvia actual, lo que indica una renovación rápida del agua muestreada.

Por tanto se verifica la segunda hipótesis: (1) Existe una recarga en los afloramientos de materiales mesozoicos en Ports de Beseit-Tortosa y en los macizos de Godall-Montsià y (2) una recarga local en toda la superficie de la Plana de la Galera sobre los materiales terciarios, la cual no presenta una marca de agua diferenciada puesto que existe una transferencia lateral de la recarga (1) producida en Ports de Beseit-Tortosa directamente o a través de los materiales de piedemonte, la cual se mezcla con la recarga (2) producida en la Plana de La Galera (ver Figura 7.3.1.c-e). La recarga (1) corresponde al extremo (B), la recarga (2) corresponde al extremo diferenciado inicialmente como (C) y la recarga (1+2, transferencia lateral de los Ports) es la reflejada en el extremo (A).

Siguiendo la dirección de las líneas de flujo con recarga en los Ports de Beseit-Tortosa y descarga hacia el N-NE de la zona de estudio, el modelo de flujo puede interpretarse como mixto, con un sistema de buena mezcla en la zona de los Ports (mezcla de las recargas producidas en el macizo hacia el piedemonte) y un sistema de flujo pistón bajo la Plana de La Galera donde la recarga local de la Plana se mezcla puntualmente con la recarga transferida desde los Ports a través de los pozos que conectan sistemas acuíferos y en lugares en los que los materiales detríticos están en contacto directo sobre los carbonáticos permeables.

Calculando el periodo de renovación del agua subterránea como  $t = e \cdot m / R$ , en la que  $t$ : periodo de renovación (años),  $e$ : espesor del acuífero (m),  $m$ : porosidad y  $R$ : recarga en  $\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$ .

Se obtiene un periodo de renovación de 35 años para  $e = 75 \text{ m}$ ,  $m = 0,1$  y  $R = 200 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ , valores representativos de la Plana de La Galera. Con valores en torno a 4 UT tanto en la lluvia actual como en manantiales de los Ports y en torno a 1 UT en los pozos muestreados en la zona N de la Plana, con un periodo de semidesintegración del tritio de 12,3 años, se necesitarían dos periodos y medio para desintegrar el tritio recargado en los Ports y muestreado en la Plana. Con estos resultados puede verificarse el flujo pistón predominante en la zona N de la Plana de La Galera.

Con la validación de esta segunda hipótesis, resulta implícito que no se pueden atribuir los valores de concentración de ión cloruro registrados en los puntos de la Plana que extraen de los materiales terciarios a la recarga (2), por lo que se realizará el balance asumiendo que los valores de cloruro están diluidos respecto a los valores de cloruro pertenecientes exclusivamente a la recarga local. Dicho efecto producirá una sobreestimación de los valores de recarga obtenidos mediante la simple aplicación del balance de la deposición atmosférica de ión cloruro (ver desarrollo en Capítulo 8.3.1).



## CAPÍTULO 8. ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIA ANUAL

### 8.1. BALANCE DE AGUA EN EL SUELO

Para la estimación de la recarga media anual a partir del balance de agua en el suelo (Capítulo 3.3.1) se ha utilizado el programa Visual Balan en su versión 2.0. El cálculo que realiza dicha herramienta puede dividirse en 4 fases (Samper et al., 2005): (A) Lectura de los datos de entrada, (B) selección de metodología para el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP), (C) realización del balance hidrometeorológico y (D) presentación de resultados.

En la Fase A, el procesado de los datos de entrada se realiza con Visual Basic. Dichos datos de entrada son las propiedades del suelo edáfico, de la zona no saturada y del acuífero, situación geográfica y datos meteorológicos.

En la Fase B los métodos que pueden utilizarse para el cálculo de la ETP son: Thornthwaite, Blaney-Criddle, Makkink, Penman-Monteith y Turc. También existe la posibilidad de proporcionar los valores conocidos de la ETP. Para el cálculo de la ETR a partir de la ETP, Visual Balan incorpora los siguientes métodos: Penman-Grindley; método en el que la fracción ETR/ETP es una función lineal del déficit hídrico del suelo; método en el que la fracción ETR/ETP es una función exponencial y versión modificada del método de Penman-Grindley.

En la Fase C se realiza el balance con una serie de cálculos secuenciales divididos en 3 pasos para el periodo de tiempo considerado. (1) Se realiza un balance en el suelo edáfico en el que si existe riego calcula el volumen de agua aplicado al suelo, a continuación calcula la ETP por el método seleccionado en la Fase B. Posteriormente se calcula la interceptación (I) y el flujo preferente. Por último calcula la escorrentía superficial (Es), la evapotranspiración real (ETr) y el flujo de salida de la zona edáfica. (2) Se realiza el balance en la zona no saturada calculando el flujo hipodérmico (si existe) y la recarga al acuífero y (3) en el balance en el acuífero se determina el caudal de salida y la variación del nivel piezométrico.

En la Fase D se presentan los resultados del balance y los ajustes del modelo. Pueden obtenerse los gráficos de datos diarios, mensuales y anuales así como de la calibración del modelo. Además puede realizarse el análisis de sensibilidad. Los gráficos y las series de datos resultantes pueden ser editados.



Figura 8.1. Esquema de los principales componentes del balance hidrometeorológico en el suelo edáfico, la zona no saturada y el acuífero (Samper et. al. 1997).

En esta investigación para la estimación de la recarga media anual a partir del balance de agua en el suelo con el código Visual Balan se ha considerado un modelo de celda única para periodos de tiempo de duración igual a un día, considerando el área de estudio en 5 sub-zonas y presuponiendo que los parámetros hidráulicos son homogéneos en cada una de ellas para una mayor simplificación.

Para el balance hidrometeorológico se ha considerado un periodo de tiempo de 17 años hidrológicos (octubre 1994-septiembre 2011), para la calibración del modelo se han considerado inicialmente los registros piezométricos históricos correspondientes a 18 puntos de control distribuidos por la zona de estudio (Anexo 5) de los cuales se han seleccionado 5, uno por cada sub-zona.

Se ha realizado un ajuste manual de los parámetros hidráulicos ya que en este caso de aplicación los resultados obtenidos tras dicho ajuste reproducen mejor la realidad que si se procede a realizar el ajuste automático del código Visual Balan.

Como resultado del balance de agua en el suelo se obtienen valores de recarga media anual estimados a partir de los valores diarios generados por el balance, de los cuales se obtiene la tasa anual media de recarga.

### 8.1.1. Tratamiento de los datos

#### 8.1.1.1. Datos hidrometeorológicos

##### 8.1.1.1.1. Series diarias de datos hidrometeorológicos

Las estaciones meteorológicas utilizadas para el balance hidrometeorológico han sido la de Mas de Barberans y la estación PN de Els Ports (Tabla 8.1.1.1.1.a). Como se analiza en el anexo Anexo 4.2, Mas de Barberans es la estación que mejor registra los eventos de lluvia representados por la respuesta en la oscilación de niveles registrado en los puntos de control de la zona de estudio. Se han utilizado las series temporales diarias de precipitación, temperatura, velocidad del viento y humedad relativa media.

La estación de Mas de Barberans está situada en el centro de la zona de estudio a cota 240 m snm. Dado que se pretende obtener la recarga media multianual producida a partir de la precipitación y se parte de la hipótesis de la existencia de dos tipos de recarga, una local producida en la Plana de La Galera y otra producida en los Ports transferida en parte lateralmente a la Plana, se ha considerado como representativa de la zona de Ports de Tortosa-Beseit (zonas altas) la estación meteorológica de PN de Els Ports, situada a 1055 m snm.

La estación PN de Els Ports tiene un registro continuo de datos diarios de precipitación y temperatura desde 2007 hasta la actualidad. Como el periodo de registros es insuficiente para el balance, se ha realizado la extensión de la serie por correlación con los datos de la estación de Mas de Barberans, que supone además una corrección por altitud.

Esta corrección se ha basado en representar las series acumuladas de las series de precipitación, velocidad del viento y humedad relativa media diaria para el periodo común 1/10/2007-30/09/2011 de las dos estaciones, ya que se observa que la correlación entre ambas estaciones es buena para el periodo común (Anexo 7). De los totales acumulados de precipitación, velocidad del viento y humedad relativa, se ha obtenido un factor de corrección (Tabla 8.1.1.1.1.b) a partir del cual se ha generado la serie extendida para la estación de PN de los Ports desde 01/10/1994-30/09/2011.

Tabla 8.1.1.1.1.a. Características de las estaciones meteorológicas Mas de Barberans y PN els Ports.

Estación	x	y	z	P diaria (mm)	Temperatura diaria (°C)			Fecha	
	(m)	(m)	(msnm)		Máx.	Media	Mín.	inicio	fin
Mas de Barberans	280481	4510937	240	SI	SI	SI	SI	01/10/1994	30/09/2011
PN els Ports*	273850	4519892	1055	SI	SI	SI	SI	04/01/2007	actualidad

\*Se ha extendido la serie al periodo 1/10/1994-30/09/2011 a partir de Mas de Barberans

Tabla 8.1.1.1.1.b. Factores de corrección para la generación de la serie de datos 01/10/1994-30/09/2011 de la estación PN de Els Ports.

EMET	P ac (mm)	Velocidad viento ac (km·h <sup>-1</sup> )	Humedad rel. ac (%)
PN de Els Ports	4337	13662	98934
Mas de Barberans	2626	15309	93852
Factor de corrección (f)	1.65	1.12	1.05



En la serie diaria de temperatura media en la estación de PN de Els Ports se ha tomado la diferencia media entre las temperaturas de las dos estaciones durante el periodo común, que es 5,7 °C mayor en Mas de Barberans. Esta diferencia se ha restado a cada valor diario de la estación de Mas de Barberans para obtener la serie de la temperatura de 01/10/1994-30/09/2011 en PN de els Ports, lo que no tiene en cuenta las diferencias estacionales.

#### 8.1.1.1.2. Corrección de la serie diaria de evapotranspiración potencial

Se ha querido mejorar los resultados de ETP obtenidos con el código Visual Balan, el cual aplica por defecto el método de Thornthwaite, ya que para climas mediterráneos implica una importante subestimación de la lluvia útil al considerar valores medios mensuales, lo que hace no tener en cuenta las lluvias más o menos intensas y de corta duración, subestimando así los valores de ETP y afectando en la sobreestimación de los valores de recarga medios anuales.

Las estaciones de Mas de Barberans y PN els Ports disponen de datos de ETP diarios para el periodo 1/01/1995-26/12/1999 y 1/10/2007-30/09/2011 calculados mediante la fórmula de Penman-Monteith, la cual utiliza valores diarios de precipitación y temperatura y tiene en cuenta parámetros de energía radiante incidente. Con dichos datos se ha generado una serie de datos diarios de ETP para el periodo completo de estudio, transformando los datos de ETP diarios calculados por Thornthwaite con un factor de conversión (Tabla 8.1.1.1.2) calculado a partir del estudio de la correlación entre la ETP de Thornthwaite y la ETP de Penman-Monteith de las estaciones durante el periodo 1/01/1995-26/12/1999 en Mas de Barberans y 1/10/2007-30/09/2011 en PN de Els Ports (ver Anexo 7.1.2.b).

Tabla 8.1.1.1.2. Factor de corrección para la generación de la serie de datos 01/10/1994-30/09/2011 de ETP diaria.

Método de cálculo	ETP ac (mm d <sup>-1</sup> )	
	Mas de Barberans	PN de els Ports
Thornthwaite	4337	1422
Penman-Monteith*	2626	1990
Factor de corrección (f)	1.26	1.4

\*Penman-Monteith calculado en la EMET Mas de Barberans y PN de els Ports.

#### 8.1.1.2. Datos hidrométricos

A continuación se muestra la síntesis del estudio de la evolución de niveles de las aguas subterráneas de las series históricas disponibles de datos piezométricos y la comparación con los hidrogramas de pluviometría registrados por la estación meteorológica de Mas de Barberans, considerada como representativa del área de estudio (ver los estudios desarrollados en Anexo 4.2 y Anexo 5.2). De los hidrogramas resultantes se han obtenido los coeficientes de agotamiento del acuífero, de especial importancia en el cálculo del balance de agua en el suelo (Anexo 5.3).

Las mediciones de nivel son de periodicidad mensual y fueron realizadas por personal técnico de la ACA de la oficina de Tortosa de forma manual. El número de años con datos aparece recogido en la Tabla 8.1.1.2.a. En la Figura 8.1.1.2.a aparecen representados los 18 puntos de medición de niveles.

Tabla 8.1.1.2.a Puntos de control preseleccionados y duración del registro piezométrico histórico para la calibración del balance de agua en el suelo con el código Visual Balan (Uso: A=agrícola, C= punto de control, D=doméstico).

Nombre	X	y	Z	Topónimo	Tipo	Aquífero	Edad	Material	Prof(m)	D (mm)	Uso	Años reg	inicio	fin
OXE10	284145	4527055	135	Piezómetro Pepeta	S	Poroso	Pleistoceno inferior	Conglomerado	160	350	A	5	1994	1999
OXE105	284365	4527210	150	Teroeles	P	Poroso	Neógeno	Conglomerado			A	7	1999	2005
ORO102	281045	4520340	108.2	Piezómetro La Caramella	S	Fisurado kárstico, doble porosidad	Mesoz-Jurásico	Dolomías	320	200	A	14	1996	2010
OROS4	288042	4522665	57.6	Pou Ventós	P	Poroso	Pleistoceno superior	Gravas	86	225	A	16	1994	2010
ORO91	284165	4515950	130	Forcada 2	P	Fisurado kárstico, doble porosidad	Mesoz-Aptiense	Calizas	190	400		12	1996	2010
ORO93	281684	4522586	273	Piezómetro Paridora del Lloro	S	Fisurado kárstico, doble porosidad	Mesoz-Neocom	Dolomías	312	320	A	12	1998	2010
OTV663	288290	4518505	5.3	SGOP 1	S	Poroso	Pleistoceno superior	Gravas	106	60	C	8	1998	2006
OSB13	286200	4511200	110	Pou 4 Potes-2	P	Fisurado kárstico, doble porosidad	Mesoz-Aptiense	Calizas	220	600	A	16	1994	2010
OSB28	290131	4513244	34.27	Piezómetro Barranc de Lledó	S	Poroso	Pleistoceno superior	Gravas	82	400	C	16	1994	2010
OUL39	288225	4502110	116	Pou Ventalles	S	Fisurado kárstico, doble porosidad	Mesoz-Aptiense	Calizas	237	195	D	16	1994	2010
OUL7	282050	4495995	132	SGOP2 Ulldecona Pont del Molí	S	Fisurado kárstico, doble porosidad	Mesoz-Aptiense	Calizas	229	60		9	1998	2007
OUL98	278970	4498815	203.2	Ulldecona 3- Sant Joan del Pas I	P	Fisurado kárstico, doble porosidad	Mesoz-Aptiense	Calizas	400	500	A	16	1994	2010
OAL100	288850	4489385	20.8	Piezómetro Sol de Río	S	Poroso	Pleistoceno superior	Gravas	120	180		8	1995	2003
OAL111	287185	4491680	104.2	Tio Pepe 2	P	Fisurado kárstico, doble porosidad	Mesoz-Neocom	Calizas	230	350	A, D	8	1995	2003
OAM257	294194	4509105	55.93	Pou Dipòsit (Amp.Abastament)	P	Fisurado kárstico, doble porosidad	Mesoz-Cenomaniense	Calizas	133	500	D	15	1994	2009
OGA4	284145	4508438	155	Piezómetro Solana (Pou bertomeu)	S	Fisurado kárstico, doble porosidad	Mesoz-Albiense	Calizas	210	350		16	1994	2010
OGO10	286945	4505965	108.7	Vinyetes GODALL 3B	P	Fisurado kárstico, doble porosidad	Mesoz-Aptiense	Calizas	220	400	A	15	1994	2009
OMV15	289305	4508850	64	Pou Müller-IRTA	P	Fisurado kárstico, doble porosidad	Mesoz-Aptiense	Calizas	128	450	A	16	1994	2010

La mayor densidad de puntos se concentra en la zona N-NE y SE del área de estudio. Esta distribución es debida a la disposición de materiales potencialmente acuíferos de agua subterránea que existe en la zona. La mayor parte de los pozos extraen agua de niveles profundos asociados al acuífero regional. Otros explotan de materiales más someros de edad Terciaria. La mayoría de los pozos son para uso agrícola o de abastecimiento de grandes poblaciones, como Santa Bárbara, Amposta y Tortosa.

Existe un vacío de perforaciones y por tanto de información entre las poblaciones de Mas de Barberans, La Sènia y Els Valentins debido a la gran profundidad a la que se encuentran los posibles materiales acuíferos. Para el estudio de la evolución piezométrica a lo largo del periodo de tiempo considerado se han agrupado los puntos de control en función de su ubicación del material acuífero del cual extraen el agua (ver Figura 8.1.1.2.a).

Las características de los hidrogramas de niveles se describen en el Capítulo 4.4.3 y en Anexo 5.2. La obtención de los parámetros hidráulicos se desarrolla en el Anexo 5.3. Verlos en Tablas 8.1.1.2.c-g.

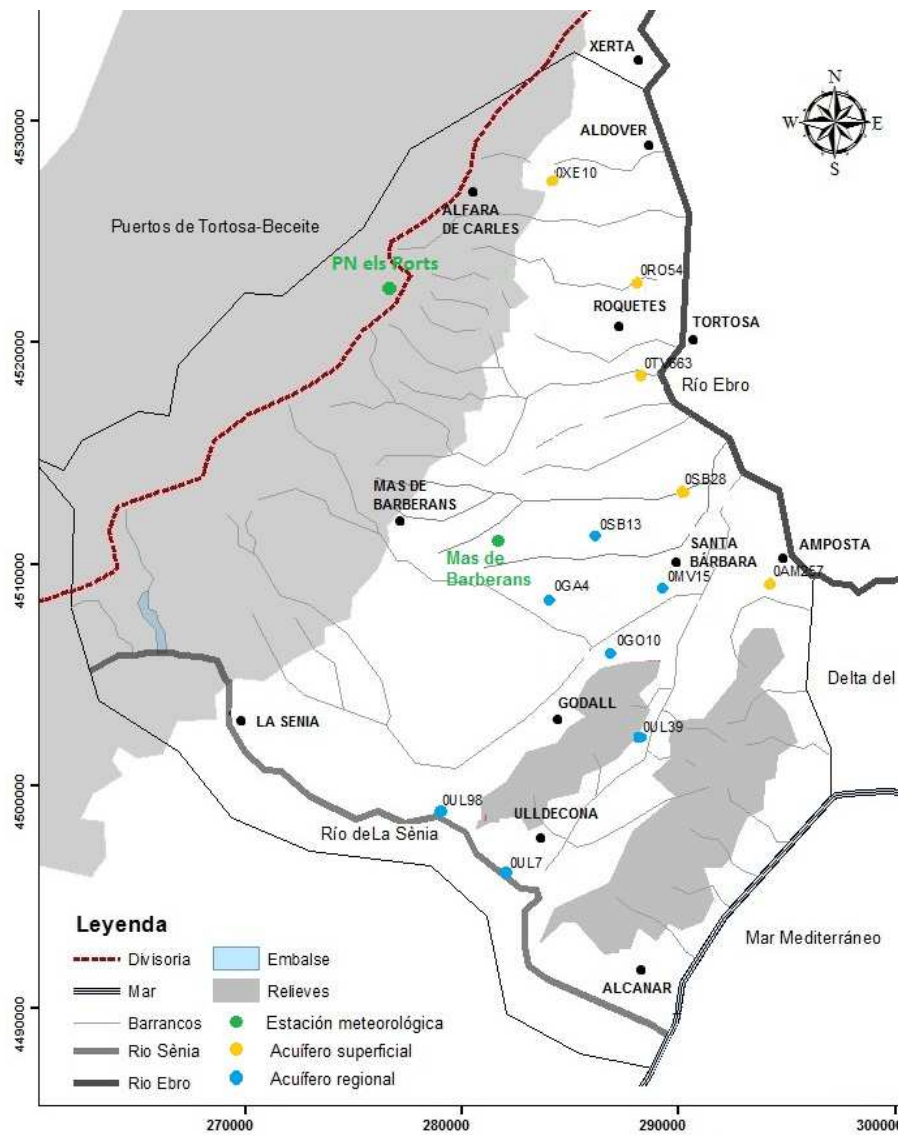


Figura 8.1.1.2.a Localización de los puntos de control y de las estaciones meteorológicas consideradas para el balance meteorológico.

Tabla 8.1.1.2.b. Puntos de control vs evolución piezométrica de Mas de Barberans para comparación de hidrogramas

GRUPO	PUNTOS DE CONTROL
A	ORO54- Ventós OSB28- piezómetro barranc Lledó OAM257- Abast. Amposta OTV663- SGOP1 OXE10- Piezómetro Pepeta OXE105- CR Teroles
B	ORO91- Forcada 2 ORO93- Paridora del lloro ORO102- La Caramella
C	OGA4- Pou Bertomeu (Solana) OGO10- Vinyetes OMV15- Müller IRTA OSB13- Pou 4 potes 2
D	OUL7- SGOP2 pont del molí OUL39- Ventalles OUL98- Ulldecona 3
E	OAL100- Piezómetro Sol de Riu OAL111- Tío Pepe 2

Tabla 8.1.1.2.c. Parámetros hidráulicos del grupo A.

Punto	Toponimia	Acuífero	Material	Nivel mínimo (msnm)	Nivel base (msnm)	Zona de descarga	Nivel máx (msnm)	Años con registro	Coeficiente agotamiento medio	
									$10^{-3} \alpha \text{ (d}^{-1}\text{)}$	$1 \alpha^{-1} \text{ (d)}$
OXE10	Piez. Pepeta	Terciario	Conglomerado	1,71 ó 2,87	3	Río Ebro-Aldover	7,02	5	3	333
OXE105	CR Taraioles	Terciario	Conglomerado	25,47	25	Bc. Conca (Aldover)	39,05	7	1,1	909
ORO54*	Ventós	Terciario	Gravas	6	2 – 5	Río Ebro-Bítem	11,06	16	1,7-4,2	588-238
OSB28	Bc Lledó	Terciario	Gravas	1,11	1	Río Ebro-Campredó	7,66	16	4,5	222
OTV663*	SGOP 1	Terciario	Gravas	-0,54	0-1	Río Ebro-Tortosa	2,95	8		
OAM257	Abast. Amposta	Mesoz-Cenom	Calizas	0,38	0-1	Río Ebro-Amposta	5,95	15	3,6	278

\*ORO54: Se considera un rango del coeficiente de agotamiento dado que el nivel de descarga no es claro. Puede ser tanto el río Ebro a la altura de Bítem con un nivel de base de 2m snm, como la rivera del mismo a cota 5m snm. \*\*OTV663: Con el hidrograma de niveles de este punto no se ha podido calcular el coeficiente de agotamiento ya que las mediciones de nivel no describen curvas de agotamiento interpretables.

Tabla 8.1.1.2.d. Parámetros hidráulicos del grupo B.

Punto de control	Toponimia	Acuífero	Material	Nivel mínimo (msnm)	Nivel base (msnm)	Zona de descarga	Nivel máx (msnm)	Años con registro	Coeficiente agotamiento medio	
									$10^{-3} \alpha \text{ (d}^{-1}\text{)}$	$10^{-3} \alpha \text{ (d}^{-1}\text{)}$
ORO102*	La Caramella	Mesoz-Juras	Dolomías	4,9	1	Río Ebro-Tortosa	49,47	14		
ORO91	Forcada 2	Mesoz-Aptiense	Calizas	11,77	13	Barranc de S. Antoni	64,62	12	6,8	147
ORO93	Paridora del Lloro	Mesoz-Neocom	Dolomías	19,22	19	Barranc de S. Antoni	61,21	12	1,1	909

\*ORO102: Es un punto de control de uso agrícola con alta frecuencia de extracción. No se puede extraer una curva de agotamiento interpretable.

\*\*ORO93: No parece responder de manera inmediata a los eventos de lluvia, presenta cierto retraso.

Tabla 8.1.1.2.e. Parámetros hidráulicos del grupo C.

Punto de control	Toponimia	Acuífero	Materiales	Nivel mín (msnm)	Nivel base (msnm)	Zona de descarga	Nivel máx (msnm)	Años con registro	Coeficiente agotamiento medio	
									$10^{-3} \alpha \text{ (d}^{-1}\text{)}$	$10^{-3} \alpha \text{ (d}^{-1}\text{)}$
OGA4	Pou bertomeu	Mesoz-Albiense	Calizas	4,94	5	Barranc de la Galera/Ullal Carrova	40,47	16	8,5	118
OGO10	Vinyetes	Mesoz-Aptiense	Calizas	8	5	Barranc de la Galera/Ullal Carrova	64,12	15	7	143
OMV15	Pou Müller-IRTA	Mesoz-Aptiense	Calizas	5,6	5	Barranc de la Galera/Ullal Carrova	26,52	16	9,3	108
OSB13	Pou 4 Potes-2	Mesoz-Aptiense	Calizas	8,18	5	Barranc de la Galera/Ullal Carrova	50,4	16	10,6	94

\*OGA4: entre los años 2003-2006 en los cuales los niveles son más elevados y no bajan de los 33 msnm.

Tabla 8.1.1.2.f. Parámetros hidráulicos del grupo D.

Punto de control	Toponimia	Acuífero	Materiales	Nivel mín (msnm)	Nivel base (msnm)	Zona de descarga	Nivel máximo (msnm)	Años con registro	Coeficiente agotamiento medio	
									$10^{-3} \alpha \text{ (d}^{-1}\text{)}$	$10^{-3} \alpha \text{ (d}^{-1}\text{)}$
OUL7*	SGOP2 Pont Molí	Mesozoico -Aptiense	Calizas	0,12	0-1	Río Ebro-La Carrova/Mar Mediterráneo	37,48	9	11,6	86
OUL39	Pou Ventalles	Mesozoico -Aptiense	Calizas	2,28	0-1	Río Ebro-La Carrova/Mar Mediterráneo	30,74	16	6,3	159
OUL98	Ulldecona-3 (SJ Pas I)	Mesozoico -Aptiense	Calizas	6,32	0-1	Río Ebro-La Carrova/Mar Mediterráneo	55,82	16	7,6	132

\*OUL7: Tiempo de agotamiento es muy pequeño; puede ser que descargue al mar. Es más probable que los otros dos descarguen hacia el río Ebro.

Tabla 8.1.1.2.g. Parámetros hidráulicos del grupo E.

Punto de control	Toponimia	Acuífero	Materiales	Nivel mín (msnm)	Nivel base (msnm)	Zona de descarga	Nivel máx (msnm)	Años con registro	Coeficiente agotamiento medio	
									$10^{-3} \alpha \text{ (d}^{-1}\text{)}$	$10^{-3} \alpha \text{ (d}^{-1}\text{)}$
OAL100	Piezòmetre Sol de Riu	Terciario	Gravas	1,72	0	Mar Mediterráneo	3,22	8	3,7	270
OAL111	Tio Pepe 2	Mesoz-Neocom	Dolomías	4,26	0	Mar Mediterráneo	11,95	8	4,6	217

### 8.1.2. División de zonas

Se ha considerado los dos tipos de recarga establecidos según el modelo hidrogeológico: (1) la producida en los Ports de Tortosa-Beseit, que se transfiere lateralmente a la Plana de La Galera recargando el acuífero mesozoico y subyacente y (2) la producida directamente sobre la Plana de La Galera, la cual se ha considerado como recarga local a los materiales terciarios. La distinción de estos dos tipos de recarga se basa en la diferencia de comportamiento en los hidrogramas que presentan los puntos de control que extraen de los materiales de edad mesozoica y de los que extraen de materiales de edad terciaria (ver Capítulo 4.4.3).

Dada esta diferenciación de recarga, para la calibración de los resultados del balance se ha dividido la zona de estudio en sub-zonas, con parámetros hidrodinámicos homogéneos dentro de cada sub-zona. A cada sub-zona se le ha asignado un punto de control de nivel piezométrico en función del material acuífero en el que se mide el nivel piezométrico.

Se han considerado 3 zonas, cuya localización se muestra en la Figura 8.1.2:

- Zona 1: incluye las sub-zonas SZ4+SZ1. La SZ4 representa el sistema regional, que transfiere parte de sus recursos hídricos a la SZ1 a través de la cual descarga hacia el río Ebro. La SZ1 representa el sistema local, que recibe la recarga y descarga hacia el río Ebro. Dado que no está definida la conectividad hidráulica entre el sistema regional y el local y debido a la diferenciación geomorfológica y topográfica entre la SZ4 (relieve montañoso) y la SZ1 (zona baja sin relieve acusado de la cuenca), se han considerado como dos sub-zonas separadas para el cálculo del balance.
- Zona 2: incluye las sub-zonas SZ5+SZ2. Reproducen las mismas características que la SZ4 y SZ1 respectivamente.
- Zona 3: es la que se ha representado en la Figura 8.2.3.a como SZ3. Incluye los macizos de Godall y Montsià, que aunque de carácter montañoso tienen menores relieves que Els Ports.

A cada sub-zona se le ha asignado el punto de control que mejor representa el comportamiento hidrodinámico de la zona a la que pertenecen. En las Tablas 8.1.2.a-c se presentan las características de los puntos de control seleccionados para cada sub-zona.

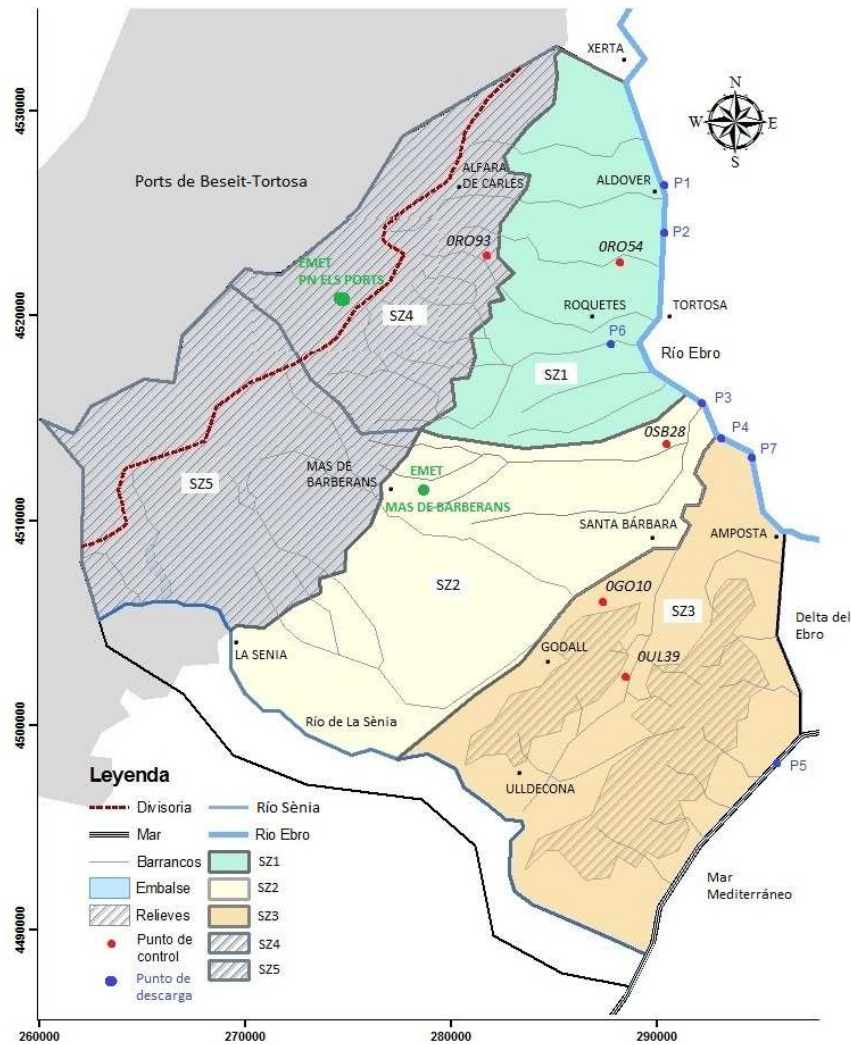


Figura 8.1.2. División de la zona de estudio y ubicación de puntos de control. Localización del área de descarga (P1, P2, P3, P4, P5, P6 y P7) asociada a cada punto de control (ver Tabla 1.2.c).

Tabla 8.1.2.a. Características de las sub-zonas.

Subsistemas	Sub-zona	Ubicación	Área (km <sup>2</sup> )	EMET	Punto de control
1	SZ4	Els Ports de Besseit (NW)	175	Mas de Barberans	ORO93-Paridora
	SZ1	Plana de la Galera (NE)	140	Mas de Barberans	ORO54-Ventós
2	SZ5	Els Ports de Besseit (SW)	180	Mas de Barberans	OGO10-Vinyetes
	SZ2	Plana de la Galera (SE)	205	Mas de Barberans	OSB28-Bc. Lledó
3	SZ3	Fosa de Ulldecona	215	Mas de Barberans	OUL39-Ventalles

Tabla 8.1.2.b. Características generales de los puntos de control. (Uso: A: agrícola, D: doméstico; C: punto de control-sondeo).

Nombre	X	y	Z	Topónimo	Tipo	Aquífero	Edad	Material	Prof(m)	D(mm)	Uso	Años reg	inicio	fin
ORO54	288042	4522665	57.6	Pou Ventós	P	Poroso	Pleistoceno superior	Gravas	86	225	A	16	1994	2010
ORO93	281684	4522586	273	Pozo Paridora del Lloro	P	Fisurado kárstico, doble porosidad	Mesoz-Neocom	Dolomias	312	320	A	12	1998	2010
OSB28	290131	4513244	34.27	Piezómetro Barranc de Lledó	S	Poroso	Pleistoceno superior	Gravas	82	400	C	16	1994	2010
OUL39	288225	4502110	116	Pou Ventalles	P	Fisurado kárstico, doble porosidad	Mesoz-Aptiense	Calizas	237	195	D	16	1994	2010
OGO10	286945	4505965	108.67	Vinyetes GODALL 3B	P	Fisurado kárstico, doble porosidad	Mesoz-Aptiense	Calizas	220	400	A	15	1994	2009



Tabla 8.1.2.c. Propiedades hidráulicas de los puntos de control.

Punto	Toponimia	Acuífero	Material	Nivel mínimo	Nivel base	Nivel máx	Zona de descarga	Años con registro	*Coeficiente agotamiento medio		Punto de descarga
				(msnm)	(msnm)	(msnm)			$10^{-3} \alpha$ (d <sup>-1</sup> )	$\ln 2 / \alpha$ (d)	
ORO54	Ventós	Terciario	Gravas	6	2-5	11,06	Río Ebro -Bítem	16	1,7-4,2	408-165	P1-P2
OSB28	Bc Lledó	Terciario	Gravas	1,11	1	7,66	Río Ebro(Campredó)	16	4,5	154	P3
OUL39	Pou Ventalles	Mesoz-Aptiense	Calizas	2,28	0-1	30,74	Río Ebro-Mar Medit	16	6,3	110	P4-P5
ORO93	Paridora del Lloro	Mesoz-Neocom	Dolomías	19,22	19	61,21	Barranc de S. Antoni	12	1,1	630	P6
OGO10	Vinyetes	Mesoz-Aptiense	Calizas	8	5	64,12	Ullal Carrova	15	7	99	P7

\*Coeficiente de agotamiento medio: obtenido del hidrograma de nivel piezométrico perteneciente a cada punto de control. En el cálculo del balance de agua en el suelo se parte de este valor para el posterior ajuste. Los valores finales aparecen recogidos en la Tabla 8.1.3.b.

(Punto de descarga: su localización aparece representada en la Figura 8.1.2).

### 8.1.3. Balance de agua en el suelo por sub-zonas

En la estimación de la recarga media anual en la Plana de la Galera y en los Ports de Tortosa-Beseit no se ha tenido en cuenta el área situada en el margen derecho del río de La Sènia ya que al encontrarse fuera del límite estricto de la zona de estudio (margen izquierdo del río de La Sènia) ha sido una zona de la que se tiene escasa información y se supone que la cantidad de recursos transferidos desde la parte de los Ports de Beseit-Tortosa considerados y de la Plana de La Galera hacia la Plana de Vinaròs es poco relevante en comparación con las transferencias desde los Ports de Beseit-Tortosa y la Plana de La Galera a las zonas de descarga del río Ebro y Mar Mediterráneo.

Para el balance meteorológico se ha utilizando la serie diaria de datos de precipitación (mm), temperatura media (°C), velocidad del viento (km·h<sup>-1</sup>), humedad relativa (%) y evapotranspiración potencial (mm) de la estación meteorológica Mas de Barberans como representativa de las sub-zonas SZ1, SZ2 y SZ3 y la estación meteorológica PN Els Ports como representativa de las sub-zonas SZ4 y SZ5 (Figura 8.1.2).

Para la selección de parámetros hidráulicos de partida de la cubierta vegetal y suelo edáfico se ha recurrido a datos bibliográficos (Samper et al., 2010). El ajuste del balance se ha realizado manualmente para conseguir una mejor aproximación de detalle al funcionamiento observado en la zona de estudio. Los parámetros del suelo edáfico son los de un suelo medianamente desarrollado, con pendiente inferior al 1% y en cultivo de secano para las SZ1, SZ2 y SZ3, y poco desarrollado con abundante superficie de roca aflorante y pendientes mayores al 1% para SZ4 y SZ5. Se ha considerado que existe interceptación tanto en la zona de la Plana con predominancia de pastos, frutales y olivar, como en los Ports, puesto que hay zonas con pinares relativamente densos.

La recarga en tránsito diferida (percolación) se ha calculado por el Método Modificado considerando un flujo preferente por fisuras, aplicando un coeficiente de proporcionalidad (CKRD) que determina la magnitud del flujo preferente) y un umbral a partir del cual cesa el flujo preferente (FRD); ambos

coeficientes carecen de sentido físico y han sido obtenidos por calibración (Tabla 8.1.3.a y los gráficos de la función de humedad en Anexo 7.2).

Tabla 8.1.3.a. Valores del coeficiente de proporcionalidad (CKRD) y umbral del flujo preferente (FRD) para las sub-zonas.

Coeficientes	SZ1	SZ2	SZ3	SZ4	SZ5
CKRD	0.1				
FRD	0.5		0.7		

La evapotranspiración real se ha calculado por el Método Exponencial por su mejor ajuste en el balance, con un umbral de déficit hídrico (CEME) de 5 mm para las sub-zonas SZ1, SZ2 y SZ3 y de 10 mm para las SZ4 y SZ5 (Anexo 7.2).

Debido a la actividad agrícola existente en la Plana de La Galera y a la superficie regable estimada (Anexo 6.2.2 y Anexo 6.3), ha sido necesario realizar una cuantificación de la superficie realmente regada y de los retornos de riego producidos en la zona.

Es sabido que la superficie agrícola de cultivo en regadío situada a cota inferior del Canal de la Dreta (margen entre el Canal y el río Ebro) se riega con agua superficial y la superficie agrícola de cultivo en regadío situada por encima de la cota del Canal se riega con agua subterránea (Figura 8.1.3). Es esta superficie y la cantidad de riego aplicado la que es necesario cuantificar para valorar la posible importancia de los retornos de riego en los resultados del balance de agua en el suelo (Tabla 8.1.3.b).

Tabla 8.1.3.b. Superficie total de sub-zonas y de regadío inscrito (Superficie total y regadío inscrito en km<sup>2</sup>).

Sub-zona	Superficie total	Regadío inscrito
SZ1	150	33
SZ2	205	7.05
SZ3	215	1

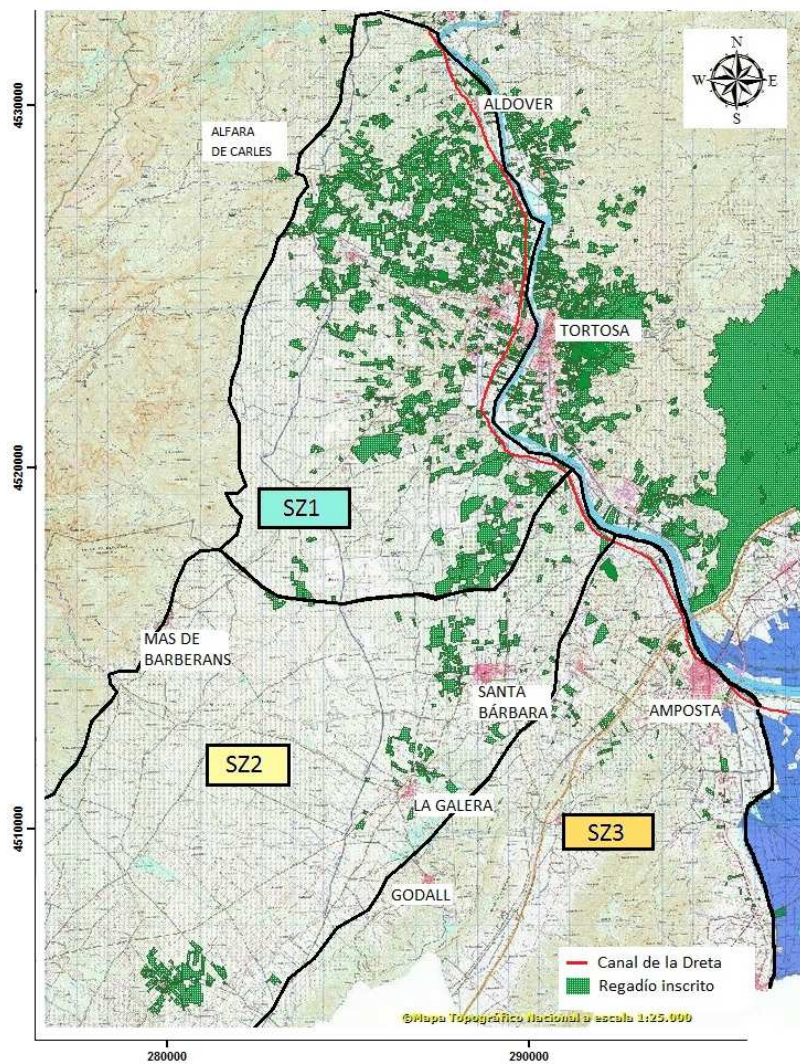


Figura 8.1.3. Zonación de regadío inscrito oficialmente en la Plana de La Galera (Servicio HydroGeoEbro en SITEbro en versión Web: <http://iber.chebro.es/sitebro/sitebro.aspx?hydrogeoebro&idCapa=62&valor=07>).

La superficie regada en la SZ1 supone el 22 % de la superficie total de la sub-zona, por lo que será necesario tener en cuenta los retornos de riego producidos en la zona. Para su cálculo se han considerado 7 riegos anuales de dos días de duración y 4 etapas de riego, comenzando y finalizando el primer y último día del mes respectivamente.

Para la SZ5 se ha dividido el registro piezométrico en dos series, dado que a partir de octubre de 2000 el hidrograma tiene un comportamiento que difiere del periodo 1994-2000 y lo hace difícilmente ajustable (Anexo 7.2.2). Este cambio en el comportamiento puede ser debido a un aumento de la explotación de los pozos en el entorno, pero no se ha podido verificar la causa.

En la Tabla 8.1.3.c se presentan los parámetros hídricos finales tras el ajuste manual para cada sub-zona, en la Tabla 8.1.3.d los niveles de base y coeficiente de agotamiento del acuífero de partida y los ajustados en la Tabla 8.1.3.e los resultados medios anuales del balance de agua en el suelo.

Tabla 8.1.3.c. Parámetros hidráulicos finales del balance de agua en el suelo.

PARÁMETROS		SUB-ZONAS					
		SZ 1	SZ 2	SZ 3	SZ 4	SZ 5	
DATOS		17	17	17	17	6	11
Años EMET		Mas de Barberans			PN de els Ports		
HIDROMETEO		Superficie de la subzona (km2)	140	205	215	175	180
Punto Control		ORO54	OSB28	OUL39	ORO93	OGO10	
CUBIERTA VEGETAL		Interceptación-Cubierta vegetal	Alfalfa, veza y pastos		Bosque de pinares		
Método de cálculo: Singh		Capacidad de almacenamiento		0,668	1,27		
Factores de corrección		Coeficiente de interceptación		0,132	0,2		
SUELO EDÁFICO		Porosidad total	0,35		0,1	0,4	
Humedad inicial		0,075		0,075	0,04		
Conductividad hidráulica (cm/s)		0,1		0,1	1,15*10 <sup>-4</sup>		
Punto de marchitez		0,125		0,05	0,01		
Capacidad de campo		0,15		0,07	0,05		
Espesor suelo (m)		2		1,75	0,5		
Reserva útil (mm)		50		35	20		
ETP		Albedo (0,1% cereales)		Albedo (0,16% bosques pináceas)			
ETR por el método exponencial		Altitud media (70 msnm)	Altitud media (150 msnm)	Altitud media (350 msnm)	Altitud media (600 msnm)		
Escorrentía superficial por el Número de curva		7	5	5	10	10	
CEME (mm): Umbral déficit hídrico		20	10	20	20	20	
Lluvia mínima del aguacero (mm)		35,70	59,70	54,70	50,80	50,100	50,70
Número de curva : % área ocupada		Coeficiente de percolación (d <sup>-1</sup> )		0,5	0,69	0,231	0,5
ZONA NO SATURADA		Resolución de la ecuación por Método explícito		1	3	1,4	
Tiempo semiagotamiento (d)		0,0017	0,0077	0,0099	0,0036	0,007	
ACUÍFERO		Tiempo semiagotamiento (días)	407,7	90	70	193	99
Coeficiente almacenamiento		0,129	0,05	0,015	0,025	0,045	0,015
Nivel inicial (msnm)		6,94	2,42	13,47	43,63	9,78	10,8
Nivel de descarga (msnm)		4,3	2	5	29	3,5	4,7

Tabla 8.1.3.d. Nivel de base y coeficiente de agotamiento del acuífero de partida y ajustado.

Punto	Toponimia	Acuífero	Material	Nivel base		*Coeficiente agotamiento medio inicial		*Coeficiente agotamiento medio ajustado	
				inicial(msnm)	ajustado (msnm)	10 <sup>-3</sup> α (d <sup>-1</sup> )	Ln2 α <sup>-1</sup> (d)	10 <sup>-3</sup> α (d <sup>-1</sup> )	Ln2 α <sup>-1</sup> (d)
ORO54	Ventós	Terciario	Gravas	02-may	4,3	1,7-4,2	408-165	1,7	407,7
OSB28	Bc Lledó	Terciario	Gravas	1	2,3	4,5	154	7,7	90
OUL39	Pou Ventalles	Mesoz.-Aptiense	Calizas	0-1	5	6,3	110	9,9	70
ORO93	Paridora del Lloro	Mesoz.-Neocom	Dolomías	19	29	1,1	630	3,6	193
OGO10	Vinyetes	Mesoz.-Aptiense	Calizas	5	3,5-4,7	7	99	7	99

\*Tanto el material acuífero terciario como el mesozoico se descargan más rápido que lo calculado como primera aproximación a partir de los hidrogramas.

Tabla 1.3.e. Resultados del balance de agua en el suelo por sub-zonas con ETP según Thornthwaite corregido como método de cálculo de la ETP (valores medios anuales  $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ ).

Zona	Precipitación + riego	Interceptación	Escorrentía	ETR	Recarga	Caudal total
SZ1 sin riego	660	29	16	397	216	232
SZ1 con riego	1158	29	16	829	282	298

Zona	Precipitación	Interceptación	Escorrentía	ETR	Recarga	Caudal total
SZ2	660	58	34	375	202	236
SZ3	660	77	31	314	237	210
SZ4	1086	90	102	408	487	593
SZ5 serie 1	1035	101	95	370	470	565
SZ5 serie 2	1114	98	113	362	541	654

Tabla 1.3.f. Resultados de recarga ponderados por la superficie (Superficie:  $\text{km}^2$ , Recarga:  $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$  y Volumen:  $\text{hm}^3\cdot\text{a}^{-1}$ ).

ZONA	Superficie	Recarga	Volumen
SZ1 sin riego	117	210	25
SZ1 con riego	33	280	9
SZ2	205	200	41
SZ3	215	237	51
SZ4	175	490	85
SZ5	180	510	92

Los valores volumétricos de recarga por precipitación y de recarga por retornos de riego son coherentes con los obtenidos en Loaso (1985) para la Plana de La Galera (ver Capítulo 4.7 Tabla 4.7).

### 8.1.3.1. Calibración del balance de agua en el suelo

El balance de agua en el suelo se ha calibrado comparando los niveles calculados frente a los niveles medidos en los puntos de control seleccionados. Para esta calibración se ha considerado un modelo de celda única en base a la disponibilidad de datos existente. Se han considerando sistemas diferenciados que se recargan y descargan de forma independiente, presuponiendo que los parámetros hidráulicos son homogéneos en cada sub-zona, dada la escasez de datos de parámetros hidráulicos en la zona de estudio.

#### SZ1- Plana de la Galera (NE)

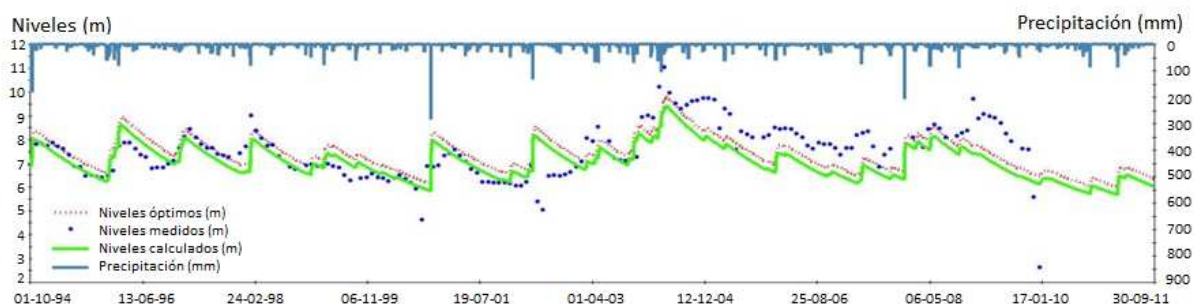


Figura 8.1.3.1.a. Hidrograma de niveles calculados vs niveles medidos y su ajuste en la sub-zona SZ1.



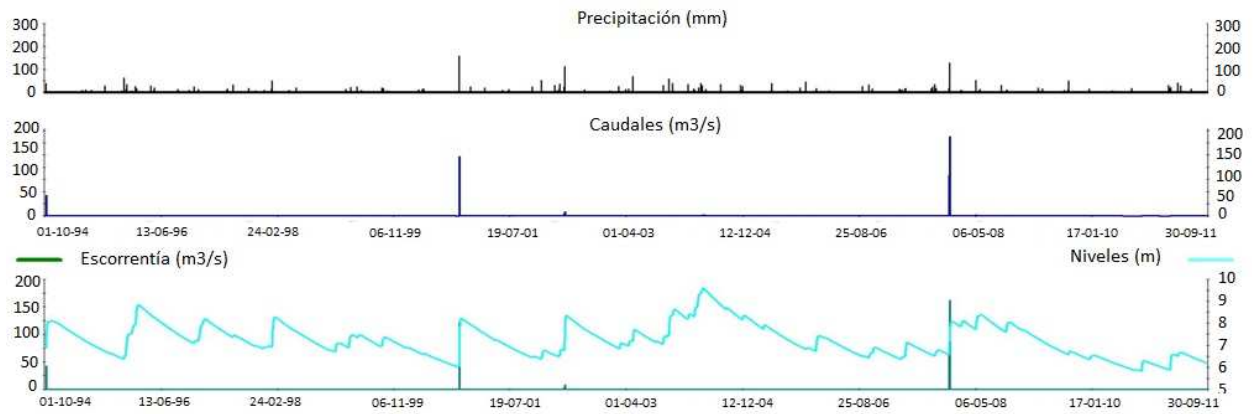


Figura 8.1.3.1.b. Resultados diarios y mensuales de precipitación, caudales y escorrentía superficial en la sub-zona SZ1.

**SZ2- Plana de la Galera (SE)**

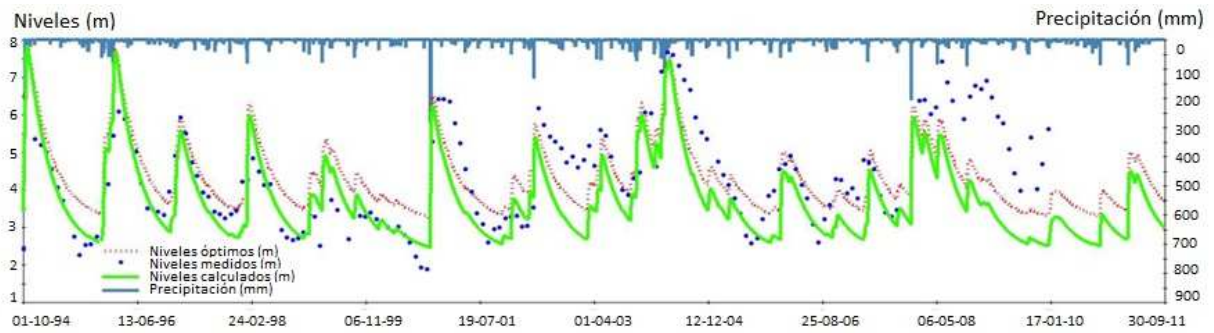


Figura 8.1.3.1.c. Hidrograma de niveles calculados vs niveles medidos y su ajuste en la sub-zona SZ2.

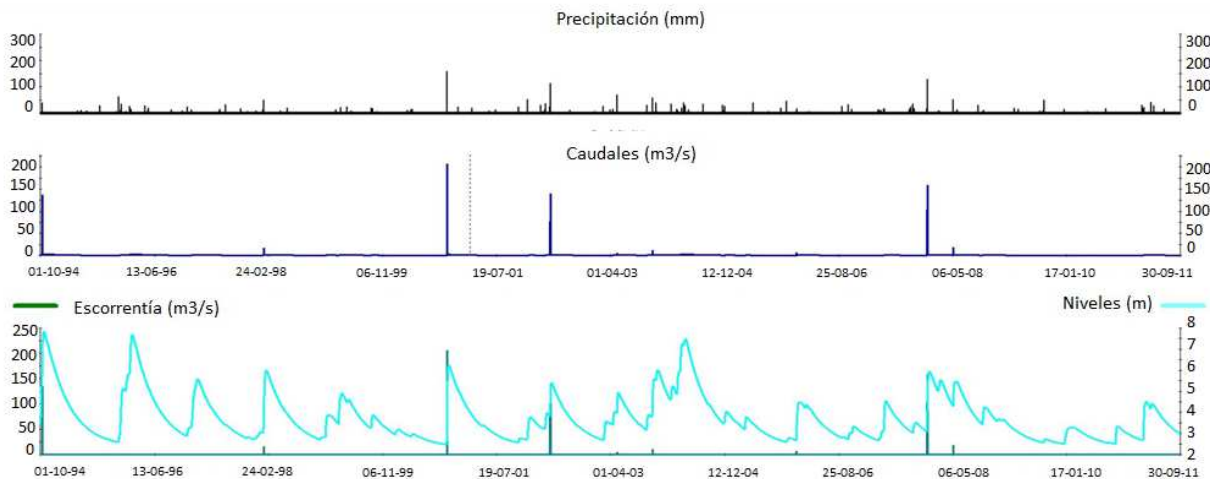


Figura 8.1.3.1.d. Resultados diarios y mensuales de precipitación, caudales y escorrentía superficial en SZ2.



**SZ3- Fosa de Ulldecona-macizos Montsià y Godall (SE)**

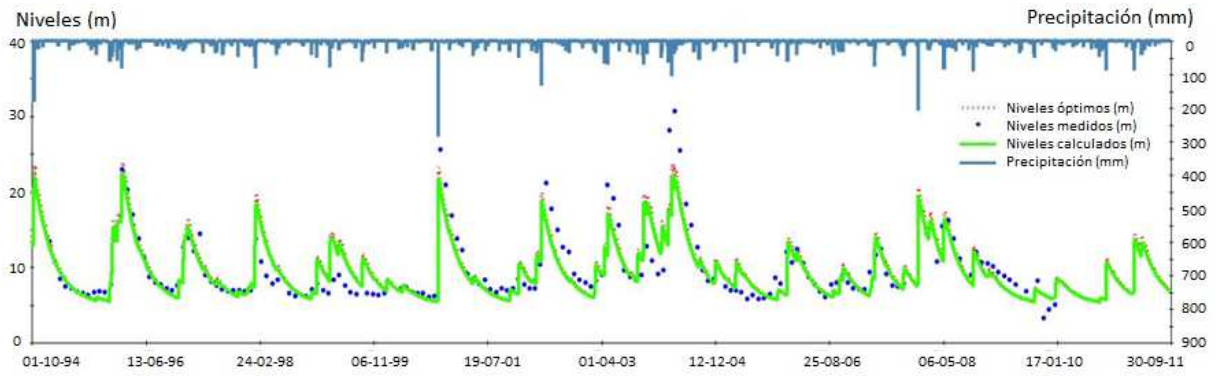


Figura 8.1.3.1.e. Hidrograma de niveles calculados vs niveles medidos y su ajuste en la sub-zona SZ3.

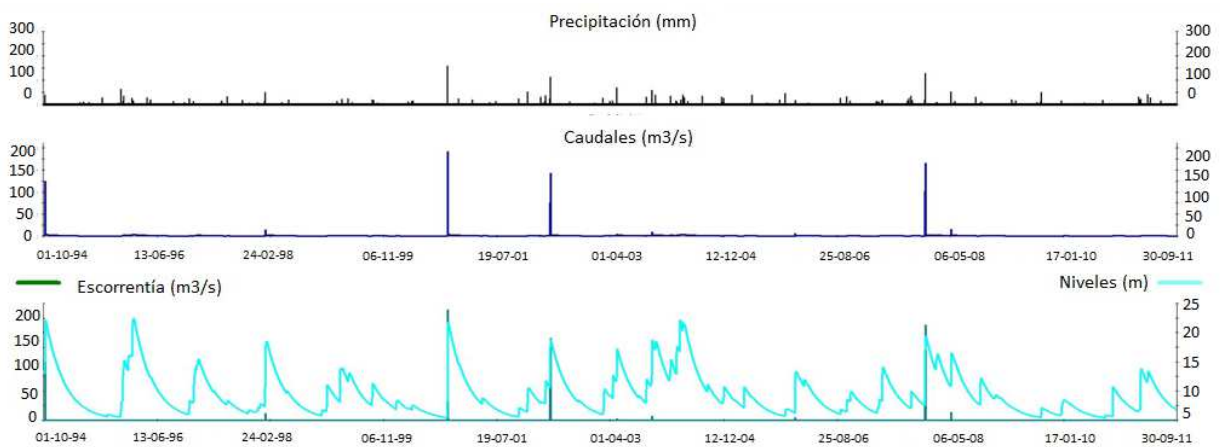


Figura 8.1.3.1.f. Resultados diarios y mensuales de precipitación, caudales y escurrentía superficial en SZ3.

**SZ4- Els Ports de Besseit (NW)**

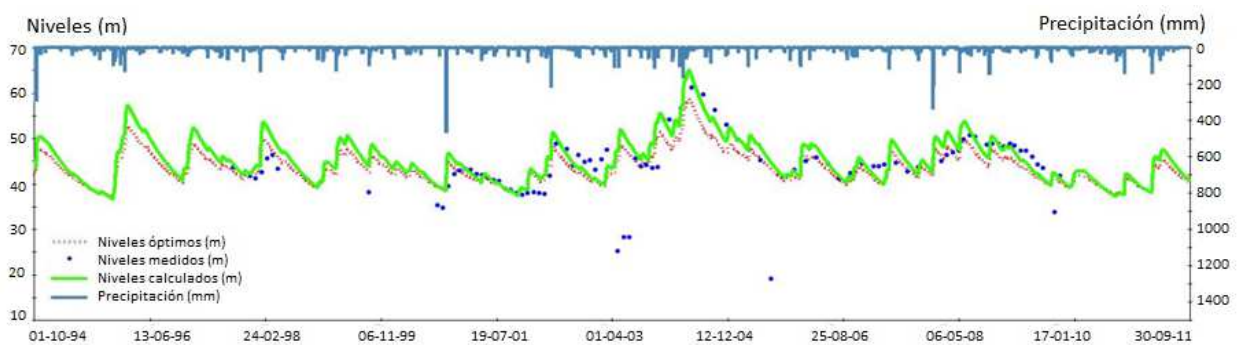


Figura 8.1.3.1.g. Hidrograma de niveles calculados vs niveles medidos y su ajuste en la sub-zona SZ4.

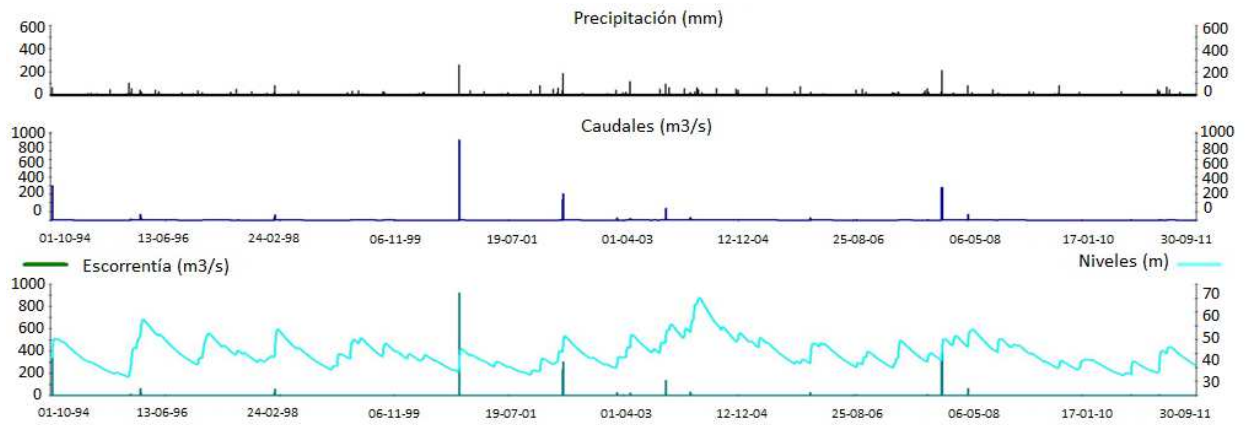


Figura 8.1.3.1.h. Resultados diarios y mensuales de precipitación, caudales y escorrentía superficial en la sub-zona SZ4.

**SZ5- Ports de Tortosa-Beseit (SW)**

En esta sub-zona se ha dividido el registro en dos series dado que a partir de octubre de 2000 el hidrograma reproduce un comportamiento que difiere del periodo 1994-2000 y lo hace difícilmente ajustable. Por lo que se ha procedido a dividir el registro en las siguientes dos series, dando como consecuencia los ajustes de las Figuras 8.1.3.1.i a 8.1.3.1.l.

**Serie 1**

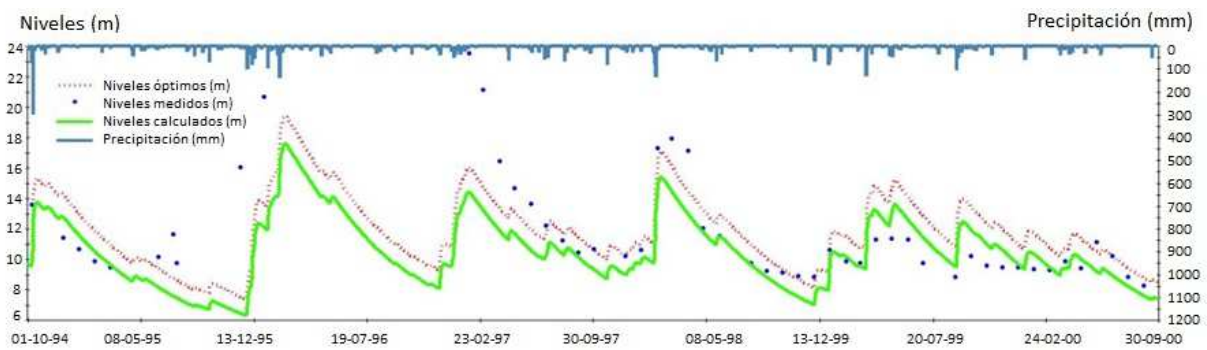


Figura 8.1.3.1.i. Hidrograma de niveles calculados vs niveles medidos y su ajuste en la sub-zona SZ5. Serie 1.

**Serie 2**

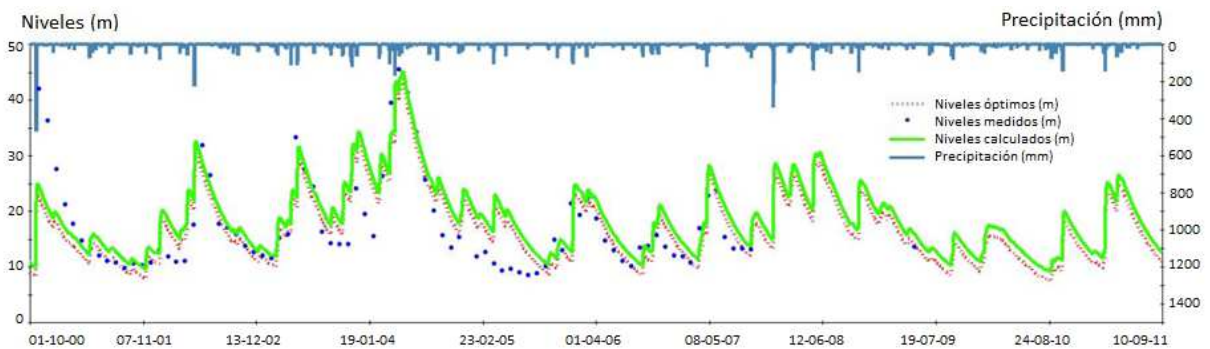


Figura 8.1.3.1.j. Hidrograma de niveles calculados vs niveles medidos y su ajuste en la sub-zona SZ5. Serie 2.

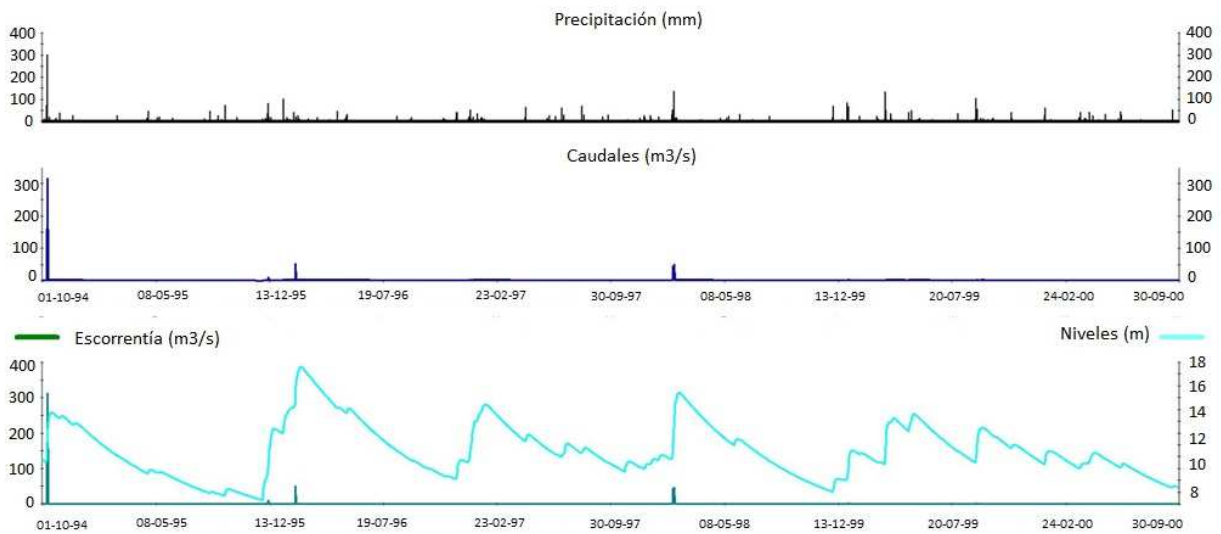


Figura 8.1.3.1.k. Resultados diarios y mensuales de precipitación, caudales y esorrentía superficial en la sub-zona SZ5.

Serie 1.

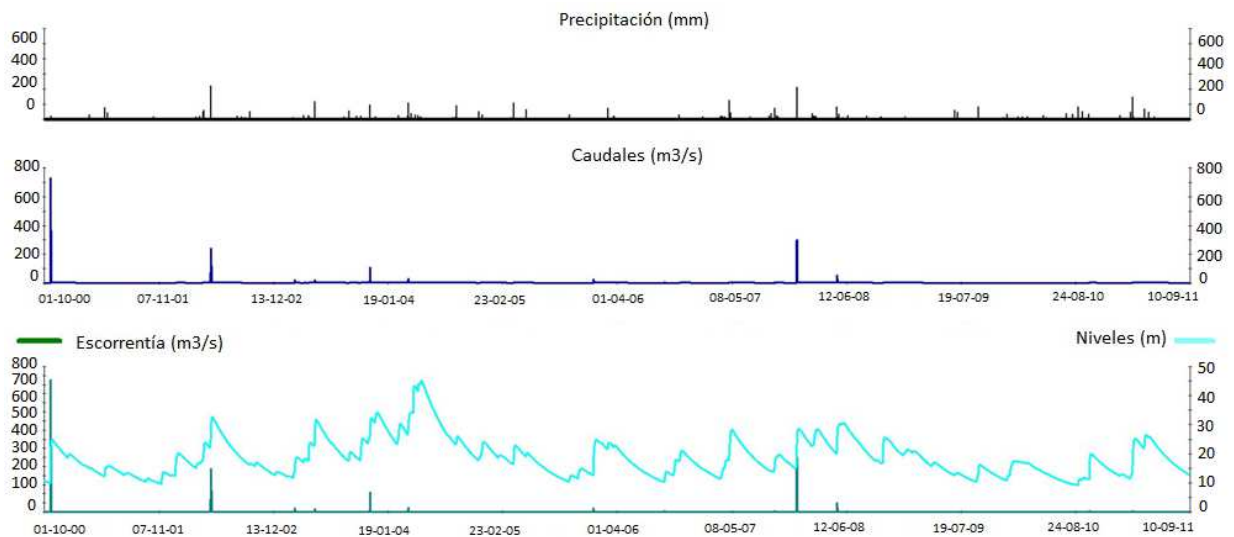


Figura 8.1.3.1.l. Resultados diarios y mensuales de precipitación, caudales y esorrentía superficial en SZ5. Serie 2.

A partir de los hidrogramas de calibración y ajuste de niveles piezométricos (Figuras 8.1.3.1.a-l) se han obtenido los errores de ajuste, resultando admisibles para todas las sub-zonas (Tabla 8.1.3.1).

Tabla 8.1.3.1. Error de ajuste en los balances de agua en el suelo para cada sub-zona.

	SZ1	SZ2	SZ3	SZ4	SZ5	
					serie 1	serie 2
error medio	0.32	0.61	0.25	-2.07	2.12	-1.44
error cuadrático medio	0.94	1.16	2.48	5.71	3.36	5.21

### 8.1.3.2. Análisis de sensibilidad del balance de agua en el suelo

Para conocer cuán sensibles son los resultados del balance a las variaciones en los parámetros se ha realizado un análisis de sensibilidad conjunto de los diferentes caudales que componen el caudal total (escorrentía superficial, escorrentía de la zona vadosa, flujo subterráneo y recarga) así como de otras variables del balance frente a los parámetros que presentan mayor incertidumbre y que mayor influencia pueden tener en su variación.

Para simplificar el análisis se ha considerado el balance realizado en la sub-zona SZ1 como representativo de las zonas de cota baja (Plana de la Galera) y el balance en la sub-zona SZ4 como representativo de las zonas de alto relieve (Ports de Tortosa-Beseit y macizos de Godall-Montsià) (Figuras 8.1.3.2.a-f).

#### Plana de la Galera

- Análisis de sensibilidad de los componentes del caudal total frente al espesor del suelo aparente

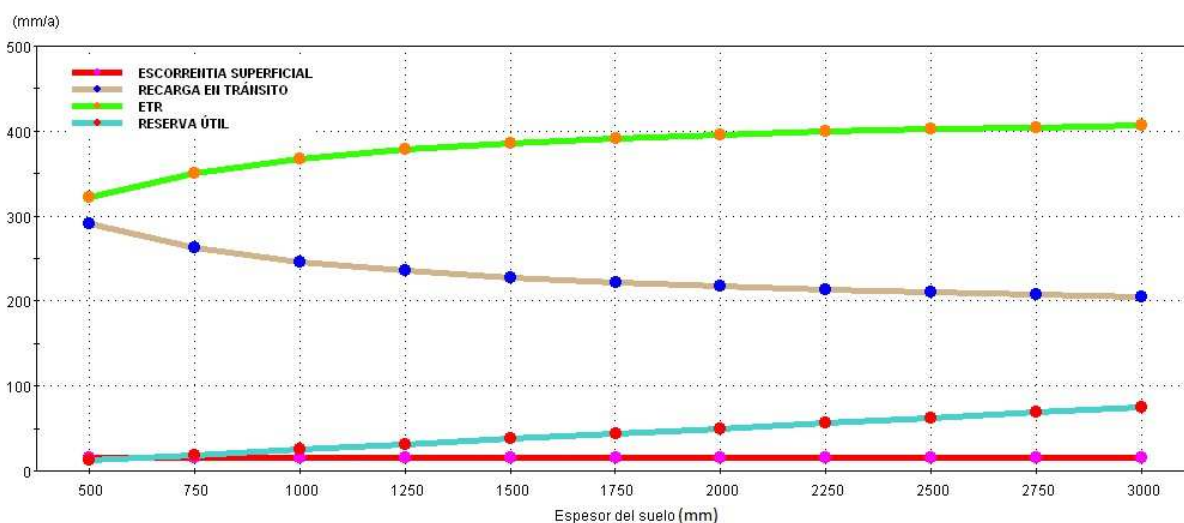


Figura 8.1.3.2.a. Sensibilidad de los componentes del caudal total frente al espesor del suelo. Plana de La Galera.

Se representa la variación de la reserva máxima en el suelo con el espesor del suelo aparente, ya que el programa no permite su introducción directa. La recarga es mayor a menor espesor de suelo (menor reserva útil máxima), hasta  $300 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$  para una reserva útil de 12.5 mm, es decir, con un espesor de suelo de 0.5 m. Como es de esperar, la evapotranspiración real varía en igual proporción que la recarga pero de manera inversa. La escorrentía no se ve afectada por el espesor del suelo.

- Análisis de sensibilidad de los componentes del caudal total frente al número de curva

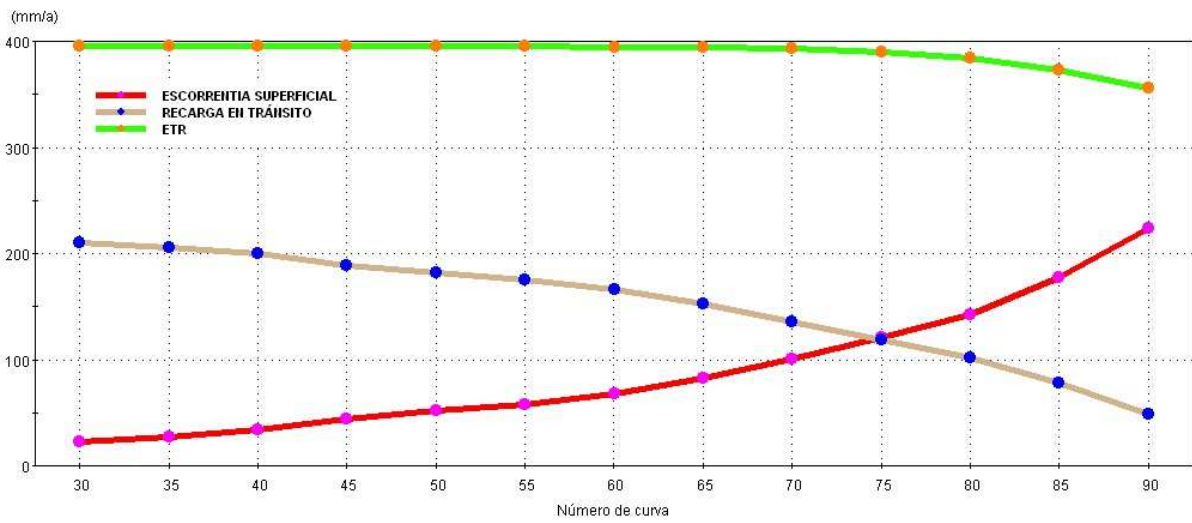


Figura 8.1.3.2.b. Sensibilidad de los componentes del caudal total frente al número de curva. Plana de La Galera.

Las variaciones de caudal con el aumento del número de curva para la escorrentía superficial son significativas. Como es de esperar afecta de manera inversa a la cantidad de recarga producida.

- Análisis de sensibilidad de los componentes del caudal total frente al coeficiente de flujo preferente (CKRD) y umbral de flujo preferente (FRD)

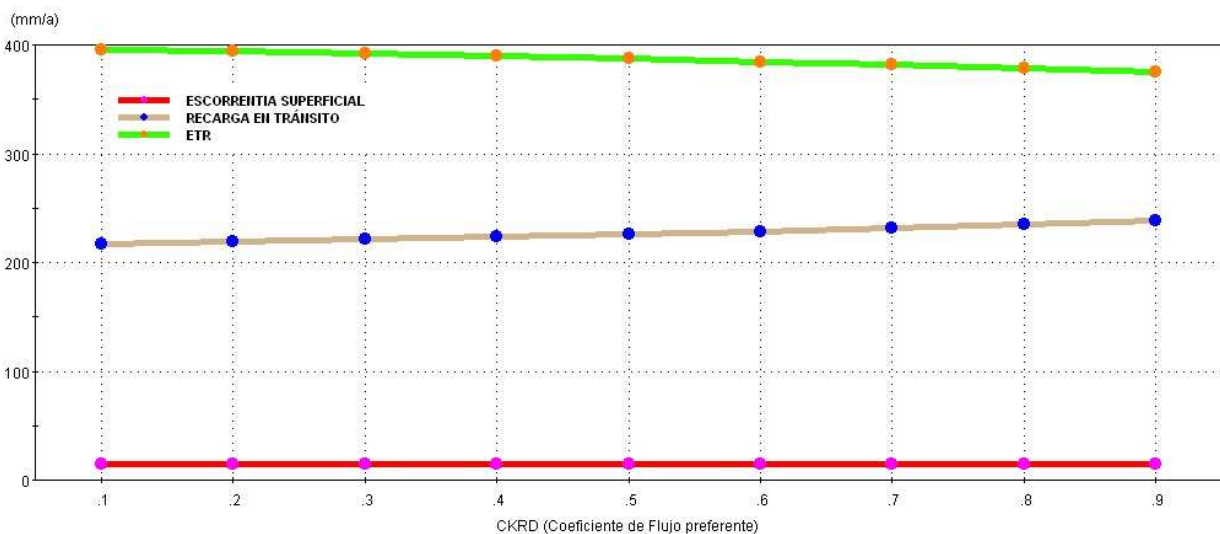


Figura 8.1.3.2.c. Sensibilidad de los componentes del caudal total frente al coeficiente de flujo preferente (CKRD). Plana de La Galera.

La recarga es sensible al coeficiente de proporcionalidad (CKRD) y no así al umbral a partir del cual cesa el flujo preferente. La sensibilidad es mayor para la ETR, recarga sin presentar alteraciones en la escorrentía superficial. Para todas ellas la sensibilidad se incrementa para valores de CKRD > 0.2.



Ports de Beseit-Tortosa

- Análisis de sensibilidad de los componentes del caudal total frente al espesor del suelo

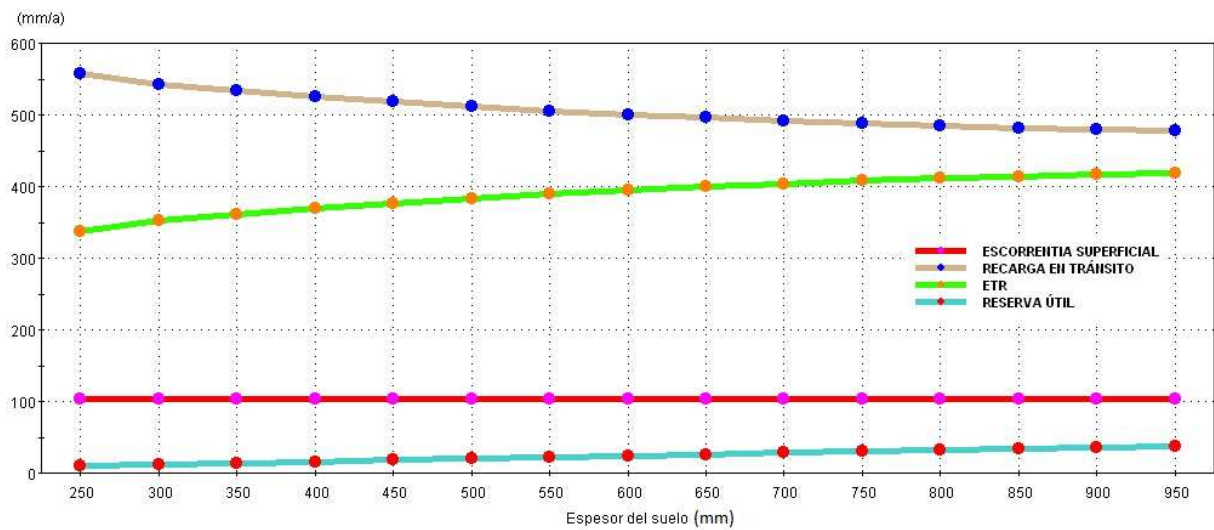


Figura 8.1.3.2.d. Sensibilidad de los componentes del caudal total frente al espesor del suelo. Ports de Beseit-Tortosa.

Se representa la variación de la reserva máxima en el suelo con el espesor del suelo, ya que el programa no permite su introducción directa. La recarga es mayor a menor espesor de suelo (menor reserva útil máxima), hasta  $560 \text{ mm a}^{-1}$  para una reserva útil de 10 mm, es decir, con un espesor de suelo de 0.25 m. Como es de esperar, la evapotranspiración real varía en igual proporción que la recarga pero de manera inversa. La escorrentía no se ve afectada por el espesor del suelo.

- Análisis de sensibilidad de los componentes del caudal total frente al número de curva

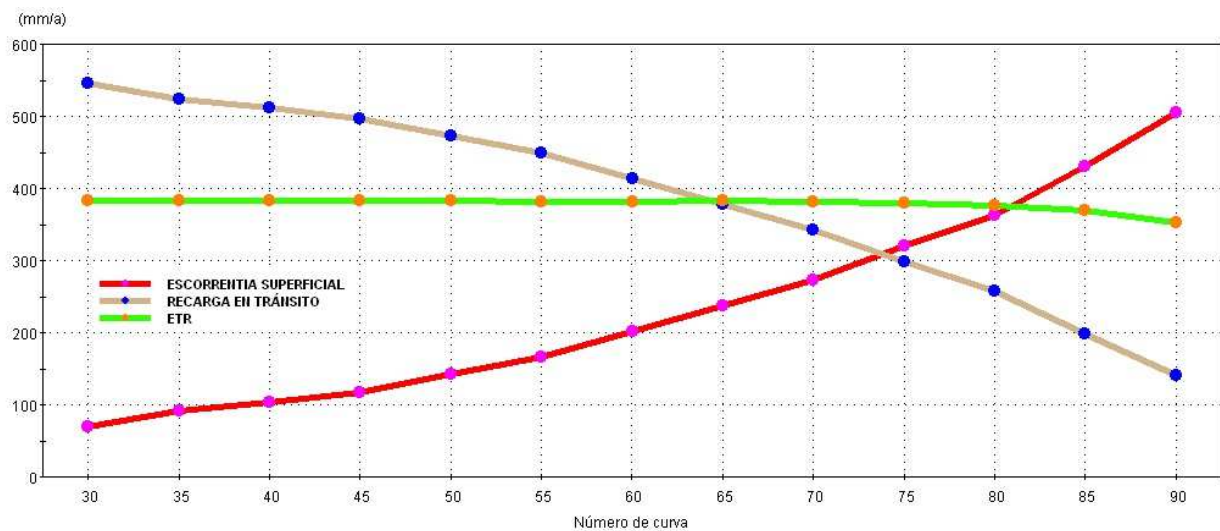


Figura 8.1.3.2.e. Sensibilidad de los componentes del caudal total frente al número de curva. Ports de Beseit-Tortosa.

Las variaciones de caudal con el aumento del número de curva para la escorrentía superficial son significativas. Como es de esperar afecta de manera inversa a la cantidad de recarga producida.



- Análisis de sensibilidad de los componentes del caudal total frente al coeficiente de flujo preferente (CKRD) y umbral de flujo preferente (FRD)

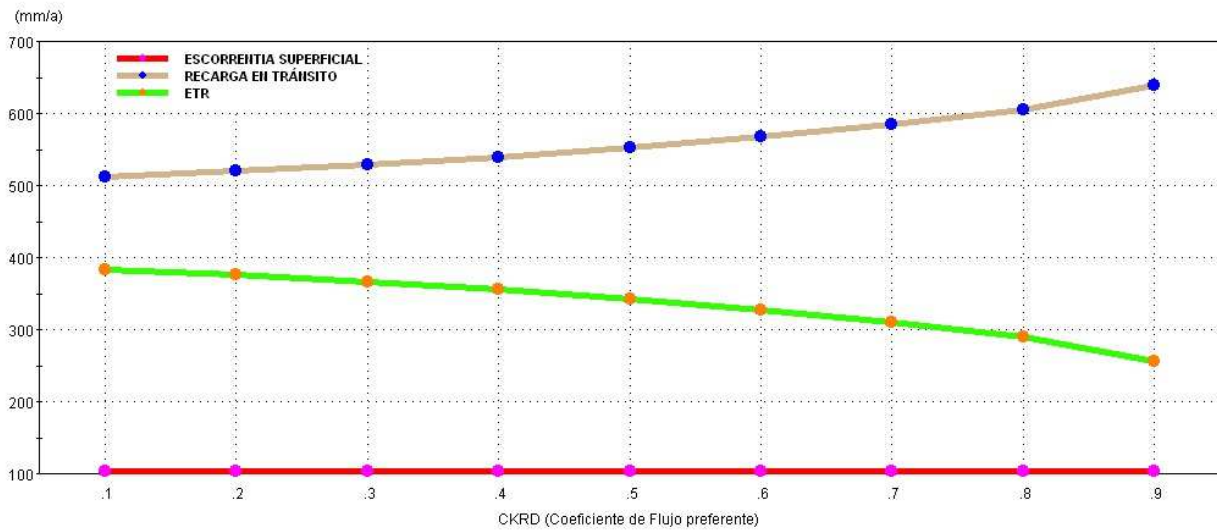


Figura 8.1.3.2.f. Sensibilidad de los componentes del caudal total frente al coeficiente de flujo preferente (CKRD). Ports de Beseit-Tortosa.

La recarga es sensible al coeficiente de proporcionalidad (CKRD) y no así al umbral a partir del cual cesa el flujo preferente. Es mayor la sensibilidad en los Ports de Beseit que en la Plana de La Galera, siendo mayor para la ETR, recarga sin presentar alteraciones en la escorrentía superficial. Para todas ellas la sensibilidad se incrementa para valores de CKRD > 0.3.

### 8.1.3.3. Cálculo de la incertidumbre de la recarga media anual

Considerando que la incertidumbre en el valor de la recarga media anual obtenida mediante el balance de agua en el suelo es derivada de los errores de los datos de partida y de los parámetros del modelo de balance, dicha incertidumbre puede estimarse a partir de la varianza de la recarga obtenida a partir de la sensibilidad de la recarga a las variaciones de los parámetros y/o variables que intervienen en su cálculo.

El cálculo de la varianza se realiza a partir de la expresión:

$$\sigma^2_R = \sum_{i=1}^{N_p} \left( \frac{\partial R}{\partial P_i} \right)^2 \cdot \sigma^2_{P_i}$$

Donde  $\sigma^2_R$  es la varianza de los parámetros,  $N_p$  el número de parámetros y  $\partial R / \partial P_i$  representa la sensibilidad de la recarga a las variaciones del parámetro  $P_i$  y  $\sigma^2_{P_i}$  la varianza del parámetro  $P_i$ .

Los parámetros utilizados para la estimación de la incertidumbre son aquellos a los que la recarga presenta sensibilidad (ver 8.1.4). En este estudio, tanto para la Plana de La Galera (SZ1 y SZ2) como para

los Ports (SZ4 y SZ5), los parámetros a los cuales la recarga resulta sensible son el espesor de suelo aparente ( $e_a$ ), el número de Curva (N), y el coeficiente de flujo preferente (CKRD) (Tabla 8.1.3.3).

Por tanto, la expresión desarrollada para la estimación de la incertidumbre de la recarga es:

$$\sigma_R^2 = (\partial R / \partial e_a)^2 \cdot \sigma_{e_a}^2 + (\partial R / \partial N)^2 \cdot \sigma_N^2 + (\partial R / \partial CKRD)^2 \cdot \sigma_{CKRD}^2$$

Tabla 8.1.3.3. Incertidumbre de la recarga en las diferentes sub-zonas (la desviación equivale a  $1\sigma$ ; cifras redondeadas;  $(\partial R / \partial P_i)^2$ : calculado como la pendiente de la recta descrita por los valores de recarga máximos y mínimos correspondientes a los parámetros extremo (extremos del rango de valores utilizados para el análisis de sensibilidad de la recarga);  $\sigma_{P_i}^2$ : para el espesor aparente, la desviación se mide en mm).

Zona	Pi	valor medio	rango	$(\partial R / \partial P_i)^2$	$\sigma_{P_i}^2$	$\sigma_R$ (mm)
Plana de La Galera	SZ1	Ea (m)	2	(1.25 - 2.75)	348	0.56
		N	35	(25 - 45)	3	100
		CKRD	0.1	(0.01 - 0.19)	494	0.008
	SZ2	Ea (m)	2	(1.25 - 2.75)	348	0.56
		N	59	(49 - 69)	1	100
		CKRD	0.1	0.01 - 0.19	494	0.008
Ports de Beseit-Tortosa	SZ4 y SZ5	Ea (m)	0.5	(0.25 - 0.75)	19600	0.065
		N	50	(40 - 60)	25	100
		CKRD	0.1	(0.01 - 0.19)	5216	0.008

#### 8.1.4. Discusión de los resultados

A continuación se muestran los resultados de los balances de las 5 sub-zonas. En la Tabla 8.1.4.a se recogen los resultados de las medias anuales de las variables que intervienen en el balance de agua en el suelo por sub-zonas.

Para los valores obtenidos de la recarga media anual en los balances calculados en las 5 sub-zonas se supone que:

- El balance de agua en el suelo calculado con el código Visual Balan es una herramienta de carácter regional, utilizable a pesar de que se está aplicando a una zona de grandes dimensiones con notables heterogeneidades geomorfológicas, hidrogeológicas e hidrodinámicas.
- La incertidumbre de los resultados para cotas altas (zona de los Ports de Tortosa-Beseit) es mayor puesto que la estación meteorológica disponible representativa de la zona entró en funcionamiento en enero de 2007. Para prolongar la serie de datos se ha realizado una corrección por altitud usando los datos de la estación de Mas de Barberans, dada su óptima ubicación en el centro de la cuenca de estudio y la representatividad de sus datos en la zona.
- Algunos hidrogramas de niveles reflejan una intensificación de las extracciones alterando la evolución piezométrica de los mismos a partir del año 2000. Para dichos casos ha sido necesario asumir que del periodo (1/10/1994-30/09/2000) el hidrograma representaba las condiciones naturales del acuífero donde las extracciones parecen menores.

- Para el cálculo de la ETP se opta por el método de Penman-Monteith, ya que utiliza valores diarios de precipitación y temperatura y tiene en cuenta parámetros de energía incidente en la superficie estudiada, frente a los obtenidos por la fórmula de Thornthwaite, que utiliza medias mensuales. Siendo además más efectivo el método de Penman-Monteith en zonas de clima semi-árido que el de Thornthwaite (Forte Lay y Villagra, 1983).

Tabla 8.1.4.a. Resultados del balance de agua en el suelo por sub-zonas con ETP según Thornthwaite corregido como método de cálculo de la ETP (valores medios anuales  $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ ).

ZONA	Precipitación	Interceptación	Escorrentía superficial	ETR	Recarga	Caudal total	
SZ1	660	29	16	397	216±25	232	
SZ2	660	58	34	375	202±20	236	
SZ3	660	77	32	311	240±20	272	
SZ4	1086	90	102	383	490±60	593	
SZ5*	serie 1	1035	101	95	388	470±60	565
	serie 2	1114	98	113	378	540±60	654

\*Los datos de la sub-zona SZ5 se han dividido en dos series para poder realizar la calibración. A partir del año 2000 se sospecha que pudo existir un aumento de la explotación del pozo con el que se está calibrando la zona, lo que genera dos formas de comportamiento en el hidrograma, evaluándose por separado en las series 1 y 2.

En la Tabla 8.1.4.b' y Figura 8.1.4.a se muestra la relación entre la pluviometría y la recarga media anual estimada a partir del balance de agua en el suelo.

Tabla 8.1.4.b. Valores de precipitación y recarga anual producida para cada sub-zona SZ1, SZ2 (valores obtenidos a partir de la utilización de la estación meteorológica de Mas de Barberans y Els Valentins).

Fecha	SZ1-Mas de Barberans			SZ1-Els Valentins			SZ2-Mas de Barberans			SZ2-Els Valentins		
	Precipitación	Recarga	R/P	Precipitación	Recarga	R/P	Precipitación	Recarga	R/P	Precipitación	Recarga	R/P
	(mm/a)			(mm/a)			(mm/a)			(mm/a)		
1994-1995	645	166	0.26	634	209	0.33	645	317	0.49	634	399	0.63
1995-1996	773	369	0.48	729	363	0.50	773	352	0.46	729	343	0.47
1996-1997	678	194	0.29	662	205	0.31	678	188	0.28	662	200	0.30
1997-1998	566	229	0.40	257	7	0.03	566	206	0.36	257	6	0.02
1998-1999	719	233	0.32	599	140	0.23	719	231	0.32	599	144	0.24
1999-2000	380	28	0.07	426	40	0.09	380	30	0.08	426	39	0.09
2000-2001	836	294	0.35	686	334	0.49	836	218	0.26	686	273	0.40
2001-2002	782	339	0.43	786	441	0.56	782	220	0.28	786	410	0.52
2002-2003	692	175	0.25	605	256	0.42	692	163	0.24	605	241	0.40
2003-2004	1048	513	0.49	852	503	0.59	1048	478	0.46	852	472	0.55
2004-2005	349	81	0.23	343	37	0.11	349	82	0.24	343	37	0.11
2005-2006	528	159	0.30	713	344	0.48	528	148	0.28	713	324	0.45
2006-2007	562	157	0.28	489	193	0.39	562	149	0.27	489	183	0.37
2007-2008	1055	398	0.38	537	208	0.39	1055	337	0.32	537	198	0.37
2008-2009	567	92	0.16	484	153	0.32	567	92	0.16	484	147	0.30
2009-2010	471	59	0.12	402	56	0.14	471	61	0.13	402	51	0.13
2010-2011	533	180	0.34	460	112	0.24	533	175	0.33	460	110	0.24
media	658	216		569	212		658	203		569	210	
desviación estandar	200	131		163	146		200	116		163	143	
Máximo	1055	513		852	503		1055	478		852	472	
Mínimo	349	28		257	7		349	30		257	6	

Tabla 8.1.4.b'. Valores de precipitación y recarga anual producida para cada sub-zona SZ3, SZ4 Y SZ5.

Fecha	SZ3-Mas de Barberans			SZ4-Els Ports			SZ5-Els Ports		
	Precipitación	Recarga	R/P	Precipitación	Recarga	R/P	Precipitación	Recarga	R/P
	(mm/a)			(mm/a)			(mm/a)		
1994-1995	645	164	0.25	1066	311	0.29	1066	350	0.33
1995-1996	773	368	0.48	1277	715	0.56	1277	732	0.57
1996-1997	678	215	0.32	1120	512	0.46	1120	559	0.50
1997-1998	566	238	0.42	934	478	0.51	934	497	0.53
1998-1999	719	292	0.41	1187	670	0.56	1187	698	0.59
1999-2000	380	49	0.13	628	208	0.33	628	250	0.40
2000-2001	836	281	0.34	1381	379	0.27	1381	420	0.30
2001-2002	782	299	0.38	1292	566	0.44	1292	605	0.47
2002-2003	692	247	0.36	1142	544	0.48	1142	576	0.50
2003-2004	1048	555	0.53	1731	1047	0.60	1731	1079	0.62
2004-2005	349	116	0.33	576	301	0.52	576	320	0.56
2005-2006	528	181	0.34	871	459	0.53	871	476	0.55
2006-2007	562	205	0.36	928	475	0.51	928	501	0.54
2007-2008	1055	403	0.38	1743	716	0.41	1743	757	0.43
2008-2009	567	130	0.23	936	404	0.43	936	449	0.48
2009-2010	471	61	0.13	778	223	0.29	778	262	0.34
2010-2011	533	238	0.45	880	475	0.54	880	511	0.58
media	658	238		1087	490		1087	505	
desviación estandar	200	127		331	208		331	206	
Máximo	1055	555		1743	1047		1743	1079	
Mínimo	349	49		576	208		576	250	

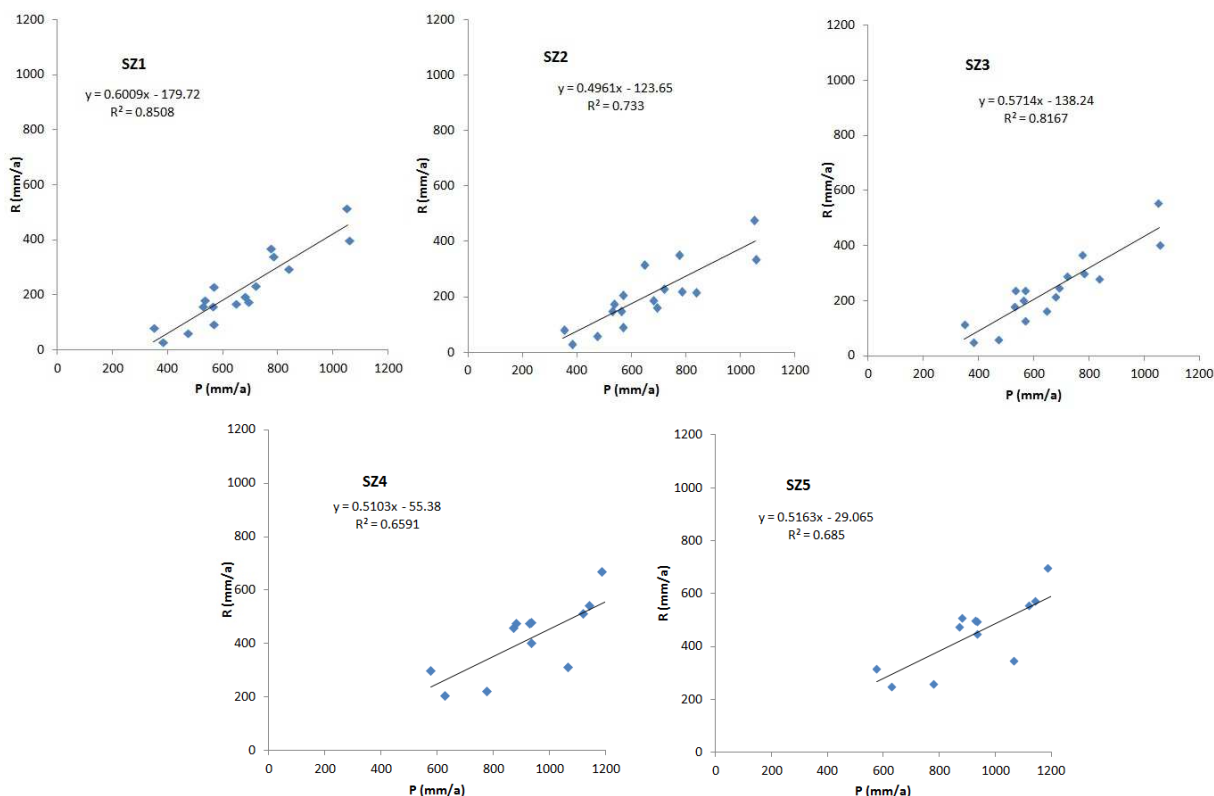


Figura 8.1.4.a. Relación entre la pluviometría y la recarga anuales producida para cada sub-zona, SZ1, SZ2, SZ3, SZ4 Y SZ5.

Los resultados indican que para las sub-zonas SZ1, SZ2 y SZ3 (Plana de La Galera) el umbral medio de pluviometría necesario para que exista recarga es de 240-300 mm·a<sup>-1</sup> y en las sub-zonas SZ4 y SZ5 (Ports de Beseit-Tortosa) el umbral es menor, entre 56-108 mm·a<sup>-1</sup>, por lo que la capacidad de recarga de Ports

de Beseit-Tortosa en años secos es significativamente mayor que en la Plana de La Galera, además de ser mayor la precipitación (Tabla 8.1.4.c).

Tabla 8.1.4.c. Relación entre la pluviometría anual con la recarga producida.

Localización	sub-zona	Relación P vs R
Plana NE	SZ1	$R=0,60(P-300)$
Plana SE	SZ2	$R=0,50(P-248)$
Godall-Montsià	SZ3	$R=0,57(P-242)$
Ports N	SZ4	$R=0,51(P-108)$
Ports S	SZ5	$R=0,52(P-56)$

( $R = \alpha (P - P_0)$ , siendo  $P$  = Precipitación anual ( $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ );  $R$  = Recarga anual ( $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ );  $P_0$  = Precipitación umbral anual por debajo de la cual no se produce recarga.;  $\alpha$  = pendiente de la recta de regresión).

La dispersión existente en la relación recarga-pluviometría es típica de climas semi-áridos, lo cual indica que no todas las recargas tienen una magnitud proporcional a la lluvia que las ha generado. La precipitación anual acumulada es de media 0,38 veces mayor que la recarga anual acumulada (Tabla 8.1.4.b-b').

Para caracterizar las lluvias que generan recarga se ha realizado un estudio a escala temporal diaria. Se han generado los hidrogramas de precipitación y recarga (Figura 8.1.4.b) de los eventos de lluvia que producen recarga. Para realizar un análisis con mayor detalle se ha recurrido a la representación de la distribución de frecuencias de la pluviometría respecto a la recarga diaria (Figura 8.1.4.c).

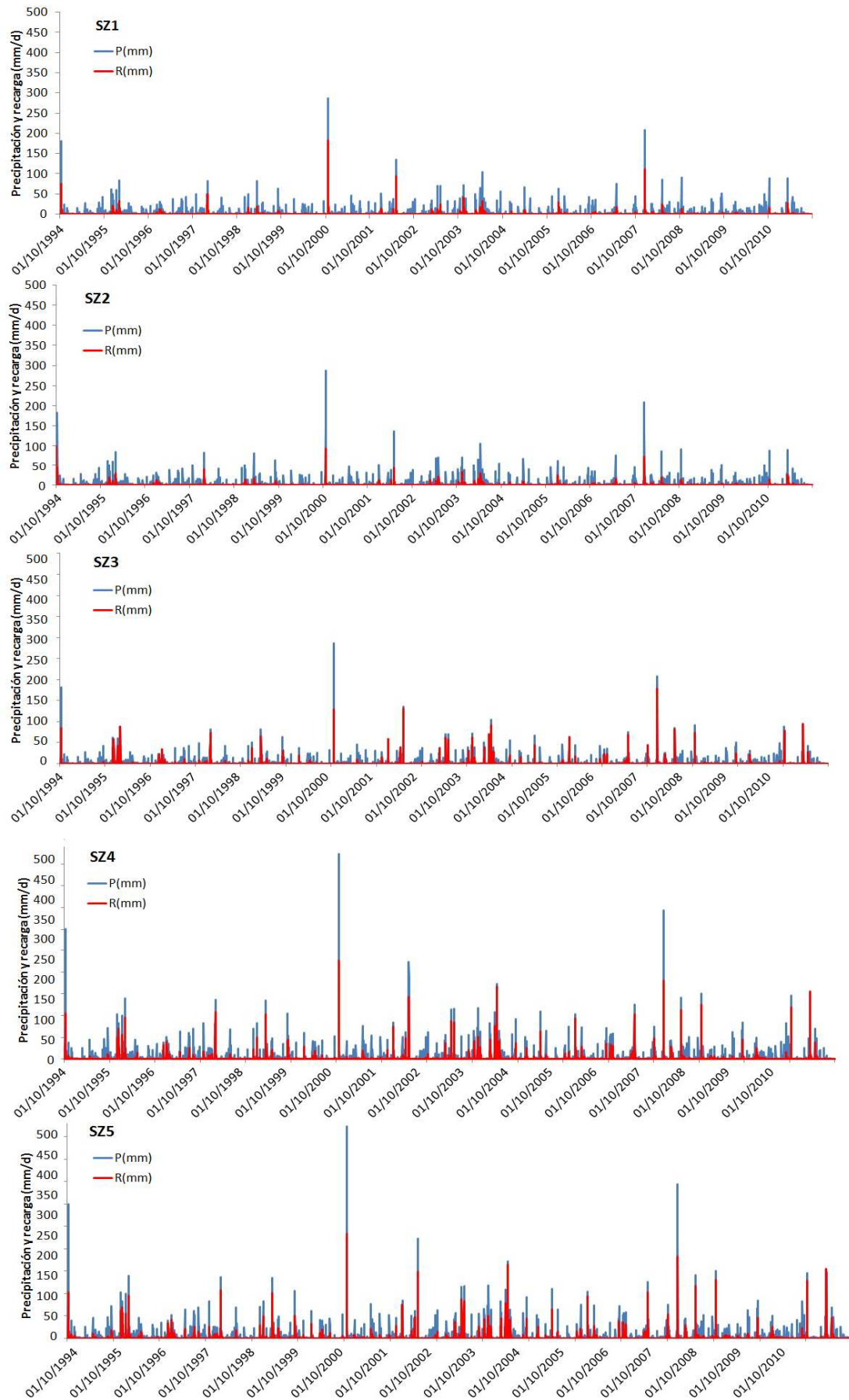


Figura 8.1.4.b. Hidrograma de recarga diaria y precipitación para el periodo 1994-2011 en las sub-zonas SZ1, SZ2, SZ3 (EMET Mas de Barberans), SZ4 y SZ5 (EMET PN Els Ports).



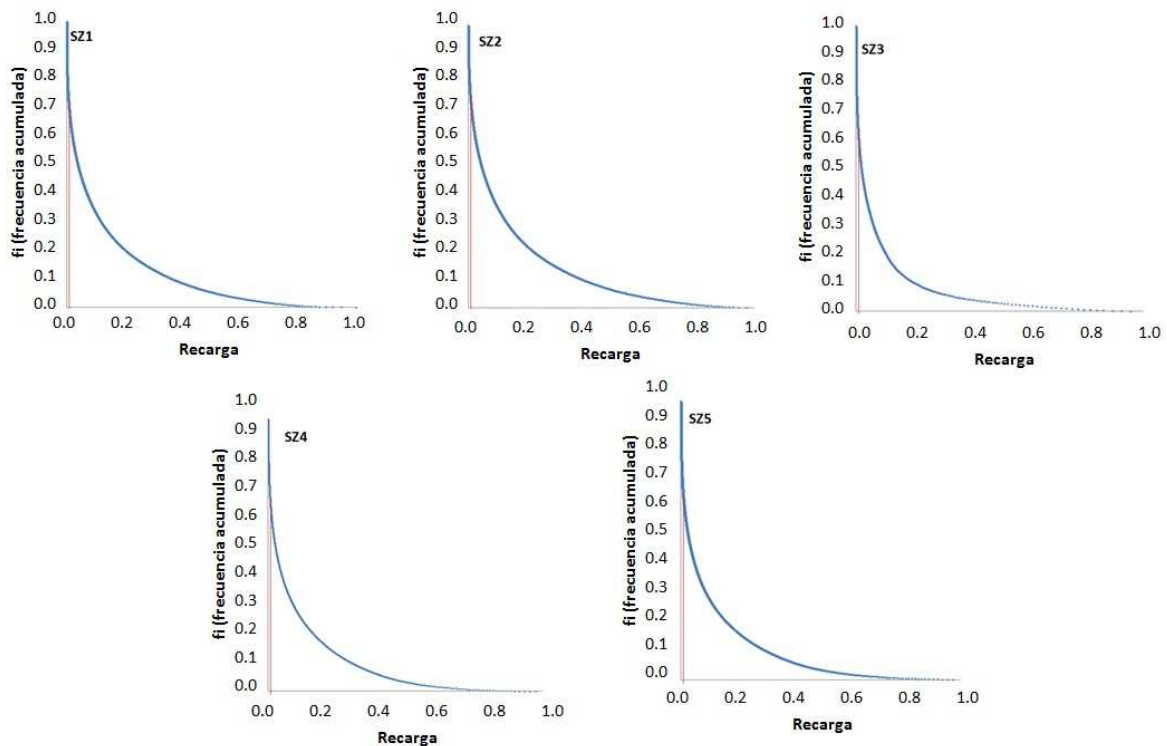


Figura 8.1.4.c. Distribución de frecuencias de los eventos de lluvia que producen recarga acumulada.

Con el hidrodrama de recarga y precipitación se observa que no todas las lluvias producen recarga y la distribución de frecuencias refleja que el 1% de las lluvias de mayor magnitud produce el 70% de la recarga que se produce en la zona. De aquí la importancia de considerar periodos de tiempo diarios, ya que no todos los eventos de lluvia producen recarga. Esto es debido a que la ocurrencia de recarga no sólo depende de la magnitud de la lluvia sino de las condiciones hídricas en las que se encuentre el suelo edáfico los días previos a la lluvia.

Para poder determinar la influencia de las series pluviométricas de las estaciones meteorológicas seleccionadas en la distribución de la recarga se han hecho dos tipos de análisis. Uno consistente en la evaluación de la distribución mensual media de la recarga del periodo 1994-2011 y otro basado en la comparación de los diagramas de cajas de los valores anuales de recarga para las distintas sub-zonas (ver Figura 8.1.4.d-h).

En la Figura 8.1.4.d-h se representan los máximos, mínimos, cuartiles  $Q_1$  y  $Q_3$  (25% y 75% respectivamente) y mediana de la recarga media mensual del periodo tanto para la Plana de La Galera como para los Ports. La distribución de máximos es similar para todas las sub-zonas con variación de la magnitud, presentando valores muy superiores a  $Q_3$  para los meses de octubre, diciembre, enero y mayo (meses en los que se producen las lluvias de mayor magnitud), lo cual indica que son eventos extraordinarios los que producen dicha recarga.

Los picos máximos de recarga se dan en octubre, con valores superiores a  $250 \text{ mm}\cdot\text{mes}^{-1}$ , pero no es posible identificar si toda su magnitud es recarga estrictamente o si parte de ella se transforma en escorrentía superficial transferida por los barrancos hacia la Plana, donde se infiltra recargando la unidad superior. Los mínimos se sitúan en 0 y las medianas no superan los  $20 \text{ mm}\cdot\text{mes}^{-1}$  en la Plana y los  $50 \text{ mm}\cdot\text{mes}^{-1}$  en los Ports. De lo cual se deduce que son pocos eventos extraordinarios los que producen la recarga, como ya se había visto con la distribución de los eventos de lluvia que producen recarga (ver Figura 8.1.4.c).

Son destacables los valores máximos de recarga media mensual de octubre en la Plana de La Galera SE puesto que son superiores a los producidos en los Ports en ese mismo mes, pudiendo ser causa de las condiciones iniciales del suelo.

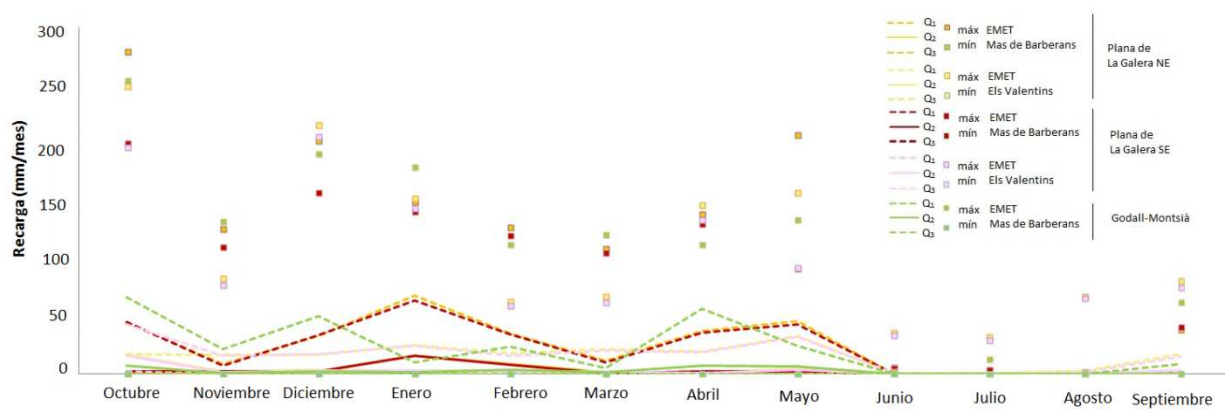


Figura 8.1.4.d. Distribución de máximos, mínimos, cuartiles y mediana de la recarga media mensual del periodo 1994-2011 para la Plana de La Galera ( $Q_1$ : primer cuartil,  $Q_2$ : mediana y  $Q_3$ : tercer cuartil).

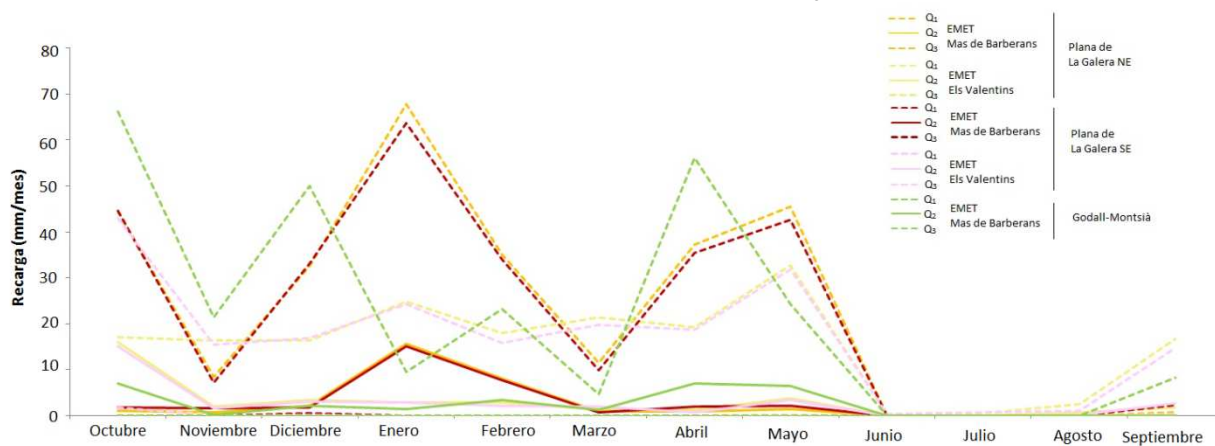


Figura 8.1.4.e. Distribución de la mediana y cuartiles de la recarga media mensual del periodo 1994-2011 para la Plana de La Galera.

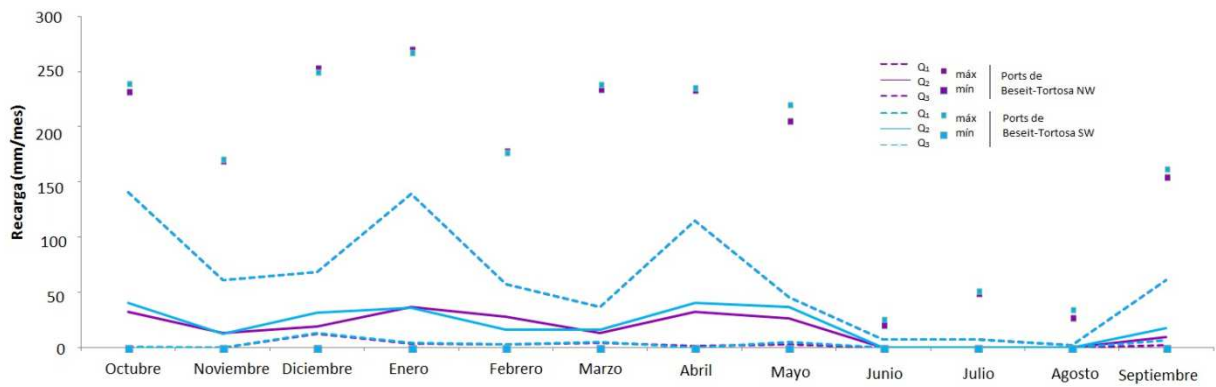


Figura 8.1.4.f. Distribución de máximos, mínimos y mediana de la recarga media mensual del periodo 1994-2011 para los Ports de Beseit-Tortosa.

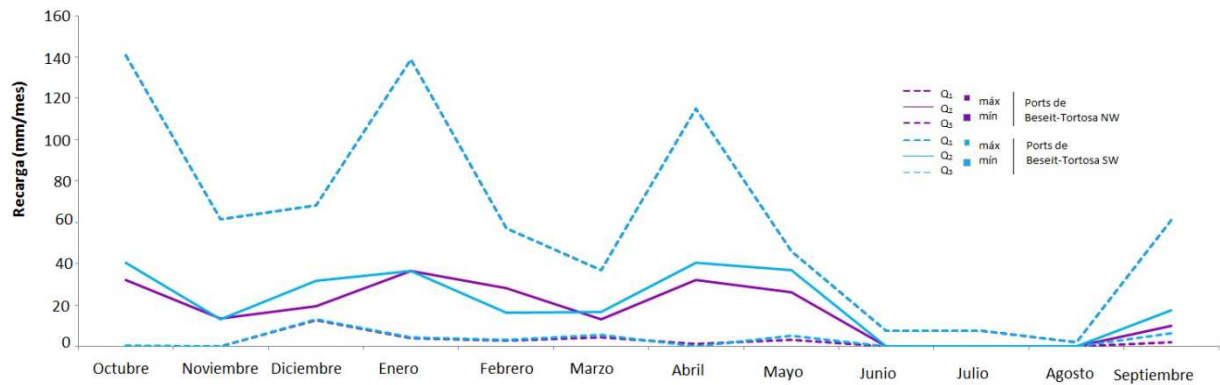


Figura 8.1.4.g. Distribución de la mediana y cuartiles de la recarga media mensual del periodo 1994-2011 para los Ports de Beseit-Tortosa.

En cuanto a los diagramas de cajas (ver Figura 8.1.4.h) se observa la ya conocida diferencia de recargas entre el llano y el macizo (Plana y Ports) con valores superiores en los Ports de Beseit-Tortosa y que la selección de la estación meteorológica afecta a la distribución de la recarga. Aunque la media anual de precipitación y la distribución de eventos de lluvia de las estaciones de Mas de Barberans y de Els Valentins sean, a priori, suficientemente coincidentes entre sí, y las recargas medias anuales producida en las sub-zonas SZ1 y SZ2 también sean similares, se observa la estación meteorológica seleccionada tiene una fuerte influencia en la distribución de la recarga.

Los resultados de recarga media anual en la SZ1 y SZ2 con la estación de Els Valentins presentan mayor variación posiblemente debido a que registre mayor número de precipitaciones cercanas al umbral de recarga.

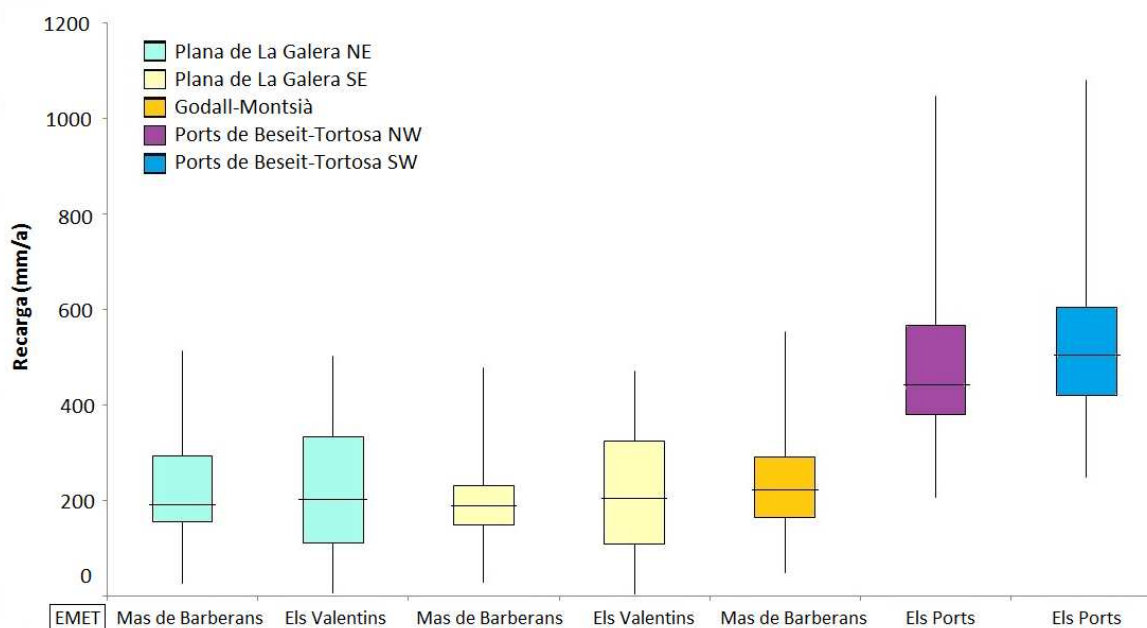


Figura 8.1.4.h. Diagramas de cajas de recarga media anual para el periodo 1994-2011 en la zona de estudio.

Por último, se ha realizado un análisis de los resultados de recarga media anual obtenidos para cada sub-zona (Tabla 8.1.4.b), con el fin de comprobar la representatividad de los 17 años del periodo de estudio (1994-2011) en periodo en el cual el sistema se supone estacionario (Tabla 8.1.4.d)

Tabla 8.1.4.d. Análisis de la incertidumbre asociada a la recarga media anual en función del periodo de datos considerado (R: recarga en  $\text{mm a}^{-1}$ ,  $\sigma$ : desviación estándar, CV: coeficiente de variación = media/desviación).

Años	Análisis	SZ1-Mas de Barberans	SZ1-Els Valentins	SZ2-Mas de Barberans	SZ2-Els Valentins	SZ3-Mas de Barberans	SZ4-Els Ports	SZ5-Els Ports
17	R media	216	212	203	210	238	490	505
	$\sigma_R$	131	146	116	143	127	208	206
	$CV_R$	0.61	0.69	0.57	0.68	0.53	0.42	0.41
10	$\sigma_{\text{media}}$	0.63	0.68	0.62	0.67	0.55	0.45	0.42
	$\sigma_{\sigma}$	0.06	0.07	0.06	0.07	0.04	0.01	0.01
	$CV_{\sigma}$	0.10	0.10	0.10	0.10	0.08	0.02	0.03
5	$\sigma_{\text{media}}$	0.63	0.68	0.60	0.67	0.54	0.42	0.40
	$\sigma_{\sigma}$	0.13	0.17	0.14	0.15	0.11	0.08	0.08
	$CV_{\sigma}$	0.20	0.25	0.23	0.23	0.19	0.19	0.20
3	$\sigma_{\text{media}}$	0.60	0.63	0.56	0.63	0.52	0.39	0.37
	$\sigma_{\sigma}$	0.26	0.30	0.26	0.29	0.24	0.16	0.15
	$CV_{\sigma}$	0.43	0.47	0.47	0.47	0.46	0.40	0.40

Corroborando los resultados obtenidos por Alcalá y Custodio (2014) serían 10 el número de años de muestreo y cálculo óptimo para considerar la estabilidad de las series y su representatividad en el periodo para el cual el sistema se considera estacionario (Tabla 8.1.4.d).

## 8.2. ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL MEDIA ANUAL EN LOS PORTS DE BESEIT-TORTOSA

El estudio de la escorrentía media anual viene motivado por los resultados obtenidos del balance de agua en el suelo con el código visual balan aplicado en la zona de estudio, de los que se obtuvieron valores significativos de escorrentía respecto a la recarga media anual para la zona de los Ports de Beselit (SZ4 y SZ5 en Tabla 8.1.4.a y Figura 8.1.2). Por lo que resulta conveniente obtener valores de dicha variable para la zona a partir de otros métodos para verificar dicha importancia.

### 8.2.1. Proceso de cálculo de la escorrentía

Para la estimación de la escorrentía media anual en los Ports de Beselit se ha procedido a la recuperación de las series históricas de caudales diarios del embalse de Ulldecona (vertiente sureste de los Ports) y de cauces afluentes al río Matarraña y del río Algars (río Figueras, río Pena, río Ulldemó y río Algars; vertiente noroeste de los Ports) (Figura 8.2.1), por estar enclavados en el macizo y recoger singularidades geomorfológicas (pendientes, escarpes, superficies de afloramiento de roca y vegetación) representativas del conjunto de los Ports.

A partir de la representación gráfica de las series históricas de caudales, tanto del embalse de Ulldecona como de los afluentes de los ríos Matarraña y Algars, se ha determinado de forma aproximada la escorrentía media anual considerando las superficies de las cuencas receptoras correspondientes.

Paralelamente, se ha realizado el balance de agua en el suelo con el código Visual Balan en la cuenca receptora del embalse de Ulldecona partiendo, para la resolución del mismo, de los parámetros hidráulicos del suelo edáfico, zona no saturada y acuífero utilizados en la resolución del balance de agua en el suelo general, concretamente de las zonas SZ4 y SZ5 (Figura 8.1.2). El balance para la cuenca receptora del embalse de Ulldecona se ha calibrado con los datos de aforo (valores diarios de la reserva y las salidas en el periodo de octubre de 1994 a septiembre de 2009) del embalse de Ulldecona.

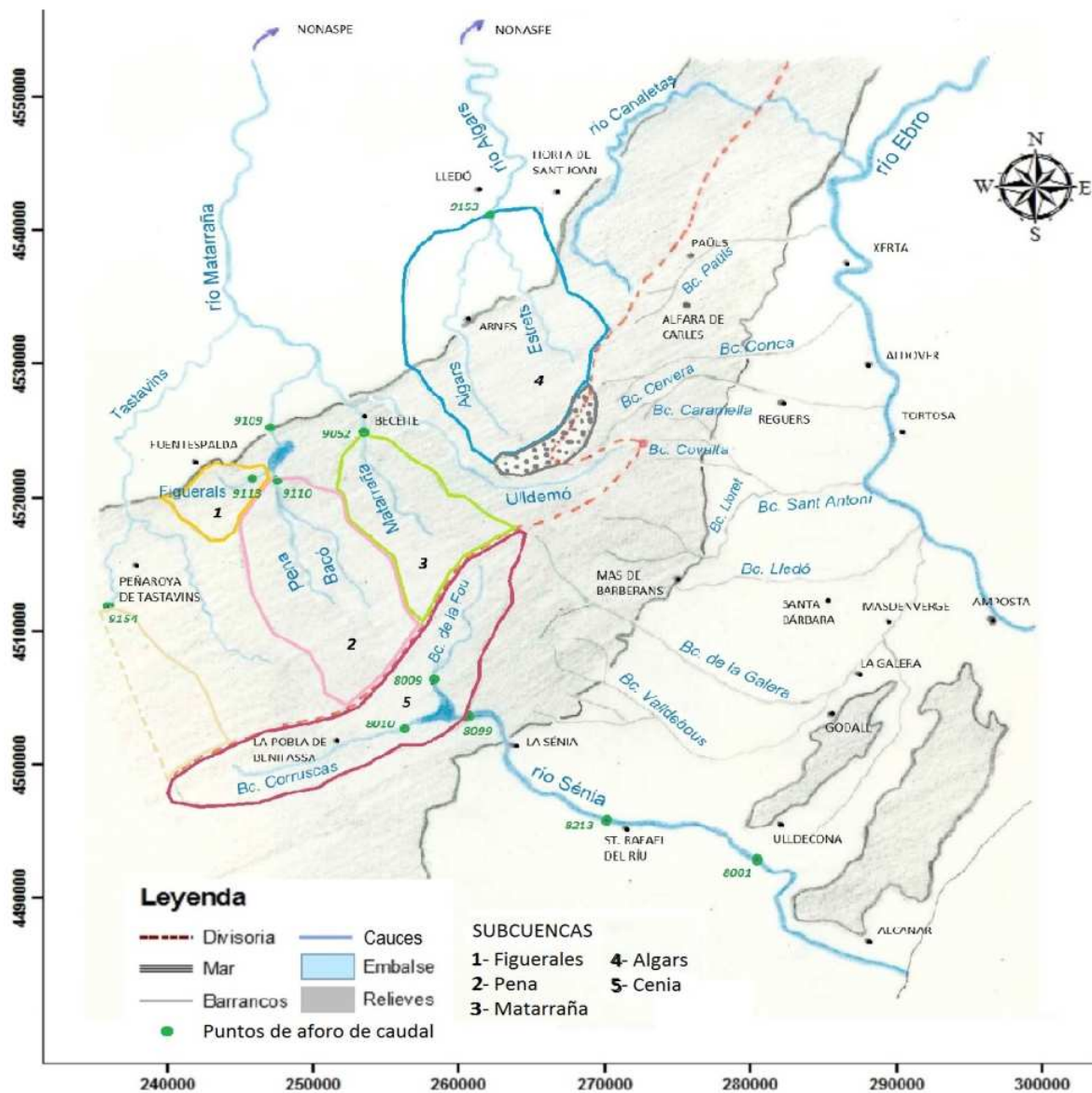


Figura 8.2.1. Ubicación de subcuencas de la vertiente Matarraña y embalse de Ulldecona, así como de los puntos de aforo.

## 8.2.2. Resultados

### 8.2.2.1. Análisis de hidrogramas

#### 8.2.2.1.1. Embalse de Ulldecona

El embalse de Ulldecona está emplazado en el sureste de los Ports de Beseit (Figura 8.2.1). Capta la cabecera del río de la Sénia y regula su curso aguas arriba de la pedanía de El Castell. Sus reservas se destinan al regadío en La Sènia y Ulldecona.

La capacidad máxima de embalse es de 11 hm<sup>3</sup>, con una superficie de la cuenca receptora de 126 km<sup>2</sup>. La cuenca receptora abarca dos subcuencas distintas en su ubicación y orientación: el barranc de la Fou dirección nor-noreste y el barranc de Corruscars dirección suroeste (Figura 8.2.2.1.1.a), ambos barrancos forman cola de embalse siendo la del barranc de la Fou de mayor longitud y profundidad que



la del barranc de Corruscars. Además, en esta última zona la densidad de pinar es mayor que en la zona nor-noreste de la cuenca. Estas características geomorfológicas podrían reflejarse en la química elemental del agua del embalse muestreada en el aforo del barranc de Corruscars (JUA802 ver Tabla 8.2.2.1.1.a) con una mayor concentración en iones mayoritarios respecto a la química del agua del embalse muestreada a la salida del mismo (JUA801 ver Tabla 8.2.2.1.1.a) procedente en su mayoría del barranc de la Fou. Su funcionamiento viene determinado por las características de los eventos de precipitación, pudiéndose llenar hasta la totalidad de su capacidad con eventos de lluvia de dos o tres días de duración con una media de  $100 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ . Cuando esto ocurre, el embalse mantiene el nivel máximo de la lámina de agua durante aproximadamente 1 mes y medio con una evacuación diaria en el frente de presa de unos  $0,5 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  de agua. Por tanto, se deduce que el llenado del embalse se produce tanto por la escorrentía superficial como por la escorrentía de acuíferos colgados temporales y de descarga subterránea. Para comprobarlo se ha procedido a la caracterización hidrogeoquímica del agua embalsada.

- Caracterización hidroquímica del agua del embalse de Ulldecona

Para comprobar que el llenado del embalse se produce por escorrentía se ha realizado un estudio de la química elemental del agua embalsada, comparándolo con la composición química del agua de lluvia (punto de control TMM P3-B, Tabla 8.2.2.1.1.a y Figura 8.2.2.1.1.a) y con la de agua subterránea perteneciente a surgencias y pozos localizados en los alrededores del embalse (Tabla 8.2.2.1.1.b, son localizables en mapa en el Capítulo 7).

Los análisis químicos del agua del embalse utilizados para el estudio pertenecen a tres tipos de puntos de control: (1) puntos de aforo de la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ) ubicados en el Bc. de Corruscars, en el Bc. de La Fou y aguas abajo de la presa de Ulldecona, cuyos análisis han sido facilitados por el Área de Calidad de Aguas (Tabla 8.2.2.1.1.a y Figura 8.2.2.1.1.a); se trata de análisis de indicadores de calidad durante el periodo de 2000 a 2013, de los cuales se ha utilizado la concentración de ión cloruro; (2) puntos de salida de agua del embalse en el frente de presa (agua de los drenes del lado derecho del cuerpo de presa, del desagüe de fondo y de la derivación para el canal de abastecimiento y riego a los municipios aguas abajo del embalse (Tabla 1.2.1.1.a y Figuras 1.2.1.1.a y b)) de los cuales se dispone de la química elemental completa; y (3) agua superficial del embalse. Los muestreos (2) y (3) son parte del trabajo de campo realizado durante el desarrollo de este estudio.

Tabla 8.2.2.1.1.a. Situación de los puntos de muestreo del agua del embalse (EU: Embalse de Uldecona; ID Mapa: correspondiente a la Figura 3).

Código estación	Nombre	ID Mapa	X_ETRS89	Y_ETRS89
JUA801	Salida embalse	1	773840	4507315
JUA802	Bc. Corruscars	2	771948	4506965
JUB802	F. Sant Pere	3	776076	4506440
JUB801	La Sénia	4	776790	4504894
4SE15	EU Derivación	A	266415	4506035
4SE16	EU Dren	B	266351	4506123
4SE17	EU Fondo	C	266322	4506074
4SE14	EU Superf	D	266029	4506161
TMM P3-B	TMM presa	TMM P3-B	265897	4505944

Tabla 8.2.2.1.1.b. Puntos de muestreo de agua subterránea localizables en mapa en el capítulo de “caracterización del agua subterránea”.

ID MAPA	Topónimo	X	y
2SE1	F SPere	268891	4505096
4SE1	F Rossegadors	266638	4506247
4SE11	F Teix	268096	4513063
4SE12	F Retaule	269410	4514638
4SE2	Tolls Arenals	269227	4504364
4SE3	EU PIEZ	266551	4506217
4SE9	F Fou	265862	4509197

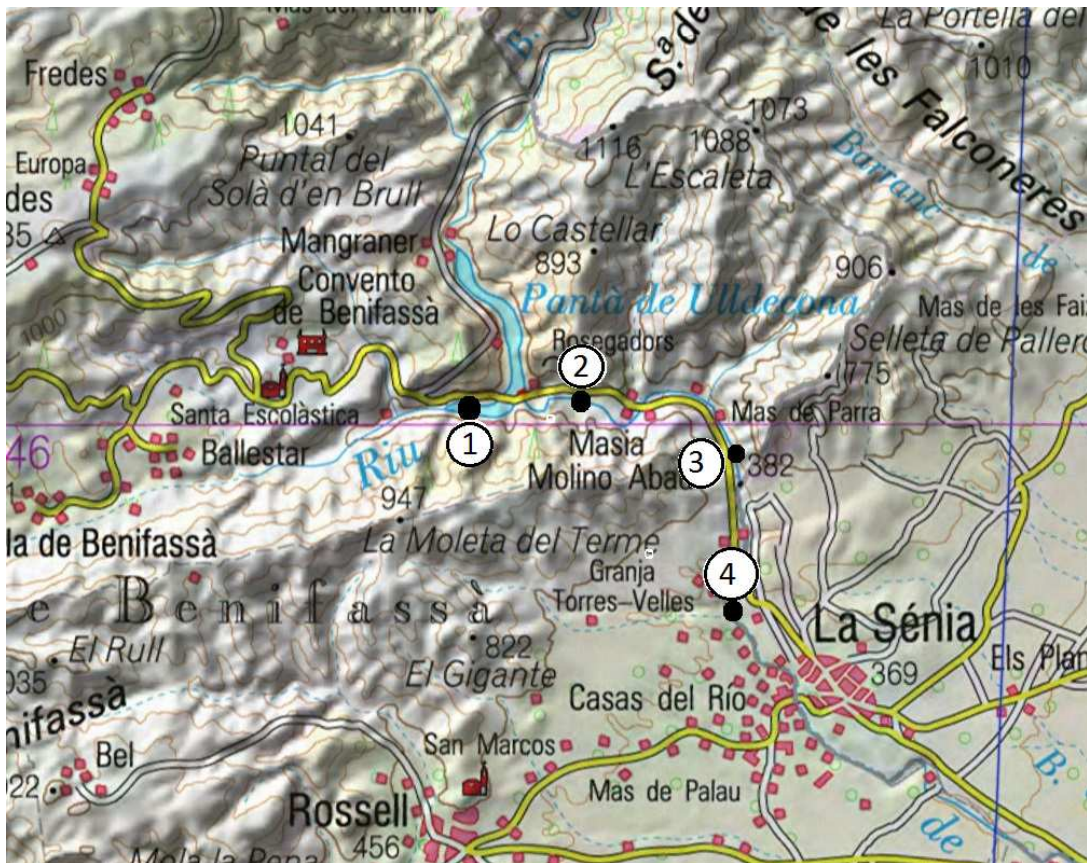


Figura 8.2.2.1.1.a. Localización de los puntos de control de calidad del agua del embalse de Uldecona de la red de puntos de aforo de la Confederación Hidrográfica del Júcar (escala 1:50.000 visorSigpac).

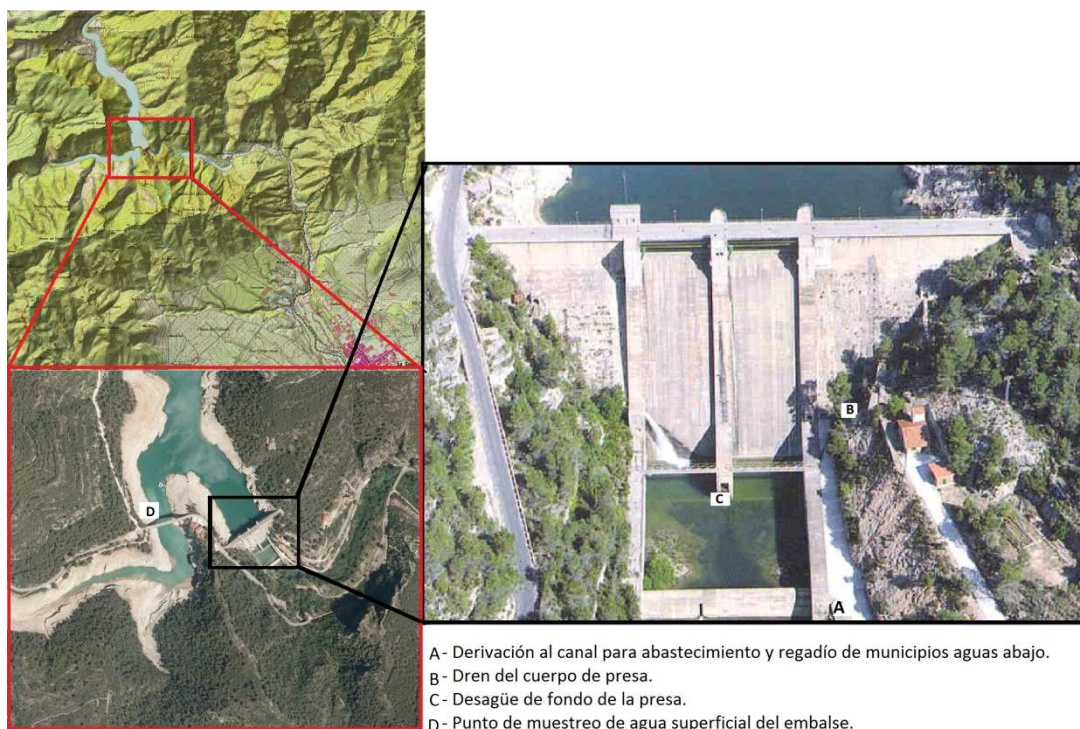


Figura 8.2.2.1.1.b. Localización de los puntos de muestreo en el cuerpo de presa (escala 1:25.000 y ortofoto visorSigpac).

La variación temporal del contenido en Cl en los puntos de control de la CHJ no es significativa (Tabla 8.2.2.1.1.c). Se diferencian 2 sectores, uno con mayor concentración de cloruro perteneciente al muestreo en el barranc de Corruscars y otro con menor concentración correspondiente a la Font de Sant Pere y a la salida del embalse de Ulledeona (Figura 8.2.2.1.1.c). Esta diferenciación puede ser debida a que la profundidad en el barranc de Corruscars es menor que en el resto del embalse lo que podría dar mayor salinidad debido a una mayor evaporación en la zona, incrementada a su vez por la mayor densidad de pinar existente en la zona.

Tabla 8.2.2.1.1.c. Valores medios, mínimos y máximos de ión cloruro en los puntos de control del agua del embalse de Ulledeona ( $\sigma$ : desviación estándar respecto a la media en  $\text{mg L}^{-1}$ ).

Código estación	ID Mapa	Periodo	Nº muestras	Cloruros ( $\text{mg L}^{-1}$ )			$\sigma$	CV
				mínimo	media	máximo		
JUA801	1	2000-2013	35	4.1	4.88	5.8	0.42	0.09
JUA802	2	2000-2010	19	6	6.93	8.3	0.60	0.09
JUB802	3	2000-2004	18	4.2	4.78	5.5	0.38	0.08
JUB801	4	2002-2003	2	7	6.15	5.3	0.85	0.14

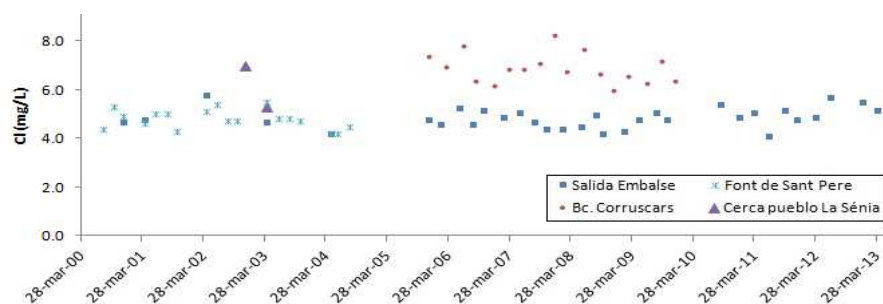


Figura 8.2.2.1.1.c. Evolución temporal de la concentración de cloruro para los diferentes puntos de muestreo del agua superficial.

Se han utilizado diagramas logarítmicos verticales (Schoeller-Berkaloff) y de Piper para la comparación de la química elemental de los puntos muestreados en el frente de presa con el agua de lluvia recolectada en el tomamuestras TMM P3-B durante el periodo 2011-2013 (ver análisis en Tabla 8.2.2.1.1.d y diagramas en Figura 8.2.2.1.1.d) y con el agua subterránea de los manantiales y pozos existentes en la cuenca receptora del embalse de Ulldecona muestreados en el periodo 2011-2013 (Figura 8.2.2.1.1.e). Se trata de aguas bicarbonatadas cálcico-magnésicas con concentración de sulfato variable. Coinciden con la marca hidrogeoquímica del Grupo 4 ( $\text{Na}^+ \ll \text{Cl}^- \approx \text{SO}_4^{2-}$ ) de las aguas subterráneas del área de estudio.

En el diagrama logarítmico de columnas verticales (Figura 8.2.2.1.1.d), las aguas del dren, del desagüe de fondo y del canal de derivación tiene mayor contenido en calcio, magnesio y sulfato que el agua de lluvia. La muestra de agua superficial tiene mayor concentración de calcio y magnesio que las del agua de lluvia, pero no de sulfato. También existe una diferencia notable en la concentración de ión cloruro siendo menor la del agua de lluvia. Al comparar el agua subterránea con la del embalse (muestreada en el frente de presa, Figura 8.2.2.1.1.e) se observa una similar concentración en calcio, magnesio y cloruro marcando la diferencia la concentración en sulfatos. Se pueden diferenciar 3 grupos, los de menor concentración correspondientes a la muestra de agua superficial del embalse, la Font del Teix y la Font de la Fou (surgencias puntuales), otro grupo con mayor concentración correspondiente a la Font de Sant Pere, Tolls dels Arenal y piezómetro del frente de presa (surgencia permanente y pozos surgentes la mayor parte del año localizados aguas abajo del embalse) y el último grupo con concentración media que corresponden a la Font del Rossegadors, Font del Teix, Font del Retaule y a las muestras del frente de presa (son surgencias localizadas aguas arriba del embalse y a pie del embalse).



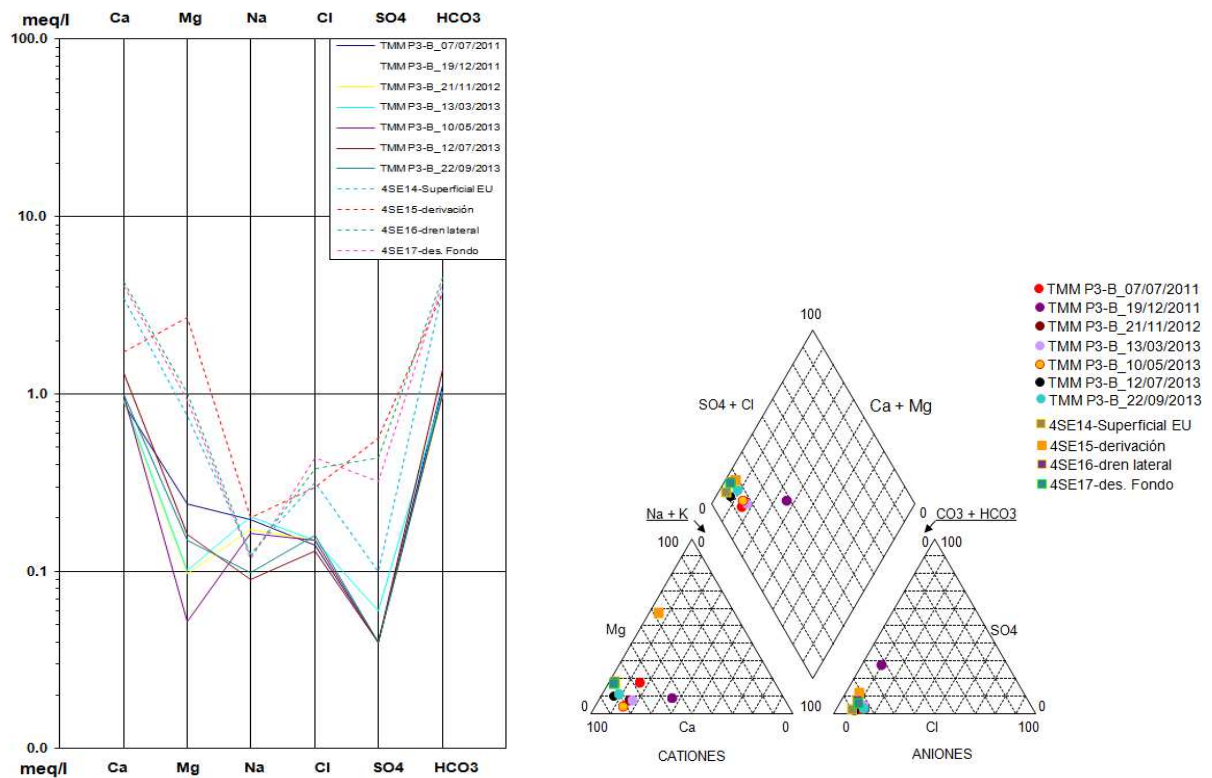


Figura 8.2.2.1.1.d. Comparación de química elemental de los puntos de muestreo del cuerpo de presa y el agua de lluvia. Diagrama logarítmico de columnas verticales (de Schoeller-Berkaloff) a la izquierda y diagrama de Piper a la derecha.

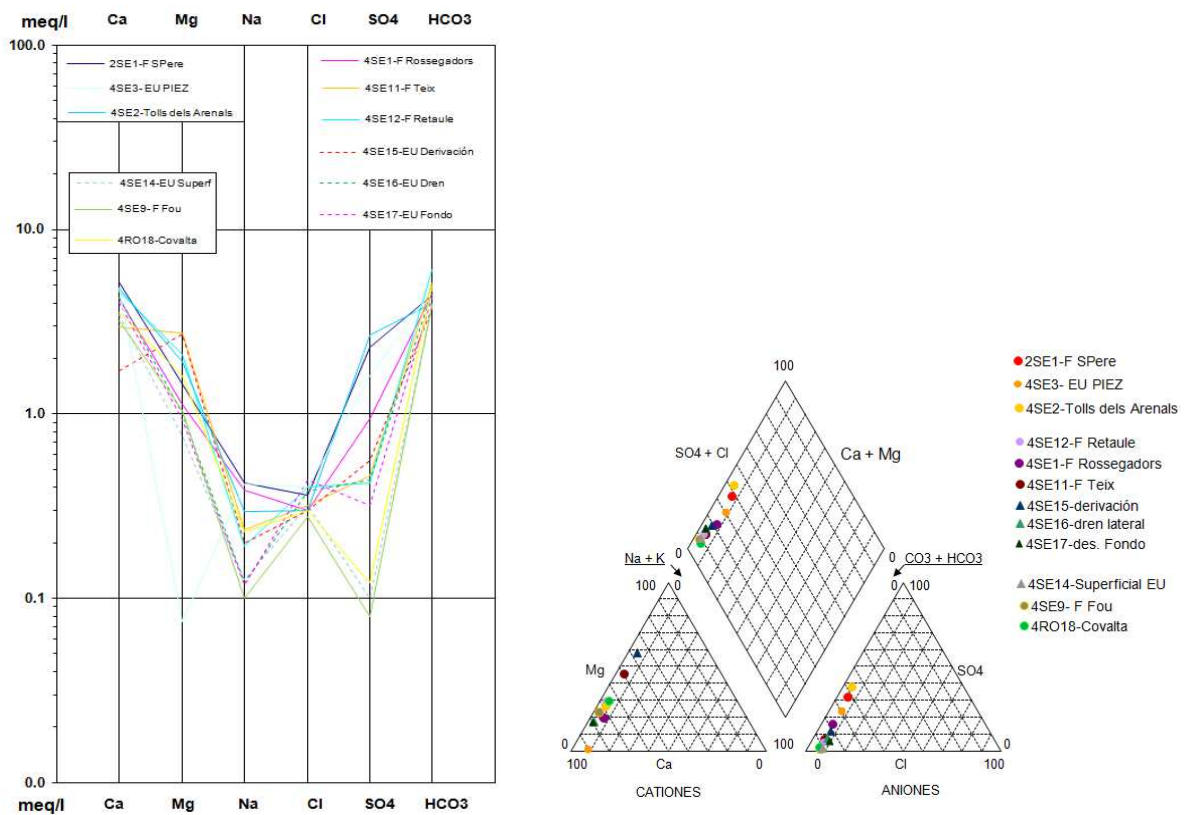


Figura 8.2.2.1.1.e. Comparación de química elemental de los puntos de muestreo del cuerpo de presa y el agua subterránea. Diagrama logarítmico de columnas verticales (de Schoeller-Berkaloff) a la izquierda y diagrama de Piper a la derecha.

Tabla 8.2.2.1.1.d. Química elemental del agua del embalse, agua de lluvia del TMM P3-B y del agua subterránea del entorno del embalse.

Fecha	ID	Muestra	x	y	CE	pH	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	NO <sub>3</sub>	Na	K+	Ca	Mg	error (%)
			(m)	(m)	(uS cm <sup>-1</sup> )										
07/07/2011		TMM P3-B_07/07/2011	265897	4505944	97	7.10	68.32	1.92	4.96	0.38	4.52	0.72	17.64	2.92	2.45
21/11/2012		TMM P3-B_21/11/2012	265897	4505944	98	6.84	59.17	1.92	5.32	0.11	3.98	0.68	18.12	1.17	2.68
10/05/2013		TMM P3-B_10/05/2013	265897	4505944	99	6.94	61.00	1.92	5.32	0.31	3.78	0.73	19.40	0.63	0.85
12/07/2013		TMM P3-B_12/07/2013	265897	4505944	145	7.22	84.18	1.92	4.61	0.10	2.07	0.36	26.05	1.95	0.73
22/09/2013		TMM P3-B_22/09/2013	265897	4505944	111	6.92	62.22	1.92	5.67	1.32	2.26	0.43	19.84	1.82	0.86
13/03/2013		TMM P3-B_13/03/2013	265897	4505944	100	7.60	62.22	2.88	5.32	0.12	4.68	0.63	18.44	1.22	0.86
02/12/2011	4SE9	F Fou	265862	4509197	367	8.15	239.10	3.80	9.90	3.60	2.30	0.40	64.10	12.60	0.48
13/03/2013	4SE14	EU Superficial	266029	4506161	362	7.98	234.20	4.80	11.30	3.80	2.90	0.50	68.90	9.20	0.58
15/03/2013	4RO18	Covalta	279560	4518569	449	7.88	300.10	5.80	10.60	3.60	5.30	0.90	71.30	19.50	0.61
23/09/2013	4SE17	EU des. Fondo	266322	4506074	427	7.63	261.10	15.40	15.60	1.90	2.70	0.50	81.00	11.20	0.68
12/12/2012	4SE12	F Retaule	269410	4514638	545	7.62	370.90	20.20	14.20	0.50	4.40	0.70	93.00	25.30	0.59
23/09/2013	4SE16	EU dren lateral	266351	4506123	454	7.61	278.20	21.10	13.50	1.20	2.80	0.50	85.80	12.20	0.61
12/12/2012	4SE11	F Teix	268096	4513063	479	7.68	312.30	22.10	11.30	0.50	5.40	0.60	59.30	33.10	0.75
23/09/2013	4SE15	EU derivación	266415	4506035	387	7.72	228.10	26.90	10.60	1.40	4.60	0.80	34.50	32.80	0.76
12/12/2012	4SE1	F Rossegadors	266638	4506247	470	7.72	270.80	45.10	10.60	1.80	8.90	0.90	84.20	13.60	0.65
13/04/2011	4SE3	EU PIEZ	266551	4506217	564	7.55	287.90	76.80	14.20	0.90	9.60	1.10	96.20	0.90	0.23
12/12/2012	2SE1	F SPere	268891	4505096	569	7.62	268.40	110.50	12.80	0.70	9.70	1.40	104.2	17.50	0.56
13/03/2013	1SE2	Tolls dels Arenals	269227	4504364	619	7.72	244.00	128.70	10.60	2.10	6.80	0.70	96.20	23.30	0.50

- Estudio de las series temporales hidrométricas diarias del embalse de Ulldecona

Las series temporales diarias disponibles corresponden a las reservas y a las salidas del embalse para un periodo de 15 años. Por tanto es posible obtener el dato de entradas diarias al embalse a partir de:

$$E = \Delta V + S + Ev + f$$

(Siendo E: entradas,  $\Delta V$ : variación de volumen, S: salidas, Ev: evaporación, f: fugas del embalse).

Dado el supuesto de que el embalse se llena por escorrentía, la serie de entradas al embalse (E) ha sido considerada como la escorrentía total (suma de escorrentía superficial y escorrentía de acuíferos colgados temporales y de descarga subterránea). Las variaciones de volumen se han calculado a partir de la serie diaria de reservas calculadas en el embalse y las fugas se han considerado nulas.

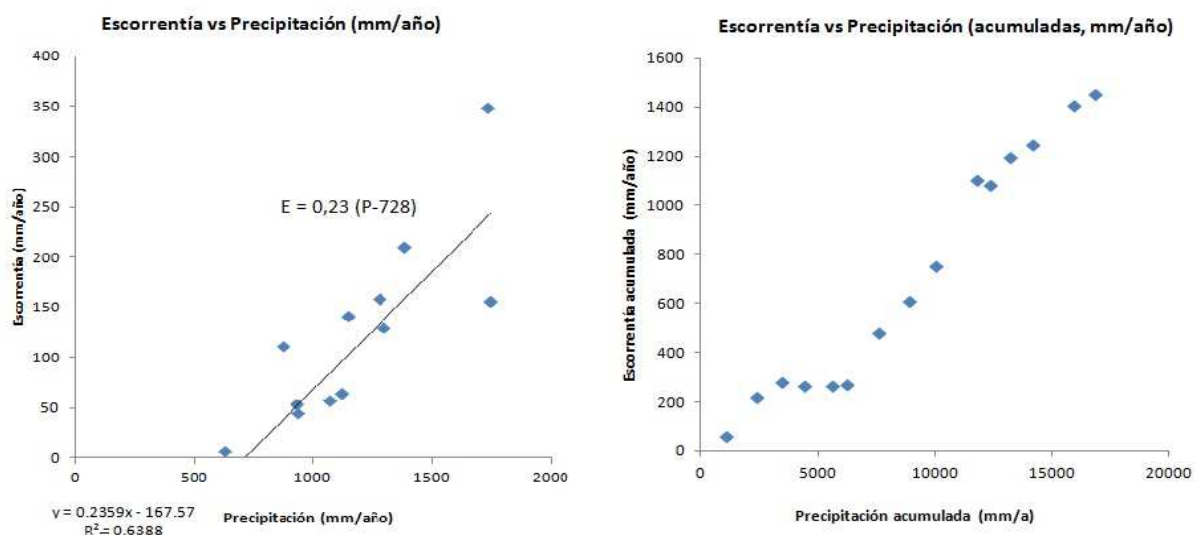
Se ha estudiado la importancia de la evaporación, obteniendo un valor medio para cada año hidrológico en el periodo 1994-2009 a partir de la ETP de Thornthwaite, calculada en el balance de agua en el suelo general y del coeficiente de la superficie de la cuenca del embalse (126 km<sup>2</sup>) y la superficie máxima del embalse (0,47 km<sup>2</sup>) y analizando la relación evaporación versus entradas (Tabla 8.2.2.1.1.e). La evaporación media anual representa de media el 5% de las entradas anuales, por lo que no se considerará en el cálculo de la serie temporal diaria de entradas.



Tabla 8.2.2.1.1.e. Evapotranspiración (ETP), evaporación máxima en el embalse (Ev) y entradas anuales en el embalse de Ulldecona (E) y relación Ev/E.

Fecha	ETP	Ev	E	Ev/E (%)
		(mm·a <sup>-1</sup> )		
1994-1995	648.63	2.42	58.73	4.12
1995-1996	627.57	2.34	159.52	1.47
1996-1997	628.01	2.34	65.08	3.60
1997-1998	636.61	2.37	-16.67	
1998-1999	622.77	2.32	-1.59	
1999-2000	647.09	2.41	7.14	33.79
2000-2001	673.11	2.51	210.32	1.19
2001-2002	641.85	2.39	130.16	1.84
2002-2003	705.76	2.63	142.06	1.85
2003-2004	634.83	2.37	349.21	0.68
2004-2005	622.96	2.32	-21.43	
2005-2006	666.73	2.49	112.70	2.21
2006-2007	654.25	2.44	54.76	4.46
2007-2008	638.72	2.38	157.14	1.52
2008-2009	647.20	2.41	45.24	5.34

Una vez obtenida la serie diaria de entradas (escorrentía), se ha hecho un estudio de la correlación de datos entre la escorrentía y la precipitación anual (los datos de precipitación proceden de la serie extendida de la estación meteorológica PN Els Ports (ver Anexo 4) resultando una relación lineal dispersa tanto para valores mínimos como máximos (Figura 8.2.2.1.1.f).

Figura 8.2.2.1.1.f. Relación entradas-precipitación anuales (mm·a<sup>-1</sup>) del embalse de Ulldecona.

La relación lineal entre la escorrentía (E) y precipitación (P) responde a  $E = 0,23 (P-728)$  para valores en  $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$  (Figura 8.2.2.1.1.f), lo que significa que en promedio se necesita una lluvia de más de  $728 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  para que se produzca escorrentía, debiéndose considerar el caso excepcional, pero con periodicidad anual estacional, de eventos fuertemente intensos de precipitación (superiores a  $100 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ ). En el gráfico de precipitación y escorrentía acumulada destaca la pendiente 0 correspondiente al periodo de sequía que tuvo lugar de 1998 a 2000.

En el hidrograma se diferencian 2 fases en el agotamiento del caudal de entrada (fase 1 y 2 en Figura 8.2.2.1.1.g), una con pendiente más acusada y otra con pendiente ligeramente más suavizada. El cálculo de los coeficientes de agotamiento de ambas fases aparece recogido en la Tabla 8.2.2.1.1.f.

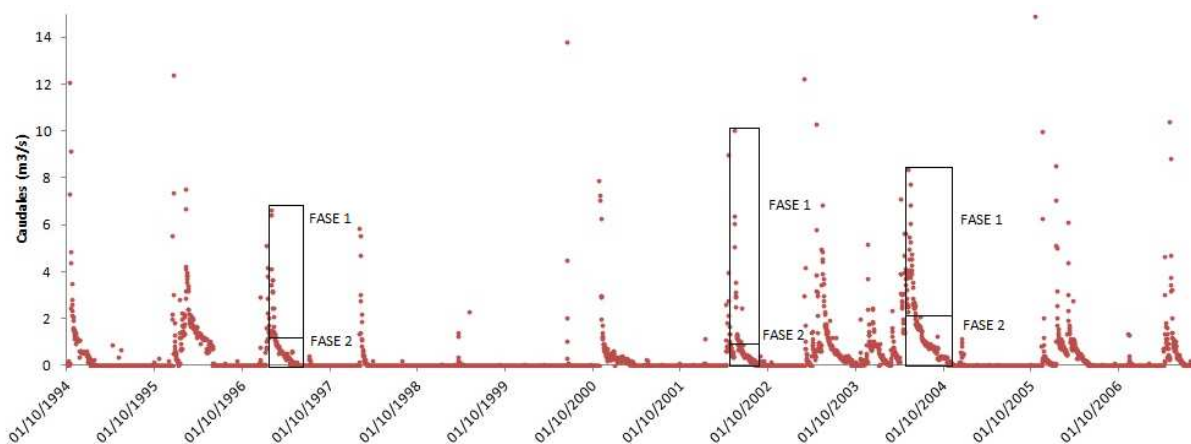


Figura 8.2.2.1.1.g. Cálculo del agotamiento en los caudales de entrada del embalse de Uldecona. No se han representado los caudales mayores que 14 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> para detallar la zona en la que se manifiestan los agotamientos.

Tabla 8.2.2.1.1.f. Cálculo de las dos fases de agotamiento en el caudal de entrada al embalse de Uldecona (τ: tiempo de semiagotamiento).

FASE 1									$\alpha \text{ (d}^{-1}\text{)} = \frac{\ln Q_1 - \ln Q_2}{\text{periodo de tiempo}}$	$\tau \text{ (d)} = \frac{\ln 2}{\alpha \text{ media}}$
Fecha	Q	ln(Q)	Fecha	Q	ln(Q)	Fecha	Q	ln(Q)		
26/01/1997	6.66	1.896	08/05/2002	10.05	2.308	05/05/2004	8.38	2.126		
06/02/1997	1.49	0.399	23/05/2002	1.16	0.148	15/06/2004	1.76	0.565		
coef agot. (d <sup>-1</sup> )	α 1	-0.136		α 2	-0.144		α 3	-0.038	-0.10604	6.53
FASE 2										
Fecha	Q	ln(Q-Qo)	Fecha	Q	ln(Q-Qo)	Fecha	Q	ln(Q-Qo)		
07/02/1997	1.7	0.531	24/05/2002	1.09	0.086	20/06/2004	1.58	0.457		
26/04/1997	0.5	-0.693	26/08/2002	0.06	-2.813	08/10/2004	0.36	-1.022		
coef agot. (d <sup>-1</sup> )	α 1	-0.016		α 2	-0.031		α 3	-0.013	-0.01999	34.6

Con estos valores y el hidrograma se deduce que la fase 1 representa la escorrentía superficial en la parte superior del terreno y la fase 2 representa la escorrentía de la zona vadosa procedente de acuíferos colgados temporales.

De la serie diaria de entradas se ha calculado la aportación total, que es de 103 mm·a<sup>-1</sup> de entradas y de 100 mm·a<sup>-1</sup> de salidas para una superficie de cuenca de 126 km<sup>2</sup>, esta diferencia puede deberse a los errores inducidos por realizar de forma manual la medición de caudales en el embalse y a que no se ha considerado la evaporación. Conocidos estos datos, a partir de la representación gráfica de las entradas diarias al embalse se han calculado las aportaciones medias anuales (mm·a<sup>-1</sup>) (Tabla 8.2.2.1.1.g y h).

Los valores de AS y ASS (aportación de escorrentía superficial del suelo edáfico y superficial de la zona vadosa respectivamente) han sido calculados como el área bajo la curva descrita por el hidrograma (Figura 8.2.2.1.1.g), siendo el volumen de agua de escorrentía de la zona vadosa la suma de las áreas limitadas por los agotamientos con menor pendiente de cada evento de entrada (fase 2) y el volumen

de agua de escorrentía superficial del suelo edáfico la superficie entre la curva que describe el volumen de escorrentía de la zona vadosa y el agotamiento con mayor pendiente en cada pico de entrada (fase 1).

Tabla 8.2.2.1.1.g. Aportaciones medias anuales al embalse de Ulldecona ( $\text{mm a}^{-1}$ ) para el periodo 1994-2009.

	Años	Superficie ( $\text{km}^2$ )	Aportaciones medias anuales		
			AT	AS	ASS
Entradas	14	126	103,01	30,23	72,78
Salidas	14	126	99,74		

\*A: aportación (T: total, S: escorrentía superficial en suelo edáfico y SS: escorrentía en la zona vadosa).

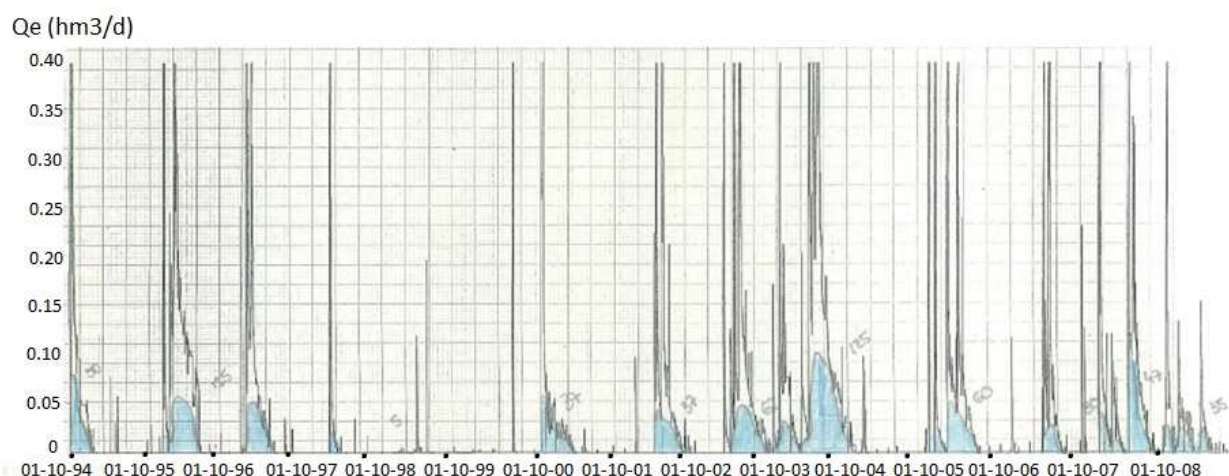


Figura 8.2.2.1.1.h. Entradas al embalse de Ulldecona en el periodo octubre 1994-septiembre 2009 e interpretación del hidrograma. La parte sombreada en azul lo que supone que corresponde a la escorrentía de la zona vadosa, apreciado por ajuste manual ( $Q_e$ : Caudal de entrada en  $\text{hm}^3 \text{d}^{-1}$ ).

### 8.2.2.1.2. Afluentes del río Matarraña y Algars

Como apoyo a la interpretación del comportamiento hídrico del macizo de los Ports de Beseit frente a eventos de lluvia, se han estudiado los hidrogramas de las series temporales de aforo de caudal para los ríos con nacimiento en los Ports localizados en la vertiente noroeste del macizo. Dichos ríos son el Figuerals, Pena y Ulldemó, afluentes del río Matarraña, y Algars (Figura 8.2.1).

A partir de la representación gráfica y tras separar la escorrentía superficial y de la zona vadosa (sombreados de color rojo y azul respectivamente en la Figura 8.2.2.1.1.i), se han obtenido los valores de aportación total, aportación por escorrentía superficial y aportación por escorrentía de la zona vadosa (ver Tabla 9), considerando las respectivas cuencas sobre el punto de aforo correspondiente (Figura 8.2.2.1.1.a).

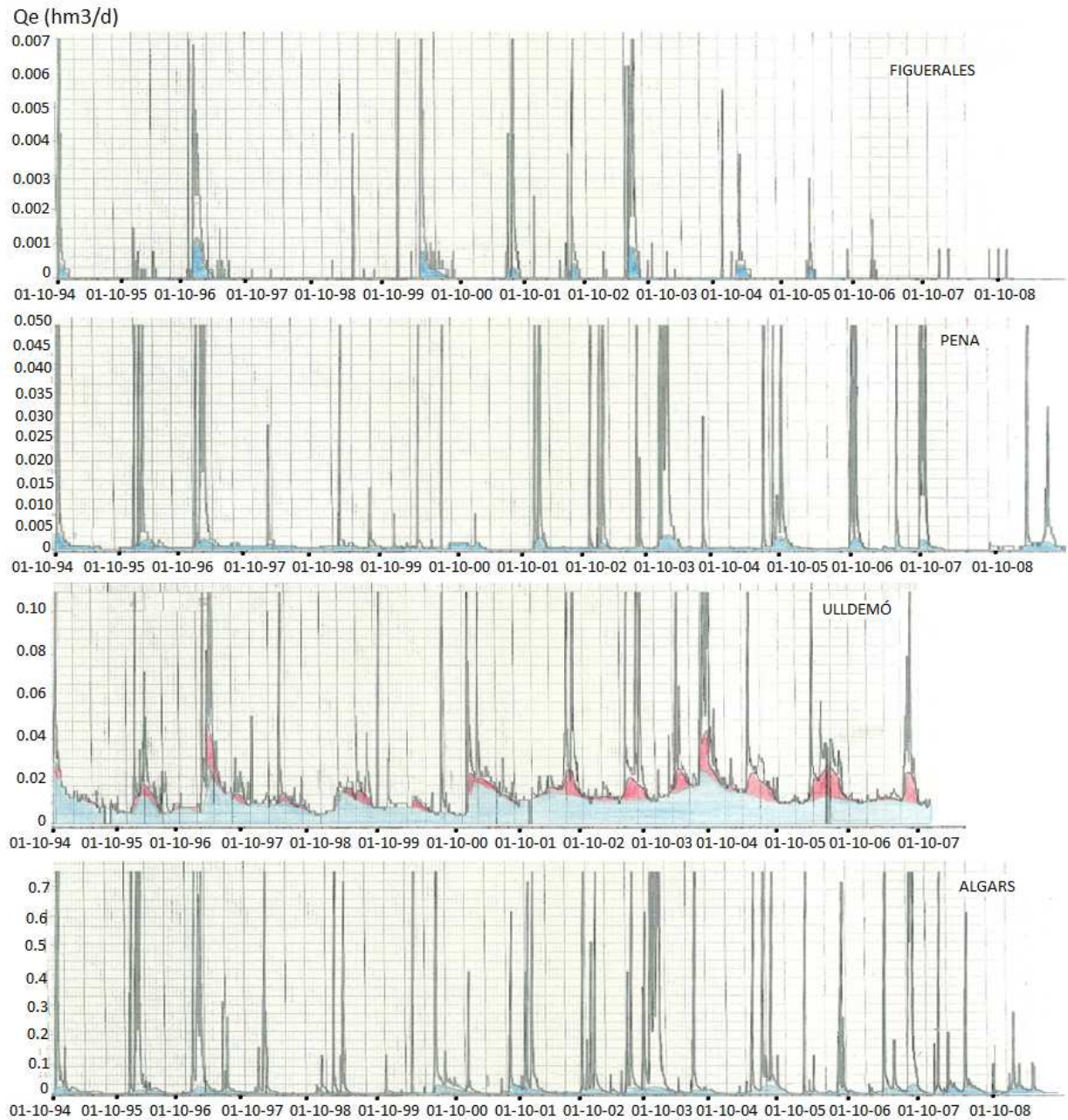


Figura 8.2.2.1.1.i. Caudal de los ríos Figuerales, Pena, Ulldemó y Algars en el periodo octubre 1994-septiembre 2009 e interpretación del hidrograma (el sombreado en azul es escorrentía sub-superficial o rápida y el en rojo es la escorrentía superficial).

Tabla 8.2.2.1.1.h. Aportaciones medias anuales ( $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ ) para los afluentes del río Matarraña, el río Algars.

PERIODO	ID	ESTACIÓN	Años	Sup. $\text{km}^2$	Aportaciones medias anuales			
					AT	AS	ASS	AL
1994-2010	9113	Figuerales	16	55	2,25	0,25	2,00	
1994-2010	9110	Pena (Beceite)	16	49	52,49	4,25	48,24	
1994-2007	9052	Matarraña (Ulldemó)	13	48	176,63	15,46	81,7	80,00
1994-2010	9153	Algars (Horta SJ)	16	115	180,4	19,20	160,94	

\*A: aportación (T: total, S: escorrentía superficial de la superficie del terreno, SS: escorrentía zona vadosa, L: flujo subterráneo).

Dadas las características de su cuenca, es el río Ulldemó el que reproduce mejor los eventos de precipitación con generación de escorrentía similar a la producida en el embalse de Ulldecona. El resto difieren ya que el Figuerales es un arroyo de pequeña entidad que no nace intrínsecamente del macizo, el río Pena se alimenta de manantiales permanentes a pie de los Ports y el río Algars nace de la Mola del Catí y se alimenta en su trascurso de fuentes permanentes que incrementan considerablemente su caudal.

#### *8.2.2.2. Balance de agua en el suelo con el código Visual Balan en la cuenca receptora del embalse de Ulldecona*

Para la obtención de la escorrentía media anual en la cuenca receptora del embalse de Ulldecona mediante el balance de agua en el suelo con el código Visual Balan, se ha partido del balance de agua en el suelo general de la zona de estudio (ver capítulo de “Balance de agua en el suelo”).

Para el balance meteorológico se ha utilizado la serie diaria de datos de precipitación (mm), temperatura media (°C), velocidad del viento ( $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ), humedad relativa (%) y evapotranspiración potencial (mm) de la estación meteorológica PN Els Ports (localización en Figura 8.1.2).

Para los parámetros hidráulicos de la cubierta vegetal y suelo edáfico se ha partido de los utilizados en la SZ4 y SZ5 en el balance de agua en el suelo general, dado que las características de suelo son similares. Durante el desarrollo del balance, el ajuste se ha realizado manualmente para conseguir un mejor funcionamiento en la cuenca del embalse de Ulldecona. Dichos parámetros del suelo edáfico representan un suelo poco desarrollado con suficiente superficie de roca aflorante y pendientes mayores al 1% (Tabla 8.2.2.2.a). Además se ha considerado que existe interceptación puesto que hay zonas con pinares relativamente densos.

La recarga en tránsito diferida (recarga en la base del suelo) se calcula por el método modificado considerando un flujo preferente por fisuras con CKRD (parámetro de flujo preferente) = 0,1 y FRD (coeficiente de flujo preferente) = 0,7; dichos parámetros corresponden al coeficiente de proporcionalidad que determina la magnitud del flujo preferente y al umbral a partir del cual cesa el flujo preferente respectivamente, ambos carecen de sentido físico y han sido obtenidos por calibración). La permeabilidad vertical se describe por una función exponencial respecto a la humedad en el suelo (Figura 8.2.2.2.a).

La evapotranspiración real se ha calculado por el método exponencial por su mejor ajuste en el balance, con un umbral de déficit hídrico de 10 mm (la capacidad de campo se ha fijado en 5% y el punto de marchitez en 1%) (Figura 8.2.2.2.b).

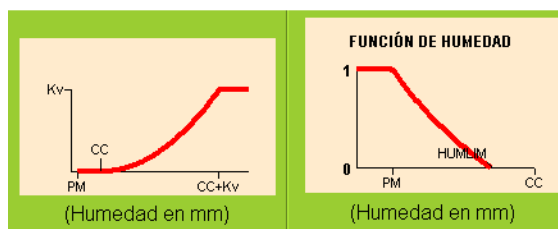


Figura 8.2.2.2.a. Variación del flujo de salida de la zona edáfica con el contenido de humedad del suelo y función de humedad respecto al contenido en humedad del suelo (PM: punto de marchitez, CC: capacidad de campo y Kv: conductividad vertical).

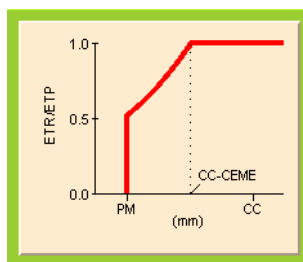


Figura 8.2.2.2.b. Relación del coeficiente de la evapotranspiración real y potencial en función del estado de humedad del suelo (PM: punto de marchitez, CC: capacidad de campo y CEME: coeficiente de déficit hídrico).

Tabla 8.2.2.2.a. Parámetros hidráulicos finales para la obtención del balance de agua en el suelo.

DATOS	Años	15	
HIDROMETEO	EMET	PN els Ports	
	Punto Control	Aforo Embalse de Ulldecona	
	Área cuenca receptora (km <sup>2</sup> )	126	
CUBIERTA VEGETAL	Interceptación-Cubierta vegetal Método de cálculo: Singh	Bosque de pinares	
	Factores de corrección	Capacidad de almacenamiento Coeficiente de interceptación	1,27 0,2
SUELO EDÁFICO	Porosidad total	0,3	
	Humedad inicial	0,04	
	Conductividad hidráulica (cm s <sup>-1</sup> )	1,15*10 <sup>-4</sup>	
	Punto de marchitez	0,01	
	Capacidad de campo	0,05	
	Espesor suelo (m)	0,5	
	Reserva útil máx (mm)	20	
	ETP	datos usuario	
	ETR por el método exponencial	CEME (mm): Umbral déficit hídrico	10
	Escorrentía superficial (Número de curva)	Lluvia mínima del aguacero (mm) Número de curva ; % área ocupada	1,5 50; 50
ZONA NO SATURADA	Resolución ecuación Metodo Explícito	Coef. agotamiento fl hipodérmico (d <sup>-1</sup> )	0,099
		Tiempo semiagotamiento (d)	7
		Contenido inicial de agua (mm)	10
		Cond hidráulica vertical (mm/d)	100
		Coeficiente de percolación (d <sup>-1</sup> )	0,231
		Tiempo semiagotamiento (d)	3
ACUÍFERO	Coeficiente de agotamiento (α) (d <sup>-1</sup> )	0,0036	
	Tiempo semiagotamiento ( Ln2 α <sup>-1</sup> ) (d)	192,5	
	Coeficiente almacenamiento	0,025	
	Nivel inicial (msnm)	43,63	
	Nivel de descarga (msnm)	30	

Los resultados del balance de agua en el suelo en la cuenca del embalse de Ulldecona se muestran en la Tabla 8.2.2.2.b.



Tabla 8.2.2.2.b. Resultados del balance de agua en el suelo (valores medios en  $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ ) para la cuenca receptora del Embalse de Ulldecona en el periodo octubre de 1994 a septiembre de 2009.

Precipitación	Interceptación	Escorrentía superficial	Escorrentía zona vadosa	ETR	Recarga	Caudal total
1087	98	51	56	370	515	620

### 8.2.2.2.1. Calibración del balance de agua

Para la calibración del modelo se ha utilizado la serie histórica de caudales de entrada diarios al embalse de Ulldecona. La Figura 8.2.2.2.1.a representa los caudales medidos frente a los calculados con el código Visual Balan. Se observa que los caudales calculados son considerablemente mayores que los medidos. Este efecto es debido a que el código Visual Balan considera que la suma de los caudales de escorrentía superficial, escorrentía en zona vadosa y flujo subterráneo forman el conjunto del caudal de salida total medido en el punto de aforo considerado; pero en el caso del embalse de Ulldecona, dada su cota de emplazamiento por encima del nivel de base del acuífero, el caudal aforado corresponde a las entradas por escorrentía superficial y de la zona vadosa únicamente, mientras que la mayor parte del agua recargada es transferida lateralmente desde los Ports de Beseit a la Plana de La Galera.

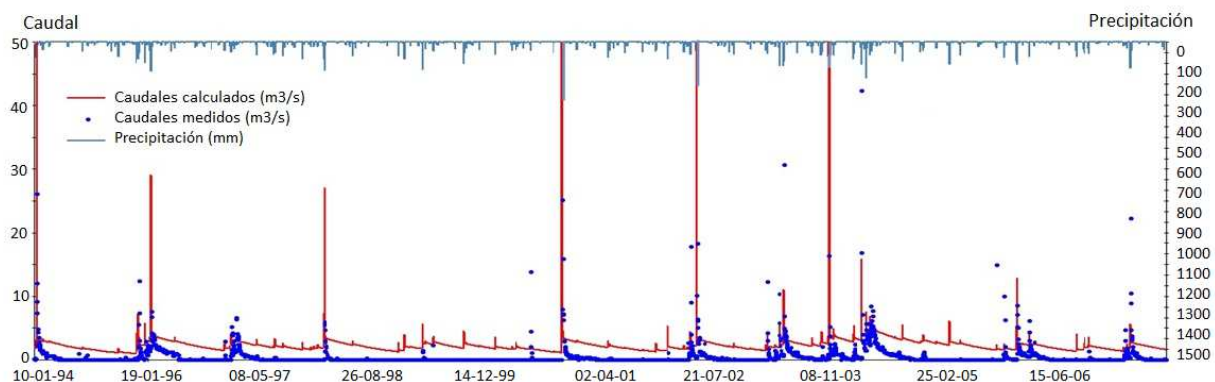


Figura 8.2.2.2.1.a. Caudales diarios medidos y calculados ( $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ) y precipitación ( $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ ). No se han representado los caudales mayores que  $50 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  para ampliar la zona en la que se producen las variaciones de caudal.

Con este efecto no puede determinarse una buena calibración del balance por lo que ha sido necesaria la modificación de la serie de caudales calculados considerándolos como la suma de la escorrentía superficial y de la zona vadosa para poder comparar con los caudales medidos, los cuales sí reproducen el funcionamiento real de la zona (ver Figura 8.2.2.2.1.b).

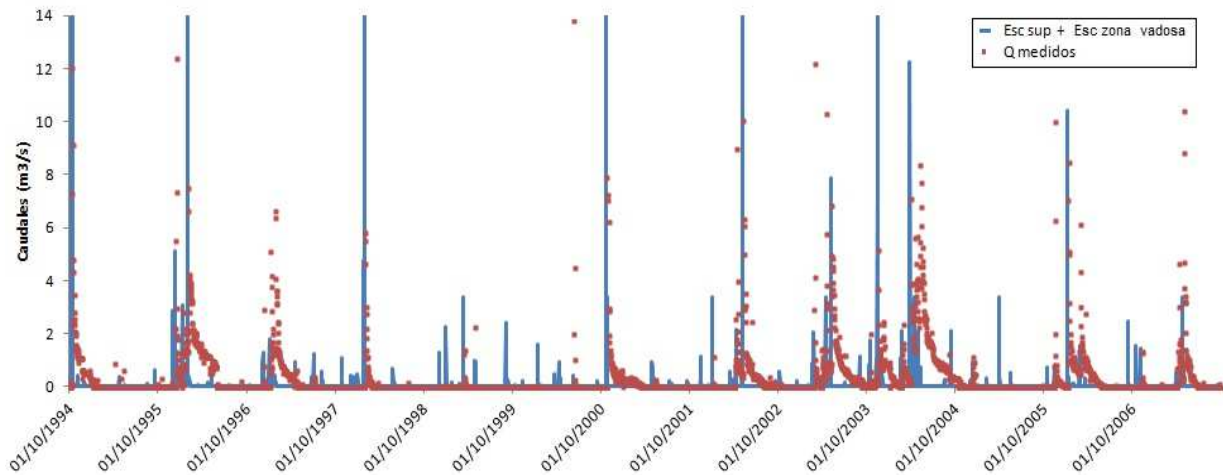


Figura 8.2.2.2.1.b. Calibración con caudales diarios medidos y calculados modificados ( $m^3 \cdot s^{-1}$ ). No se han representado los caudales mayores que  $14 m^3/s$  para ampliar la zona en la que se producen las variaciones de caudal.

Los caudales totales acumulados calculados y medidos para el periodo de 1994 a 2009 no difieren de forma significativa (ver Tabla 8.2.2.2.a).

Para determinar la bondad de ajuste del modelo se ha aplicado el Criterio de Schultz, el cual representa la desviación de los caudales calculados respecto de los medidos aplicando la siguiente formulación, donde  $Q_{cal, i}$  es el valor simulado,  $Q_i$  es el valor medido,  $Q_{max}$  es el caudal máximo observado en el periodo de estudio y  $n$  el número de datos calculados.

$$D = 200 \frac{\sum |Q_{cal, i} - Q_i| Q_i}{n(Q_{max})^2}$$

Siendo  $D = 0,008$  por tanto, según los valores referenciales del Criterio de Schultz, el ajuste es muy bueno.

#### 8.2.2.2.2. Análisis de sensibilidad del balance de agua

Se ha realizado un análisis de sensibilidad conjunto de los diferentes caudales que componen el caudal total (escorrentía superficial, escorrentía de la zona vadosa, flujo subterráneo y recarga) así como de otras variables del balance frente a los parámetros que presentan mayor incertidumbre y que mayor influencia pueden tener en su variación (Figuras 8.2.2.2.a-d).

Tabla 8.2.2.2.a. Caudal total acumulado calculado y medido para el periodo 1994-2009.

Q medido	Q calculado
$(m^3 \cdot s^{-1})$	
2240	2438

- Análisis de sensibilidad de los componentes del caudal total frente al espesor del suelo

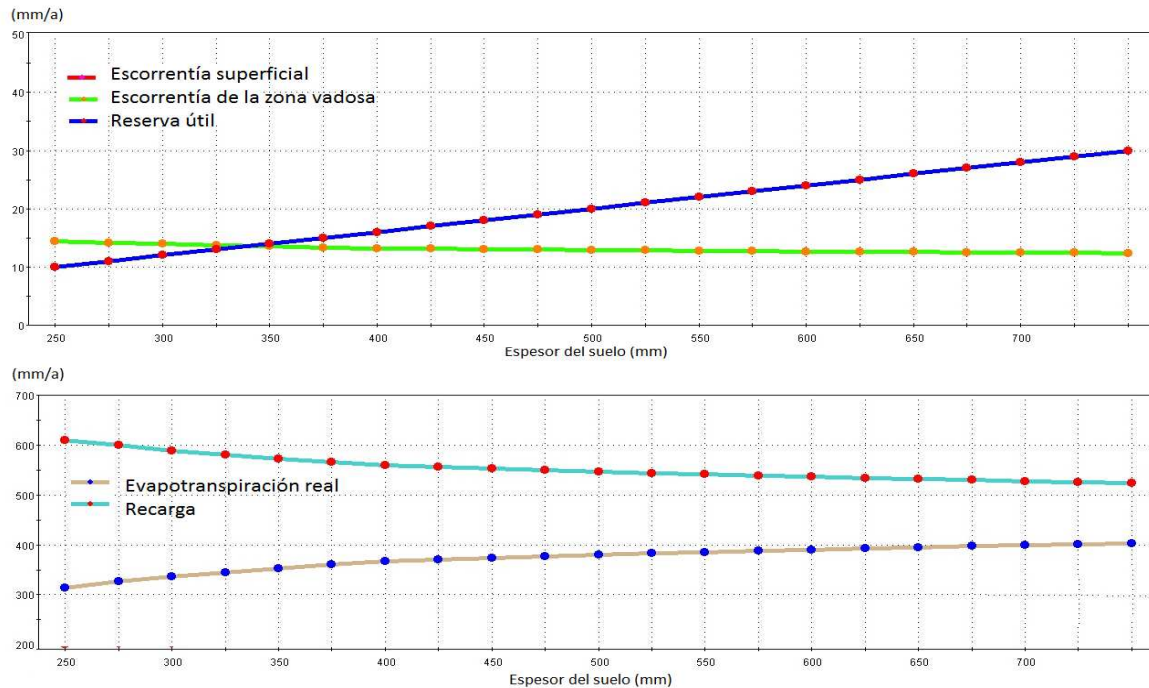


Figura 8.2.2.2.a. Sensibilidad de los componentes del caudal total frente al espesor del suelo.

A efectos comparativos, se representa cómo cambia la reserva máxima en el suelo con el espesor del suelo, ya que el programa no permite su introducción directa. Lo que aparece en la Figura 8.2.2.2.a. como flujo hipodérmico (que es la escorrentía de la zona vadosa) es muy poco sensible para una reserva útil del suelo inferior a 20 mm, aumentando su caudal hasta 14 mm·a<sup>-1</sup> y no es sensible para reservas superiores a 20 mm·a<sup>-1</sup>. La recarga es mayor a menor espesor de suelo, hasta 600 mm·a<sup>-1</sup> para una reserva útil de 10 mm, es decir, con un espesor de suelo de 0,25 m (la evapotranspiración varía en igual proporción que la recarga pero de manera inversa). La escorrentía no se ve afectada por el espesor del suelo.

- Análisis de sensibilidad de los componentes del caudal total frente al número de curva

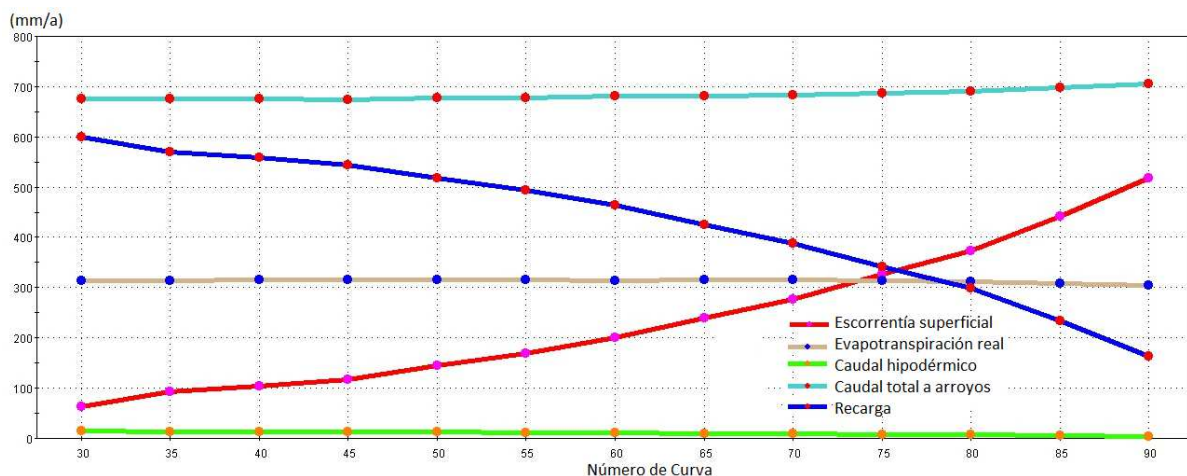


Figura 8.2.2.2.b. Sensibilidad de los componentes del caudal total frente al número de curva

Las variaciones de caudal con el aumento del número de curva son mayores para la escorrentía superficial que para la de la zona vadosa que de manera inversa afecta a la cantidad de recarga producida. El flujo subterráneo, la evapotranspiración y la escorrentía de la zona vadosa son ligeramente sensibles para número de curva > 65.

- Análisis de sensibilidad de los componentes del caudal total frente al coeficiente de flujo preferente (CKRD) y umbral de flujo preferente (FRD)

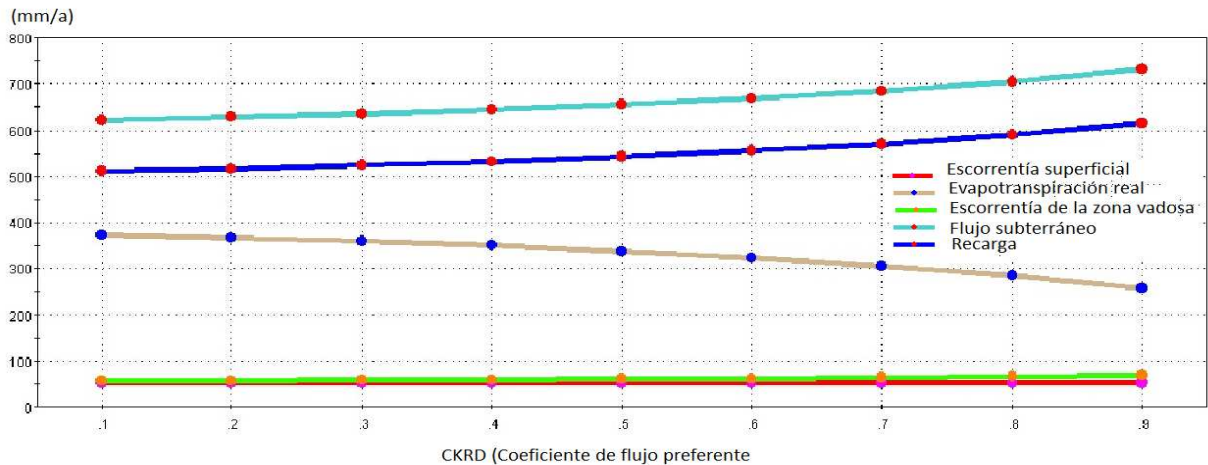


Figura 8.2.2.2.c. Sensibilidad de los componentes del caudal total frente al coeficiente de flujo preferente.

Se presenta sensibilidad al coeficiente de proporcionalidad (CKRD) y no así al umbral a partir del cual cesa el flujo preferente. La sensibilidad es mayor para la ETR, recarga y flujo subterráneo y ligeramente acusada para la escorrentía en la zona vadosa. Para todas ellas la sensibilidad se incrementa para valores de CKRD > 0,3. La escorrentía no presenta sensibilidad a la variación de dicho coeficiente.

- Análisis de sensibilidad de los componentes del caudal total frente al coeficiente de agotamiento de la zona vadosa

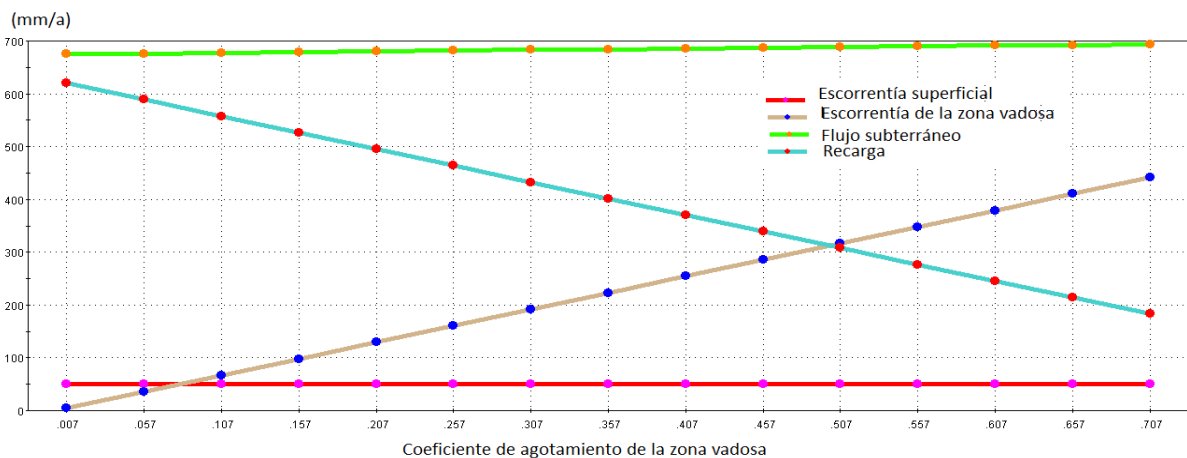


Figura 8.2.2.2.d. Sensibilidad de los componentes del caudal total frente al coeficiente de agotamiento de la zona vadosa.

Cuanto más tarda en agotarse el flujo de la zona vadosa menor caudal se produce en la zona vadosa. La relación es inversa para la recarga.

La escorrentía superficial sólo presenta sensibilidad al número de curva. El número de curva determina el comportamiento hidrológico de la cuenca en relación con la capacidad de producir escorrentía en función de la magnitud del evento de precipitación que la genera, y depende de las características de cobertura de suelo (uso y pendiente). El resto de parámetros afectan al volumen de agua y su repartición tanto en la zona no saturada como en la entrada al acuífero y su descarga.

### 8.2.3. Discusión de los resultados

A partir del estudio hidrogeoquímico del agua del embalse de Ulldecona, comparando la composición química elemental con la del agua de lluvia local y con la del agua subterránea de los alrededores del embalse, se diferencian los siguientes grupos de aguas:

- Grupo a: concentración  $\text{Ca} < 20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $\text{Mg} < 2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y  $\text{SO}_4 < 6 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y Cl de 4-6  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . En este grupo se encuentran las aguas de lluvia del tomamuestras TMM P3-B.
- Grupo b: concentración de  $\text{Ca} > 20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $\text{Mg} > 2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y  $\text{SO}_4 > 6 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y Cl de 9-16  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  (ver Tabla 8.2.3.a). En este grupo se encuentran el agua del embalse de Ulldecona y las aguas subterráneas colindantes al embalse. Dentro de este grupo cabe diferenciar otros 3 subgrupos en función del contenido en  $\text{SO}_4$ ; de 3-6  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , de 15-45  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y de 76-128  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , respectivamente. Los de mayor concentración indican mayor tiempo de circulación por el terreno, fundamentalmente por materiales Terciarios; los de menor concentración son comparables al agua de lluvia, lo que indica que su circulación ha sido mínima por el terreno y que la descarga ha sido rápida; estas muestras corresponden a dos manantiales puntuales y al agua superficial del embalse de Ulldecona. Las de concentración media, fundamentalmente las aguas del frente de presa, indican una mezcla de agua superficial (llegada al embalse por escorrentía o de la misma lluvia) y subterránea, de lo que se deduce que el agua embalsada tiene origen de la escorrentía superficial y de la descarga de agua de la zona vadosa no saturada.

Tabla 8.2.3.a Química elemental del agua del embalse, agua de lluvia del TMM P3-B y del agua subterránea del entorno del embalse de Ulldecona (CE: conductividad eléctrica en uS.cm-1, X-y: en m, concentración iónica en mgL<sup>-1</sup>, error = 200(Σ aniones- Σ cationes)/(Σ aniones+ Σ cationes) (%)).

Fecha	ID	Muestra	x	y	CE	pH	HCO3	SO4=	Cl	NO3	Na	K	Ca	Mg	error
07/07/2011		TMM P3-B_07/07/2011	265897	4505944	97	7.10	68.32	1.92	4.96	0.38	4.52	0.72	17.64	2.92	2.45
21/11/2012		TMM P3-B_21/11/2012	265897	4505944	98	6.84	59.17	1.92	5.32	0.11	3.98	0.68	18.12	1.17	2.68
10/05/2013		TMM P3-B_10/05/2013	265897	4505944	99	6.94	61.00	1.92	5.32	0.31	3.78	0.73	19.40	0.63	0.85
12/07/2013		TMM P3-B_12/07/2013	265897	4505944	145	7.22	84.18	1.92	4.61	0.10	2.07	0.36	26.05	1.95	0.73
22/09/2013		TMM P3-B_22/09/2013	265897	4505944	111	6.92	62.22	1.92	5.67	1.32	2.26	0.43	19.84	1.82	0.86
13/03/2013		TMM P3-B_13/03/2013	265897	4505944	100	7.60	62.22	2.88	5.32	0.12	4.68	0.63	18.44	1.22	0.86
02/12/2011	4SE9	F Fou	265862	4509197	367	8.15	239.10	3.80	9.90	3.60	2.30	0.40	64.10	12.60	0.48
13/03/2013	4SE14	EU Superficial	266029	4506161	362	7.98	234.20	4.80	11.30	3.80	2.90	0.50	68.90	9.20	0.58
15/03/2013	4RO18	Covalta	279560	4518569	449	7.88	300.10	5.80	10.60	3.60	5.30	0.90	71.30	19.50	0.61
23/09/2013	4SE17	EU des. Fondo	266322	4506074	427	7.63	261.10	15.40	15.60	1.90	2.70	0.50	81.00	11.20	0.68
12/12/2012	4SE12	F Retaule	269410	4514638	545	7.62	370.90	20.20	14.20	0.50	4.40	0.70	93.00	25.30	0.59
23/09/2013	4SE16	EU dren lateral	266351	4506123	454	7.61	278.20	21.10	13.50	1.20	2.80	0.50	85.80	12.20	0.61
12/12/2012	4SE11	F Teix	268096	4513063	479	7.68	312.30	22.10	11.30	0.50	5.40	0.60	59.30	33.10	0.75
23/09/2013	4SE15	EU derivación	266415	4506035	387	7.72	228.10	26.90	10.60	1.40	4.60	0.80	34.50	32.80	0.76
12/12/2012	4SE1	F Rossegadors	266638	4506247	470	7.72	270.80	45.10	10.60	1.80	8.90	0.90	84.20	13.60	0.65
13/04/2011	4SE3	EU PIEZ	266551	4506217	564	7.55	287.90	76.80	14.20	0.90	9.60	1.10	96.20	0.90	0.23
12/12/2012	2SE1	F SPere	268891	4505096	569	7.62	268.40	110.50	12.80	0.70	9.70	1.40	104.20	17.50	0.56
13/03/2013	1SE2	Tolls dels Arenals	269227	4504364	619	7.72	244.00	128.70	10.60	2.10	6.80	0.70	96.20	23.30	0.50

Esta diferenciación de aportación de agua de dos niveles de sustrato distintos se corrobora con la evolución del caudal de entrada al embalse, donde pueden diferenciarse dos secuencias con diferente periodo de duración: un llenado del embalse rápido producido por la escorrentía directa o superficial, al que corresponde un tiempo de semi-agotamiento de 6 a 7 días de media y otro más lento de 35-36 días de media. Este último puede representar la descarga de niveles acuíferos temporales colgados en el medio no saturado.

En la cuenca receptora del embalse de Ulldecona los valores calculados de escorrentía media anual, tanto con el hidrograma de caudal de entrada al embalse como con el balance de agua en el suelo, muestran coherencia en la magnitud de los resultados, así como con los valores de aportación calculados para el río Ulldemó, afluente del río Matarraña en la vertiente noroeste de los Ports de Beseit (ver Tabla 1.3.b), siendo la media anual de 100 mm·a<sup>-1</sup>.

Tabla 8.2.3.b. Valores de escorrentía media anual obtenida por los diferentes métodos de estimación (S: superficie en km<sup>2</sup>, A: aportación en mm·a<sup>-1</sup>, AT: aportación total, ASS: aportación escorrentía de la zona vadosa, AS: aportación superficial, AL: aportación de escorrentía lenta).

PERIODO	ID	ESTACIÓN	Años	Aportación media anual de escorrentía				
				S	AT	ASS	AS	AL
HIDROGRAMAS								
1994-2010	9113	Figuerals	16	55	2	2		
1994-2010	9110	Pena (Beceite)	16	49	52	48	4	
1994-2007	9052	Matarraña (Ulldemó)	13	48	177	81	15	80
1994-2010	9153	Algars (Horta SJ)	16	115	180	161	19	
1994-2009		EMB ULLDECONA						
		Entradas	15	126	103	73	30	
		Salidas	15	126	100			
VISUAL BALAN								
1994-2009	EMB ULLDECONA		15	126	107	56	51	
		SZ4	17	175		103		
1994-2011	PORTS DE BESEIT	SZ5-serie 1	17	138		95		
		SZ5-serie 2				113		

Por otro lado, las conclusiones de las conversaciones en las reuniones con los precursores y miembros activos del Club de Espeleología de Tortosa y con especialistas de la zona, y de las observaciones de



campo en cuanto a la ocurrencia de escorrentía superficial, apuntan a que la escorrentía superficial ocurre bajo condiciones determinadas del estado del suelo previas al evento de lluvia. Por ejemplo, si ha llovido durante días consecutivos y uno de los días posteriores la lluvia supera los  $50 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$  se produce escorrentía y si no ha llovido durante un periodo de tiempo y se produce un evento de precipitación superior a los  $100\text{-}150 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$  también se produce escorrentía. Además, analizando las series hidrométricas de escorrentía y precipitación diaria, la ocurrencia de escorrentía en función de los eventos de precipitación tiene lugar en momentos concretos, los cuales responderían al comportamiento observado en campo (Figura 8.2.3).

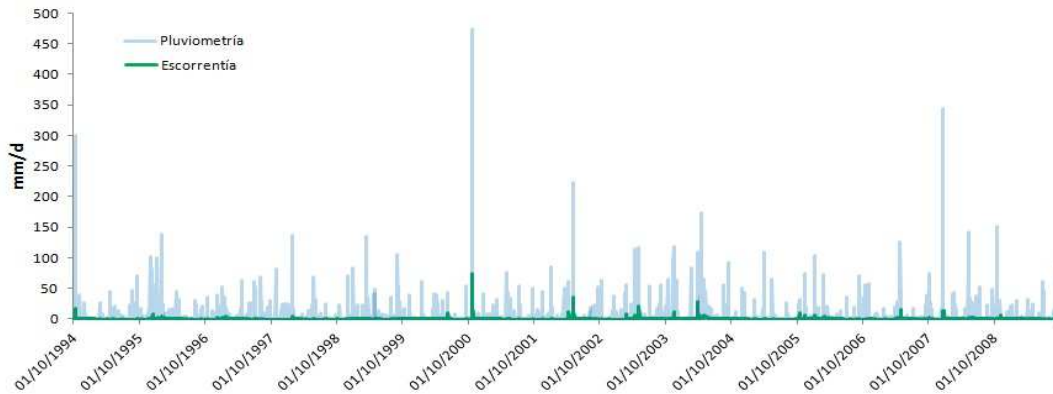


Figura 8.2.3. Hidrograma de precipitación versus escorrentía producida en los Ports ( $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ ) derivado de la escorrentía calculada por el balance de agua en el suelo con el código Visual Balan.

Por tanto, a partir de los análisis de química elemental del agua del embalse de Ulldecona, del estudio del hidrograma de caudal de entrada al embalse y del balance de agua en el suelo se deduce que:

- Existen dos tipos de flujo que llenan el embalse, uno superficial con agotamiento rápido y otro de escorrentía de la zona vadosa más lento que corresponde al agotamiento de niveles acuíferos colgados.
- En el balance de agua en el suelo con el código Visual Balan en la cuenca del embalse de Ulldecona, el análisis de sensibilidad muestra que la escorrentía depende en especial del número de curva seleccionado.
- La escorrentía media anual estimada en la cuenca receptora del embalse de Ulldecona es comparable y de la misma magnitud cuando se calcula, bien a partir de los caudales de entrada al mismo ( $103 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ ), o bien por balance de agua en el suelo con el código Visual Balan ( $107 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ ). Siendo a su vez coherentes con el rango de escorrentía media anual del balance de agua en el suelo con el código Visual Balan aplicado en toda la superficie de los Ports de Beseit ( $95 - 115 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ ).
- Para el cálculo de la recarga media multianual con el balance de la deposición atmosférica de ión cloruro será necesario conocer la deposición de ión cloruro en el agua de escorrentía.

### 8.3. BALANCE DE LA DEPOSICIÓN ATMOSFÉRICA DE IÓN CLORURO

Para la aplicación del método de balance de la deposición atmosférica de ión cloruro se ha considerado el modelo conceptual deducido a partir de la hidroquímica e isotopía de las aguas subterráneas (ver Capítulo 7.3, Figura 7.3.I).

La expresión estacionaria del balance para valores medios multianuales es:

$$A_p = A_E + R Cl_R$$

Siendo,

$A_p$  = deposición atmosférica total (húmeda + seca) de cloruro (en  $g\ m^{-2}a^{-1}$ ) calculada como la suma anualizada de las deposiciones atmosféricas totales obtenidas para cada muestreo. La deposición para cada muestreo se calcula como el producto de la precipitación acumulada durante el periodo de muestreo y la concentración de ión cloruro en dicha precipitación ( $A_p = P \cdot Cl_p$ ).

$A_E$  = salida de cloruro como escorrentía superficial  $\approx E_S Cl_{ES}$  ( $E_S$ =escorrentía superficial directa y subsuperficial en  $m\ a^{-1}$  y  $Cl_{ES}$  = contenido en cloruro en  $E_S$  en  $g\ L^{-1}$ ).

$Cl_R$  = concentración de ión cloruro del agua de recarga (en  $g\ L^{-1}$ ) que llega al nivel freático suponiendo que el paso por el medio vadoso es lo suficientemente rápido como para que la recarga muestreada sea la producida en el periodo estacionario considerado para el estudio. Para verificar esta suposición se ha hecho una primera aproximación de cálculo del tiempo de tránsito del agua de recarga a través de la zona vadosa, considerando un modelo de flujo de pistón:

$$\tau = \frac{e \cdot m_r}{R}$$

Para un  $e$  (m) = espesor de la zona vadosa, con 75 m como valor medio para la zona de estudio,  $m_r$  = porosidad eficaz, con un valor medio de 0,1 y  $R$  ( $m\ a^{-1}$ ) = recarga media anual, con valor de  $200\ mm\ a^{-1}$  como media de la zona de estudio, resultan valores de  $\tau$ , tiempo de tránsito del agua de recarga a través de la zona vadosa, en torno a 35 años. Por tanto, con este resultado se puede considerar que el tránsito del agua de recarga a través de la zona vadosa es relativamente rápido ya que no es un periodo de tiempo que pueda abarcar variaciones climáticas y en el caso de la zona de estudio no han existido variaciones significativas en los usos de suelo.

$R$  = recarga media multianual (en  $mm\ a^{-1}$ ). La recarga media multianual calculada depende en gran parte de la deposición atmosférica de ión cloruro ( $A_p$ ). La deposición atmosférica de ión cloruro en esta investigación ha sido obtenida a partir de los valores medios de concentración de cloruro atmosférico

muestreados (Capítulo 6.2.1). En esta Tesis Doctoral sólo se dispone de 3 años de registro continuo de datos, cuyos resultados se considerarán representativos de todo el periodo considerado. Para ello es importante valorar la estacionariedad del sistema. En la zona de aplicación no existen variaciones climáticas aparentes ni han existido variaciones en el uso de suelo significativas dentro del periodo de estudio (1994-2014). Por ello los resultados serán representativos de todo el periodo de tiempo en el cual se producen los procesos de tránsito del agua de recarga y la integración de las concentraciones de cloruro de las distintas recargas que se van produciendo (Custodio, 2009; Alcalá y Custodio, 2011).

La incertidumbre de la recarga medida  $R$  ha sido estimada a partir del cálculo de la varianza, siendo ésta la suma de los cuadrados de las varianzas de los parámetros involucrados en el cálculo de la recarga media multianual. A partir de dicha varianza se ha obtenido la desviación estándar ( $\sigma_R$ ) y el coeficiente de variación (CV) para la interpretación de los resultados.

Para distribuciones normales puede obtenerse como:

$$\sigma_R^2 = \sum^n \left[ \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot \sigma_{x_i}^2 \right]$$

Donde  $X_i$  representa una de las  $n$  variables que intervienen en el cálculo de  $R$  como parte de una función  $f$  y  $\sigma_{x_i}$  son las respectivas desviaciones estándar (Custodio, 2009).

Por tanto para  $R = (A_p - A_E) / Cl_R$  la varianza de la recarga media multianual obtenida del balance de la deposición atmosférica de ión cloruro se describe con  $\sigma_R^2 = (\sigma_A^2 + \sigma_E^2 + R^2 \sigma_{ClR}^2) / Cl_R^2$ .

### 8.3.1. Valores del ión Cl en el agua de recarga

Para la obtención de  $Cl_R$  se han utilizado análisis químicos históricos del agua subterránea obtenidos de la base de datos de la Agència Catalana de l'Aigua, completados con los procedentes de otros trabajos. Además se han realizado campañas de recogida de muestras de agua subterránea de captaciones subterráneas y manantiales permanentes, aunque de caudal variable en función de los eventos significativos de lluvia, identificando las zonas de recarga y la evolución espacial de la misma. Se ha llegado a la conclusión de que el agua extraída aguas abajo de los puntos de recarga preferente a cotas altas (Ports de Tortosa-Beseit) es mezcla de dicha recarga y de la producida en cotas bajas de los mismos (piedemonte) con la recarga local de la Plana.

Esta mezcla se produce probablemente en los propios pozos por la falta de sellado que produce la conexión puntual de acuíferos y también en lugares en los que los materiales detríticos están en contacto directo sobre los carbonáticos permeables (Capítulo 7.3.2.2) o a través de fracturas, por lo que

se asume que los valores de  $Cl_R$  considerados como representativos de zonas de cota baja están diluidos respecto al valor de  $Cl_R$  real de la recarga local de la Plana de La Galera (Figura 8.3.1.a).

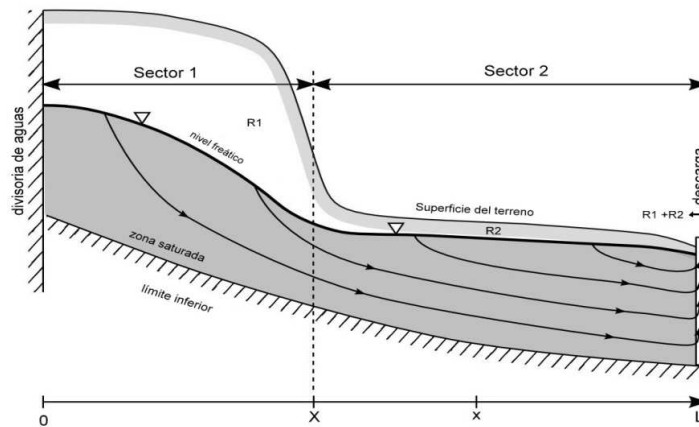


Figura 8.3.1.a. Esquema de una situación en la que se produce mezcla de agua de recarga de distinto origen (Custodio, 2009 y Custodio 2013).

No obstante, se ha realizado un estudio detallado para poder identificar aquellos puntos que podrían conservar la marca de la recarga local en la Plana de La Galera. Para ello se ha partido de las sub-zonas SZ1, SZ2, SZ3, SZ4 Y SZ5 consideradas en el Capítulo 8.2.2.

Primeramente se ha considerado la posibilidad de que los cloruros pertenecientes a las zonas de la Plana de La Galera donde existen cultivos puedan estar influenciados por retorno de las aguas de riego, para lo cual se ha estudiado la concentración en nitratos de las aguas subterráneas en función de la concentración de cloruro de las mismas. Existe una tendencia al aumento del ión cloruro con el aumento de la concentración de nitratos (Anexo 3.3.1). Por esta razón se han desechado los análisis con una concentración de  $NO_3$  superior a  $30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ .

Una vez localizados los análisis químicos elementales de los puntos de control asignados a cada sub-zona (Figura 8.3.1.b) se ha realizado un estudio de la distribución de frecuencia de la concentración de ión cloruro para identificar los rangos de concentración que representan a cada recarga: R1 producida en los Ports, R2 producida en la Plana y R3 mezcla de R1 y R2.

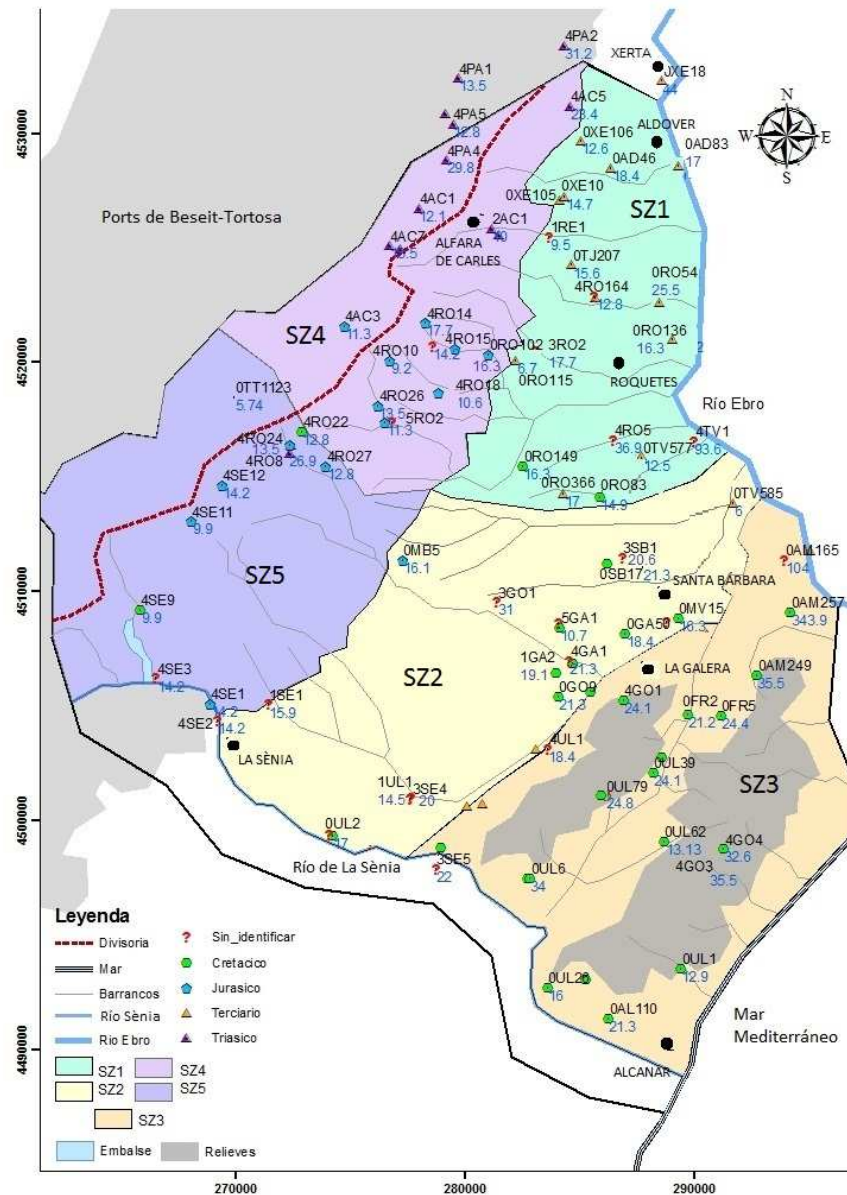


Figura 8.3.1.b. Puntos de control en las diferentes sub-zonas con la concentración de cloruro ( $\text{mg L}^{-1}$ ) del agua de recarga muestreada y material del cual extraen agua los pozos o surgen los manantiales.

En general cabe esperar concentraciones menores de cloruro en las sub-zonas SZ4 y SZ5 (Ports de Beseit-Tortosa, Figura 8.3.1.d) que en las SZ1, SZ 2 y SZ3 (Figuras 8.3.1.c-f) ya que pertenecen a zonas de recarga de cota elevada y más alejadas de la línea de costa.

A continuación se presentan las gráficas de distribución de frecuencia de concentración de cloruro para cada sub-zona (desarrollo del análisis en Anexo 3.3.2) así como los valores medios de la concentración de cloruro representativos de cada zona de recarga. La selección de puntos con concentración de Cl representativo de la recarga propia de cada sub-zona se recoge en el Anexo 3.3.2.

SZ1: Plana de La Galera N

Esta sub-zona se ha dividido en dos ya que se observa una diferenciación de valores entre la franja más cercana a los Ports (SZ1a) y la franja más cercana al Río Ebro (SZ1b) (Figura 8.3.1.c).

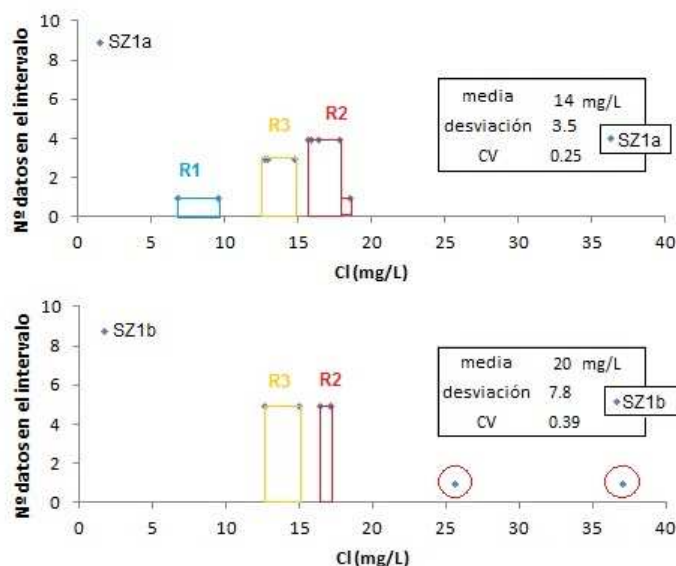


Figura 8.3.1.c. Distribución de frecuencias de concentración de cloruro de las aguas subterráneas en la SZ1a y b.

Los valores menores (tono azul) corresponden al agua de recarga R1 típica de los Ports, los valores medios (amarillo) a las aguas mezcla de la recarga R1 + R2 =R3 y los más altos puede suponerse que corresponden a aguas que han tenido menor efecto de mezcla con las aguas transferidas lateralmente desde los Ports y representan la recarga R2.

El valor medio de cloruro de la franja SZ1a es menor que la de la SZ1b indicando una mayor proporción de mezcla en el área más cercana a los Ports. Por tanto, el valor medio de la concentración de cloruros que representa la recarga R2 en la zona es  $20 \text{ mg L}^{-1}$ .

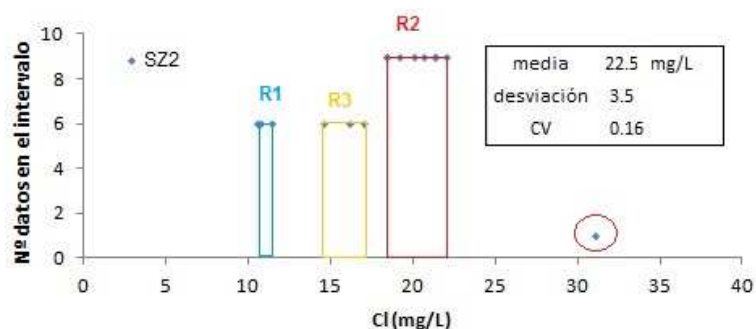
SZ2: Plana de La Galera S

Figura 8.3.1.d. Distribución de frecuencias de concentración de cloruro de las aguas subterráneas en la SZ2.

Para la media de cloruro representativo de la recarga en la SZ2 no se han contabilizado los valores que representan la R1, resultando un valor de concentración medio de cloruro en el agua de recarga R2 de  $22,5 \text{ mg L}^{-1}$  (Figura 8.3.1.d). Este valor es ligeramente mayor que en la zona N de la Plana debido a que la transferencia de recarga de los Ports a la Plana de La Galera es más significativa en la zona N, como



confirma la evolución espacial de la química elemental a partir de los diagramas modificados de Stiff (estudio desarrollado en el Capítulo 7.1.2).

### SZ3: Macizos Godall y Montsià

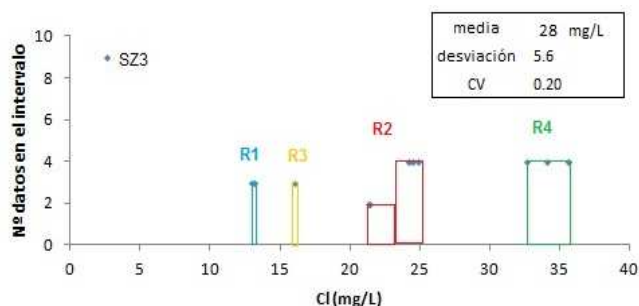


Figura 8.3.1.e. Distribución de frecuencias de concentración de cloruro de las aguas subterráneas en la SZ3.

En este análisis se refleja tanto el agua recargada en los Ports (R1), como el agua de mezcla (R3), como valores de la Plana de la Galera menos influenciados por la transferencia lateral desde los Ports. Además puede distinguirse un grupo de aguas con mayor concentración de cloruros que representarían la zona de recarga local del macizo de Godall y Montsià donde por su proximidad a la línea de costa cabe esperar que se incremente el valor.

La concentración media de cloruro del agua de recarga R2 representativa de la SZ3 es de  $28 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  (Figura 8.3.1.e).

### SZ4: Ports de Beseit-Tortosa NE

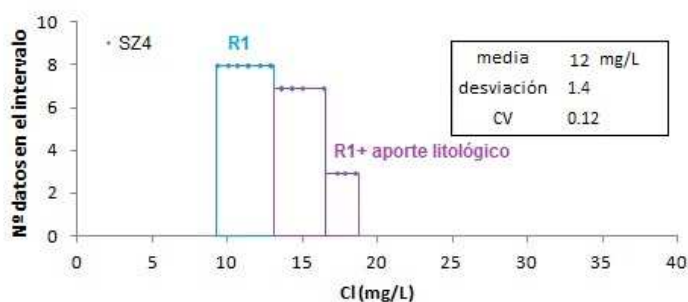


Figura 8.3.1.f. Distribución de frecuencias de concentración de cloruro de las aguas subterráneas en la SZ4.

En esta sub-zona el agua analizada representa la recarga R1, donde los valores mayores de cloruro indican una aportación litológica de sales típica de la circulación del agua de recarga por materiales de edad Triásica (los análisis de química elemental de dichos puntos contienen concentraciones elevadas de  $\text{SO}_4$  que lo apoyan). Los valores entorno a  $15 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  tampoco pueden considerarse estrictamente del agua de recarga R1 puesto que pertenecen a puntos que pueden estar muestreando una mezcla del agua de recarga R1 con agua de recarga con aportación litológica de sales.

Por tanto la concentración media de cloruro del agua de recarga R1 en el NE de los Ports de Beseit-Tortosa es de  $12 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  (Figura 8.3.1.f).

## SZ5: Ports de Beseit-Tortosa SW

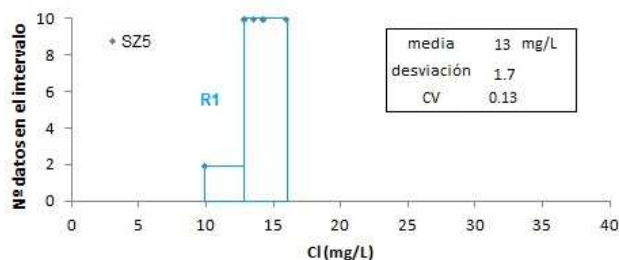


Figura 8.3.1.g Distribución de frecuencias de concentración de cloruro de las aguas subterráneas en la SZ5.

La distribución de frecuencias muestra la predominancia de agua de recarga R1 siendo la concentración media de cloruro de  $13 \text{ mg L}^{-1}$  (Figura 8.3.1.g).

La concentración de cloruro del agua de recarga R1 en la SZ5 es ligeramente más concentrada que en la SZ4. Dicha variación puede explicarse porque la densidad de vegetación en la SZ5 es mayor que en la SZ4 y por tanto la evapotranspiración, pudiendo darse mayor concentración de sales en el agua de recarga en la sub-zona SZ4.

De todas las sub-zonas, son las pertenecientes a la Plana las que entrañan una mayor incertidumbre en la certeza de la procedencia de los cloruros del agua de recarga. Dicha incertidumbre está justificada dado que se trata de una zona de mezcla de agua subterránea que recibe agua transferida lateralmente de los Ports y directamente de la zona de la Plana. Para verificar que los valores de cloruro interpretados como pertenecientes al agua de recarga en la Plana (SZ1 y SZ2) son representativos de la concentración típica del agua recargada en la zona, se ha recurrido al contraste con los resultados de los análisis de isótopos ambientales.

La marca isotópica del agua de lluvia muestreada en los Ports está entorno al  $\delta^{18}\text{O} = -8 \text{ ‰}$  y al  $-6,5 \text{ ‰}$  en la zona de la Plana de La Galera (ver Capítulo 6.3.3), por lo que los puntos con cloruro representativo de la recarga producida en el llano deberían de tener  $\delta^{18}\text{O}$  similares a los del agua de lluvia muestreada en la Plana. Además algunos de los puntos tienen análisis de tritio, con lo que para concentraciones de tritio similares a las atmosféricas (3,5-4,1 UT según REVIP, ver Capítulo 7.3.2.2) también podría verificarse una entrada de agua de lluvia rápida a la zona no saturada que significaría que ese agua muestreada representa la recarga producida en la Plana (Tabla 8.3.1).

Tabla 8.3.1. Concentración química e isotópica del agua de recarga en la Plana de La Galera. ( $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$  en SMOW (‰); d: exceso de deuterio; error del tritio expresado como  $2\sigma$ ), (X, Y (m snm); TAC, Dureza, concentraciones ( $\text{mg L}^{-1}$ ); CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) a  $20^\circ\text{C}$ ).

Pozo	x	y	z	Tipo	Toponimo	Grupo	Edad	Profundidad	NO3	CE	pH	TAC	DUR	HCO3	SO4	Cl	O18	H2	d	3H(UT)
0AD46	286380	4528460	112.8	P	Plana d'Alfara	1	NMcgl	130	B	446.00	8.08	158.00	234	192.8	65.3	18.4	-7.4	-41.6	17.6	1.17±0.49
0XE105	284365	4527210	150	P	Tereoles	1	NPcgg		B	497.00	8.27	192.00	270	234.2	61.5	14.7	-7.5	-42.3	17.7	0.94±0.49
0TJ207	284666	4524238	129	P	Pou Camp de Futbol	3	NPcgg+Capcm	155	B	389	7.75	196	214	239.1	11.5	15.6	-6.7	-39	14.6	0.97±0.49
4RON164	285667	4522865	97	P	Pou Pilans nuevo	3		150	B	391	7.75	198	216	241.6	9.6	12.8	-6.51	-36.46	15.62	
OR054	288042	4522665	57.6	P	Bc. de Vallcervera	7	Qa3	86	B	518	7.71	228	284	278.2	44.20	25.5	-7	-40.3	15.7	1.65±0.43
OR0366	284318	4514261	136	P	Pou Finca La Pastora	3	NPcgg+Capcm	260	M	408	7.75	200	222	244	3.8	17	-6.8	-39.1	15.3	3.33±0.56
0MB5	277290	4511365	363	P	Pou granja Camí de la Vall	1	JCc	250	M	576			371.6	339.9	58	16.1	-7.1	-39	17.8	6.19±0.67
4GA1	284531	4506965	134.2	P	Pou abast La Galera NOU	3		130	M	439	7.68	190	216	231.8	1.9	21.3	-6.8	-38.6	15.8	
1GA2	284719	4506844	135	P	Pou abto La Galera antiguo	3	KCTc	130	B	452	7.7	192	236	234.2	9.6	19.1	-6.05	-33.16	15.24	
0G09	284065	4505425	135.5	P	ARCIS	5		166	B	384.00	7.92	140.00	194.00	170.80	23.1	21.3	-6.7	-39	14.6	3.01±0.49
4UL1	283606	4503145	135	P	La Miliana	3			M	514.00	7.48	252.00	280	307.4	7.7	18.4	-7.3	-41.5	16.9	2.42±0.53

\*En la tabla se recogen únicamente aquellos puntos con análisis isotópico ambiental.

De la Tabla 8.3.1 se deduce que la mayoría de los puntos de muestreo contienen marca isotópica pesada (típica de la Plana). En cuanto a la concentración en tritio tampoco es determinante, puesto que sólo dos valores están en el entorno de la concentración atmosférica (sombreado gris en la Tabla 8.3.1). El resto de puntos tienen concentraciones que indican un mayor periodo de renovación del agua recargada, lo cual no indica que sea agua transferida desde los Ports estrictamente, ya que puede ser agua recargada en la Plana pero con mayor periodo de tiempo de percolación.

La columna Grupo de la Tabla 8.3.1. hace referencia a la clasificación de las aguas subterráneas desarrollada en el Capítulo 7.1.2. Dicha clasificación tampoco aporta nada a la verificación de la representatividad de los puntos del agua recargada en la Plana, ya que los puntos muestreados pertenecen a varios de los grupos.

El rasgo químico más fiable por tanto es la marca isotópica ambiental, no obstante no puede verificarse con total seguridad que los puntos seleccionados representen el agua de recarga en la Plana, puesto que no todos los puntos seleccionados para la determinación del cloruro en la recarga contienen análisis isotópico ambiental, por tanto hay que suponer que están representando dicha recarga.

Para avalar esta suposición pueden observarse las características del punto OGO9 (pozo con nivel piezométrico base de 70 m snm (muy por encima de los niveles de su entorno, Anexo 5.2). Dicho nivel representa el acuífero libre de los materiales cenomanienses dispuestos en contacto directo a muro de los materiales detríticos del Terciario. El  $\delta^{18}\text{O}$  del muestreo del agua que extrae este pozo es pesado y el tritio similar al atmosférico (Tabla 8.3.1), por lo cual cabe suponer que su concentración en cloruro ( $21,3 \text{ mg L}^{-1}$ ) es representativa del agua de recarga de la Plana de La Galera.

### **8.3.2. Valores de deposición atmosférica de ión Cl en el agua de lluvia**

Siguiendo las condiciones de zonación en el área de estudio (ve Figura 8.3.1.b), pueden promediarse los valores de deposición total atmosférica de ión cloruro obtenidos para cada colector de agua de lluvia. El cálculo que se desarrolla en el Capítulo 6.3.1.

El criterio de selección de los colectores representativos del agua de lluvia para cada sub-zona se ha basado en la localización y en los resultados obtenidos en cada uno de ellos (resultados en la Figura 8.3.2):

- Plana de La Galera: SZ1: TMM P1-C y 1-D; SZ2: TMM P2-B, 3-B Y 3-C; SZ3: En esta sub-zona no se instalaron colectores de agua de lluvia por lo que han de utilizarse los más próximos, TMM P2-B y 3-C. El valor de la deposición atmosférica de ión cloruro en la SZ3 puede calcularse de esta manera dado que cabe esperar que se compense la mayor pluviometría existente en el área por

la presencia de los dos macizos Godall y Montsià con la mayor concentración de cloruros en la precipitación dada su mayor proximidad a la costa.

- Ports de Beselit-Tortosa: SZ4: TMM P1-A, 1-B y 2-A; SZ5: TMM P2-A y 3-A.

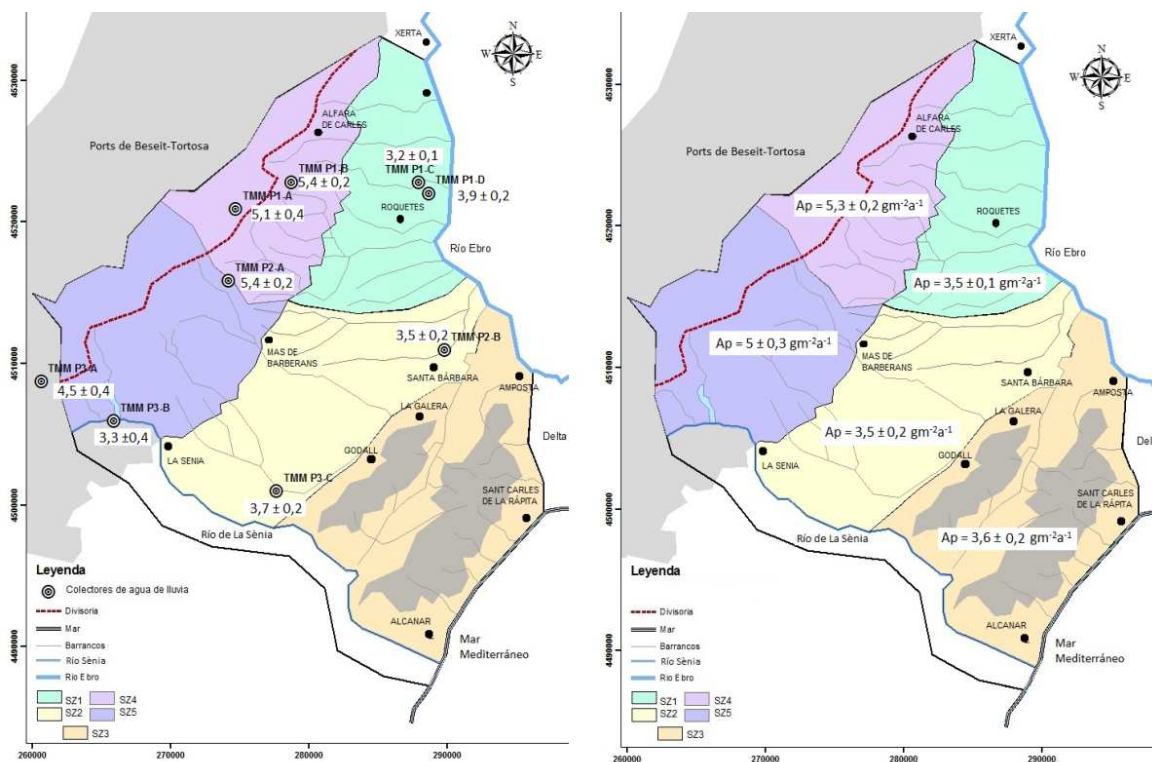


Figura 8.3.2 Localización de los colectores de agua de lluvia y valor promedio de deposición de cloruro atmosférico en el agua de lluvia para cada sub-zona.

### 8.3.3. Valores de deposición de ión Cl en el agua de escorrentía

El valor de la  $A_E$  estimado a partir de la expresión  $E_{S^*} Cl_{ES}$ , resulta difícil de evaluar. A partir de los resultados del balance de agua en el suelo con el código Visual Balan y del estudio de los hidrogramas de caudales desarrollados en los capítulos 8.2 y 8.3 se han obtenido valores de escorrentía para la zona de los Ports de Beselit-Tortosa, siendo despreciable para la Plana de La Galera.

Se tiene conocimiento de que una vez al año, y no todos los años, se produce un evento de escorrentía para el cual sería posible realizar un muestreo para el análisis de los  $Cl_E$ , pero estos datos no existen para el periodo considerado (1994-2011) y durante el desarrollo de esta investigación no se han dado las condiciones para poder llevar a cabo un muestreo de dichos eventos. No obstante, tras la realización del balance de agua en el suelo y el análisis de hidrogramas de caudal, se ha podido obtener el rango de escorrentía media anual para la superficie de los Ports de Beselit-Tortosa, de  $95 - 115 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ , lo que en promedio significa unos  $105 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ . Suponiendo que la concentración de cloruros en el agua de escorrentía tendrá valores ligeramente mayores que los de la lluvia e inferiores a los de recarga en la zona, su valor estará en el rango de  $6 - 12 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  siendo el promedio de  $9 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . Se ha hecho una

aproximación del valor medio de la deposición de cloruro en el agua de escorrentía  $A_E = E_S \cdot Cl_{ES}$ , considerando los valores  $E_S = 105 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$  y  $Cl_{ES} = 9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ .

El resultado es de  $A_E = 0,95 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ . No se dispone de datos para hallar la incertidumbre de la aportación de cloruro en el agua de escorrentía, por lo que de forma simplificada se ha considerado que la variación del valor medio de  $Cl_{ES}$  ( $3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) respecto a los valores extremos ( $6$  y  $12 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) representa  $2\sigma$ , de modo que  $\sigma_{Cl_{ES}} = 1,5$ . Para la escorrentía media multianual se ha tomado un 20% de incertidumbre; con similar criterio resulta  $\sigma_{E_S} = 20 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ .

Así resulta un valor de deposición de ión cloruro en el agua de escorrentía en la zona de los Ports (SZ4 y SZ5) es  $A_E = 0,95 \pm 1,5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ . El valor de la incertidumbre es significativamente elevado, pero con la información disponible no puede acotarse.

#### 8.3.4. Estimación de la recarga media multianual

Los resultados de la recarga media anual suponiendo que las concentraciones de ión cloruro en el agua de recarga son representativas de la recarga local en la Plana de La Galera se presentan en las Tablas 8.3.4.a y b.

Tabla 8.3.4.a. Resultados de la estimación de la recarga media para los periodos 2011-2012, 2012-2013 y 2013-2014 ( $A_p$  y  $A_E$  en  $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,  $Cl_R$  en  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  y  $R$  en  $\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$ ).

	$A_p$	$A_E$	$Cl_R$	$R$	
	SZ1	3.06	0	20	153
	SZ2	4.22	0	22.5	188
2011-2012	SZ3	3.36	0	28	120
	SZ4	6.56	0.95	12	468
	SZ5	6.32	0.95	13	413
	SZ1	3.28	0	20	164
	SZ2	4.57	0	22.5	203
2012-2013	SZ3	4.41	0	28	158
	SZ4	5.14	0.95	12	349
	SZ5	5.30	0.95	13	334
	SZ1	3.96	0	20	198
	SZ2	2.59	0	22.5	115
2013-2014	SZ3	2.87	0	28	102
	SZ4	3.83	0.95	12	240
	SZ5	3.23	0.95	13	175

Tabla 8.3.4.b. Resultados de la estimación de la recarga para el periodo 2011-2014 (P en mm a<sup>-1</sup>, Ap y A<sub>E</sub> en g m<sup>-2</sup>a<sup>-1</sup>, Cl<sub>R</sub> en mgL<sup>-1</sup> y R en mm a<sup>-1</sup>, superficie en km<sup>2</sup>; el coeficiente de variación CV = σ·m<sup>-1</sup>; m = media y σ = desviación estándar; σ<sub>R</sub> en mm a<sup>-1</sup>).

	Sub-zona	Superficie	P	A <sub>P</sub>	CV A <sub>P</sub>	σ A <sub>P</sub>	A <sub>E</sub>	CV A <sub>E</sub>	σ A <sub>E</sub>	Cl <sub>R</sub>	CV Cl <sub>R</sub>	σ Cl <sub>R</sub>	R	CV <sub>R</sub>	σ <sub>R</sub>
2011-2014	SZ1	140	535	3.5	0.1	0.4	0.0	0.0	0.0	20	0.4	7.8	175	0.4	70
	SZ2	205	540	3.5	0.2	0.9	0.0	0.0	0.0	22.5	0.2	3.5	160	0.3	45
	SZ3	215	560	3.6	0.2	0.6	0.0	0.0	0.0	28	0.2	5.6	130	0.3	35
	SZ4	175	1090	5.3	0.2	1.1	0.95	1.5	1.4	12	0.1	1.4	365	0.4	160
	SZ5	180	1080	5	0.3	1.3	0.95	1.5	1.4	13	0.1	1.7	315	0.5	150

**8.3.5. Estimación de la recarga media multianual suponiendo el sistema de mezcla**

Los resultados anteriores de recarga media anual se han calculado suponiendo las concentraciones de ión cloruro en el agua de recarga son representativas de la recarga local, pero para asegurar que esta hipótesis es cierta se han calculado los valores de recarga media anual suponiendo sistema de mezcla con el modelo de recarga en ladera con flujo paralelo (Figura 8.3.5.a).

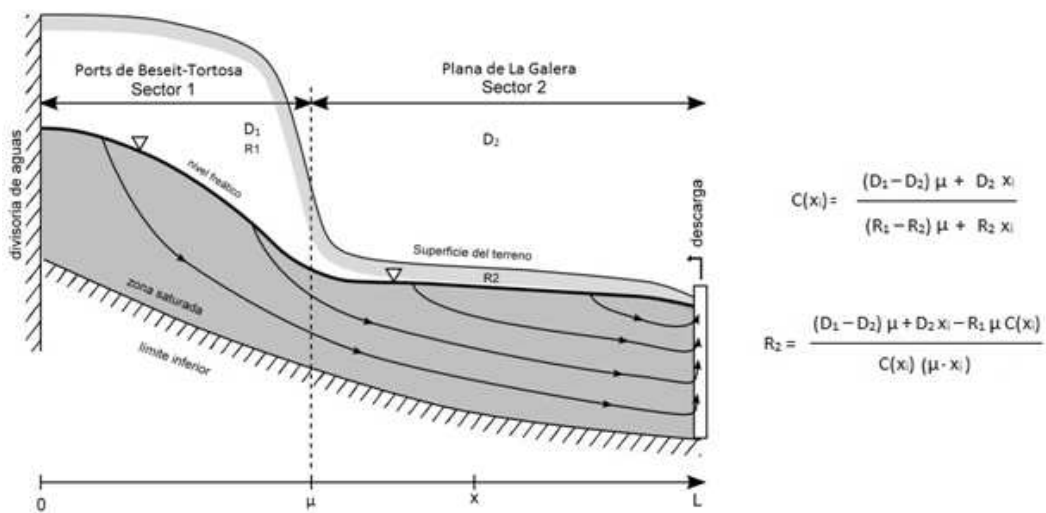


Figura 8.3.5.a. Esquema del modelo de mezcla de distinto origen (Custodio, 2009 y Custodio 2013) y formulación para la obtención de la recarga media anual suponiendo un flujo paralelo.

\*Siendo, C(x<sub>i</sub>): la concentración de ión cloruro en función de la distancia a la divisoria de aguas superficiales, x<sub>i</sub>: distancia desde la divisoria de aguas superficiales al punto de medición del cloruro de agua subterránea, D<sub>1</sub> y D<sub>2</sub>: deposición atmosférica de ión cloruro media para la zona de los Ports y para la Plana respectivamente, μ: distancia a la cual se encuentra el límite del sistema montañoso con el llano, R<sub>1</sub>: recarga media anual calculada con el balance de la deposición atmosférica de ión cloruro para los Ports y R<sub>2</sub>: recarga media anual para la zona de la Plana).

Dado que el modelo de flujo no es estrictamente el de flujo paralelo, se ha realizado el cálculo de la recarga tanto considerando el flujo paralelo como considerando líneas discretas de flujo (Figura 8.3.5.b y resultados en Tablas 8.3.5.a y b).



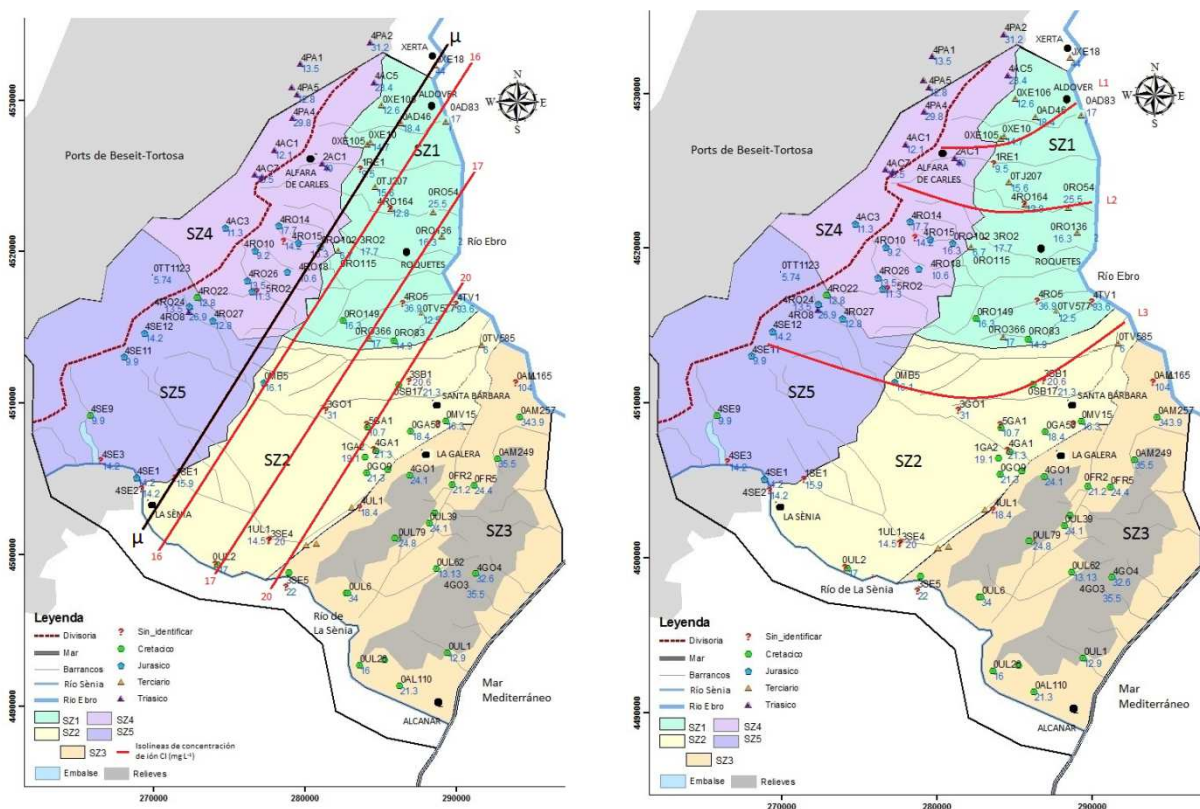


Figura 8.3.5.b. Modelo de flujo paralelo (izquierda) y modelo de flujo en el que la concentración de cloruro del agua subterránea varía siguiendo líneas discretas de flujo (derecha).

Tabla 8.3.5.a. Resultados de la recarga media anual en la Plana de La Galera con un modelo de flujo paralelo.

	$C(x_i)$ ( $\text{mg L}^{-1}$ )	$x_i$ (m)
$i=1$	16	7810
$i=2$	17	12090
$i=3$	20	15140
$D_1$	$(\text{g m}^{-2} \text{a}^{-1})$	5
$D_2$		3.5
$\mu$	(m)	5580
$R_1$	$(\text{m a}^{-1})$	0.35
$R_2(C(x_1))$		125
$R_2(C(x_2))$	$\text{mm a}^{-1}$	160
$R_2(C(x_3))$		120

Tabla 8.3.5.b. Resultados de la recarga media anual en la Plana de La Galera para líneas discretas de flujo.

L1	$C(x_i)$ ( $\text{mg L}^{-1}$ )	$x_i$ (m)	L2	$C(x_i)$ ( $\text{mg L}^{-1}$ )	$x_i$ (m)	L3	$C(x_i)$ ( $\text{mg L}^{-1}$ )	$x_i$ (m)
$i=1$	15	7350	$i=1$	15	5214	$i=1$	16	2841
$i=2$	18	11910	$i=2$	25	7714	$i=2$	18	12141
$D_1$	$(\text{g m}^{-2} \text{a}^{-1})$	5	$D_1$	$(\text{g m}^{-2} \text{a}^{-1})$	5	$D_1$	$(\text{g m}^{-2} \text{a}^{-1})$	5
$D_2$		3.5	$D_2$		3.5	$D_2$		3.5
$\mu$	(m)	5580	$\mu$	(m)	5580	$\mu$	(m)	5580
$R_1$	$(\text{m a}^{-1})$	0.35	$R_1$	$(\text{m a}^{-1})$	0.35	$R_1$	$(\text{m a}^{-1})$	0.35
$R_2(C(x_1))$		180	$R_2(C(x_1))$		214	$R_2(C(x_1))$		141
$R_2(C(x_2))$	$\text{mm a}^{-1}$	130	$R_2(C(x_2))$	$\text{mm a}^{-1}$	28	$R_2(C(x_2))$	$\text{mm a}^{-1}$	160

Los resultados, presentados en las Tablas 8.3.5.a y b, son coherentes entre sí salvo para la línea discreta de flujo L2 en la que la recarga de la zona más distal de la línea de flujo es notablemente pequeña, lo cual puede ser producido por la baja representatividad de la concentración de ión cloruro del agua de recarga en la zona.

### 8.3.6. Discusión de los resultados

Se observan dos áreas de recarga diferenciadas, una a mayor cota topográfica, zonas altas de Ports de Tortosa-Beseit (SZ4 y 5), con mayor pluviometría media anual y con valores de  $A_p$  entre 4 y 5  $\text{gm}^{-2}\text{a}^{-1}$ , y otra, de cotas bajas, zona de la Plana de La Galera (SZ1, 2 y 3), con menor precipitación media en el periodo y con valores de  $A_p \approx 3 \text{ gm}^{-2}\text{a}^{-1}$  dando como resultado valores de recarga media multianual en torno a un 40% superiores para la zona de los Ports de Beseit-Tortosa que para la Plana, como es de esperar.

Esta diferencia en la recarga entre el llano y el gran relieve cabría esperar que fuese aún superior, resultando recargas inferiores en la Plana dada la disposición de materiales sobre el acuífero carbonático. Además, debido a la existencia de transferencia de los recursos hídricos desde los Ports de Beseit-Tortosa hacia la Plana de La Galera, los valores de cloruro considerados para el agua de recarga estarían diluidos respecto a los cloruros pertenecientes a la recarga exclusiva de La Plana, por lo que se estaría sobreestimando la recarga en la Plana de La Galera y esta diferenciación con Ports de Beseit-Tortosa aún sería mayor.

Comparando la recarga respecto a la precipitación en la zona de la Plana de La Galera, se observa que la precipitación media del periodo 2011-2014 es ligeramente inferior en la zona N de la Plana (SZ1) que en la zona S-SE (SZ2 y SZ3), resultando por otro lado ligeramente mayor la recarga en la SZ1 que para la zona S de la Plana (SZ2 y SZ3), lo que conduce a pensar en:

- Otra fuente de recarga en la zona (retorno de riego) en la zona N (SZ1).
- A partir de cierto umbral de precipitación se produce escorrentía superficial en la SZ3, y este exceso de lluvia no es recargado.

En cuanto a la incertidumbre se obtienen coeficientes de variación de 0,3 para la Plana de La Galera y de 0,4 para los Ports de Beseit-Tortosa. Este resultado es coherente con el obtenido a partir de la cartografía de la recarga media de todo el territorio peninsular determinado en 0,3 (Alcalá, 2005).

Los valores de la recarga media anual obtenidos suponiendo un sistema de mezcla con un modelo de flujo paralelo son coherentes con los calculados por el balance de la deposición atmosférica de ión cloruro suponiendo los valores de concentración de ión cloruro representativos de la recarga local en la Plana de La Galera (Tablas 8.3.4.b. y 8.3.5.a y b). Lo cual confirma que los puntos de control seleccionados muestrean agua representativa de la recarga producida localmente en la Plana, lo que indica que los valores de recarga media anual son representativos de las respectivas sub-zonas.



## CAPÍTULO 9. DISCUSIÓN GENERAL

### 9.1. MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

Los trabajos previos sobre el Baix Ebre (Tourís, 1986 y Badiella, 2009) han aportado la base para entender el posible funcionamiento hidrogeológico del sistema, al proporcionar una hipótesis general del flujo del agua subterránea en los acuíferos existentes que ha permitido programar los diferentes contenidos de esta investigación de tesis.

En dichos trabajos se define un modelo hidrogeológico conceptual que consiste en un sistema acuífero en el cual los materiales carbonáticos mesozoicos conforman la unidad acuífera regional, con comportamiento libre en sus áreas aflorantes (Ports de Beseit-Tortosa y macizos de Godall-Montsià) y confinado o semiconfinado bajo los materiales detríticos de edad plio-cuaternaria de la Plana de La Galera, los cuales forman la unidad acuífera superior. Pero no se verificó ni descartó la conectividad hidráulica entre las dos unidades acuíferas. Así mismo, valorando la importancia que podría tener la conectividad de dichas unidades a efectos de gestión y planificación hídrica futuras y de las consecuencias que ello podría tener en la aplicación de métodos de cálculo de recarga, se ha considerado necesaria una definición más completa y detallada del modelo conceptual de flujo de la zona de estudio.

La definición del modelo hidrogeológico conceptual del Baix Ebre apoyado en la interpretación de los resultados de la aplicación de técnicas hidrométricas, hidrogeoquímicas e isotópicas ambientales ha sido una de las contribuciones de esta investigación al conocimiento hidrogeológico de la zona de aplicación. En lo que sigue se discute y valora tanto la robustez como la incertidumbre de los resultados.

#### 9.1.1. Hidrometría

Comparando los hidrogramas de nivel piezométrico con los hidrogramas de precipitación para el análisis de coincidencia de eventos (Capítulo 4.4.3) se han diferenciado distintos tipos de comportamiento acuífero como respuesta a los eventos de precipitación.

En la Figura 9.1.1 se han representado dos de los hidrogramas de nivel piezométrico de las dos unidades acuíferas que son característicos de cada una de ellas. La captación de agua subterránea OGO10 permite medir los niveles del acuífero regional (materiales carbonáticos de edad mesozoica) y la captación de agua subterránea OSB28 mide los niveles de la unidad acuífera superior (materiales detríticos de edad plio-cuaternaria). La estación meteorológica seleccionada para la comparación ha sido la de Mas de

Barberans ya que como se describe en el Anexo 4.2.3 es la más representativa de los eventos producidos en la Plana de La Galera. Si estos hidrogramas de nivel se hubiesen comparado con el hidrograma de precipitación de cualquier otra estación de las contempladas para la zona de estudio las respuestas en las oscilaciones de nivel a los eventos pluviométricos hubiese sido similar, ya que en el análisis de coincidencia de eventos de lluvia de las diferentes estaciones desarrollado en el Anexo 4.2.2 se comprueba que todas las estaciones responden a los mismos eventos de lluvia, en mayor o menor medida, pero coincidiendo en el tiempo (Anexo 4.2.2, Figura A.4.2.2).

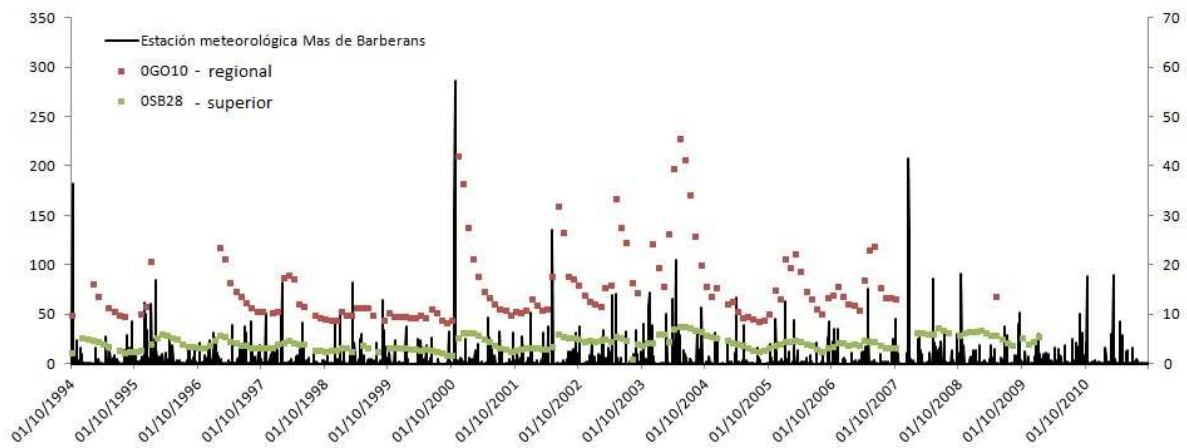


Figura 9.1.1. Hidrograma tipo de niveles piezométricos de captaciones en materiales detríticos (0SB28) y carbonáticos (0GO10) comparados con el hidrograma de precipitación de la estación de Mas de Barberans.

Los comportamientos que pueden diferenciarse en los hidrogramas de nivel piezométrico son (1) respuestas inmediatas a los eventos de lluvia, en ocasiones con cierto retardo respecto al momento en el que se producen los eventos de precipitación, con ascensos de nivel piezométrico en los puntos de control de varios m snm, (2) respuestas rápidas a los eventos de lluvia pero con fluctuación de pocos m snm y (3) pequeñas oscilaciones con retardo en la respuesta de la subida de niveles.

El comportamiento (1) correspondiente al hidrograma del punto de control 0GO10 podría interpretarse como entradas súbitas de agua por recarga local en el entorno de la captación a través del acuífero superior hasta el acuífero regional, pero se descarta dicha hipótesis ya que en el entorno de la captación la zona no saturada puede alcanzar los 100 m de potencia y existen paquetes de relleno Neógeno que hacen que el flujo a través de la misma sea lento, o más probable aún, inexistente. Estas grandes oscilaciones del nivel piezométrico también podrían deberse a un mal sellado de la captación, provocando que la supuesta recarga local del acuífero superior inundase el pozo y que el nivel medido fuese temporalmente el perteneciente al acuífero superior y no al regional, pero todos los pozos que extraen del acuífero regional presentan dicho comportamiento en sus hidrogramas y aunque no exista información constructiva de todos ellos resulta improbable que todos presenten defectos importantes constructivos en el sellado, por lo que también se descarta esta hipótesis. Otra posibilidad es la existencia de un acuífero colgado somero temporal, el cual al recibir la recarga local aumentaría de

forma súbita los niveles, descargando rápidamente a niveles inferiores, lo cual se vería reflejado en el hidrograma con un primer agotamiento brusco seguido de un segundo agotamiento algo más amortiguado. Pero esta hipótesis también queda descartada puesto que los pozos que reflejan este comportamiento extraen con alto rendimiento tanto para abastecimiento como para cubrir las necesidades de regadío en la zona y todos ellos lo hacen con normalidad y sin acusar agotamiento de sus niveles.

La justificación con más sentido hidrogeológico es que el comportamiento (1) se produzca debido a la existencia de conexión hidráulica entre los materiales carbonáticos mesozoicos aflorantes en los Ports de Beseit-Tortosa y su extensión bajo la Plana de La Galera. Dicha conectividad hidráulica hace posible que la recarga producida en el macizo por las lluvias genere un aumento de nivel piezométrico, cuya propagación a la zona confinada bajo la Plana de La Galera del acuífero regional se traduce en el registro puntual de subidas súbitas del nivel piezométrico allí. Las caídas bruscas de nivel corresponden al agotamiento del sistema kárstico del macizo, las cuales vienen seguidas de descensos de nivel con menor pendiente que representan el agotamiento en el acuífero regional.

Los comportamientos (2) y (3) son difíciles de diferenciar entre sí en el hidrograma, pero pueden diferenciarse con un análisis en detalle a escala diaria, o incluso horaria, de cada pico de nivel comparado con el pico de precipitación. Lo más coherente es que ambas representen la respuesta amortiguada por las propiedades hidráulicas de los materiales detríticos de la recarga perteneciente a los acuíferos libres de la zona producida por eventos de precipitación local, pero el cierto retardo observado en alguna de las oscilaciones no podría justificarse, por lo que es necesario pensar en que dicho retardo tiene otro origen. Se ha considerado como posible origen de dicho comportamiento la recarga de eventos de lluvia producida aguas arriba, en cotas más altas, cuando se haya producido precipitación en los Ports y se haya recargado y transferido lateralmente hacia la Plana, posiblemente a través de la unidad acuífera superior (materiales de piedemonte), ya que la karstificación superficial del macizo antes de ser cubierta por estos depósitos plio-cuaternarios puede dejar ventanas de conexión hidráulica entre ambos materiales.

Resulta difícil verificar la existencia de la conectividad hidráulica lateral entre la unidad superior y la regional en su contacto a pie de los Ports de Beseit-Tortosa debido a las numerosas causas posibles de dichos comportamientos. Además, el hidrograma de pluviometría utilizado para la comparación es el de la estación meteorológica de Mas de Barberans, la cual se sitúa en la zona alta de la Plana. Aunque se ha comprobado que la relación y coincidencia de eventos con la estación meteorológica PN Els Ports (situada en las zonas altas de los Ports y con una serie diaria de pluviometría con inicio en 2007) es muy buena (Anexo 4.2.2), hubiera sido más representativo poder hacer este planteamiento de hipótesis bajo el análisis de series diarias de precipitación que cubriesen el periodo completo de estudio (1994-2014) y



que fuesen representativas tanto de la zona alta de los Ports de Beseit-Tortosa como de la Plana de La Galera. Pero para las cotas altas no se dispone de series de esa duración.

Con el estudio de los hidrogramas de pluviometría versus piezometría se ha observado que la oscilación de nivel piezométrico más significativa no coincidente con algún evento de pluviometría tuvo lugar en octubre de 1996 (Figura 9.1.1) lo cual indica que puede introducirse un sesgo debido a las series incompletas de datos de lluvia. Es importante considerarlo ya que hay eventos de precipitación que tienen ocurrencia en los Ports y no en la Plana y que pueden producir recarga.

Con todas las incertidumbres que rodean a las hipótesis planteadas, la aplicación de técnicas hidroquímicas e isotópicas ambientales resulta una herramienta necesaria para la caracterización del agua de recarga y la localización de su origen.

### **9.1.2. Hidroquímica elemental e isotopía ambiental del agua subterránea**

Los esfuerzos dedicados a la aplicación de técnicas hidroquímicas e isotópicas ambientales han ido dirigidos en el sentido de determinar la existencia o no de dicha conectividad hidráulica entre la unidad superior y regional en el contacto del pie de los Ports y la Plana de La Galera.

En los Ports han sido muestreadas todas las surgencias activas conocidas en el periodo 2010-2014, de las que no se tenía información previa alguna. En la Plana de La Galera, las campañas de muestreo se han visto limitadas por dos factores principales, la accesibilidad a los propietarios de las captaciones de agua subterránea y la ausencia de esquemas constructivos de la mayoría de los pozos, con lo que no hay certeza de la profundidad a la cual está situada la rejilla ni se sabe si se están produciendo cortocircuitos entre los diferentes niveles permeables. Esto ha sido un condicionante para la interpretación de la química del agua subterránea debido a la incerteza de la representatividad del análisis de química elemental con respecto a una unidad acuífera u otra.

Con mayor insistencia y labor de campo, para lo que no había tiempo ni recursos, se podría haber recogido una información más completa de la distribución espacial de la química elemental de las aguas subterráneas en la Plana.

Con los análisis químicos elementales disponibles y su interpretación a partir de diagramas logarítmicos de columnas verticales ha sido posible distinguir 7 grupos de agua subterránea, con una marca común bicarbonatada cálcico-magnésica. Su distribución espacial no presenta agrupaciones zonales claras.

Como dentro de un mismo grupo existen muestreos de aguas subterráneas pertenecientes a captaciones de las cuales se supone que extraen exclusivamente del acuífero confinado y pertenecientes a captaciones que extraen del acuífero detrítico superior, y ambas reflejan la química de

las surgencias de los Ports, puede interpretarse que (1) la marca química de pertenencia al mismo grupo de las captaciones del acuífero superficial evidencia la mezcla de la recarga local con aguas procedentes de aguas arriba, es decir, de los Ports, o bien (2) la existencia de posibles flujos ascendentes del acuífero regional confinado que estuviesen recargando el acuífero superficial, o bien (3) que el mal sellado de los pozos esté conectando puntualmente los dos acuíferos y dicha conexión se vea reflejada en la química de pozos colindantes que extraen exclusivamente del acuífero superior.

Cualquiera de las tres hipótesis podría ser válida pero, aún teniendo en cuenta que la distribución espacial de los grupos de agua por sí sola no refleja ni la causa ni el fenómeno que da lugar a la supuesta conectividad y siguiendo la línea de investigación, parece más evidente que la mezcla de aguas subterráneas pueda tener origen en la transferencia lateral de los recursos de los Ports a la Plana a través de los materiales de piedemonte.

Esta hipótesis meramente interpretativa además se fundamenta en que la dirección de flujo que describe la distribución de diagramas modificados de Stiff de alguno de los grupos de agua (Capítulo 7.1.2.) va desde los Ports de Beseit-Tortosa, pasa por la zona central-superior de la Plana de La Galera y continúa hasta su descarga en el río Ebro. Observando el comportamiento general del macizo de los Ports, en su vertiente NW (cuena del río Matarraña), la descarga del macizo se produce mediante surgencias en cabecera de los afluentes de los ríos Matarraña y Algars debido a la barrera hidráulica que conforman los materiales de edad triásica; sin embargo, en la vertiente SE (Plana de La Galera), la distribución continua de materiales mesozoicos en profundidad hasta la plataforma oceánica, con menor grado de tectonización que en la vertiente NW, y la ausencia de agua superficial en la Plana de la Galera, favorece la interpretación de la existencia de un flujo supuesto continuo hasta su descarga principal al río Ebro, aunque puede ser heterogéneo.

La hipótesis de mezcla es respaldada además por los resultados de la comparación de los análisis de isótopos ambientales de la molécula de agua de las aguas subterráneas con los del agua de lluvia ( $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^2\text{H}$ , Capítulo 7.2.1). El agua de lluvia presenta dos extremos composicionales, uno más ligero y otro más pesado, pertenecientes respectivamente a las lluvias muestreadas en los Ports y en la Plana. Del agua subterránea muestreada se obtuvieron unos extremos muy ligeros (pertenecientes a manantiales de los Ports) y otros intermedios, correspondientes a muestras de captaciones que extraen del acuífero regional y de captaciones que extraen únicamente de la unidad superior, lo cual evidencia de nuevo la existencia de mezcla de aguas con distinto origen de recarga.

Se han planteado varias hipótesis de modelo hidrológico conceptual y han sido desarrolladas en el Capítulo 7.3, descartando la independencia total de los sistemas acuíferos dado que no existe, o no se ha podido evidenciar, una diferenciación clara composicional de aguas pertenecientes a los materiales

plio-cuaternarios y aguas pertenecientes al Mesozoico. Por tanto, siguiendo la línea de investigación, la hipótesis que parece más plausible es que existe (1) una recarga en los afloramientos de materiales mesozoicos en Ports de Beseit-Tortosa y en los macizos de Godall-Montsià y (2) una recarga local en toda la superficie de la Plana de la Galera sobre los materiales plio-cuaternarios, la cual debe tener una marca diferenciada, como lo dejan ver algunos datos, pero no aparece clara debido a la mezcla con el agua subterránea transferida desde los Ports de Beseit-Tortosa directamente o a través de los materiales de piedemonte (Figura 9.1.2).

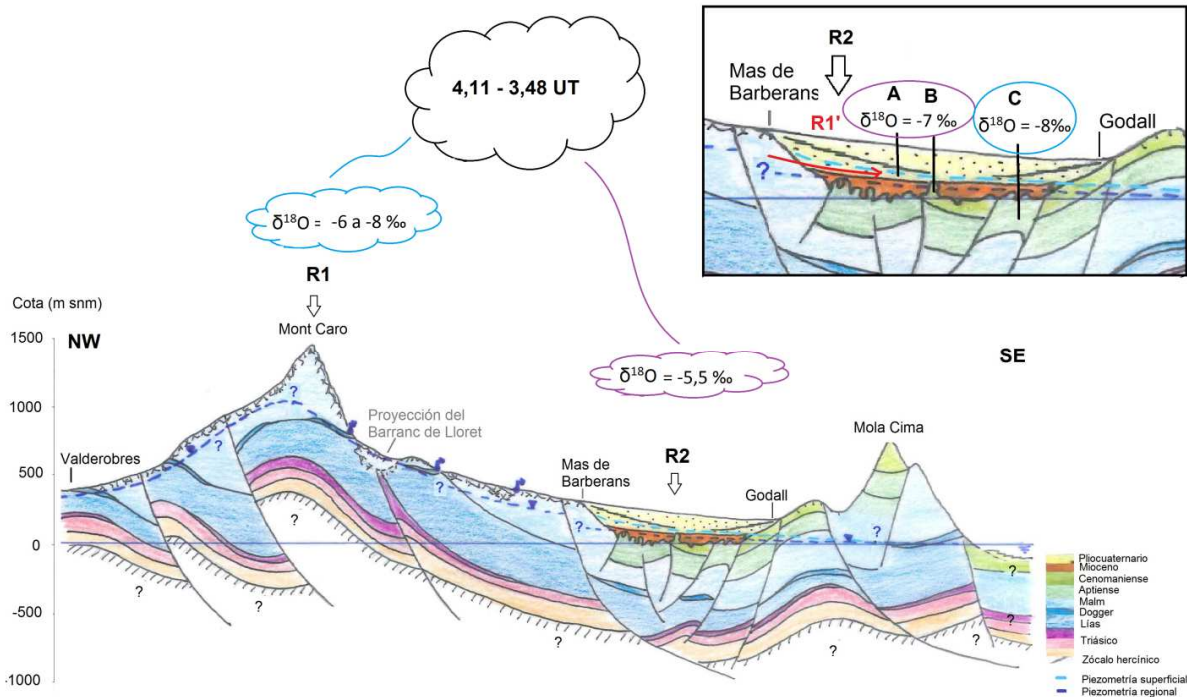


Figura 9.1.2. Esquema del modelo hidrogeológico conceptual con valores característicos de isotopos ambientales de la molécula de agua (R1: recarga producida en los Ports de Beseit-Tortosa (POZO C), R2: recarga producida en la Plana de La Galera (POZO B), R1' + R2: recarga transferida de los Ports de Beseit-Tortosa a la Plana de La Galera mezclada con la recarga producida en la Plana de La Galera (POZO A)).

No obstante, hay que considerar que, a parte de la hipótesis de mezcla, existen otras posibilidades como la mala construcción de los pozos debido a la falta de aislamiento entre unidades acuíferas, lo que produce una mezcla puntual de aguas subterráneas que afecta a la interpretación de los datos químicos del agua.

Además, no es posible demostrar cuál es el mecanismo de transferencia lateral desde los Ports a la Plana dada la inexistencia de sondeos en el pie del macizo de los Ports. La falta de información procedente de sondeos en esta franja es debido a las dificultades de perforación con las que se han encontrado diversos sondistas en la zona, que se han visto obligados al abandono de perforaciones por atasco de la maquinaria de perforación al cortar niveles muy potentes de arcillas de edad neógena.

Para calificar la importancia real de la influencia del macizo Godall-Montsià en la recarga al sistema y de su papel como posible barrera hidráulica ante la transferencia de flujo desde los Ports hasta su descarga al mar Mediterráneo, hubiese sido necesario disponer de más recursos económicos y de tiempo para su estudio. Pero aunque se hubiese dispuesto de ellos, la falta de sondeos en el macizo y la escasez de surgencias naturales no hubiesen facilitado su estudio. Por lo que se ha realizado una estimación aproximada de la contribución de agua recargada en el macizo Godall-Montsià al sistema para valorar la importancia de su influencia en el mismo.

Para ello, primeramente se ha calculado el porcentaje de lluvia que se transforma en recarga efectiva en la zona NE de los Ports (sub-zona SZ4) por su semejanza en las características geomorfológicas del macizo Godall-Montsià, a partir de los resultados de recarga media anual obtenidos con el balance de la deposición atmosférica de ión cloruro. Siendo la media de precipitación anual en los Ports de  $1100 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  y la recarga  $360 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ , el porcentaje de lluvia efectiva media anual recargada resulta como máximo el 35 % de la precipitación, con lo que se va a suponer que el máximo de recarga producida en la superficie aflorante del Godall-Montsià alcanzará como mucho esta fracción de la precipitación media que allí tiene lugar, aunque probablemente sea notablemente menor.

Aplicando este porcentaje se ha estimado que la recarga efectiva en el Godall-Montsià podría alcanzar un máximo de  $160 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  (la precipitación media anual en la zona medida en la estación meteorológica de Alcanar es de  $450 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ ). Para estimar el caudal de agua aportado al sistema por el macizo Godall-Montsià se ha considerado su superficie aflorante,  $75 \text{ km}^2$ , y el caudal de agua descargada en el litoral que propone el balance de Loaso (1985) de  $6,9 \text{ hm}^3\cdot\text{a}^{-1}$ , lo que implicaría un aporte aproximado al sistema de como mucho  $6 \text{ hm}^3\cdot\text{a}^{-1}$ . El volumen de agua calculado para la sub-zona SZ3 con el balance de la deposición atmosférica de ión cloruro es de  $28 \text{ hm}^3\cdot\text{a}^{-1}$  (Tabla 9.2). Por tanto el volumen aportado por la recarga producida en la superficie aflorante del macizo Godall-Montsià supondría un máximo del 20% de las entradas correspondientes en la sub-zona SZ3 y posiblemente sea bastante menor. Este resultado se valora en la discusión del balance general en el Capítulo 9.5.

### 9.1.3. Valores de escorrentía superficial en el sistema

La importancia de tener en cuenta o no la escorrentía superficial en la aplicación del balance de la deposición atmosférica de ión cloruro ha quedado patente, ya que afecta notablemente a los resultados de recarga por la precipitación obtenidos. De acuerdo con los resultados del balance general de agua en el suelo, la escorrentía superficial supone en torno a un 20% de la recarga en la zona montañosa de los Ports (Capítulo 8.1.3), por lo que su influencia debe considerarse en el balance de cloruros.

Los valores medios de la escorrentía superficial obtenidos para los Ports de Beseit-Tortosa a partir del balance general de agua en el suelo se sitúan entre  $95$  y  $115 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ . Estos resultados proporcionan una

idea de la magnitud de la escorrentía superficial, pero carecen de la robustez necesaria al ser muy dependientes de los parámetros de ajuste utilizados en los balances, que están calibrados a partir de los niveles piezométricos.

No han podido realizarse mediciones in situ del caudal de escorrentía superficial debido a que su existencia en el Baix Ebre queda limitada a los eventos de precipitación extraordinarios, los cuales son de periodicidad anual y de duración menor a una semana; ha resultado imposible coordinar logísticamente una posible campaña de muestreo durante alguno de estos eventos, por lo que para respaldar los resultados de escorrentía superficial obtenidos del balance de agua en el suelo general ha sido necesario el estudio de los hidrogramas de caudales de agua superficial de la vertiente NW del macizo.

Los resultados obtenidos por los métodos aplicados muestran coherencia en la magnitud de los resultados (Tabla 9.1.3). En la vertiente NW el hidrograma del río Ulldemó, afluente del río Matarranya, tiene valores de escorrentía similares a los obtenidos por el balance de agua en el suelo en la vertiente SE, con una escorrentía superficial de  $96 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ , que es la suma de la aportación de escorrentía de la zona vadosa y la aportación superficial. Para mayor precisión se han calculado las aportaciones de la cuenca receptora del embalse de Ulldecona, a la salida del río de La Sènia de los Ports, ya que las características de los eventos de escorrentía superficial que allí acontecen pueden extrapolarse al resto de los Ports. Dicho cálculo se ha realizado a partir del hidrograma de volumen de entradas al embalse, resultando  $103 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ .

No obstante, se ha realizado también un balance de agua en el suelo para dicha cuenca, en la que se considera que el llenado del embalse de Ulldecona (entradas en Tabla 9.1.3) es debido a dos tipos de flujo, uno superficial con un agotamiento rápido reflejado en los hidrogramas, y otro de escorrentía de la zona vadosa, más lento, que corresponde al agotamiento de niveles acuíferos colgados. El flujo subterráneo producido por la recarga en los Ports de Beseit-Tortosa es transferido directamente al acuífero regional y no descarga aguas arriba del embalse de Ulldecona debido a que la base del embalse está desconectada de dicho acuífero por cuestión de cota topográfica. Se obtiene como resultado  $107 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ .

Tabla 9.1.3. Valores de escorrentía media anual obtenida por los diferentes métodos de estimación (S: superficie en km<sup>2</sup>, A: aportación en mm·a<sup>-1</sup>, AT: aportación total, ASS: aportación escorrentía de la zona vadosa, AS: aportación superficial, AL: aportación de escorrentía lenta).

PERIODO	ID	ESTACIÓN	Años	Aportación media anual de escorrentía				
				S	AT	ASS	AS	AL
HIDROGRAMAS								
1994-2010	9110	Pena (Beceite)	16	49	52	48	4	
1994-2007	9052	Matarraña (Ulldemó)	13	48	177	81	15	80
1994-2010	9153	Algars (Horta SJ)	16	115	180	161	19	
1994-2009		EMB ULLDECONA						
		Entradas	15	126	103	73	30	
		Salidas	15	126	100			
VISUAL BALAN								
1994-2009	EMB ULLDECONA		15	126	107	56	51	
		SZ4	17	175		103		
1994-2011	PORTS DE BESEIT	SZ5-serie 1				95		
		SZ5-serie 2	17	138.5		113		

Los resultados obtenidos de los hidrogramas tienen una incertidumbre asociada considerable, propia del método, pero dada la coincidencia de magnitudes con los balances de agua aplicados, la incertidumbre se ve reducida a la propia que caracteriza el conocimiento del funcionamiento del sistema.

Por tanto, se supone que la escorrentía superficial oscila entre 95 y 115 mm·a<sup>-1</sup>, siendo el promedio 105 mm·a<sup>-1</sup>. La incertidumbre asociada a los métodos de cálculo utilizados para la estimación de la escorrentía es importante, por lo que se ha supuesto que la desviación estándar podría suponer el 20% de su valor. Por tanto la magnitud de la escorrentía superficial que tiene lugar en los Ports de Beseit-Tortosa es de 105 ± 20 mm·a<sup>-1</sup> y por tanto las magnitudes calculadas estarían dentro del error esperable.

## 9.2. ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIA ANUAL

Los resultados de la recarga media anual obtenida por el método del balance de agua en el suelo difieren de los valores obtenidos con el método de la deposición atmosférica de ión cloruro (Tabla 9.2). Ambos métodos obtienen el resultado de recarga anual de forma diferente. El método regional de balance de la deposición atmosférica de ión cloruro proporciona valores de recarga media multianual, calculada a partir de parámetros agregados. El código Visual Balan realiza el balance de agua en el suelo evento a evento, es decir, calcula la recarga diaria producida a lo largo del periodo de datos, pudiéndose obtener el valor medio anual si dicho periodo de tiempo es lo suficientemente largo.



Tabla 9.2. Resultados de recarga por zonas (BCI: método del balance de la deposición atmosférica de ión cloruro, BaS: método del balance de agua en el suelo, S: superficie en km<sup>2</sup>, P: precipitación media anual en mm·a<sup>-1</sup>, R: recarga en mm·a<sup>-1</sup> y Es: escorrentía en mm·a<sup>-1</sup>, V: recarga ponderada por la superficie en hm<sup>3</sup>·a<sup>-1</sup>).

Sub-zona	P	S	BaS			BCI			
			Es	R	V	Es*	R	V	
Plana de La Galera	SZ1	660	140	16	215 ± 25	30	0	175 ± 70	24,5
	SZ2	660	205	34	200 ± 20	41	0	160 ± 45	28
	SZ3	660	215	32	240 ± 20	51,6	0	130 ± 35	28
Ports de Beseit-Tortosa	SZ4	1086	175	103	490 ± 60	89,2	105	365 ± 160	64
	SZ5	1086	180	105	510 ± 60	88,2	105	315 ± 150	57

Es\*: en la Plana de La Galera y en los macizos de Godall-Montsià (SZ1, SZ2 y SZ3) la escorrentía ha sido tomada como despreciable en el balance de la deposición atmosférica de ión cloruro debido a los resultados de la misma obtenidos en el balance de agua en el suelo (explicación en el Capítulo 8.3.1.3).

En la aplicación de ambos métodos se ha considerado la existencia de escorrentía en los Ports (Tabla 9.2). Dados los resultados de escorrentía superficial obtenidos por el balance de agua en el suelo en la Plana de La Galera (16 mm·a<sup>-1</sup> en la zona N de la Plana y entorno a 30 mm·a<sup>-1</sup> en la zona S) se ha desestimado su consideración en la resolución del balance de los cloruros puesto que su aportación al balance sería insignificante. La determinación de considerar despreciable la escorrentía superficial generada en la Plana se apoya en las observaciones transmitidas por técnicos de campo de la ACA de la oficina de Tortosa y a la inexistencia de rasgos geomorfológicos que evidencien la ocurrencia de escorrentía superficial ocasional en dicha zona, salvo muy ocasionalmente y con un volumen total pequeño. El agua ocasional circulante se origina mayormente en el macizo y en la Plana se infiltra progresivamente.

En la zona existe una recarga ocasional producida cuando el agua de escorrentía es transferida desde los Ports hacia la Plana por medio de los barrancos, los cuales permiten su infiltración produciéndose así la recarga de la unidad superior en la Plana. Esta recarga no es cuantificable con los métodos de balance utilizados para la estimación de la recarga media anual ya que se produce de forma esporádica, lo que dificulta su registro, medición, muestreo e identificación en los hidrogramas.

### 9.2.1. Validez de los parámetros del balance de la deposición atmosférica de ión cloruro

Para el balance de la deposición atmosférica de ión cloruro, las variables a considerar para evaluar la robustez de sus valores son la deposición atmosférica total de Cl en la precipitación, en el agua de escorrentía y la concentración de Cl en el agua de recarga, que son las variables que intervienen en el cálculo de la recarga media multianual.

La deposición total de ión cloruro en el agua de precipitación ha sido calculada a partir de la concentración de cloruro en la misma (Cl<sub>p</sub>) y de la magnitud de la precipitación (P). Dichas variables han sido medidas durante el periodo 2011-2014. A priori, puede parecer que la media de deposición

atmosférica de ión cloruro de 3 años no es suficiente para tener una representatividad dentro del periodo en el cual el sistema se considera estacionario, como parecen evidenciar las diferencias de concentración de ión cloruro en el agua de lluvia para alguno de los colectores en los diferentes años de muestreo (Figura 6.2.3.a).

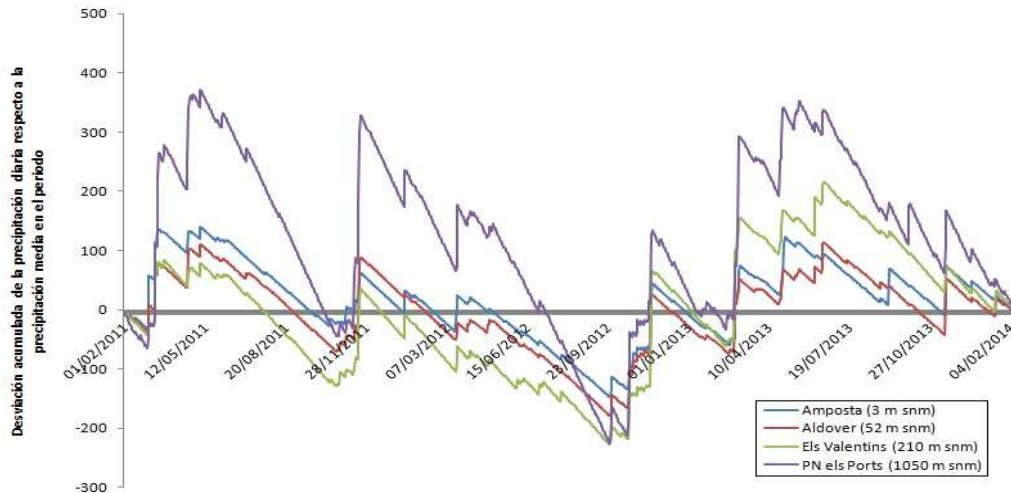


Figura 9.2.1. Desviación acumulada de la precipitación diaria respecto a la media del periodo 1994-2011 de las estaciones meteorológicas utilizadas en el cálculo de la deposición atmosférica de ión cloruro.

Según Alcalá y Custodio (2014) serían 10 el número de años de muestreo y cálculo óptimo para considerar la estabilidad de las series y su representatividad en el periodo para el cual el sistema se considera estacionario. Para el ciclo de 10 años, el coeficiente de variación será entorno a 0,1, aumentando a 0,4 cuando se consideran cinco de los 10 años de la serie y entre 0,01 y 0,6 para dos años. Estos resultados fueron obtenidos a partir de series generadas de los datos diarios de estaciones de deposición húmeda distribuidas por toda la península Ibérica, entre ellas la estación de Roquetes (Observatori de l'Ebre), que es una de las que tiene la serie más larga.

En esta investigación se dispone de un total de 3 años sin estabilidad aparente de las series diarias de precipitación (Figura 9.2.1), con coeficientes de variación entre 0,2-0,4 de la deposición atmosférica total de ión cloruro (Capítulo 6.2.3). Además, los resultados de deposición total de esta investigación incluyen la deposición seca, la cual se ha demostrado que predomina sobre la deposición húmeda y que presenta estabilidad en la zona de estudio (Anexo 6). Por tanto, se puede considerar que la media de deposición atmosférica de ión cloruro calculada para el periodo de muestreo 2011-2014 es suficientemente representativa del periodo en el cual el sistema se considera estacionario, aunque tiene una incertidumbre relativamente importante.

Dado que no se ha dispuesto de más tiempo para el desarrollo de esta investigación, ni de recursos para prolongar el muestreo, se han valorado tanto la importancia de la influencia que tiene el agua de lluvia sobre el agua recargada en los Ports como los resultados del estudio de la variabilidad temporal del

agua subterránea (desarrollado en el Capítulo 7.1.1 y en el Anexo 3.2), en el que la composición química del agua subterránea es estable en el tiempo y no se observan variaciones estacionales. Además, se ha estimado que el tiempo de tránsito en la zona vadosa es de aproximadamente unos 35 años (desarrollado en el Capítulo 8.3), periodo de tiempo que, aunque superior al considerado en esta investigación, no alcanza la extensión suficiente como para albergar variaciones climáticas o de uso del suelo que pudieran alterar la representatividad de las muestras de agua subterránea en el periodo estudiado.

La incertidumbre en la precipitación viene dada por la propia de las estaciones meteorológicas consideradas para la investigación, ya que los colectores de agua de lluvia estaban situados lo suficientemente cerca a dichas estaciones para poder considerar como precipitación recogida la lámina de agua medida por los pluviómetros de las estaciones de la AEMET y METEOCAT. La comparación del volumen de agua recogida en los colectores ha sido coincidente con la medición pluviométrica de las estaciones.

La magnitud de la variable  $Cl_R$  presenta una problemática importante para la Plana de La Galera. Los valores de concentración de Cl se han supuesto como representativos de la recarga producida en la Plana meramente por el hecho de que son los valores de los cuales se dispone (Tabla 9.2.1.a). Para encontrar valores representativos de concentración de Cl de la recarga de la Plana el muestreo del entorno debería de ser más intensivo de lo que ha sido posible, tanto por motivos logísticos como económicos durante el desarrollo de esta investigación, e incluso volcando esfuerzos en dicho trabajo cabe la duda de encontrar valores representativos ciertos, debido al desconocimiento del estado constructivo de los pozos y de la falta de información de la profundidad a la cual se encuentran las rejillas de los mismos.

Tabla 9.2.1.a. Resultados de la estimación de la recarga media para los periodos 2011-2012, 2012-2013 y 2013-2014 ( $A_p$  y  $A_E$  en  $g\ m^{-2}\ a^{-1}$ ,  $Cl_R$  en  $mg\ L^{-1}$  y  $R$  en  $mm\ a^{-1}$ ).

	$A_p$	$A_E$	$Cl_R$	$R$	
2011-2012	SZ1	3.06	0	20	153
	SZ2	4.22	0	22.5	188
	SZ3	3.36	0	28	120
	SZ4	6.56	0.95	12	468
	SZ5	6.32	0.95	13	413
2012-2013	SZ1	3.28	0	20	164
	SZ2	4.57	0	22.5	203
	SZ3	4.41	0	28	158
	SZ4	5.14	0.95	12	349
	SZ5	5.30	0.95	13	334
2013-2014	SZ1	3.96	0	20	198
	SZ2	2.59	0	22.5	115
	SZ3	2.87	0	28	102
	SZ4	3.83	0.95	12	240
	SZ5	3.23	0.95	13	175

\*Se ha considerado que la escorrentía superficial en las sub-zonas SZ1, SZ2 y SZ3 es nula y por tanto su deposición en ión cloruro.

Para ver la estabilidad de los valores de cloruro en las muestras representativas de la recarga en cada sub-zona se ha hecho un análisis estadístico simplificado de la concentración de ión cloruro en el agua subterránea de los puntos de control con análisis repetidos en el tiempo (Tabla 9.2.1.b), salvo para las sub-zonas SZ1 y SZ2, para las cuales no hay repetición de análisis de los puntos de control representativos; no obstante, en estas dos sub-zonas se han tomado puntos localizados en ellas que aunque no tienen una concentración de cloruros representativa, sí tienen análisis repetidos en el tiempo, con el objeto de aportar robustez al estudio de variabilidad temporal. Los resultados muestran estabilidad temporal de la concentración de ión cloruro, con coeficientes de variación inferiores a 0,15 en su mayoría. Con la elaboración de dicho análisis estadístico se ha visto la necesidad de completar dicho estudio con mayor número de muestras repetidas en el tiempo, pero no ha sido posible realizarlo por falta de tiempo y presupuesto.

Tabla 9.2.1.b. Análisis estadístico básico de la variabilidad temporal de ión cloruro en el agua de recarga para las distintas sub-zonas (N: número de análisis, Cl medio en  $\text{mg L}^{-1}$ ,  $\sigma$ : desviación estándar en  $\text{mg L}^{-1}$  y CV es el coeficiente de variación definido por  $\sigma$  y la media).

Sub-zona	Punto de Control	N	Cl medio	$\sigma$	CV
SZ1	ORO366	3	15.83	1.07	0.07
	1GA1	3	10.57	0.85	0.08
SZ2	1GA2	8	13.58	0.73	0.05
	OMB5	8	15.19	1.85	0.12
SZ3	0AM249	2	36.90	1.98	0.05
	4GO1	3	24.13	2.85	0.12
	2AC1	3	12.80	2.42	0.19
SZ4	4AC6	3	19.13	1.91	0.10
	4AC7	2	12.05	2.05	0.17
	4PA1	2	13.85	0.49	0.04
	4PA2	2	31.20	0.00	0.00
SZ5	4SE11	2	10.60	0.99	0.09
	4RO24	2	14.90	1.98	0.13
	4SE12	2	12.75	2.05	0.16

A partir de la evaluación de la validez de los parámetros que intervienen en el balance de la deposición atmosférica de ión cloruro se deduce que el parámetro del cual depende más la incertidumbre es la concentración de ión cloruro del agua de recarga, debido a que no hay suficientes datos para poder discriminar la concentración representativa estrictamente del agua recargada localmente en la Plana, ni se cree que existan herramientas suficientes como para poder diferenciarla en un futuro sin recurrir a sondeos de muestreo específicamente diseñados. El error que esto introduce al balance, que ha de ser considerado para la interpretación de resultados, es la posible sobreestimación de la recarga media multianual en la Plana debida a la dilución de los valores de concentración de ión cloruro en el agua de recarga por la mezcla con aguas procedentes de recarga aguas arriba, en los Ports.

### 9.2.2. Validez de los parámetros del balance de agua en el suelo

Para el balance de agua en el suelo con el código Visual Balan, las variables y parámetros a considerar y cuestionar son los que caracterizan cada una de las tres componentes que intervienen en el balance: suelo edáfico, zona no saturada o vadosa y acuífero.

Se dispone de 17 años de series de datos meteorológicos, de registro de niveles piezométricos y de caudales de aforo (1994-2011). Aplicando la metodología desarrollada en Alcalá y Custodio (2014) a partir de la cual se supone que 10 años cubren un ciclo y son suficientes para considerar la representatividad de resultados en un periodo estacionario, se tendría un ciclo representativo y 7 años más, que al no ser un ciclo completo de 10 años contribuye ligeramente a aumentar la incertidumbre de los valores medios representativos (desarrollo de los cálculos en el Capítulo 8.1.4).

La solidez y confianza que proporcionan los datos de la AEMET y METEOCAT son un apoyo a la minimización de la incertidumbre en el balance hidrometeorológico. En este caso han sido utilizadas dos de sus estaciones, la de Mas de Barberans y la de PN Els Ports. De esta última sólo se ha dispuesto de datos diarios desde enero de 2007, periodo suficiente para abarcar periodos secos y húmedos y poder ser comparados con la estación representativa de cotas bajas (Mas de Barberans). El análisis de la relación y coincidencia de eventos ha sido satisfactorio.

Para ello, se han comparado las medias de precipitación anual del periodo común (2007-2011) y del periodo total (1994-2011) de la estación de Mas de Barberans con la de los Ports, que son prácticamente iguales:  $656 \pm 1 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ , lo que ha permitido prolongar la serie diaria de datos pluviométricos y de temperatura para el periodo 1994-2011 para la estación PN Els Ports. Con esta manipulación de datos se pierde detalle de la serie diaria de precipitaciones de los Ports ya que las pequeñas lluvias en el macizo que no se produzcan en la Plana no serán reproducidas en la prolongación de la serie. La magnitud de estas pequeñas lluvias no registradas probablemente no alcancen la magnitud umbral por debajo de la cual no se produce recarga. Para la zona NE de los Ports dicho umbral se sitúa en  $108 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  y en la zona SW de los Ports en  $56 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  (Tabla 9.3.2.a), por lo que esta desviación no afectará de forma sensible al balance.

También hay que considerar que los parámetros de suelo no han sido medidos, ni son medibles dada la gran heterogeneidad, sino que han sido asignados en base a las características y propiedades típicas generales del terreno en la zona de aplicación y que los coeficientes han sido adecuados para lograr un buen ajuste de los resultados finales. Aun teniendo un conocimiento de mayor detalle de las propiedades hidráulicas de las tres componentes del balance (suelo edáfico, zona vadosa y acuífero) el ajuste hubiese sido similar, puesto que el código Visual Balan no permite introducir más parámetros que los ya introducidos.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es que los hidrogramas de niveles están representando el comportamiento de un acuífero sometido a explotación, por ello para la obtención de parámetros del acuífero necesarios para el ajuste y calibración del balance han sido estudiados los descensos de niveles representativos de los agotamientos producidos en el sistema.

### 9.3. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS GENERALES

#### 9.3.1. Discusión de las diferencias generales observadas entre los resultados de recarga media anual en la Plana de La Galera y Ports de Beseit-Tortosa con la aplicación de ambos métodos y sus posibles causas

Para ambos métodos existe una importante diferencia entre la recarga media anual que se produce a cotas altas (Ports de Beseit-Tortosa) con respecto a la que ocurre en zonas de menor altitud (Plana de La Galera) (Tabla 9.2), dicha diferencia es esperable por dos motivos (1) en el macizo las precipitaciones son de mayor magnitud que en la Plana (la precipitación media anual en la Plana es de  $550 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  y de  $1100 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  en los Ports) y (2) debido a las características geomorfológicas de los materiales carbonáticos aflorantes en los Ports y a sus propiedades hidráulicas que favorecen la recarga directa por fisuras y rasgos kársticos en el macizo (Capítulo 7.3).

El balance de agua en el suelo proporciona resultados de recarga media anual superiores a los que se derivan del balance de la deposición atmosférica de ión cloruro tanto en la Plana como en los Ports:

- Para la Plana de La Galera (sub-zonas SZ1 y SZ2) la diferencia es de  $40 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ , la cual a priori está dentro del error de cálculo asumible para la recarga media anual.
- Para el entorno del macizo Godall-Montsià (sub-zona SZ3) el resultado de la recarga media anual difiere considerablemente entre los dos métodos, en  $110 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ .
- En la zona de los Ports (sub-zonas SZ4 y SZ5) las diferencias entre las recargas obtenidas por ambos métodos varían entre  $145$  y  $175 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ , las que también están dentro del error esperable.

En la Plana de la Galera se ha querido verificar si una de las causas de obtener mayor recarga con el balance de agua en el suelo ha sido la utilización de la serie diaria de precipitación correspondiente a la estación de Mas de Barberans, la cual registra una precipitación media anual de  $660 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  frente a los  $450 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  del resto de estaciones de la Plana.

Para ello, se ha realizado el balance de agua en el suelo utilizando las series meteorológicas de la estación de Els Valentins (ubicada en la zona S de la Plana). Analizando los resultados, se observa que la diferencia de recargas medias anuales obtenidas no supera los  $10 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ , por lo que se descarta la

influencia de la diferencia de precipitación media como causa de la diferencia de los resultados entre los dos balances (Tabla 9.3.1).

Tabla 91.3. Resultados del balance de agua en el suelo con el código Visual Balan utilizando la estación meteorológica de Mas de Barberans y la de Els Valentins (valores medios anuales  $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ ).

Zona	EMET	Precipitación	Interceptación	Escoorrentia	ETR	Recarga	Caudal total
SZ1	Mas de Barberans	660	29	16	397	216	232
SZ1	Els Valentins	570	29	4	323	211	215
SZ2	Mas de Barberans	660	58	34	375	202	236
SZ2	Els Valentins	570	54	9	308	210	219

Dado que con el balance de la deposición atmosférica de ión cloruro no ha sido posible cuantificar de manera fiable la concentración de ión cloruro en el agua recargada en la Plana, y es muy posible que los cloruros utilizados estén diluidos por la transferencia de agua subterránea de los Ports (lo cual produce una infravaloración de la recarga), resulta más razonable pensar que la causa de la diferencia de resultados para la Plana es debida a las limitaciones encontradas en la aplicación del balance de la deposición atmosférica de ión cloruro, pudiendo resultar más representativo de la recarga real producida en la Plana el dato obtenido con el balance de agua en el suelo.

En el entorno del macizo Godall-Montsià, como ya se ha comentado, no hay información hidrogeológica disponible suficiente. En el balance de la deposición atmosférica de ión cloruro, la concentración de los cloruros de la recarga utilizada corresponde a la Plana de La Galera, valores probablemente superiores a la concentración de la recarga producida en el Godall-Montsià, con lo que la recarga se está infravalorando ( $130 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ ). En el balance de agua en el suelo, los hidrogramas de niveles piezométricos con los que se ha calibrado el balance reproducen las oscilaciones observadas como respuesta a los eventos de lluvia que generan recarga en los Ports, donde la precipitación es mayor que en el macizo Godall-Montsià y como consecuencia de ello la recarga también lo es ( $240 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ ). Por estos motivos los resultados de recarga media anual obtenidos en la sub-zona SZ3 con ambos balances divergen significativamente.

Por último, la diferencia de resultados obtenidos en los Ports puede ser debida a que en la aplicación del balance de agua en el suelo, la estación meteorológica disponible representativa de la zona (PN Els Ports) entró en funcionamiento en enero de 2007, de modo que para prolongar la serie de datos se han utilizado los datos de la estación de Mas de Barberans, dada su óptima ubicación en el centro de la cuenca de estudio, realizando una corrección por altitud. Esto aumenta la posibilidad de sesgo en los datos, pudiendo tener precipitaciones excesivamente elevadas que generen recargas de mayor magnitud. En cuanto a los parámetros de suelo introducidos en el código Visual Balan, después del análisis de sensibilidad realizado (Capítulo 8.1.3.2), se ha observado que, aumentando la reserva útil del suelo elevando la capacidad de almacenamiento en el mismo o disminuyendo la cantidad de flujo preferente, la recarga disminuye notablemente. Sin embargo, el balance de la deposición atmosférica de ión cloruro proporciona valores de recarga más fiables en esta zona ya que tanto la concentración de



cloruro en la precipitación, como el registro de precipitación y la concentración de cloruro del agua de recarga se consideran representativos de la zona.

### 9.3.2. Valoración de las diferencias entre los resultados de recarga media anual de ambos métodos

Observando tanto los resultados de recarga media anual como su desviación típica, los resultados alcanzados con ambos métodos serían aceptables dentro del error calculado. Para valorar si ambos métodos se complementan entre sí, se ha realizado el test estadístico T de Student, por su facilidad y rapidez de obtención de resultados. Consiste en comparar las medias de los resultados para ambos métodos, considerando que ambas series de resultados tienen una distribución normal, y verificar si la diferencia entre ellas está dentro de lo normal o probable. Para ello se parte de la hipótesis nula, en la cual la diferencia de las medias es igual a cero (por tanto  $\mu_{BAS}=\mu_{BCI}$ , siendo  $\mu$  la media de la recarga para la serie de datos de cada método).

Para verificar o rechazar la hipótesis nula se compara el valor P obtenido del test con el valor  $\alpha$ , que es la probabilidad máxima que se está dispuesto a asumir en caso de rechazar la hipótesis nula cuando es cierta, es decir, el porcentaje de posibilidades de que se obtenga de manera errónea una diferencia entre dos muestras cuando en base a la hipótesis nula no la hay. El nivel  $\alpha$  común es 5 % (0,05) (Tablas 9.3.2.a-b). En este caso el valor de P es menor que  $\alpha$ , luego se puede asegurar que la diferencia entre las dos series de resultados es estadísticamente significativa.

Tabla 9.3.2.a. Resultados obtenidos del test T de Student para los resultados de recarga media anual con los dos balances aplicados (unidades  $\text{mm a}^{-1}$ ).

variables estadísticas	BAS	BCI
Media	331	229
Varianza	24055	10842.5
Número de datos	5	5
Estadístico t	3.733234	
Diferencia de las medias	102	
P(T<=t) una cola	0.01012	
t crítico para una cola	2.131847	
P(T<=t) dos colas	0.02024	< $\alpha$ (0.05)
t Crítico para dos colas	2.776445	

\*BAS: balance de agua en el suelo y BCI: balance de la deposición atmosférica de ión cloruro.

Tabla 9.3.2.b. Valores estadísticos básicos de los resultados obtenidos del test T de Student.

Variables estadísticas	$\text{mm a}^{-1}$
Diferencia de las medias	102
Desviación estandar de las diferencias	61
Error estandar de las diferencias	27
T alpha 95%	3
Límite inferior de confianza	26
Límite superior de confianza	178

\*Límites de confiabilidad definidos por la diferencia de las medias  $\pm$  el error característico de las mismas por T definida dentro del nivel de confianza fijado en el 95%.

Esto significa que los resultados de ambos métodos difieren y su comparación ha de ser cautelosa, ya que estadísticamente presentan diferencias significativas.

Para completar el test se ha calculado el intervalo de confianza para el cual se producirían la mayoría de los valores plausibles de diferencia de medias a partir de un análisis estadístico básico. Los resultados muestran que para los pares de valores obtenidos por ambos métodos cuyas diferencias sean menores al límite de confianza inferior de ( $26 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ ) y superiores al límite de confianza superior ( $178 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ ) no se podrá asegurar que sean comparables (Tabla 9.3.2.b). Aplicando la lógica, es más probable que sean comparables los valores con diferencias por debajo del límite máximo definido que por encima.

Con esta evaluación y considerando las diferencias descritas para las sub-zonas estarían dentro del intervalo de confianza los pares de valores de recarga media anual obtenidos por ambos métodos para las sub-zonas SZ1, SZ2, SZ3 y SZ4 y no tanto para la SZ5.

### 9.3.3. Representatividad de la recarga media anual respecto de la precipitación media anual

Con los resultados de recarga media anual y las series diarias de precipitación se ha estudiado la relación entre pluviometría-recarga media anual. Los resultados indican que para la Plana de La Galera el umbral medio de pluviometría anual necesario para que exista recarga es de 240-300 mm y en los Ports de Beseit-Tortosa el umbral anual es menor, entre 56-108 mm, por lo que la capacidad de recarga de Ports de Beseit-Tortosa en años secos es significativamente mayor que en la Plana de La Galera, además de ser mayor la precipitación que recibe (Tabla 9.3.3).

Tabla 9.3.3. Relación entre la pluviometría anual con la recarga producida.

Localización	Sub-zona	Relación P vs R
Plana NE	SZ1	R=0,60(P-300)
Plana SE	SZ2	R=0,50(P-248)
Godall-Montsià	SZ3	R=0,57(P-242)
Ports N	SZ4	R=0,51(P-108)
Ports S	SZ5	R=0,52(P-56)

P = Precipitación anual (mm); R = Recarga anual (mm);  $P_0$  = Precipitación umbral anual por debajo de la cual no se produce recarga (mm);  $\alpha$  = pendiente de la recta de regresión.

La precipitación anual acumulada es en media 0,38 veces mayor que la recarga anual acumulada y la dispersión existente en la relación recarga-pluviometría es típica de climas semi-áridos, en que no todas las recargas tienen una magnitud proporcional a la lluvia que las ha generado.

A partir del análisis de distribución de frecuencias de los eventos de lluvia que producen recarga se obtiene que el 1% de las lluvias de mayor magnitud produce el 70% de la recarga por la precipitación en la zona. Esto quiere decir que el aumento de reservas en el acuífero se produce para eventos extraordinarios de lluvias. Esto coincide con la evolución de los piezogramas a lo largo del periodo de estudio, en los cuales se observa que las grandes variaciones de nivel tienen lugar cuando se producen lluvias que superan alrededor de los  $80 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$  (Figura 9.1.1). De aquí la importancia de considerar periodos de tiempo diarios, ya que los eventos de lluvia producirán recarga o no en función de su magnitud y de las condiciones hídricas en las que se encuentre el suelo edáfico debido a los días previos.

Hay que considerar que además de la recarga por precipitación, en la Plana de La Galera tiene lugar una recarga ocasional producida por la escorrentía cuando los barrancos transfieren dicha escorrentía hacia la Plana, donde se infiltra recargando la unidad superior.

#### 9.4. ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE ASOCIADA A LA RECARGA MEDIA ANUAL

Ha sido posible estimar la incertidumbre asociada al valor de la recarga media anual para ambos métodos. Para ello, en el balance de la deposición atmosférica de ión cloruro se ha calculado la desviación estándar de la recarga media anual como la raíz cuadrada de la suma de las varianzas de los parámetros involucrados en la estimación de la recarga (deposición de cloruro en la precipitación, en la escorrentía y en la concentración de ión cloruro en el agua de recarga), y en el balance de agua en el suelo la desviación estándar de la recarga media anual como la raíz cuadrada de la suma de las varianzas de los errores de los parámetros a los cuales la recarga presenta sensibilidad. Es una manera sencilla y simplificada que proporciona una idea del error asociado al cálculo de la recarga.

Para todas las sub-zonas, la desviación estándar de la recarga media multianual por la precipitación es menor para el balance de agua en el suelo que para el balance de la deposición atmosférica de ión cloruro. Vale 20-25 mm·a<sup>-1</sup> en la Plana de La Galera y 60 mm·a<sup>-1</sup> en los Ports de Beseit-Tortosa para el balance de agua en el suelo, y 35-70 mm·a<sup>-1</sup> en la Plana de La Galera y 150-160 mm·a<sup>-1</sup> en los Ports de Beseit-Tortosa para el balance del ión cloruro. Sin embargo los parámetros utilizados para su cálculo proporcionan mayor confiabilidad al balance de la deposición atmosférica de ión cloruro puesto que son agregados y medidos in situ; para el balance de agua en el suelo los parámetros son aquellos que en principio producen una mayor sensibilidad en los resultados de recarga media anual, los cuales a su vez dependen de parámetros hidráulicos asignados por pura interpretación de las características del medio.

Los coeficientes de variación son de 0,10-0,12 para el balance de agua en el suelo y de 0,3-0,4 para el balance de la deposición atmosférica de ión cloruro. Con estos coeficientes de variación los valores obtenidos por el balance de agua en el suelo estarían dentro del rango esperable de recarga media anual producida, por lo que, aunque difieran los resultados de ambos métodos, se encuentran dentro del margen de error de cálculo. Por ello los resultados de recarga obtenidos con ambos métodos han de considerarse como orientativos en orden de magnitud y no como valores exactos para estimaciones futuras de reservas y recursos de cara a la gestión y planificación hídrica. Para poder estimar el margen de flexibilidad de las actuaciones es para lo que se aporta una evaluación de la incertidumbre.

## 9.5. BALANCE GENERAL DEL ÁREA DE APLICACIÓN

A partir de los resultados obtenidos de recarga media anual y de los cálculos pertinentes para la estimación de las salidas en el sistema se ha realizado un balance general de la zona de estudio (Tabla 9.3.5).

La ecuación de balance hídrico general responde a la siguiente formulación:

$$\text{Entradas} = \text{Salidas} + \Delta S$$

$$E_{Pe} + E_{RR} = B + D + \Delta S$$

(Siendo  $E_{Pe}$ : entradas por recarga de lluvia efectiva,  $E_{RR}$ : entradas por recarga de retornos de riego, B: extracciones de agua subterránea por bombeos, D: descarga del sistema a otras unidades y  $\Delta S$ : variación de almacenamiento en el sistema).

En esta investigación las entradas por recarga de lluvia efectiva incluyen la recarga por precipitación ( $E_p$ ) y la recarga por escorrentía producida en los Ports de Beseit-Tortosa que desciende hacia la plana canalizada por los barrancos y que se infiltra de forma progresiva aguas abajo en la misma, recargando la unidad acuífera superior ( $E_{ES}$ ). Las descargas en la zona de aplicación incluyen la descarga superficial al río Ebro, la cual a falta de evidencias en las observaciones de campo se considera despreciable ( $D_{SUP\ Ebro}$ ), la descarga subterránea al río Ebro ( $D_{SUB\ Ebro}$ ) y la descarga litotal en la Plana de Alcanar ( $D_{LIT}$ ). En cuanto al bombeo, se ha utilizado el valor anual de las concesiones dadas por la administración, considerado por la ACA. Las variaciones de almacenamiento ( $\Delta S$ ) se consideran nulas debido a que el sistema se supone estacionario.

Por tanto, la ecuación característica del balance general en la zona de aplicación es:

$$E_p + E_{ES} + E_{RR} = B + D_{SUP\ Ebro} + D_{SUB\ Ebro} + D_{LIT}$$

### 9.5.1. Cálculo de entradas del balance general

Para la estimación de  $E_p$  se han considerado los valores máximos y mínimos de recarga media anual proporcionados respectivamente por el balance de agua en el suelo y por el balance de la deposición atmosférica de ión cloruro, así como las superficies de cada sub-zona (Tabla 9.5.1.a).

Tabla 9.5.1.a. Entradas máximas y mínimas por precipitación. (S: Superficie en  $\text{km}^2$ , R: recarga media anual en  $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$  y  $E_p$ : entradas por recarga por precipitación en  $\text{hm}^3\cdot\text{a}^{-1}$ ).

Localización	Sub-zona	S	R máx	R mín	$E_p$ máx	$E_p$ mín
Plana NE	SZ1	120	215	175	26	21
Plana SE	SZ2	205	200	160	41	33
Godall-Montsià	SZ3	215	240	130	52	28
Ports N	SZ4	175	490	365	86	64
Ports S	SZ5	180	510	315	92	57
ENTRADAS TOTALES POR PRECIPITACIÓN					296	202

\*La superficie de la SZ1 corresponde a la superficie exenta de regadío.

El resultado para el Godall-Montsià (sub-zona SZ3), es de  $52 \text{ hm}^3\text{a}^{-1}$ . Valor correspondiente al agua recargada por precipitación en los  $215 \text{ km}^2$  de superficie total de la sub-zona SZ3. Esta recarga por precipitación ha sido calculada aplicando en la zona las mismas características hidrodinámicas y geomorfológicas que el resto de la Plana de La Galera (SZ1 y SZ2). Pero dado que el macizo Godall-Montsià ocupa una parte importante de la superficie ( $75 \text{ km}^2$ ) y su aportación al sistema podría ser significativa, se han calculado las entradas totales como la suma de la aportación correspondiente a la superficie aflorante del macizo,  $12 \text{ hm}^3\text{a}^{-1}$  (calculada en el Capítulo 9.1.2) y la aportación por recarga calculada con el balance de agua en el suelo aplicada al resto de la superficie que no es macizo aflorante,  $34 \text{ hm}^3\text{a}^{-1}$ , resultando un total de  $46 \text{ hm}^3\text{a}^{-1}$ . La diferencia no se considera significativa para la cuantificación del balance general, por lo que se tomarán los valores obtenidos de la aplicación del balance de agua en el suelo.

Las entradas de recarga por escorrentía son las producidas cuando los eventos de precipitación que tienen lugar en los Ports generan una escorrentía superficial de tal magnitud que es canalizada por los barrancos y conducida aguas abajo hacia la plana. Esta escorrentía es infiltrada progresivamente a lo largo del barranco, recargando la unidad acuífera superior (estimación en Tabla 9.5.1.b).

Tabla 9.5.1.b. Entradas por escorrentía superficial (S: Superficie en  $\text{km}^2$ , ES: escorrentía media anual en  $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$  y  $E_{ES}$ : entradas por recarga por escorrentía en  $\text{hm}^3\text{a}^{-1}$ ).

Localización	Sub-zona	S	ES	$E_{ES}$
Ports N	SZ4	175	105	18
Ports S	SZ5	180	105	19
ENTRADAS TOTALES POR ESCORRENTÍA				37

La evaluación de las entradas por retorno de riego se desarrolla en el Capítulo 8.1.3.

### 9.5.2. Cálculo de salidas del balance general

El valor de las extracciones de agua subterránea por bombeos contiene gran incertidumbre debido a la variabilidad en los usos de los caudales concedidos por la administración y a las más que posibles extracciones ilegales, por ello, el valor considerado para su cuantificación se ha extraído de informes internos de la ACA, resultando entorno a los  $30 \text{ hm}^3\text{a}^{-1}$ .

La descarga superficial al río Ebro se ha considerado despreciable, puesto que las observaciones realizadas en campo indican que la desembocadura de los barrancos en el río está permanentemente seca salvo en ocasiones excepcionales.

La descarga de agua subterránea tanto al río Ebro como al Mar Mediterráneo por el margen litoral se ha estimado a partir de la ecuación de Darcy (resultados en Tabla 9.5.2.b):

$$D = T \cdot i \cdot L$$

(Siendo D: caudal de descarga, T: transmisividad característica del material acuífero en descarga, i: gradiente y L: longitud de la sección a través de la cual se produce la descarga al acuífero).

La transmisividad se ha obtenido de ensayos de bombeo realizados en diversos puntos de control (información de los puntos recogida en la Tabla 9.5.2.a). Se han obtenido valores extremos de descarga calculados a partir de los máximos y mínimos de transmisividad encontrados en cada zona de descarga.

En cuanto al gradiente se ha considerado el propuesto por Ansón y Yañez (2010), el cual fue estimado a partir de las isopiezas, con un valor aproximado de 0,005.

Tabla 9.5.2.a. Puntos de control considerados para la obtención de la transmisividad (X, Y: coordenadas UTM ED50, Z, en mnm, Profundidad, en m, Diámetro, en mm, T: transmisividad en  $m^2 \cdot d^{-1}$  y s.d.: sin dato disponible).

Descarga	Punto de control	Tipo	X	Y	Z	Acuífero	Profundidad	Diámetro	Uso	T
Río Ebro	OAD133	P	287140	4526132	85	Superior	s.d	s.d	A	1100
	OTV659	P	291486	4514826	10.3	Superior	60	400	A	3100
Litoral	OAL100	S	288850	4489385	20.8	Superior	120	s.d	C	5100
	OAL162	P	294350	4496975	9	Superior	22	300	s.d	1157

Tabla 9.5.2.b. Descargas subterráneas máximas y mínimas en el margen derecho del río Ebro y en el margen litoral del Mar Mediterráneo (T: transmisividad máxima y mínima en  $m^2 \cdot d^{-1}$ , i: gradiente en tanto por uno, L: longitud de la sección a través de la cual se produce la descarga en m y D: descarga máxima y mínima en  $hm^3 \cdot a^{-1}$ ).

Localización	T máx	T mín	i	L	D máx	D mín
Río Ebro	3100	1100	0.005	30000	170	60
Litoral	5100	1200	0.005	13000	121	28

### 9.5.3. Resultados y discusión del balance hídrico general de la zona de aplicación

Los valores mínimos y máximos de entradas y salidas totales en el sistema acuífero Ports de Beseit-Tortosa se recogen en la Tabla 9.5.3 y en la Figura 9.5.3.

Tabla 9.5.3. Resultados del balance general de la zona de aplicación ( $E_{pe}$ : entradas por lluvia efectiva,  $E_p$ : entradas máximas y mínimas por precipitación,  $E_{ES}$ : entradas por escorrentía superficial,  $E_{RR}$ : entradas por retornos de riego,  $E_e$ : entradas estimadas,  $E_T$ : entradas totales, B: extracciones de agua subterránea mediante bombeos,  $D_{SUP Ebro}$ : descargas superficiales al río Ebro,  $D_{SUB Ebro}$ : descargas subterráneas al río Ebro,  $D_{LIT}$ : descarga al Mar Mediterráneo y D: descargas totales. Unidades en  $hm^3 \cdot a^{-1}$ ).

Entradas en el sistema							
Sub-zona	$E_{pe}$			$E_{RR}$	E estimadas		E
	$E_p$ máx	$E_p$ mín	$E_{ES}$		máx	mín	
SZ1	26	21	0	9	35	30	35
SZ2	41	33	0	0	41	33	41
SZ3	52	28	0	0	52	28	52
SZ4	86	64	18	0	104	82	82
SZ5	92	57	19	0	111	76	76
Total					342	249	285
Salidas del sistema							
B	$D_{SUP Ebro}$	$D_{SUB Ebro}$		$D_{LIT}$		S	
		máx	mín	máx	mín	máx	mín
30	0	170	60	121	28	321	118

En el balance general se diferencian las entradas estimadas ( $E_e$ ) de las entradas totales ( $E_T$ ). En las  $E_e$  se ha calculado el valor máximo y mínimo de cada sub-zona, siendo las  $E_e$  máximas las correspondientes a la recarga por precipitación calculada con el balance de agua en el suelo y las  $E_e$  mínimas las obtenidas con el balance de la deposición atmosférica total de ión cloruro. En las  $E_T$  se ha considerado el valor de las  $E_e$  de mayor fiabilidad en función del método de balance aplicado en cada sub-zona. Siendo las  $E_e$  máximas las más fiables en la Plana de La Galera y las  $E_e$  mínimas en los Ports de Beseit-Tortosa (Capítulo 9.3.1). El resultado general de entradas totales es por tanto de  $285 \text{ hm}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ .

Para las salidas totales, dada la notable incertidumbre asociada a los cálculos de las descargas y de las estimaciones de los bombeos totales anuales, no puede darse una cifra aproximada y única, por lo que se establece un rango de entre 118-321 hm<sup>3</sup>·a<sup>-1</sup>.

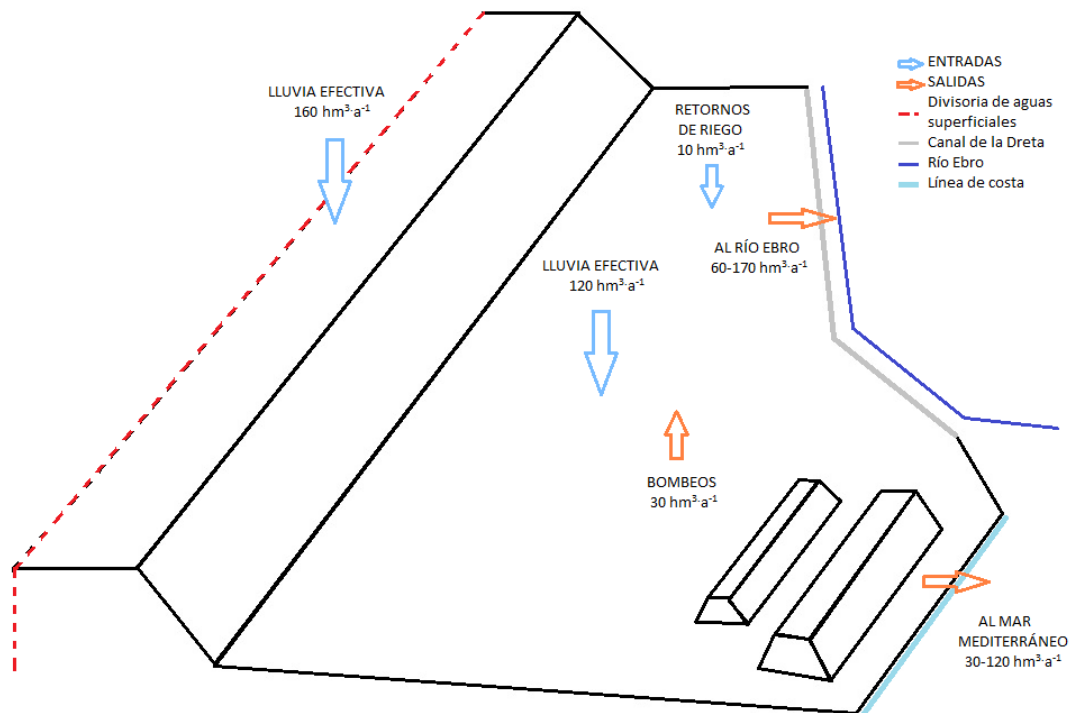


Figura 9.5.3. Esquema del balance general del Baix Ebre. Los valores de descarga natural del sistema se dan como un intervalo debido a su gran incertidumbre.

No se proporciona el error asociado a cada término ya que la pretensión de la presentación de este balance es proporcionar un orden de magnitud de las entradas y salidas al sistema, estando las entradas dentro del rango de salidas estimado.

El balance general difiere significativamente de los propuestos en trabajos anteriores (Loaso, 1985 y Ansón y Yáñez, 2010 (Capítulo 4.7)). Hay que considerar que en este balance se está evaluando el sistema completo Ports de Beseit-Tortosa-Plana de La Galera, mientras que en los trabajos anteriores de la zona de estudio se consideraba únicamente el sistema de la Plana y se cuantificaba de forma aproximada en base a la escasa información de la cual se disponía las aportaciones laterales de los Ports a la Plana de La Galera.





## CAPÍTULO 10. CONCLUSIONES

### 10.1. MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

La presente Tesis Doctoral ha permitido avanzar en el conocimiento del funcionamiento hidrogeológico del Baix Ebre, utilizando técnicas hidrogeoquímicas e isotópicas ambientales de estimación que han servido como herramientas indispensables para otorgar robustez a la hipótesis sobre modelo hidrogeológico conceptual de funcionamiento.

- **Hidrometría**

Existen 3 tipos de comportamiento de la respuesta de oscilación de niveles piezométricos a los eventos de precipitación registrados por estaciones meteorológicas del Baix Ebre. Dichos comportamientos son (1) respuestas inmediatas a los eventos de lluvia, en ocasiones con cierto retardo respecto al momento en el que se producen los eventos de precipitación, con ascensos del nivel piezométrico en los puntos de control de varios metros, que corresponden a materiales mesozoicos cautivos con fuente de recarga en los Ports de Tortosa-Beseit, (2) respuestas rápidas a los eventos de lluvia pero con fluctuación de pocos metros y (3) pequeñas oscilaciones con retardo en la respuesta de la subida de niveles, ambos pertenecientes a los materiales detríticos de piedemonte de edad plio-cuaternaria.

- **Hidroquímica del agua subterránea**

Se diferencian 7 grupos de aguas subterráneas, sin zonaciones preferentes en su distribución espacial, lo que refleja la existencia de mezcla de las aguas recargadas tanto en los Ports de Beseit-Tortosa como en la Plana de La Galera.

- **Isotopos ambientales de la molécula de agua**

Los análisis isotópicos ambientales de la molécula del agua de lluvia presentan valores extremos en el entorno al -7‰ y -6‰ en los Ports, con máximos de 8‰, y en el entorno al -5,5‰ en la Plana.

Los resultados obtenidos de los análisis isotópicos ambientales de la molécula del agua de las aguas subterráneas reflejan la marca isotópica del agua de lluvia con valores de  $\delta^{18}\text{O}$  entre -7‰ y 8‰ en las muestras de las surgencias de los Ports y en las muestras de pozos de la Plana que extraen agua de materiales mesozoicos, localizando su recarga en los Ports de Beseit-Tortosa. En las muestras pertenecientes a extracciones de los materiales plio-cuaternarios de la Plana, los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  están

entorno al -6 ‰, lo que indica la mezcla de aguas recargadas en los Ports con aguas más pesadas recargadas de forma local en la Plana de La Galera.

Los valores que se encuentran en el entorno de -8‰ se atribuyen a aguas de recarga durante periodos más húmedos, lo cual indica el peso significativamente mayor de la composición de las lluvias en periodo húmedo respecto a las producidas en periodo seco.

De la comparación de los valores de tritio atmosféricos típicos de la zona (3,5 - 4,1 UT, según la estación REVIP de L'Observatori de l'Ebre en Tortosa) con los valores de tritio en el agua subterránea, se han diferenciado dos velocidades de renovación del agua subterránea muestreada. Una lenta correspondiente a muestras de materiales mesozoicos de la Plana de La Galera, con valores de tritio inferiores a 2 UT, y otra rápida correspondiente a muestras mayoritariamente del Jurásico y Triásico de surgencias de los Ports de Beseit-Tortosa y de alguna muestra puntual de la Plana con valores entre 3 - 4 UT, lo cual apoya la hipótesis de modelo hidrogeológico conceptual planteada.

- **Definición del modelo hidrogeológico conceptual**

El modelo hidrogeológico conceptual del Baix Ebre es el de un sistema acuífero emplazado en un clima semi-árido con dos unidades relacionadas entre sí, en el cual existe (1) recarga en los afloramientos de materiales mesozoicos en Ports de Tortosa-Beseit, más lluvioso, y en los macizos de Godall-Montsià y (2) una recarga local en toda la superficie de la Plana de La Galera sobre los materiales Plio-cuaternarios. Esta recarga local debe tener una marca diferenciada, como lo dejan ver algunos datos, pero que no aparece clara debido a la mezcla con el agua subterránea (1) transferida desde los Ports de Beseit-Tortosa a través de los materiales de piedemonte o directamente.

- **Estimación de la escorrentía superficial**

Con el estudio global del funcionamiento hidrológico del macizo Ports de Beseit-Tortosa en todo su ámbito (vertiente NW, cuenca del río Matarraña y vertiente SE, Plana de La Galera), analizando los hidrogramas de caudales de los afluentes (Pena, Ulldemó y Algars, vertiente NW), de llenado y vaciado del embalse de Ulldecona y la resolución del balance de agua en el suelo con el código Visual Balan para la cuenca receptora del embalse de Ulldecona, se ha estimado su magnitud en  $105 \pm 20 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ . Es un valor importante cuya consideración afecta de forma significativa a los balances de agua en el suelo y de deposición atmosférica de ión cloruro.

## 10.2. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA

La concentración de ión cloruro en el agua de lluvia tiene una distribución más o menos homogénea a lo largo del periodo de estudio, con valores superiores cuando la precipitación en el periodo de muestreo ha sido menor, lo cual indica que la deposición atmosférica seca de ión cloruro en la zona de estudio es significativa respecto a la húmeda. Se ha cuantificado que la deposición atmosférica húmeda es el 20% de la deposición atmosférica total (Capítulo 6.2.3 y Anexo 2.1.1).

Entre las lluvias muestreadas se han diferenciado claramente dos tipos de lluvia, uno con mayor y otro con menos relación  $rSO_4/rCl$ , lo que indica la influencia de las corrientes procedentes del interior peninsular en la calidad de la atmósfera de la zona, que podría reflejar posiblemente la actividad y la marca composicional de las cuencas yesíferas de los Monegros y el Medio Ebro (Zaragoza y Huesca) y quizás de la central térmica de Andorra (Teruel).

## 10.3. ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIA ANUAL

El balance de agua en el suelo en el periodo 1994 - 2011 proporciona valores de recarga media anual por la precipitación en la Plana de La Galera entre 215 y 240  $mm \cdot a^{-1}$ , con una desviación estándar entre 20 y 25  $mm \cdot a^{-1}$ , según la sub-zona, y de  $500 \pm 60 mm \cdot a^{-1}$  en los Ports de Beseit-Tortosa. El balance de la deposición atmosférica de ión cloruro en la Plana de La Galera proporciona valores de la recarga media de 130 - 175  $mm \cdot a^{-1}$  con una desviación estándar de 35 - 70  $mm \cdot a^{-1}$  y en los Ports de Beseit-Tortosa de 315 - 365  $mm \cdot a^{-1}$  con una desviación estándar de 150 - 160  $mm \cdot a^{-1}$ .

Los valores de recarga local obtenidos en la Plana a partir del balance de la deposición atmosférica de ión cloruro (130 - 175  $mm \cdot a^{-1}$ ) son coherentes con los obtenidos aplicando la consideración de recarga en ladera con dos altitudes diferenciadas y mezcla con flujo paralelo (120 - 180  $mm \cdot a^{-1}$ ). Esto confirma que los puntos de control seleccionados muestrean agua representativa de la recarga producida localmente en la Plana.

Los coeficientes de variación se sitúan en torno al 0,1 para el balance de agua en el suelo y al 0,35 con el balance de la deposición atmosférica de ión cloruro. Con este coeficiente de variación los valores obtenidos por el balance de agua en el suelo estarían dentro del rango esperable de recarga media anual producida.

Las entradas al sistema mediante recarga por precipitación, recarga por escorrentía superficial y por retornos de riego, se estiman en unos 285  $hm^3 \cdot a^{-1}$ , considerando la recarga por precipitación en la Plana calculada con el balance de agua en el suelo y la recarga por precipitación en los Ports con el balance de la deposición atmosférica total de ión cloruro. Las salidas son las correspondientes a los bombeos y a las descargas subterráneas tanto al margen derecho del río Ebro como al Mar Mediterráneo en la franja

litoral de la Plana de Alcanar, considerando que no existe transferencia hacia la Plana de Vinaròs, y han sido estimadas entre  $120 - 320 \text{ hm}^3\text{a}^{-1}$ , que es un rango muy amplio debido a la incertidumbre en la cuantificación de las descargas.

Se obtiene una dispersión de los valores de recarga típica de climas semi-áridos en la relación recarga-pluviometría, con mayor registro de eventos de recarga en los meses de octubre, diciembre, enero y mayo, con máximos en las series anuales que reflejan que la ocurrencia de recarga se produce debido a eventos de precipitación extraordinarios. No todas las recargas tienen una magnitud proporcional a la lluvia que las ha generado. La media de la precipitación anual acumulada es 0,38 veces la recarga anual acumulada.

Con el análisis de las series de datos anuales de recarga media obtenidos con el balance de agua en el suelo, se ha comprobado que 10 años es un ciclo que proporciona una confiabilidad en el resultado con menor incertidumbre asociada que para 17, para 5 y para 3 años. Para los 17 años de los que se dispone en esta investigación, 10 años cubren un ciclo y son suficientes para considerar la representatividad de resultados en un periodo estacionario, y los 7 restantes aumentan la incertidumbre del resultado sin afectar de manera significativa en el valor anual medio de recarga.

Dado que el 1% de las lluvias de gran magnitud generan más del 70% de la recarga anual producida en la zona de estudio, la estimación de la recarga en zonas de características similares al Baix Ebre debe realizarse evento a evento. Aunque las medias anuales de precipitación de las estaciones representativas de un mismo área sean similares y se aprecie una coincidencia de eventos, la selección de la estación meteorológica tiene gran influencia en la distribución de la recarga media anual, debido a que hay eventos de precipitación cercanos al umbral de la generación de recarga que no han sido registrados en todas las estaciones.

Para que exista recarga en la Plana de La Galera, el umbral medio de pluviometría anual necesario es de 240 - 300 mm y en los Ports de Beseit-Tortosa de 56-108 mm, por lo que la capacidad de recarga de Ports de Beseit-Tortosa en años secos es significativamente mayor que en la Plana de La Galera.

#### 10.4. METODOLOGÍA APLICADA

La media anual de deposición atmosférica total de ión cloruro con tres años de recogida de muestras de agua de lluvia, en los cuales se incluye un ciclo húmedo y uno seco, ha sido de  $4 - 5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\text{a}^{-1}$  en los Ports de Beseit-Tortosa y de  $3 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\text{a}^{-1}$  en la Plana de La Galera, con coeficientes de variación del 0,4 y 0,2 respectivamente, encontrándose dentro de los límites de incertidumbre admisibles definidos por Alcalá y Custodio (2014).

Aunque con la aplicación del balance de agua en el suelo y del balance de la deposición atmosférica total de ión cloruro simultáneamente, es posible minorar las limitaciones de cada método aplicado de manera aislada, consiguiendo así una mayor fiabilidad de los resultados, se presentan diferencias en los resultados. Dichas diferencias dependen de cómo se tiene en cuenta la escorrentía superficial, de los valores representativos de la concentración en ión cloruro en la recarga y de la representatividad de las series de precipitación aplicadas donde existen dos medias pluviométricas anuales y una de ellas carece de series de datos meteorológicos lo suficientemente largas.





**CAPÍTULO 11. Referencias bibliográficas**

- ACA (1998). Informe i estudi hidrogeològic inicial pel coneixement de l'área d'influència de la zona de reg del canal Xerta-riu Sénia. Agència Catalana de l'Aigua, Barcelona. (Informe interno de la ACA).
- ALCALÁ, F.J. (2005). Recarga a los acuíferos españoles por medio de un balance hidrogeoquímico. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona: 719 pp.
- ALCALÁ, F.J., CUSTODIO, E., CONTRERAS, S., ARAGUÁS, L.J., DOMINGO, F., PULIDO-BOSCH, A., VALLEJOS, A. (2006). Influencia de la aridez climática, la altitud y la distancia al mar sobre el contenido en cloruro y en  $^{18}\text{O}$  del agua de recarga y del agua subterránea en macizos carbonatados costeros del SE peninsular español. Caso de Sierra de Gádor. Coastal aquifers intrusion technology: mediterranean countries (TIAC'07). 1: 871-885. IGME. Madrid.
- ALCALÁ, F.J., CUSTODIO, E. (2008a). Atmospheric chloride deposition in continental Spain. *Hydrological Processes* 22(98). ISBN:3636-3650
- ALCALÁ, F.J., CUSTODIO, E. (2008b). Flujo de cloruro por la escorrentía directa en España. *Ingeniería del Agua*, 15(1): 5–11. ISBN: 1134–2196.
- ALCALÁ, F.J., CANTÓN, Y., CONTRERAS, S., WERE, A., SERRANO-ORTIZ, P., PUIGDEFÁBREGAS, J., SOLÉ-BENET, A., CUSTODIO, E., DOMINGO, F. (2011). Diffuse and concentrated recharge evaluation using physical and tracer techniques: results from a semiarid carbonate massif aquifer in southeast Spain. *Environmental Earth Sciences*. 62(3): 541-557.
- ALCALÁ, F.J., CUSTODIO, E. (2013). Evaluación de la recarga a los acuíferos mediante balance de masa de cloruro atmosférico y su incertidumbre en el territorio continental español. En: 7 ahpg, Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica, Donostia–San Sebastián, 2012. Aranzadi Zientzia Elkarte, 2013. P. 549–554. ISBN: 978–84–941323–1–5.
- ALCALÁ, F.J., CUSTODIO, E. (2014). Spatial average aquifer recharge through atmospheric chloride mass balance and its uncertainty in a large varied territory. *Hydrological Processes*. DOI: 10.1002/hyp.9556.
- ALLISON, G.B. (1988). A review of some of the physical chemical and isotopic Techniques available for estimating groundwater recharge. En: *Estimation of Natural Groundwater Recharge*. Boston: Ed. Reidel, NATO ASI Series. p. 49-72.

- ALLISON, G.B., GEE, G.W., TYLER, S.W. (1994) Vadose-zone techniques for estimating groundwater recharge in arid and semiarid regions. *Soil Sci Soc Am J* 58:6–14.
- ANDERSON, T.W., FREETHEY, G.W., TUCCY, P. (1992). Geohydrology and water resources of alluvial basins in south central Arizona and parts of adjacent states, U.S. Geological Survey Professional Paper 1406-B.
- ANDREO, B., VÍAS, J., DURÁN, J.J., JINÉNEZ, P., LÓPEZ-GETA, J.A., CARRASCO, F. (2008). Methodology for groundwater recharge assessment in carbonate aquifers; application to pilot sites in southern Spain. *Hidrogeol J* 16:911-925.
- ANSÓN, I., YAÑEZ, J. (2010). Estudio hidrológico de La Plana de la Galera. 44 Edición Curso Internacional de Hidrología Subterránea. FCIHS y Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- BADIELLA, P. (2009). Estudi d'actualització hidrogeològica del sector de La Carrova y Plana de la Galera per avaluació de recursos hidrològics subterranis pel subministrament a les poblacions litorals del Montsià. Agència Catalana de l'Aigua, Barcelona. (Informe interno de la ACA).
- BAYÓ, A., LOASO, C., ARAGONÉS, J.M., CUSTODIO, E. (1992). Marine intrusion and brackish water in coastal aquifers of Southern Catalonia and Castelló (Spain): a brief survey of actual problems and circumstances. *Study and Modelling of Salt Water Intrusion*. CIMNE–UPC. Barcelona: 741–766. ISBN: 84–87867–26–X.
- CABRERA, M.C (1995). Caracterización y funcionamiento hidrogeológico del acuífero costero de Telde (Gran Canaria). Tesis Doctoral. Universidad de Salamanca. Salamanca. ISBN: 978–84–691–8549–0.
- CABRERA, M.C., CUSTODIO, E. (2008). Hidrogeología y recursos hídricos en Gran Canaria. *La Cultura del Agua en Gran Canaria*. Consejería de Obras Públicas y Transportes del Gobierno de Canarias: 13–24. Dep. Leg. TF/002/2008.
- CABRERA, M.C., NARANJO, G., HERNÁNDEZ-QUESADA, P., BENAVIDES, A., ESTÉVEZ, E., CRUZ, T., CUSTODIO, E. (2013). Estimación de la recarga natural a los acuíferos del norte de Gran Canaria a partir del balance de cloruros. (presentado VIII Congreso Argentino de Hidrogeología / VI Seminario Hispano-Latinoamericano sobre Temas Actuales en Hidrología Subterránea).
- CARDOSO DA SILVA, G. Jr. (1997). Comportamiento de los manantiales del karst nororiental de la Serra de Tramuntana, Mallorca. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.

- CHAVEZ, A., DAVIS, S.N., SOROOSHIAN, S. (1994a). Estimation of mountain-front recharge to regional aquifers 1: Development of an analytical hydroclimatic model, *Water Resources Research*, 30(7), 2157-2167.
- CHE (2008). Plan Hidrológico del río Matarraña (versión provisional de la Confederación Hidrográfica del Ebro). 179 pp.
- CHE (2009). Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descarga por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico. Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección. Memoria Resumen IGME, Dirección General del Agua. 32 pp.
- CHE (1991). Estudio de los recursos hídricos subterráneos de los acuíferos de la margen derecha del Ebro. Zona III-Acuíferos de la zona baja. Informe General MOPT. Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Ebro. Clave: 09.803.201. 32 pp
- CUSTODIO, E. (2009) Recarga a los acuíferos extensos a partir de la deposición atmosférica de cloruros y de la temperatura del terreno. *Boletín Geológico y Minero*, 120 (4): 631-640 ISSN: 0366-0176
- CUSTODIO, E. (2010). Estimation of aquifer recharge by means of atmospheric chloride deposition balance in the soil. *Contributions to Science* 6(1): 81–97.
- CUSTODIO, E. (2011). Hidrogeología en regiones semiáridas y áridas. VII Congreso Argentino de Hidrogeología y V Seminario Hispano-Latinoamericano Sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. *Hidrogeología Regional y Exploración Hidrogeológica*. Salta, Argentina: 1–17. ISBN: 978–987–23936–9–4.
- CUSTODIO, E. (2013). Simple solutions for steady–state diffuse recharge evaluation in homogeneous unconfined aquifers using atmospheric tracers. Paper under final preparation to be submitted to *Hydrogeology Journal*.
- CUSTODIO, E. , LLAMAS, M.R. (eds.) (1976 / 1982). *Hidrología subterránea*. Ediciones Omega. Barcelona, 2 Vols: 1–2350.
- CUSTODIO, E., LLAMAS, M.R., SAMPER, J. (eds.) (1997). La evaluación de la recarga a los acuíferos en la planificación hidrológica. *Asociación Española de Hidrogeólogos–Grupo Español /ITGE*. Madrid: 455 pp.

- CUSTODIO, E., ALCALÁ, J., ESPINOSA MARTÍNEZ, S. (2011). La recarga como dato básico para la gestión de las aguas subterráneas: actuaciones del proyecto REDESAC. *Las Aguas Subterráneas: Desafíos de la Gestión para el Siglo XXI*. Eds. L.J. Lambán, T. Carceller, M. Valverde y C. Fernández-Jáuregui. Congreso Ibérico de Aguas Subterráneas. Zaragoza. Asociación Internacional de Hidrogeólogos-Grupo Español. Tema 3, Póster-comunicación. 8 pp (1 póster) (CD). ISBN: 978-84-938046-2-6.
- CUSTODIO, E., NARANJO, G. (2012). Deuterium excess in the Canary islands rainfall and groundwater. En: 7 ahpg, Asamblea hispano portuguesa de geodesia y geofísica, Donostia-San Sebastián 25-29 de junio de 2012. [CD-ROM]. Donostia: Aranzadi Zientzia Elkartea, 2013. P. 435-438. ISBN: 978-84-941323-1-5.
- CLAASEN HC, REDDY MM, HALM DR. (1986). Use of the chloride ion in determining hydrologic-basin water budgets: A 3-year case study in the San Juan Mountains, Colorado, USA. *Journal of Hydrology* 85: 49-71.
- CRUZ-FUENTES, T., BENAVIDES, A., NARANJO, G., CABRERA, M.C., HERNÁNDEZ, P., ESTÉVEZ, E., MARTÍN, L.F., CUSTODIO, E. (2011). Estimación de la recarga natural media en la zona noreste de Gran Canaria (Islas Canarias) mediante el balance de cloruros atmosféricos. *Las Aguas Subterráneas: Desafíos de la Gestión para el Siglo XXI*. Eds. L.J. Lambán, T. Carceller, M. Valverde y C. Fernández-Jáuregui. Congreso Ibérico de Aguas Subterráneas. Zaragoza. Asociación Internacional de Hidrogeólogos-Grupo Español. Tema 3, Póster-comunicación. 7 pp (1 póster) (CD). ISBN: 978-84-938046-2-6.
- CRUZ-FUENTES, T., CABRERA, M.C., HEREDIA, J. (2011). Los modelos numéricos como herramientas para la mejora del conocimiento hidrogeológico: el caso del acuífero de La Aldea (Gran Canaria). El conocimiento de los recursos hídricos en Canarias cuatro décadas después del proyecto SPA-15. 3.03. AIH-GE. ISBN: 978-84-938046-0-2.
- DETTINGER MD. (1989). Reconnaissance estimates of natural recharge to desert basins in Nevada, U.S.A., by using chloride-balance calculations. *Journal of Hydrology* 106: 55-78.
- EDMUNDS, W.M., DARLING, W.G., KINNIBURGH, D.G. (1988) Solute profile techniques for recharge estimation in semi-arid and arid terrain. I. Simmers (Ed.), *Estimation of Natural Groundwater Recharge*, Proc. NATO Advanced Research Workshop, Reidel, Dordrecht (1988), pp. 139-157
- ERIKSSON, E., (1960) The yearly circulation of chloride and sulfur in nature; Meteorological, geochemical and pedological implications, 2, *Tellus*, 12, 63-109.
- ERIKSSON, E., KHUNAKASEM, V. (1969). Chloride concentrations in groundwater, recharge rate and rate of deposition of chloride in the Israel coastal plain. *Journal of Hydrology* 7(2): 178-197.

- ESPINOSA, S., CUSTODIO, E., ALCALÁ, F.J., LAMBÁN, L.J. (2012). Estimación de la recarga en el Baix Ebre (Cataluña, España) mediante el método de balance de la deposición total de cloruro atmosférico. En: 7 ahpg, Asamblea hispano portuguesa de geodesia y geofísica, Donostia–San Sebastián 25–29 de junio de 2012. [CD–ROM]. Donostia: Aranzadi Zientzia Elkarte, 2013. P. 535–539. ISBN: 978–84–941323–1–5.
- ESPINOSA, S., CUSTODIO, E., LOASO, C. (2013). Recarga en el sistema acuífero de Ports de Besseit–Plana de la Galera (Baix Ebre, Tarragona). X Simposio de Hidrogeología. Granada. Hidrogeología y Recursos Hidráulicos. Asociación Española de Hidrogeólogos. Madrid, XXX: 605–615. ISBN: 978–84–7840–914–3.
- ESPINOSA, S., CUSTODIO, E., LOASO, C. (2014). Estimación de la recarga en un sistema acuífero de montaña y llano: caso de los Ports de Besseit-Tortosa-Plana de La Galera (Baix Ebre, Tarragona, España). V Congreso Colombiano de Hidrogeología. I Seminario Internacional sobre temas actuales en Hidrología Subterránea. Medellín, Colombia (enviado).
- ESPINOSA, S., CUSTODIO, E., LOASO, C. (2014). Estimación de la recarga media multianual a acuíferos: aplicación al Baix Ebre, Tarragona, España. II Congreso Ibérico de aguas subterráneas. Asociación Internacional de Hidrogeólogos. Valencia (enviado).
- FORTE LAY, J.A., VILLAGRA, M.M. (1986). El balance hidrológico de Thornthwaite y Mather (1955) aplicado bajo diferentes unidades de tiempo. Verificación con valores observados y comparación de resultados. Actas del XI Congreso Nacional del Agua (Córdoba, Argentina). Tomo I, Aguas Superficiales 1. pp. 89-119.
- FREEZE, R.A., CHERRY, J.A. (1979). Groundwater. New Jersey: Ed. Prentice Hall. 604 p.
- GASPARINI, A., CUSTODIO, E., FONTES, J.Ch., JIMENEZ, J., NÚÑEZ, J.A. (1990). Exemple d'étude géochimique et isotopique de circulations aquifères en terrain volcanique sous climat semi-aride (Amurga, Gran Canaria, îles Canaries). Journal of Hydrology. 114(1990): 61–91.
- GLOVER, R. E. (1964). Ground-Water movemenl. V.S. Bureau of Reclamation Engineering. Monograph Series, 31, 31-34.
- HALFORD, K.J., MAYER, G.C. (2000). Problems associated with estimating ground water discharge and recharge from steams-discharge records. Ground Water, 38: 331-342.
- HELY, A.G., MOWER, R.W., HARR, C.A. (1971). Water resources of Salt Lake County, Utah, Utah Dept. of Natural Resour., Technical Publication No.31.

- HEREDIA, J., MANZANO, M., ORTEGA, L., GONZÁLEZ-RAMÓN, A., RODRÍGUEZ ARÉVALO, J., MUÑOZ DE LA VARGA, D. (2013). Numeric check of the preliminary inputs of  $^{222}\text{Rn}$  of the conceptual model of the Deep Aquifer System of Ubeda (Jaén, Spain). En: 7ª Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica, Donostia-San Sebastián, 2012. Aranzadi Zientzia Elkarte: 455-462. ISBN: 978-84-941323-1-5.
- HERNANDEZ-QUESADA, P., CABRERA, M.C., CUSTODIO, E (2011). Ensayo de balance hídrico de las cuencas de los barrancos de Moya y Azuaje (norte de Gran Canaria): estimación de recarga mediante balance de la deposición atmosférica de cloruros. Congreso Ibérico Aguas Subterráneas: desafíos de la gestión para el siglo XXI. AIH-GE. Zaragoza 2011.
- HERRERA, C. (2001). Caracterización hidrogeoquímica del Macizo de Betancuria, Fuerteventura, Archipiélago de Canarias. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona. 223 pp.
- HIGERAS, H. (2014). Relación entre el acuífero y los arroyos y humedales del manto eólico litoral de Doñana. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cartagena, Murcia. 512 pp.
- HORNERO, J., MANZANO, M., ORTEGA, L. (2012). Estimación de la recarga natural en la Masa de Agua Subterránea Alcadozo (Cuenca del Segura, España) mediante balance de cloruro atmosférico y modelación del balance de agua en el suelo. (presentado VIII Congreso Argentino de Hidrogeología / VI Seminario Hispano-Latinoamericano sobre Temas Actuales en Hidrología Subterránea).
- HORNERO, J., MANZANO, M., ORTEGA, L., CUSTODIO, E (2013). Recarga natural al acuífero de Alcadozo (España) mediante balance de cloruro atmosférico y balance de agua en el suelo. En González, N., Kruse, E.E., Trovatto, M.M., Laurencena, P. (eds). Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Editorial de la Universidad de La Plata (Eduulp). La Plata: 189-196. ISBN: 978-987-1985-03-6.
- JIMÉNEZ-MARTÍNEZ, J. (2010). Acuífer recharge from intensively irrigated farmland. Several approaches. Tesis Doctoral. Grupo de Hidrología Subterránea. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- JURY, W.A., GARDNER, W.R., GARDNER W.H. (1991). Soil physics. 5th ed. John Wiley & Sons, New York.
- KESSLER, H. 1965. Water balance investigations in the karst regions of Hungary. Actes Collection. Dubrovnik, AIHS-UNESCO 1:91-105.
- LAMBÁN, L.J. (1998). Estudio de la recarga y del funcionamiento hidrogeológico de la unidad Anoiá (cordillera Prelitoral catalana). Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.

- LERNER, D.N., ISSAR, A.S., SIMMERS, I. (1990). Groundwater recharge. A guide to understanding and estimating natural recharge. IAH International Contributions to Hydrogeology 8. Heise. Hannover. 345 pp.
- MANNING, A.H. (2002). Using noble gas tracer to investigate mountainblock recharge to an intermountain basin, Dissertation, University of Utah.
- MAURER, D.K., PRUDIC, D.E., BERGER, D.L., THODAL, C.E. (1999). Sources of water flowing into basin-fill aquifers underlying Carson City, Nevada, Geological Society of America, 1999. Annual Meeting Abstracts with Programs, 31(7), 87.
- MEINZER, O.E. (1923). Outline of ground-water hydrology with definitions, US Geological Survey Water Supply Paper 494.
- NARANJO, G., CABRERA, M.C., HERNÁNDEZ–QUESADA, P., ESTÉVEZ, E., MARTÍN, L.F., CUSTODIO, E. (2012). Los trabajos del proyecto REDESAC en el norte de Gran Canaria: estimación de la recarga natural mediante balance de cloruros atmosféricos. En Santamarta Cerezal., J.C. (ed.). Avances en la Investigación de los Recursos Hídricos en Islas y Terrenos Volcánicos. Universidad de La Laguna, Tenerife: 37–48.
- NEITSCH, S.L., ARNOLD, J.G., KINIRY, J.R., SRINIVASAN, R., WILLIAMS, J.R. (2005a-b). Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation, version 2005. Temple, TX: Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Agricultural Research Service. Available at: [www.brc.tamus.edu/swat/doc.html](http://www.brc.tamus.edu/swat/doc.html). Accessed 1 November 2006.
- ORTEGA, L., HORNERO, J., MANZANO, M. (2012). Aplicación de la medición in situ de  $^{222}\text{Rn}$  para identificar y cuantificar descargas de agua subterránea en el Río Mundo (Albacete, España). 7ª Asamblea Hispano–Portuguesa de Geodesia y Geofísica. Donostia–San Sebastian: 501–504.
- ORTEGA, L., HORNERO, J., MANZANO, M. (2013). Identificación y cuantificación de la descarga de agua subterránea al río Mundo (Albacete, España) mediante  $^{222}\text{Rn}$ . X Simposio de Hidrogeología, Asociación Española de Hidrogeólogos. Granada, 16–18 de octubre de 2013. En: Hidrogeología y Recursos Hidráulicos, XXX: 585–594. ISBN: 978–84–7840–914–3.
- QUERALT, E. (2002). Desenvolupament d'un model matemàtic per a la gestió dels recursos subterranis de la Unitat Anoia. Vol. I. Tesis de Master. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona. 239 pp.
- RICE, C.W., SMITH, M.S., BLEVINS, R.L. (1986). Soil nitrogen availability after long-term continuous no-tillage and conventional tillage corn production. Soil Sci. Soc. Am. J. 50:1206-1210.



- RORABAUGH, M. (1964). Estimating changes in bank storage and ground-water contribution to streamflow. Intern. Assoc. Scientific Hydrology. Publ. 63, 432-441.
- SAMPER, J. (1997a). Métodos de evaluación de la recarga por la lluvia por balances de agua: utilización, calibración y errores. En: La evaluación de la recarga a los acuíferos en la planificación hidrológica. Seminario de la AIH-GE. E. Custodio, M.R. Llamas y J. Samper editores, Ed. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid. pp. 41- 79.
- SAMPER, J., HUGUET, LI., ARES, J., GARCÍA-VERA, MA. (1999/2005). Manual del usuario del programa VISUAL BALAN v2.0: código interactivo para la realización de balances hidrológicos y la estimación de la recarga. Publicación Técnica de ENRESA. Madrid. 134 pp.
- SAMPER, J., PISANI, B., LI, Y. (2010). Ullals of the Ebre Delta, La Plana de la Galera and Tortosa alluvial aquifers (Catalonia, Spain): Spanish case study. CLIMWAT Project, Univ. da Coruña. 91 pp.
- SCANLON, B.R., HEALY, R.W., COOK, P.G. (2002). Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. Hydrogeology Journal 10(1): 18–39.
- SCANLON, BR., KEESE, K.E., FLINT, AL., FLINT, L.E., GAYE, C.B., EDMUNDS, W.M., SIMMERS, I. (2006). Global synthesis of groundwater recharge in semiarid and arid regions. Hydrological Processes 20: 3335–3370.
- SIMMERS, I. (1988). Estimation of Natural Groundwater Recharge. Boston: Ed. Reidel, NATO ASI Series. 510p.
- SIMMERS, I., HENDRICKX, J.M.H., KRUSEMAN, G.P., RUSHTON, K.R. (1997). Recharge of phreatic aquifers in (semi)arid areas. Intern. Assoc. Hydrogeologists, Contributions to Hydrogeology 19. Balkema: 1–277.
- SHARMA, M.L., BARI, M., BYRNE, J. (1990). Dynamics of seasonal recharge beneath a semiarid vegetation on the Gngangara Mound, Western Australia. Hydrol. Proc., 5: 383-398.
- SHUKHIJA, B.S., REDDY, D.V., NAGABHUSHANAM, P., CHAUD, R. (1988). Validity of the environmental chloride method for recharge evaluation of coastal aquifers, India. Journal of Hydrology, 99: 349–366.
- TOUHAMI, I. (2009). Análisis comparativo entre varios métodos de estimación de recarga en ambientes semiáridos: caso del acuífero Ventós-Castellar (Alicante). Ecosistemas 18(1):74-77.

- TALLADA, F. (2004). Estudi Tècnic i Jurídic d'Alternatives en la zona regable del canal Xerta-riu Sénia. Generalitat de Catalunya, Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca, Direcció General de Desenvolupament Rural. pp. 47. (Informe interno del MAGRAMA).
- TOURÍS, R. (1986). Recursos hídrics de la vessant catalana de l'Ebre. Servei Geològic de Catalunya. Departament de Política Territorial i Obres Públiques. Barcelona. 300 pp. (Informe interno del Servei Geològic de Catalunya).
- VARNI, M., CUSTODIO, E. (2013). Estimación de la recarga al acuífero del Azul: 2. Balances de agua en el suelo y de deposición atmosférica de cloruro. En González, N., Kruse, E.E., Trovatto, M.M., Laurencena, P. (eds). Agua Subterránea Recurso Estratégico. Editorial de la Universidad de La Plata (Eduulp). La Plata. Tomo 1: 38–45. ISBN: 978–987–1985–03–6.
- WEINZETTEL, P., USUNOFF, E. (2005). Metodología de modelación de la zona no saturada. Aplicación a un suelo argiudol en la cuenca del arroyo Azul. IV Congreso de Hidrogeología, Hidrología subterránea y Aspectos Ambientales, Río Cuarto, Córdoba, Tomo II, pp. 187-195.
- WILSON, J.L., GUAN, H. (2004). Mountain-Block Hydrology and Mountain-Front Recharge. New Mexico Institute of Mining and Technology, Socorro, New México. Water Sci. and Appl. Groundwater Recharge in a Desert Environment: The Southwestern United States. 23 pp.
- WOOD, E.F. (1997) Effects of Soil Moisture Aggregation on Surface Evaporative Fluxes. J.of Hydrology, 190. 397-412.
- WOOD, W.W. (1999). Use and misuse of the chloride–mass balance method in estimating ground water recharge. Ground Water, 37(1): 2–3.
- WOOD, W.W., SANFORD, W.E. (1995). Chemical and isotopic methods for quantifying ground water recharge in a regional semiarid environment. Ground Water 33, no. 3: 458-468.



## **ANEXO 1. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA** 207

## **ANEXO 2. CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DEL AGUA DE LLUVIA** 217

A.2.1. ANTECEDENTES EN LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA	217
A.2.1.1. DEPOSICIÓN ATMOSFÉRICA DE IÓN CLORURO	217
A.2.1.2. QUÍMICA ELEMENTAL DEL AGUA DE LLUVIA	219
A.2.2. ESTUDIO DEL AGUA DE LLUVIA DURANTE EL PERIODO 2010-2014	221
A.2.2.1. MATERIAL DE MONTAJE DEL COLECTOR DE AGUA DE LLUVIA	221
A.2.2.2. CONFIGURACIÓN DEL COLECTOR DE AGUA DE LLUVIA	221
A.2.2.3. MUESTREOS REALIZADOS DURANTE EL PERIODO 2011-2014	222
A.2.2.4. ANÁLISIS DE QUÍMICA ELEMENTAL DE AGUA DE LLUVIA Y VALORES DE DEPOSICIÓN ATMOSFÉRICA TOTAL	223
A.2.2.5. QUÍMICA ELEMENTAL DE AGUA DE LLUVIA	227
A.2.2.6. ISÓTOPOS DEL AGUA DE LLUVIA	228

## **ANEXO 3. CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA** 229

A.3.1. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA	229
A.3.2. VARIABILIDAD TEMPORAL	234
A.3.3. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL	241
A.3.3.1. SELECCIÓN DE PUNTOS REPRESENTATIVOS DE LA RECARGA EN LA ZONA DE ESTUDIO	243
A.3.3.2. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE LA CONCENTRACIÓN DE CLORURO EN EL AGUA SUBTERRÁNEA	245
A.3.3.3. CARACTERIZACIÓN DE MANANTIALES DE LA VERTIENTE NW DE LOS PORTS DE BESEIT	247
A.3.4. ISÓTOPOS DE LA MOLÉCULA DE AGUA	248
A.3.4.1. VARIABILIDAD DEL TRITIO ATMOSFÉRICO	249
A.3.4.2. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DEL TRITIO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS	250

## **ANEXO 4. ESTUDIO DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS** 251

A.4.1. PRIMERA SELECCIÓN DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS	251
A.4.2. TRATAMIENTO DE LOS DATOS	252
A.4.2.1. COMPARACIÓN DE LA PLUVIOMETRÍA DIARIA ACUMULADA EN FUNCIÓN DE LA COTA TOPOGRÁFICA	252
A.4.2.2. ANÁLISIS DE LA COINCIDENCIA DE EVENTOS	255
A.4.2.3. ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN GENERAL DE FRECUENCIA DE EVENTOS DE PRECIPITACIÓN	256
A.4.3. FUENTE DE LOS DATOS	258

## **ANEXO 5. HIDROMETRÍA** 259

A.5.1. OBTENCIÓN DE DATOS Y SELECCIÓN DE CAPTACIONES DE AGUA SUBTERRÁNEA	259
A.5.2. ESTUDIO DE HIDROGRAMAS	260
A.5.3. ESTIMACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE AGOTAMIENTO	265

**ANEXO 6. CARACTERIZACIÓN DE USOS DE SUELO Y REGADÍO \_\_\_\_\_ 273**

A.6.1. OBTENCIÓN DE DATOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE USOS DE SUELO _____	273
A.6.2. CLASIFICACIÓN DE USOS DE SUELO, CUANTIFICACIÓN DE SUPERFICIE REGABLE Y DOTACIONES POR MUNICIPIO _____	273
A.6.2.1. PROCEDENCIA DE LAS AGUAS DE REGADÍO _____	274
A.6.2.2. SUPERFICIE REGABLE Y DOTACIÓN _____	275
A.6.3. ESTIMACIÓN DE LOS EXCEDENTES DE RIEGO _____	277

**ANEXO 7. BALANCE DE AGUA EN EL SUELO \_\_\_\_\_ 279**

A.7.1. TRATAMIENTO DE LAS SERIES HIDROMETEOROLÓGICAS _____	279
A.7.1.1. SERIES DIARIAS DE DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS _____	279
A.7.1.2. CORRECCIÓN DE LA SERIE DIARIA DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL _____	280
A.7.2. BALANCE DE AGUA EN EL SUELO POR SUBZONAS _____	282
A.7.2.1. SELECCIÓN DEL MÉTODO DE CÁLCULO DE ETP CON EL CÓDIGO VISUAL BALAN _____	283
A.7.2.2. AJUSTE DE NIVELES PARA LA SELECCIÓN DEL MÉTODO DEL CÁLCULO DE LA ETP _____	283

Figura A.1. Ubicación de las estaciones de aforo de los cauces principales de la zona de estudio	212
Figura A.2.2.2.a. Configuración del colector de agua de lluvia	221
Figura A.2.2.2.b. Proceso de instalación de un colector de agua de lluvia	222
Figura A.3.2. Diagramas de columnas verticales para estudio de la variabilidad temporal del agua subt.	235
Figura A.3.3.a. Estudio de la distribución espacial. Diagramas Schoeller-Berkaloff grupo 1	241
Figura A.3.3.b. Estudio de la distribución espacial. Diagramas Schoeller-Berkaloff grupos 2 y 5	241
Figura A.3.3.c. Estudio de la distribución espacial. Diagramas Schoeller-Berkaloff grupo 3	242
Figura A.3.3.d. Estudio de la distribución espacial. Diagramas Schoeller-Berkaloff grupos 4, 6 y 7	242
Figura A.3.3.1.a. Relación entre cloruro ( $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$ ) y concentración de nitratos ( $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$ )	243
Figura A.3.3.1.b. Distribución de la concentración de ión cloruro del agua de recarga con $\text{NO}_3 < 30 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$	244
Figura A.3.3.2.a Distribución de frecuencias de concentración de cloruro de las aguas subt en la SZ1a y b	245
Figura A.3.3.2.b Distribución de frecuencias de concentración de cloruro de las aguas subt en la SZ2	245
Figura A.3.3.2.c Distribución de frecuencias de concentración de cloruro de las aguas subt en la SZ3	246
Figura A.3.3.2.d Distribución de frecuencias de concentración de cloruro de las aguas subt en la SZ4	246
Figura A.3.3.2.e Distribución de frecuencias de concentración de cloruro de las aguas subt en la SZ5	247
Figura A.3.3.3. Caracterización de las aguas subterráneas de los Ports de Beseit	247
Figura A.3.4. Distribución espacial de análisis químicos de la bibliografía y durante el periodo 2010-2013	249
Figura A.3.4.2.a Distribución de frecuencias de concentración de tritio de las aguas subt en el Baix Ebre	250
Figura A.3.4.2.b Diagrama de cajas de concentración de tritio de las aguas subterráneas en el Baix Ebre	250
Figura A.4.1.a. Ubicación de las estaciones meteorológicas preseleccionadas y seleccionadas	251
Figura A.4.2.1.a. Precipitación acumulada de las estaciones meteorológicas de Fredes y Els Ports	253
Figura A.4.2.1.b. Precipitación ac. de las EMET de La Sènia, Mas de Barberans y Els Valentíns	254
Figura A.4.2.1.c. Precipitación acumulada de las estaciones meteorológicas de Aldover, Aldea y Amposta	254
Figura A.4.2.2. Precipitación acumulada de las estaciones meteorológicas en el periodo (2007- 2011)	255
Figura A.4.2.3.a. Desviación de $P(\text{mm}/\text{d})$ respecto a la desv. de 1994-2011 para M. Barberans-Val	256
Figura A.4.2.3.b. Desviación de $P(\text{mm}/\text{d})$ respecto a la desv. de 1994-2011 para M. Barberans-Amp	257
Figura A.4.2.3.c. Desviación de $P(\text{mm}\cdot\text{d}^{-1})$ respecto a la desv. de 1994-2011 para M. Barberans-Ports	257
Figura A.4.2.4.d. Desviación de $P(\text{mm}\cdot\text{d}^{-1})$ respecto a la desv. de 1994-2011 para M. Barberans-Fredes	258
Figura A.5.1. Inventario de captaciones de agua subterránea con registro piezométrico histórico	259
Figura A.5.2.b. Hidrograma de niveles piez. comparados con el hidrograma de pluviometría. Grupo A	261
Figura A.5.2.c. Hidrograma de niveles piez. comparados con el hidrograma de pluviometría. Grupo B	262
Figura A.5.2.d. Hidrograma de niveles piez. comparados con el hidrograma de pluviometría. Grupo C	262
Figura A.5.2.e. Hidrograma de niveles piez. comparados con el hidrograma de pluviometría. Grupo D	263
Figura A.5.2.f. Hidrograma de niveles piez. comparados con el hidrograma de pluviometría. Grupo E	264
Figura A.5.2.g. Hidrograma de niveles piez. comparados con el hidrograma de pluviometría. Grupo F	264
Figura A.5.3.a. Hidrograma para la obtención del coeficiente de agotamiento del acuífero. OXE10	265

Figura A.5.3.b. Hidrograma para la obtención del coeficiente de agotamiento del acuífero. OXE105	266
Figura A.5.3.c. Hidrograma para la obtención del coeficiente de agotamiento del acuífero. ORO54	266
Figura A.5.3.d. Hidrograma para la obtención del coeficiente de agotamiento del acuífero. OSB28	267
Figura A.5.3.e. Hidrograma para la obtención del coeficiente de agotamiento del acuífero. OAM257	267
Figura A.5.3.f. Hidrograma para la obtención del coeficiente de agotamiento del acuífero. ORO93	268
Figura A.5.3.g. Hidrograma para la obtención del coeficiente de agotamiento del acuífero. ORO91	268
Figura A.5.3.h. Hidrograma para la obtención del coeficiente de agotamiento del acuífero. OGA4	269
Figura A.5.3.i. Hidrograma para la obtención del coeficiente de agotamiento del acuífero. OGO10	269
Figura A.5.3.j. Hidrograma para la obtención del coeficiente de agotamiento del acuífero. OMOV15	270
Figura A.5.3.k. Hidrograma para la obtención del coeficiente de agotamiento del acuífero. OSB13	270
Figura A.5.3.l. Hidrograma para la obtención del coeficiente de agotamiento del acuífero. OUL7	271
Figura A.5.3.m. Hidrograma para la obtención del coeficiente de agotamiento del acuífero. OUL39	271
Figura A.5.3.n. Hidrograma para la obtención del coeficiente de agotamiento del acuífero. OUL98	272
Figura A.5.3.ñ. Hidrograma para la obtención del coeficiente de agotamiento del acuífero. OAL100	272
Figura A.5.3.o. Hidrograma para la obtención del coeficiente de agotamiento del acuífero. OAL111	272
Figura A.6.2. Distribución de usos de suelo en el Baix Ebre	273
Figura A.6.3.1. Mapa de procedencia de las aguas superficiales y su uso en el área de estudio	274
Figura A.7.1.1.a. Correlación de precipitaciones acumuladas diarias de las EMET M. Barberans y Ports	279
Figura A.7.1.1.b. Correlación de velocidad del viento acumulada diaria de las EMET M. Barberans y Ports	279
Figura A.7.1.1.c. Correlación de humedad relativa acumulada diaria de las EMET M. Barberans y Els Ports	280
Figura A.7.1.2.a. Correlación de ETP diaria de la EMET M. Barberans para el periodo 1995-1999	281
Figura A.7.1.2.b. Correlación de ETP diaria de la EMET PN Els Ports para el periodo 12007-2011	281
Figura A.7.1.2.c. Valores de ETP diaria obtenida por diferentes métodos para la EMET M. Barberans	281
Figura A.7.1.2.d. Valores de ETP diaria obtenida por diferentes métodos para la EMET de PN de Els Ports	282
Figura A.7.2.a. Variación del flujo de salida de la zona edáfica con humedad del suelo, SZ1 y SZ2	282
Figura A.7.2.b. Variación del flujo de salida de la zona edáfica con humedad del suelo, SZ3	282
Figura A.7.2.c. Variación del flujo de salida de la zona edáfica con humedad del suelo, SZ4 y SZ5	283
Figura A.7.2.1.a. Hidrograma de niveles calculados vs niveles medidos y su ajuste en SZ1	284
Figura A.7.2.1.b. Resultados diarios y mensuales de precipitación, caudales y escorrentía superficial en SZ1	285
Figura A.7.2.1.c. Hidrograma de niveles calculados vs. niveles medidos y su ajuste en SZ2	285
Figura A.7.2.1.d. Resultados diarios y mensuales de precipitación, caudales y escorrentía superficial en SZ2	286
Figura A.7.2.1.e. Hidrograma de niveles calculados vs. niveles medidos y su ajuste en SZ3	286
Figura A.7.2.1.f. Resultados diarios y mensuales de precipitación, caudales y escorrentía superficial en SZ3	287
Figura A.7.2.1.g. Hidrograma de niveles calculados vs. niveles medidos y su ajuste en SZ4	287
Figura A.7.2.1.h. Resultados diarios y mensuales de precipitación, caudales y escorrentía superficial en SZ4	288
Figura A.7.2.1.i. Hidrograma de niveles calculados vs. niveles medidos y su ajuste en SZ5. Serie 1	288
Figura A.7.2.1.j. Resultados diarios y mensuales de precipitación, caudales y escorrentía superficial en SZ5	289
Figura A.7.2.1.k. Hidrograma de niveles calculados vs. niveles medidos y su ajuste en SZ5. Serie 2	289
Figura A.7.2.1.l. Resultados diarios y mensuales de precipitación, caudales y esc superficial en SZ5. Serie 2	289



Tabla A.1.a. Inventario de puntos de agua de la zona de estudio _____	208
Tabla A.1.b. Inventario de puntos de agua con registro piezométrico histórico _____	211
Tabla A.1.1.c. Inventario de estaciones de aforo de los cauces principales de la zona de estudio _____	212
Tabla A.1.d. Inventario de puntos de agua con análisis químico elemental completo _____	213
Tabla A.1.e. Inventario de puntos de agua con análisis isotópico de la molécula de agua _____	215
Tabla A.2.1. Características geográficas y periodo de muestreo previo de la lluvia en Roquetes _____	217
Tabla A.2.1.1.a. Dep. atmosférica total de ión cloruro, $A_p$ ( $g \cdot m^{-2}$ ) en el periodo 2002- 2003 (Alcalá, 2005) _____	217
Tabla A.2.1.1.b. Dep. atmosférica húmeda de ión cloruro registrada en la estación ES03 (1987-2003) _____	218
Tabla A.2.1.1.c. Comparación de la deposición total y húmeda de Cl en la estación de Roquetes _____	219
Tabla A.2.1.2.a. Análisis químico de agua de lluvia en el colector de agua de lluvia TMM PA (2002-2003) _____	220
Tabla A.2.1.2.b. Análisis químicos de agua de lluvia en ES03-Roquetes (1987-2003) _____	220
Tabla A.2.2.3.a. Muestréos realizados durante el periodo de estudio (2011-2014) _____	222
Tabla A.2.2.3.b. Muestréos considerados para el periodo de estudio (2011-2014) _____	222
Tabla A.2.2.4.a. Química básica y deposición atmosférica total _____	223
Tabla A.2.2.4.b. Cálculo de la deposición atmosférica de cloruro medio anualizado _____	226
Tabla A.2.2.4.c. Cálculo de deposición atmosférica de cloruro medio anual (feb2011-mar2014) _____	226
Tabla A.2.2.5. Concentración de iones mayoritarios, relaciones iónicas principales y error analítico _____	227
Tabla A.2.2.6. Resultados de los análisis isotópicos del agua de lluvia para los muestréos de 2011 _____	228
Tabla A.3.1 (1/5). Análisis de química elemental completa de las aguas subterráneas _____	230
Tabla A.3.2 Análisis seleccionados de química elemental de las aguas subterráneas _____	240
Tabla A.3.3.1. Selección de los puntos con la concentración de ión cloruro con $NO_3 < 30 \text{ mg} \cdot L^{-1}$ _____	243
Tabla A.3.3.2.a. Datos de partida para la distribución de frecuencias de los valores de Cl en la SZ1a y b _____	245
Tabla A.3.3.2.b. Datos de partida para la distribución de frecuencias de los valores de cloruro en la SZ2 _____	245
Tabla A.3.3.2.c. Datos de partida para la distribución de frecuencias de los valores de cloruro en la SZ3 _____	246
Tabla A.3.3.2.d. Datos de partida para la distribución de frecuencias de los valores de cloruro en la SZ4 _____	246
Tabla A.3.3.2.e. Datos de partida para la distribución de frecuencias de los valores de cloruro en la SZ5 _____	246
Tabla A.3.4. Totalidad de los análisis isotópicos de la molécula de agua de las aguas subterráneas _____	248
Tabla A.3.4.1.a. Desviación estándar, media y variación relativa anual de tritio (1971-1987) _____	249
Tabla A.3.4.1.b. Desviación estándar, media y variación relativa de la variación del tritio en la lluvia _____	249
Tabla A.3.4.2.a. Datos de partida de los valores de tritio de las aguas subterráneas _____	250
Tabla A.3.4.2.b. Datos para el diagrama de cajas de los valores de tritio de los extremos A, B y C _____	250
Tabla A.4.1. Información sobre el registro de las estaciones meteorológicas seleccionadas _____	252
Tabla A.4.2.1. Grupos de estaciones en función de la cota topográfica en la que se encuentran ubicadas _____	253
Tabla A.4.2.2. Pluviometría en mm de los eventos breves significativos del periodo 2007-2011 _____	256
Tabla A.3.a. Estaciones meteorológicas con datos procedentes de "METEOCAT" _____	258
Tabla A.3.b. Estaciones meteorológicas con datos procedentes de "AEMET" _____	258

Tabla A.5.1. Inventario de puntos de control con registro piezométrico histórico _____	260
Tabla A.5.2.a. Puntos de control vs estación meteorológica para comparación de hidrogramas piez. _____	260
Tabla A.5.3.a. Calculo del coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ). OXE10 _____	265
Tabla A.5.3.b. Calculo del coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ). OXE105 _____	266
Tabla A.5.3.c. Calculo del coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ). ORO54 _____	266
Tabla A.5.3.d. Calculo del coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ). OSB28 _____	267
Tabla A.5.3.e. Calculo del coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ). 0AM257 _____	267
Tabla A.5.3.f. Calculo del coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ). ORO93 _____	268
Tabla A.5.3.g. Calculo del coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ). ORO91 _____	268
Tabla A.5.3.h. Calculo del coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ). 0GA4 _____	269
Tabla A.5.3.i. Calculo del coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ). 0GO10 _____	269
Tabla A.5.3.j. Calculo del coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ). 0MV15 _____	270
Tabla A.5.3.k. Calculo del coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ). OSB13 _____	270
Tabla A.5.3.l. Calculo del coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ). 0UL7 _____	271
Tabla A.5.3.m. Calculo del coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ). 0UL39 _____	271
Tabla A.5.3.n. Calculo del coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ). 0UL98 _____	272
Tabla A.5.3.ñ. Calculo del coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ). 0AL100 _____	272
Tabla A.5.3.o. Calculo del coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ). 0AL111 _____	272
Tabla A.6.2. Agrupaciones de usos de suelo y superficie ocupada _____	273
Tabla A.6.2.1.a. Procedencia de las aguas superficiales y su uso en el área de estudio (ACA, 1998) _____	274
Tabla A.6.2.1.b. Procedencia de las aguas subterráneas y su uso en el área de estudio. (ACA, 1998) _____	275
Tabla A.6.2.1.c. Aportación derivada del río Ebro _____	275
Tabla A.6.2.1.d. Aportaciones laterales. (ACA, 1998) _____	275
Tabla A.6.2.2.a. Derivaciones de agua de manantiales o barrancos a las zonas regables. (ACA, 1998) _____	275
Tabla A.6.2.2.b. Extracciones de agua subterránea en las zonas regables. Fuente: (ACA, 1998) _____	276
Tabla A.6.2.2.c. Comparativa de superficies de riego actuales con agua subt. y superficial. (ACA, 1998) _____	276
Tabla A.6.3.a. Estimación de excedentes de riego a partir de agua subt. por municipio. (ACA, 1998) _____	277
Tabla A.6.3.b. Estimación de excedentes de riego a partir de agua sup. y de manantiales. (ACA, 1998) _____	277
Tabla A.7.1.1. a. Periodo de datos de partida de las series diarias de datos meteorológicos _____	279
Tabla A.7.1.1.b. Factores de corrección para la serie de datos 1994-2011 de la estación Ports _____	280
Tabla A.7.1.2. Factor de corrección para la serie de datos 1994-2011 de ETP diaria _____	281
Tabla A.7.2.1. Resultados balance de agua en el suelo en función del método de cálculo de la ETP _____	283
Tabla A.7.2.2. Error de ajuste en los niveles piezométricos (m snm) para cada sub-zona _____	290

## ANEXO 1. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

La base de datos generada durante el desarrollo de esta Tesis Doctoral reúne datos pertenecientes a diferentes fuentes:

- Base de datos interna de La Agència Catalana de l'Aigua (ACA), oficina de Tortosa.
- Base de datos pública de la Confederación Hidrográfica del Ebro.
- Consulta de bibliografía existente (Touris, 1986; Badiella, 2009; Ansón y Yañez, 2010).

Y los datos generados durante el desarrollo de esta Tesis de Master.

Nomenclatura de la identificación del punto:

I SS XXX

I: Fuente de origen de los datos.

- 0- Inventario de puntos de agua interno de la ACA
- 1- Inventario de puntos de agua publicado en la web de la ACA
- 2- Trabajo de curso del 43 edición Curso Internacional de Hidrología Subterránea.
- 3- Trabajo hidrogeológico (Touris, 1986).
- 4- Inventario de puntos de agua generado durante el desarrollo de esta Tesis de Master
- 5- Inventario de puntos de agua interno de la CHE

SS: Indica las iniciales del término municipal al cual pertenece el punto dentro de la zona de estudio.

XXX: numeración del punto dentro del término municipal.

Tabla A.1.a. Inventario de puntos de agua de la zona de estudio (1 de 4).

Expediente	Topónimo	Nombre	Tipo	X (m)	Y (m)	Z (msnm)	Orto	Titular	Prof (m)	Diám (m)	Usc
OAD107	Mayets		P	286537	4527339	125		GANADOS Y CARNES ALGUERO MONTESO, SRC			A
OAD107	Barberana		P	285885	4526350	110	496-12-7	FONTANET ALBALAT, JOSE	130	350	A
OAD113	GRALLONS		P	287140	4526132	85		CR GRALLONS			A
OAD24	Pla d'Alfara		P	287295	4528505	85		PONS PEGUEROLLES, JOAN			A
OAD27	Bordans		P	288825	4528745	18.96	497-1-6	AVIÑO HUGUET, GERARD	47	400	A
OAD46	Plana d'Alfara	LUCERO ANGUERA, JOAQUIN I ALTRES	P	286380	4528460	112.8	496-12-6	CR POU TAMARID-CODOLLA	130	300	A
OAD48	Plana d'Alfara	Pou Granges de Sarpa	P	283910	4526620	160		BERTOMEU MARTI, JUAN			A
OAD83		Pou complementari AVUNTAMENT ALDOVER	P	289349	4526889	30.1	487-1-6	AJUNTAMENT ALDOVER			D
OAL10	El Pla		P	289245	4492705		547-2-6	BELTRAN VALLS, CONCEPCION	28	1500	A
OAL100	Piezòmetre Sol de Riu		S	288850	4489385	20.8	547-1-7		120		C
OAL101			P	294105	4498055		547-4-3	MATAMOROS MATAMOROS, JOSEP	87	300	A
OAL108		Pou Sant Miquel	P	286320	4491230			AJUNTAMENT D'ALCANAR	62.42		D
OAL109	Les Cases	Pou Abast. Les Cases (Creu Roja)	P	290400	4492810			AJUNTAMENT D'ALCANAR			A
OAL11	Codonyol		P	294380	4499240	80	547-4-3	REVERTER REVERTER, AGUSTIN			A
OAL110	Casc urbà	Pou Dipòsit (Nou)	P	286260	4491400	109.55	564-12-6	AJUNTAMENT D'ALCANAR	209	220	D
OAL111	Cementeri	Tio Pepe 2	P	287185	4491680	104.18	547-1-7	PEÑA ARRIBAS, JOSE I JULIO	230	350	A
OAL113	Calafes		P	288880	4492770	31	547-2-6	GIL FABREGAT, JOSEP MARIA	40	2500	A
OAL114	El Marjal	Fondo de Jan	P	290030	4491535		547-2-6	FABREGAT FIGUERES, MIGUEL I M. CARMEN	4.5	1500	A
OAL115	Mallades		P	289215	4490970		547-2-7	FABREGAT FIGUERES, MIGUEL I M. CARMEN	15	1500	A
OAL116	El Pla		P	290015	4492495	35	547-2-6	FABREGAT FIGUERES, MIGUEL I M. CARMEN	25	3600	A
OAL118	El Marjal		P	289905	4491840		547-2-6	REVERTER TULESA, RAMON	5.62	2500	A
OAL119	Can Conil		P	290440	4492760	22	547-2-6	PLA GUASCH, BEL Manolo	5.62	2500	A
OAL12	Sant Josep del Pla		P	289305	4492340	20	547-2-6	GARCIA CASTRO, JUAN BAUTISTA I ALTRE			A
OAL120		Biots-Villa	P	289655	4490205	11	547-2-7	GIL FABREGAT, JOSEP MARIA			A
OAL121		Pou FONDA	P	291445	4494225	28	547-3-5	QUERALT, MIGUEL	28	4000	A
OAL122	El Marjal		P	290180	4490835	2.9	547-2-6	Desconocido			A
OAL125	La Punta	Pou Cases d'Alcanar 1 (Estació meteorològica)	P	290400	4492825	26.17	547-2-6	AJUNTAMENT D'ALCANAR			D
OAL126		Pou Irta	P	286450	4490275		546-12-5	DARP			A
OAL127		Pou de la Verge	P	287425	4491330		547-1-6	COMUNITAT DE REGANTS			A
OAL128		Pou Santíssima Trinitat	P	288735	4491255		547-1-6	COMUNITAT DE REGANTS			A
OAL129		Pou Santa Teresa	P	287280	4492655		547-1-6	COMUNITAT DE REGANTS			A
OAL130		Toni	P	287840	4490755	35	547-1-7	REVERTER FABREGAT, A JOSE	41.5	2500	A
OAL132		Pedregals	P	288080	4491970		547-1-6	GIL FABREGAT, JOSEP MARIA	90	400	A
OAL133		Pou Cisterna	P	284875	4491255		546-12-6	COMUNITAT DE REGANTS			A
OAL134		C. Viral	P	289565	4490385	5	547-2-7	SANCHO, JULIAN			A
OAL135		Granja de Patorrat	P	288270	4490115		547-1-7	BUNYOLS, Enric			A
OAL136	Castellans		P	287481	4493132		547-1-6	ANA MARIA ULDEMOLINS SOLDEVILA	110	300	A
OAL137		Crevetes	P	285715	4490745		546-12-7	FABREGAT, F			A
OAL138	Cases d'Alcanar	Cinto	P	290955	4492780		547-2-6	AGROPUNTA, SL			A
OAL14	Mas d'en Galès		P	289400	4493850	37	547-1-6	MONLLAU CABALLE, CINTA	40		A
OAL140		Collets	P	285940	4492010		547-2-6		170	400	A
OAL143		Pla - Bel	P	290440	4492760	22.02	546-12-6	BEL, MANOLO PLA, JOSE			A
OAL144			P	286160	4492340	127	547-2-6	FIBLA QUERALT, JOAN RAMON	198	200	A
OAL146		Rentadors	P	287063	4491055		547-1-7	Desconocido			A
OAL150		Puig Gros	P	284745	4491715		546-12-6	COMUNITAT DE REGANTS			A
OAL151			P	286724	4491487		547-1-5	Desconocido			A
OAL155	Martinencia		P	293740	4492250	45	547-3-4	CR VENTA DE L'AIRE	64	140	A
OAL162	Codonyol		P	294350	4496975	9	547-4-4	MASIA VERDERA, MP CARMEN	22	300	A
OAL165	Casc urbà	Pozo apartamentos	P	293850	4495900	6	547-3-4	CP MAREE VOSTRUM	12	300	D
OAL166	Mallades		P	288180	4490800		547-1-6	BORT SANCHO, JOSE			A
OAL213	Martinencia		P	292860	4495575	12	547-3-5	ALFARA GARRIGA, VALENTI	20	200	A
OAL213	Martinencia	Pou 1 Urb. Monte Carlo	P	292830	4495308		547-3-5	AIXENDRI ARASA, JUAN I ALTRA	12	1200	D
OAL45	Cogol	Corral de Sogués	P	294495	4498125	52	547-4-3	VIDAL SUBIRATS, JOSE			A
OAL60	Martinencia	LLEIXA VERGE, ALBERT	P	293380	4496650	37		CU MIMOSAS			D
OAL8	Mas d'en Serra	Finca	P	290070	4493615		547-2-5	REVERTER CASTELL, JOAN	90	400	A
OAM102	Ametller		P	292885	4507623	58	522-3-7	MONFORT ESPUNY, VALENTIN	120	350	A
OAM109	MAS D'EN SEVIL		P	296136	4502857	25		PAGA DOMENECH, JOSE JUAN	27	1200	A
OAM114	Montsiànel		P	293670	4507450		522-3-7	RUGARRO	85	300	A
OAM117	MAS D'EN CARRASCA		P	295923	4506121	13.5		PONS JORNET, CINTA	12	3000	A
OAM146	Tapa o Favaret		P	293754	4508189	48		SUBIRATS TOMAS, CAROLINA TERESA			A
OAM154	COMUNETS		P	294531	4508586	32.5		TORRES VICENTE, PLACIDO	32	1500	A
OAM161	Montsià	Pou Montsiànel	P	292872	4505456	111.5	522-3-8	MARTINEZ LORENTE, HERMANOS	150	350	A
OAM163			P	293975	4508550	60	522-3-7	MARGALEF SANJUAN, ROSA	106	500	A
OAM165	Molinàs		P	293950	4511365		522-3-6	SAT POU MOLINAS	135	300	A
OAM166	Pinis		P	294000	4510225		522-3-6	SAT POU 3945	108	350	A
OAM172	Ametller		P	292553	4507868	75	522-3-7	CORBERA FERRE, JORGE SANTIAGO	90	300	A
OAM174	Collades		P	292225	4508550	89	522-3-7	CR COLLADES-ROSER			A
OAM175	Collades		P	292885	4508385	82	522-3-7	BIOSCA MILLAN, JUAN DOMINGO I ARASA ESPUNY MP CINT			A
OAM177	Pinis	Pou Pinis	P	294125	4509620	32	522-3-6	AJUNTAMENT D'AMPOSTA	105	500	D
OAM178	Mas d'en Civilil	Pou ecologic Ebre	P	295060	4504970	40	522-4-8	BEL PANISELLO, SANTIAGO	53	250	D
OAM180	Canil de Granell		P	295450	4505630	57	522-4-8	LAFONT LLASAT, J.J.	30	300	A
OAM184	Les Roques		P	294750	4510850	35	522-4-6	ORTI VALLES, ENRIC ALTRE	90	300	A
OAM187	Tapa	ANTIC PROPRIETARI ROYO NOE ROGELIO	P	294695	4507740	28	522-4-7	TORTA GASOL ROSA ALBA	22	1600	A
OAM189	Tapa		P	294340	4507815	35	522-4-7	MIRALLES GARCIA, CONCEPCION	74	450	A
OAM192	Montsiànel		P	294250	4506600	65	522-4-8	BARRERA GUIX, JOSEFA I MARTA	81	300	A
OAM193	Molinet		P	296350	4508900	10	522-4-7	HERKÀ, SA	20	300	A
OAM194	Comunets		P	295160	4508365	20	522-4-7	ROCA CODORNIU, FERNANDO	25	2000	A
OAM199			P	295100	4508350	20	522-4-7	ROCA DODORNIU, FRANCISCO	20	2000	A
OAM202	Pinis	Pou Els Avets	P	293105	4510650	80	522-3-6	SAT ELS AVETS	145	350	A
OAM205	Mas d'en Civilil		P	296540	4502920	10	547-5-1	REVERTER FORNE, ANGEL	13	1800	A
OAM208	La Ferrereta o Cabiscol		P	294360	4506770	65	522-4-8	AGUILO CHAVARRIA, SECUNDINO	80	250	A
OAM213	Molinàs		P	295320	4511730		522-3-6	MOLINAS AGRICOLA Y GANADERA, SL			A
OAM216	Cabiscol		P	292430	4507095		522-3-8	CHAVARRIA MASIA, ANTONIO	135	300	A
OAM217	Pinis		P	294015	4509705	40	522-3-6	REINAO CURTO, MIGUEL I ARTOLA DOMINGO, MARGARITA	72	250	A
OAM220	Mas d'en Civilil	Pou Racó	P	295340	4502945	90	547-4-1	CR POU RACO	95	300	D
OAM228	Mas d'en Civilil		P	296600	4502280	25		FERRE IBAÑEZ, AGUSTI			A
OAM238	Mas d'en Carrasca		P	294950	4505170	42	522-4-8	JORNET SOLE, JOSE JUAN			A
OAM240	Oriola		P	295400	4507980		522-4-7	ARASA ESPUNY, ROGELIA			D
OAM242	Tossets		P	293550	4508880	85.32	522-3-7	MARTIN PERALES, ROSENDO			I
OAM249	Raco de Muria	Pou abastecimiento Freginals	P	292741	4506360	86.1	522-3-8	AJUNTAMENT DE FREGINALS	135	400	D
OAM257	Pou Dipòsit Tossets	Pou Dipòsit (Amp. Abastament)	P	294194	4509105	59.93	522-4-7	AJUNTAMENT AMPOSTA	133	500	D
OAM261		Granja Guillen	P	293405	4509330	64.5	522-3-7	ASENSIO, ENRIQUETA	32	400	D
OAM264		Pou San Jaume d'Enveja	P	295079	4511756	3.4		AJUNTAMENT ST JAUME D'ENVEJA	90	400	D
OAM268	Carrova		P	293560	4513460	6	522-3-5	EXPORCAS, CB	3.8	900	A
OAM280	Pinis		P	294384	4511431		522-4-6	MARGALEF SERRET, SANDRA			A
OAM281	Racó dels Triadors		P	292130	4505035	9	522-3-8	ABERRESCATAL, JOSE			A
OAM288	COMUNETS		P	294945	4508347	23.7	522-4-7	MIRAVETE JIMENEZ, PEDRO			A
OAM295	Ametller	Pou Ametller	P	292710	4506830	80	522-3-8	CR POU AMETLLER	122	300	A
OAM302	ANTICH		P	295709	4504753	40		SANCHO CORTELLA, JUAN I ANDRES			A
OAM306	Mas d'en Civilil		P	295670	4504490	18	547-4-1	MIGUEL MARTINEZ, TOMAS	14	1500	A
OAM309	Tapa	Pozo Tapà	P	293850	4507450		522-3-7	RIPOLLES ROMEU, JOAN LLUIS I MERCEDES	76	300	A
OAM310	Molinàs		P	293825	4511530	80	522-3-6	CR MOLINAS			A
OAM312	Oriola										

Tabla A.1.a. Inventario de puntos de agua de la zona de estudio (2 de 4).

Expediente	Tópónimo	Nombre	Tipo	X (m)	Y (m)	Z (msnm)	Orto	Titular	Prof (m)	Diám (m)	Uso
OFR10	Mas de Pinyol	Pozo de los Caballos	P	289195	4505005	110	522-1-8	BORT CANET, VICENTE ENRIQUE	390		A
OFR11	Pou d'en Serra		P	291375	4505950	145	522-2-8	CR POU D'EN SERRA	188	200	A
OFR14	Palomites	Pou 3 CRF "Palomites"	P	288595	4502780	132.91	547-1-1	CR FRIGNALS	358	250	A
OFR15	Vilarons		P	290690	4504180	134.8	547-2-1	CR POU DELS VILARONS	228	185	A
OFR2	Valleres	Pou 2 Barranc Roig (SGOP 2)	P	289715	4504637	91.75	547-2-1	CR FRIGNALS	355	300	A
OFR5	Fenoses-Pou 1 Abocador-barranc Fenoses	CR Freginals (3 en cuaderno de campo)	P	291180	4504585	128.63	547-2-1	CR FRIGNALS	198	350	A
OGA12		SGOP 4 Piezometre junt. pou Ab. La Galera	S	284545	4506970	125	521-11-8	JAC			
OGA13	Finca "La Palmera"		P	288600	4506800	80	522-1-7	TOMAS BLANCH, ELVIRA TERESA I ALTRES	140	350	A
OGA17	Covaxot		P	283985	4506450	139	521-11-8	CR COVARCHOT	185	350	A
OGA22		SGOP 5 Barranc de la Galera	P	283135	4507920	170	521-11-7	JAC	198	63	
OGA27	Tirades		P	285350	4507330	120	521-12-8	CABALLE CID, MARGARITA I, VERGE ACCENSI, SEBASTIA	160	350	A
OGA28		Pou Cami de Tortosa	P	285475	4507485	120	521-12-7	CR POU CAMI DE TORTOSA	100	350	A
OGA4		Piezómetro Solana (Pou bertomeu)	P	284145	4508438	155	521-11-7	BERTOMEU, JOSEP (ALCALDE DE STA. BARBARA)	210	350	D
OGA48	Cami de les coves	Refolies	P	283815	4508375	159.7	521-11-7	LLEIXA VERGÉS, ALBERT	150	450	A
OGA50	Carretera	Pou Rosa	P	287010	4508155	99.21	521-12-7	CR POU ROSA	130	400	A
OGA6			P	285805	4508075	120	521-12-7	REIG LAVERNIA, GERMANS	166	300	A
OGA7	Plana de l'Aragónés		P	286525	4508550	110	521-12-7	TORRES REVERTE, FRANCISCO	153	400	A
OGA78	Ayuntamiento de la Galera		P	284526	4507013	134.5			130	260	
OGA8	Covaxot		P	284545	4506980	135	521-11-8	AJUNTAMENT LA GALERA	120	350	D
OGA9	Collades	Pou Torretes	P	286300	4507338	52.66	521-12-7	AJUNTAMENT LA GALERA CR POU TORRETES	60	1000	A
OGO1	Granja Vincents Subirats	Pou Granja Vincent	P	283093	4503125	136			150	350	A
OGO10	Les Vinetes, Ligallo Arbos	Vinyetes GODALL 3B	P	286945	4505965	108.67	522-11-8	SAT POU GODALL	220	400	A
OGO13	Covaxot	Antiguo Puchol	P	283815	4506215	143.53	522-2-8	FORES NEBOT, VICENTE	170	350	A
OGO14	Pietetes		P	289775	4508850	100	522-2-8	CR LA PLETETA	182	400	A
OGO16	Clapiès	Pou abastament municipal AYUNTAMIENTO	P	285505	4505640	100	521-8-5	AJUNTAMENT DE GODALL	160	400	D
OGO17	Morralles o Creu del Coll	Ctra. Sta. Bárbara a Ulld	P	289450	4507250	52.2-8-8		HIDALGO RODRIGUEZ, JOSE I GARCIA TRIGUERO, ENCARNIA			
OGO21	Solsó		P	289750	4508380	50	522-2-7	BERTOMEU GARCIA, VIRGINIA			A
OGO26	Barranc Serret	Pou barranc del Serret	P	285240	4502930	546-12-1		LLEIXA RALDA, GONZALO			A
OGO3		Godall 1 - Cementiri	P	285206	4504645	546-12-1		JAC			
OGO35	Serres de la Galera	Pou La Begonya	P	283237	4512779	156.7		AGRIOS LA GALERA, SA	400	180	A
OGO4	Solsó		P	289595	4508310	60	522-2-7	CAVALLE RODRIGUEZ, VIRTUDES	40	350	A
OGO5	Espinalets		P	284105	4505580	130	521-11-8	GODINA FABRA, M CINTA	153	350	A
OGO9	Espinalets	Arçis GODALL IV	P	284865	4505425	135.49	521-11-8	SAT POU GODALL	165	600	A
OMB5		Pozo granja - camí de la Vall	P	277290	4511365	362.6		ROYO, MARIO (BAR DEL MAS)	250	160	G
OMB6	Carraçal		P	278250	4510600	315		ROYO, MARIO (BAR DEL MAS)	350	180	G
OMB8		Sondeig Dos Rius	S	275495	4511480	263.12		JAC - AJUNTAMENT MAS DE BARBERANS	460	220	G
OMV102	Seniasses		P	290240	4508910	55	522-2-7	GUIMERA GINER, FIDEL	30	250	G
OMV103	Seniasses o Talarn		P	290015	4509025	35	522-2-7	SUBIRATS LLOMBART, JOSE	90	200	A
OMV105	Seniasses	Granja Ribas	P	290480	4508750	50	522-2-7	RIBAS BONANCIA, JUAN ANTONIO	41	200	G
OMV107		POU HUGUET	P	293030	4511335	52.3-6		DESCONEGUT			
OMV108	El Masset	Pou Carretals	P	291870	4508625	80	522-2-7	CR CARRETTALS	111.5	250	A
OMV120	Cami de Talarn		P	289575	4509905	65.57	522-2-6	ESPUNY FERRER, ADELINA			A
OMV15		Pou Müller-IRTA	P	289305	4508560	64	522-1-7	MÜLLER ARMIN, ERNST	128	400	A
OMV22	La Vall		P	291265	4511880	40	522-2-5	FLUJXA FEMENIA, MARIA	30	400	A
OMV43	Collades	Antic pou de Sensano Richart	P	290950	4509940	45	522-2-6	FLJCH CARDO, MIGUEL			A
OMV47	Coll (AYUNTAMENT DE MASDENVERGE)	Pou Nou Abastament	P	292760	4509770	91.4	522-3-6	AJUNTAMENT MASDENVERGE	180	450	D
OMV61	Massetes		P	291405	4508315	70	522-2-7	FLUJXA FEMENIA, TOMAS	140	300	G
OMV71	Coll		P	292550	4510430	64.1	522-3-6	SALVADO OMEDES, JOAQUIN MARTIN	81	250	G
OMV78	Seniasses		P	290486	4508810	53.7	522-2-7		84	180	A
ORO1	Corralisses		P	284585	4517050	112	521-11-3	CR PAS DE BERENGUER	100	400	A
ORO100	Corralisses	Pou Corralisses	P	284695	4516775	110	521-11-3	PERE AZNAR E HIJOS, SL	65	300	A
ORO101	Pas de Berenguer	Antiga finca Ravanals	P	283540	4517430	110	521-11-3	FOSCH MARGALEF, TOMAS	140	350	A
ORO102	La Caramella	Piezómetro La Caramella	S	281045	4520340	108.18	521-10-2	CR POU LA CARAMELLA	320	200	A
ORO103	Galatxo		P	284950	4520345	80	521-11-2	CARLES BENET, RAFAEL	116	300	A
ORO115	Parellades	Pou Parellades-Caramella	P	282200	4520090	175	521-10-2	CR PARELLADES-CARAMELLA	280	200	A
ORO116	Parellades		P	283850	4518950	110	521-11-3	INVERSIONES Y CULTIVOS AGRARIOS, SA	237	400	A
ORO118	Poc Augment	Mas de la Dama 1 (Pou Reserva)	P	284155	4520750	120	521-11-2	MASIA QUATRE CAMINS, SA	140	350	A
ORO120	Carreteres	Pozo nulo Ctra. Port	P	282035	4522890	260	521-10-1	CHAVARRIA CHAVARRIA, JOSEP	364	220	G
ORO123	Salva Rosa		P	286800	4514625	82.8	521-12-4	SAT Nº 797 POU SALVAROSA	140	350	A
ORO125	Pilans	Pou l'Olivera	P	285590	4522515	110	521-12-1	CR POU OLIVERA	109	300	A
ORO127	La Taluesa	Mas de l'Antena	P	283715	4513955	150	521-11-5	CAMPO RAMON, MANUEL I ALTRES	200	400	A
ORO128	Corralisses		P	284125	4515000	135	521-11-4	ARBOS SOLE, M. CINTA	170	350	A
ORO136	Raval de Cristo	Matadero	P	289035	4520982	7	522-1-1		45	500	C
ORO139	SGOP 2		S	286098	4518349	69	521-12-3		106	600	C
ORO140	Barranc Sant Antoni	SGOP 4	S	284765	4518165	83.3	521-11-3		170	60	C
ORO146	Corralisses		P	285105	4528105	115	521-12-4	RUF CASAHUGA, ENRIC I ALTRE	290	240	A
ORO147	Barranc de Lleó	Antiguo Viveros Alcanar	P	284455	4513085	130	521-11-5	CITRICOS COMPANY SL	310	650	A
ORO148	Pandorga		P	283655	4523340	173	521-10-4	CR COVA DE L'ESQUIROL	190	300	A
ORO149	Panxa Blanca		P	282530	4515480	155	521-10-4	LLEIXA LLEIXA, AURELIO	155	200	A
ORO154	Corralisses	Nuevo Viveros Alcanar. Pou Chimeno	P	284145	4513555	139	521-11-5	CITRICOS COMPANY SL	379	220	A
ORO163	Corralisses		P	283665	4515935	145	521-11-4	CR POU DE LA GRANJA	180	400	A
ORO164	Pilans	Pou Pilans	P	285687	4522835	97.75	521-12-1	AJUNTAMENT ROQUETES	105	300	D
ORO173	Pou nº 3 (CID SOROLLA, ANGEL)	Corralisses	P	285075	4513790	104.3		EXPLOTACIONES RUSTICAS, SA (ERUSA)			A
ORO175	Garroferets/Cami del Port	Granja del Pollastre	P	285125	4514960	120		ESPUNY BAUBI, JAVIER	156	400	A
ORO19	Garroferets/Cami del Port		P	283185	4522910	188	521-11-1	POU P-8874-G	205	350	A
ORO2	Pas de Berenguer		P	284220	4517055	110	521-11-3	DE AARBORST SPAIN, SL	104	200	A
ORO20	Sant Francesc	Pou 1	P	285630	4515505	100	521-12-4	EXPLOTACIONES RUSTICAS, SA (ERUSA)	300	350	A
ORO204	Poch Augment	Pou Principal	P	284178	4520464	112.602		MASIA QUATRE CAMINS, SA	345	225	A
ORO21	Sant Francesc	Pou nº II (principal)	P	285930	4515775	104	521-12-4	EXPLOTACIONES RUSTICAS, SA (ERUSA)	350	350	A
ORO212	Galatxo		P	287880	4520180	14.1	522-1-2	ONGAY HOMETES, JULIAN I ALTRE	14	900	A
ORO213	Garroferets		P	284490	4522770	142	521-11-1	SERAFIN FRANCH			350
ORO225	Corralisses		P	284305	4514605	140	521-11-4	CABECERAN ROS, M CARMEN	204	200	A
ORO239	Pas de Berenguer		P	284625	4517640	106	521-11-3	PRODUCCIO AGRICOLA I AVICOLA EL PILAR	277	185	A
ORO283	Parellades		P	283826	4519454	118.7		FAVA SUBIRAT, ALEJANDRO I ESPUNY SEGURA, OLGAA			A
ORO289	MIRAMBO O GARROFERETS		P	284670	4522315	120		FERRE AGRAMUNT, JOSE	128	300	A
ORO36	Terrapico		P	285465	4521410	80	521-12-1	CUNICOLA LES OLLES, SL			
ORO366	Finca La Pastora	Pozo II ZAHARA	P	284318	4514261	136			260	400	
ORO376	La Cardenes	43133-0386	P	282655	4513655	175		CR POU CARDENES	190		A
ORO38	Corralisses	Pou Canal	P	283930	4514765	150	521-11-4	PEREZ AZNAR, JOAQUIN I ALTRA	172	180	A
ORO51	Corralisses		P	283135	4514780	163	521-11-4	VIDELLA, MANUEL			A
ORO54	Bc. de Vallcevera	Pou Ventós	P	288042	4522665	57.6		CR POU VENTOS	86	225	A
ORO57	Corralisses	Pou Ismael	P	283790	4514690	150.01	521-11-4	MIRALLES ESTELLER, JUAN PEDRO I ALTRE	265	300	A
ORO58	Colomé-Parellades		P	285850	4519275	65		CASTELLO ROMERO, JOAN MIGUEL I ALTRE	66	300	A
ORO7	Garroferets		P	284920	4522270	150		CR GARROFERETS	160	350	A
ORO79	Barranc de Lleó	Antiguo PUCHADES-BUGGY III	P	286305	4512970	97.5	521-12-5	AGRICOLA CUGAT SL	233	350	A
ORO8	Garroferets		P	284470	4522255	136	521-11-1	AUDI VENTURA, RAMON I ALTRA	125	350	A
ORO80	La Taluesa	Pozo rama de olivo	P	283715	4513955	150	521-11-5	SAT LES METES	175	400	A
ORO82	Gardens		P								

Tabla A.1.a. Inventario de puntos de agua de la zona de estudio (3 de 4).

Expediente	Topónimo	Nombre	Tipo	X (m)	y (m)	Z (msnm)	Orto	Titular	Prof (m)	Diám (m)	Uso	
05E13		Pou abastecimiento de La Senia	P	269409	4503287	380		AJUNTAMENT LA SENIA				
05E8	Diumenges	Pozo casa	P	270754	4502526	383		VERGE GIL FEDERICO				
07E783	MAS d'ILLEDO	Pou abastament "piezometre xarxa"	P	252920	4525992	27	497-3-7	AJUNTAMENT TORTOSA - BITEM	122	400	D	
07C344	Poligon Ind. Baix Ebre	INTORSA 2 (Tortosa)	P	292945	4516145	21.78	522-3-4	INTERMEDIOS ORGANICOS, SA (INTORSA)	50	400	I	
07J122	Reguers	Pou Lauriano	P	286850	4523305	70	521-12-1	CR POU LAURIANO	85	300	A	
07J201	Reguers		P	284385	4524760	135	496-11-8	MARTI FERRE, ISABEL I tres més	142	300	A	
07J207	Reguers	Pou Camp de Fútbol	P	284666	4524238	128.5		AJUNTAMENT TORTOSA - REGUERS	155	350	D	
07J213	Reguers		P	285490	4523487	56	496-12-8	BARBERA ROYO GERMANS	122	350	A	
07J222	Bernatés 2		P	288169	4523163	56	522-1-1		100	400	D	
07J260	Reguers		P	284805	4524915	128.31	496-11-8	ESTRADA FERRANDO, ARNALDO	160	250	A	
07J270	Ideal 1		P	290755	4521730	8	522-2-1	ayto sbarbara	16	450	I/A	
07J271	Ideal 2		P	290700	4521801	8	522-2-1		20	400	I/A	
07T1065	Ballester 1		P	290147	4520779	6.6			50	400	I/A	
07T1066	Ballester 2		P	290137	4520816	6.6			25	500	I/A	
07T1123	CARLARES		P	269969	4518483	1022		GIMA CASTELLÓN S.A	116	140	D	
07T912	Barranc del Rastre	Pou Rastre I	P	292115	4521275	29	522-2-1	AJUNTAMENT TORTOSA - JAC	175	500	D	
07T947		Pou barranc de la Liet	P	292250	4519300	35	522-2-2	CR MIG CAMI	147	400	A	
07T955	Soldebre		P	289998	4520999	8.1			42	550	I	
07V500	Pou Vinallop antiguo		P	289955	4516616	35.5	522-2-3		60	300	D	
07V507	Delta Fruit 2		P	287961	4514525	62.5	521-12-5		240	350	A	
07V508	Delta Fruit 1		P	288074	4514726	60.7	522-1-4		100	400	A	
07V577			P	287735	4515825	65.01	522-1-4	EXPLOTACIONES AGRARIAS CAP DE TERME, SA	262	200	A	
07V578	Pou abierto Mianes 1		P	291908	4514177	6.65	522-3-5		10	3000	A	
07V580	Vinallop		P	287020	4514845	78.34	521-12-4	AMOROS CASTAÑER, JOSEP I PERIS CORET, VICENTE	265	A		
07V585	Pou abierto Mianes 2		P	291680	4513846	6.9	522-3-5	INVERSIONES RUSTICAS INMOBILIARIAS, SA	8	A		
07V593	Cap de Terme 2		P	287465	4515785	62.3	522-1-4		122	350	A	
07V607	Kanban (no equipado)		P	290559	4514396	34	522-1-4		60	450	A	
07V615	Kanban antiguo		P	290678	4513574	31.5	522-2-5		60	650	A	
07V659	Kanban 3		P	291486	4514826	10.3			60	400	A	
07V663	Sant Antoni	SGOP 1	S	288290	4518505	5.3	522-1-3	SGOP 1	106	60	C	
07U1	Barranc de les Cases	Pou Les Cases d'Alcanar 2. Piez. Bc. Sant Jaume	S	289400	4493560	60	547-2-5	AJUNTAMENT D'ALCANAR - JAC	92	330		
07U2	Ulldecona 2 Pou Molí de la Roca	Ligallo Canyon Real de la Roca	P	274240	4499365	276.24		CR ULLEDECONA				
07U23	Les Basoles	Pozo 2	P	285091	4495200	144.5		FERRER VALLS, JOSE MARIA	351	450	A	
07U24	Valldépins	Valldépins	P	285290	4493909		546-12-6	CR VALLEDPINS	229	60	A	
07U25	Bassa de Montsió o Ferradura		P	287340	4497290	180	547-1-4	REVERTÉ FORCADELL, BENJAMIN	218	200	A	
07U26		Canals	P	283610	4492725	110	546-11-6	CR				
07U34	Ciots		P	281660	4505425	173.4	546-10-1	MUÑOZ CERVERA, PRIMITIVA	262	300	A	
07U36	Castell	Pou Dipòsit abastecimiento Ulldecona	P	282760	4497495	163.5	546-7-4	AJUNTAMENT D'ULLEDECONA	300	400	D	
07U39		Piezómetro "Pou Ventalles"	P	288225	4502110	116		AJUNTAMENT ULLEDECONA - LES VENTALLAS-	237	195	D	
07U48	Valldépins		P	284280	4494410	156.3	546-9-5	QUERALT BELTRAN, MIGUEL	229	60	A	
07U49	Povet o Valldépins		P	284315	4493145	125	546-11-6	REVERTER BORJA, JOAQUIN	160	450	A	
07U52	La Dresera		P	318785	4580096			QUEROL I TARTE, JOAQUIN	400	450	A	
07U6	Castell	Pou Dipòsit Castell 2	P	282850	4497485	176.84	546-7-4	AJUNTAMENT ULLEDECONA			D	
07U62	Llengueta		P	288700	4499090	210.81		DOMENECH FONOLLOSA, JOSE	300	200	A	
07U69	Carbonera		P	288344	4500117	130	547-1-3	VERICAT OLLE, JOSE MIGUEL	300	300	G	
07U7		SGOP 2 Ulldecona Pont del molí Nou	S	282050	4495992	132	546-7-4	JAC - SGOP	229	60	A	
07U77	Dressera		P	286080	4493870	187.78	546-12-5	QUEROL I TARTE, JOAQUIN I BEL BORRAS ANA ISABEL	293	250	A	
07U79	Ermita	Pou Ermita Pietat	P	286140	4501093	176		AJUNTAMENT D'ULLEDECONA	280	195	D	
07U90	Barranc de les Cases d'Alcanar		P	288886	4493997	82		AGUSTIN FORCADELL, JOSE ANTONIO	120	300	A	
07U98	Ulldecona-3 (Sant Joan Del Pas I)		P	278970	4498815	203.2	546-9-3	CR ULLEDECONA - JAC	400	500	A	
07XE10	Tereoles	Piezómetro Pepeta	P	284145	4527055	135	496-11-7	VAQUE RICART, JOSEFA	160	350	A	
07XE105	Tereoles		P	284845	4527210	150	496-11-7	CR TEREOLAS	120	300	A	
07XE106	Font Amarga		P	285050	4529635	183		POVILL FARNOS, FRANCISCO	200	180	A	
07XE108	Codolla	Pou Sol	P	285705	4528410	130	496-12-6	LLOP MAYOR, OLGA I ALTRE	141	300	A	
07XE112	Foradada		P	287720	4533145	109.85		TORNE PASCUAL, FRANCISCO			A	
07XE116	CODOLLES		P	286730	4529450	98.3	496-12-6	RIUS MOLA, AURELIA	130	300	A	
07XE118	Llambusquera		P	286960	4529620	93	496-12-6	MORENO MORENO, ROSALIA I ALTRES	110	400	A	
07XE18	Vinyases. Campo de futbol	Pou camp d'esports	P	288585	4532265	25		AJUNTAMENT XERTA				
1AD1	Jose maria mayor		P	287677	4528540	75						
1AL1	Segarra	Pou Nou	P	286363	4491938							
1AL2	Blanc		P	288800	4489950							
1GA1	Blanc		P	288817	4508649							
1GA2	Solana	Pou abast La Galera NOU-antiguo	P	284719	4506844		134.5			130	260	D
1GA3	Solana		P	284104	4508958							
1RE1			P	283675	4525475							
1RO1	pou ramon (cami reguers-caro)		P	283893	4524530	147						
1SB1		Pou ayto sbarbara antiguo	P	288828	4512679	60.4		AJUNTAMENT SANTA BARBARA	60	1200	A	
1SC1	Subirats		P	296575	4501700							
1SE1	Prades		P	271450	4505075							
1UL1	Els Valentins		P	277625	4500945							
1XE1	Planes de Vences	Pou Granjas Ecológicas	P	285647	4530988	289		000145781 PRODUCCIO ECOLOGICA ROCA CABRERA, S.L	210	195	A	
2AC1	Bc Vall Cervera	Manantial Vall Cervera	F	281151	4525814	210						
2AM1	Ullals de la Carrova	Fuente de la Carrova	F	294277	4513276	5	522-3-5				A	
2AM2	Tosses	Pou Tosses	P	293956	4509000						D	
2GA1	Granja Bonavilla		P	280755	4500737	171		CR Corvaxot				
2GA17	Corvaxot		P	283975	4506442	141.3			185	350		
2GA2	Granja Bericat	Pou Granja Bericat	P	280083	4500625	180			60		D	
2SB1	Fuente San Pere	Pou Ay. Sta. Bárbara 2 (barranco Uledo)	P	289387	4512911	54.4					D	
2SE1	Fuente San Pere	Fuente San Pere	F	268891	4505096	380					C	
2TT1		Piezómetro Tortosa	S	288290	4518505	3.9					C	
2TV577	Cap de Terme 1		P	287728	4515949	58	522-1-4		262		A	
2XE1	Pozo Granja Xanxo		P	289655	4511500	12.3					G	
3AL1		Pou Colletes	P	285737	4492884	150	546-8-1		130	500		
3AL2		St. Miguel	P	285365	4490766	62	546-8-4		64	1800		
3AL3		Cordoñal	P	294918	4497359	13.1	547-2-3		17.5			
3AL4		Verge des desamparats	P	287680	4491021	34	247-5-1		46	200		
3AL5		Las Casas	P	290646	4492675	16	247-5-16		20.8			
3AM1	Josep Barberà		P	292461	4510008	91	522-5-44		81	1500		
3AM2	S11		S	295699	4505354	19	522-6-23		145.5	100		
3AM3	Mas del Civil II	Mas del Civil II	P	296979	4502864	14	547-2-13		13.6			
3GO1		Gravera	P	281417	4509541	204	521-8-14		152	300		
3GO2	Vicente Simó		P	283900	4502224	163	546-4-23		38.5	700		
3GO3	Santiago Jaques		P	286074	4503821	166	546-4-35		9.5			
3MV1	Hort del senador II		P	292280	4515683	25	522-5-20		102	300		
3MV2	PIDIS I		P	290604	4511571	51	522-5-21		70	1200		
3MV3	CALDUCH		P	290780	4508421	45	522-5-28		60	350		
3MV4	Finca Gonet		P	291703	4509578	50	522-5-30		81	300		
3MV5	Mas de la Creu		P	289583	4507198	84	522-5-35		170	400		
3RO1	Seu Nou		P	285110	4518342	88	521-4-7		140	80		
3RO2	Galatxo		P	283120	4520493	137	251-4-14		102	350		
3RO3			P	284155	4516383	126	521-4-18		180	400		
3SB1		Dania	P	286872	4511477	100	521-8-6		192	300		
3SB3			P	289060	4508844	69	522-5-36		104	350		
3SC1		Partida Karia I	P	296716	4501959	12.6	547-2-17		24.6			
3SC2		Camp d'esports	P	296676	4499956	4.5	547-2-25		38	1500		

Tabla A.1.a. Inventario de puntos de agua de la zona de estudio (4 de 4).

Expediente	Topónimo	Nombre	Tipo	X (m)	Y (m)	Z (msnm)	Orto	Titular	Prof (m)	Diám (m)	Uso
4AC1	Font dels Ullals	Font dels Ullals	F	277980	4526690	429	496-7-4				D
4AC2	Font del Tosca	Font del Cabrit	F	277135	4524957	490					D
4AC3	Bc Val cervera	Font de Mascà	F	274742	4521588	150					D
4AC4	Bc Val cervera	Ullals de la Val Cervera	F	280952	4525992	225					D
4AC5	Font de la Perera	Font de la Perera	F	284569	4531148	335					D
4AC6	Font Nova	Font Nova	F	283778	4530940	400					D
4AC7	Font del Tosca	Font del Ferro	F	276696	4525074	540					D
4AC8	Font del Lloret	Font del Lloret	F	281436	4525567	230					D
4AL1	L'Alberg		P	295942	4501933	41.1					R
4AL2	Alcanar		P	286388	4492138	105		AYUNTAMENT D'ALCANAR			D
4AM1	Vera del río Ebro	Pou abastecimiento Alcanar	P	291964	4515883	4.463			70	130	D
4AM2	Vera del río Ebro	PIEZ-P9	S	292303	4514984	5.164		AYUNTAMENT DE TORTOSA			D
4AM3	Vera del río Ebro	PIEZ-P6-TUBO	S	291063	4517211	5.121		AYUNTAMENT DE TORTOSA			D
4AM4	Vera del río Ebro	PIEZ-P7-TUBO	S	291671	4516728	5.132		AYUNTAMENT DE TORTOSA			D
4AM5	Ullals de l'Ariste	Pou de l'Ariste	F	296884	4505237	0.2					D
4CRULL	C.R. Ulldesona	C.R. Ulldesona	P	274108	4499408						
4GA1		Pou abast La Galera NOU	P	284531	4506965	134.2			130		
4GA2	Bc Solsó-la Galera	Ullals de Solsó	F	290564	4508134	50					
4GO1	Font de l'Arboç	Font de l'Arboç	F	286911	4505268	150					
4GO2	Font cap d'Àsens	Font cap d'Àsens	F	286507	4502326	310					
4GO3	Font del Bassiol	Font del Bassiol	F	290642	4497774	445					
4GO4	Font del Fumat	Font del Fumat	F	291278	4498771	704					
4MB1	Bc d'en Marc	Racó d'en Marc	F	274795	4514968	680					
4PA1	Font de San Roc	Font de San Roc	F	279700	4523271	250					
4PA2	Les Font de Pauils	Les Font de Pauils	F	284312	4533803	125					
4PA3	Font del Teix de Pauils	Font del Teix de Pauils	F	279092	4530859	567					
4PA4	Font de la Plorona/Batiste	Font de la Plorona/Batiste	F	279186	4528810	652					
4PA5	Ullal de les Vallis	Ullal de les Vallis	F	279455	4530378	580					
4RO10	Bassis de Caro	Bassis de Caro	F	276709	4520052	1000					
4RO11	Font del Bisbe	Font del Bisbe	F	-1							
4RO12	Farrubio	Bassis de Sant Antoni	F	278692	4523144	775					
4RO13	Farrubio	Font Ordina/Cirer	F	280334	4523008	355					
4RO14	Bc del Pastor	Font del Gel	F	278285	4521709	985					
4RO15	Bc de la Caramella	Font de la Caramella	F	278598	4520683	575	521-3-1				
4RO16	Bc de la Caramella	Font de la Gralla	F	278337	4520464	730					
4RO17	Racó d'Alquadonella. Bc de la Conca y de Covalta	Toll del Caragolet	F	278693	4518711	275					
4RO18	Covalta	Bufador	F	279560	4518569	219					
4RO19	Bc de Lloret	Racó del Moro	F	276082	4518225	600					
4RO2	Bc de la Caramella	Surgencia de la Caramella	F	279597	4520573	230					
4RO20	Bc de Sant Antoni	Tolls de Sant Antoni	F	285973	4518284	49					
4RO21	Canal de l'Hedera	Font Verdall	F	276828	4517055	300					
4RO22	Bc de la Vall	Font de la Lagosta	F	272899	4516969	1025					
4RO23	Casa dels Forestals	Font dels Forestals	F	272905	4516192	843					
4RO24	La Vall (Bc de la Galera)	Font del Bosc	F	272359	4514049	775					
4RO25		Font del Jam	F	-1							
4RO26	Font Cova Pintada	Font Cova Pintada	F	276221	4518091	425					
4RO27	Font del Petrolí	Font del Petrolí	F	273954	4515473	542					
4RO3	Bc de Lloret	Els bufadors de Lloret	F	276532	4517367	310					
4RO4	Casa Canal Xerta-Senia	Pou Vicent Fores. PROARTIAGRO	P	283938	4515511	138					D
4RO5	Capella del Carme	Jose Andreu Garcia	P	285685	4516606	78.3			80	400	I
4RO6	Papeleria		P	287138	4522763	68	522-1-36				
4RO7	Matadero		P	288482	4522169	59					
4RO8	Font Cendrossa	Font Cendrossa	F	272338	4516013	750					A
4RO9	Font Cova Avellanés	Font Cova Avellanés	F	272848	4518837	1000	521-2-8				
4RO1464	Pilans nou	Pou Pilans Nou	P	285667	4522865	96.9		AJUNTAMENT ROQUETES	150	300	D
4SC1	Hortia vella	Pou finca del payes de la Noria de agua	P	297069	4500788	5.6					A
4SC2	Font de Burgar	Font de Burgar	F	292737	4502203	399					
4SC3	Pou Burgar	Montsià	P	292660	4502265	450					
4SE1	Font de Rossegadors	Font de Rossegadors	F	266638	4506247	430	521-6-5				D
4SE10		Entronador (Bufador)	F	-1							
4SE11	Bc de la Fou	Font Teix	F	268006	4513063	700					
4SE12	Bc del Retaule	Font Retaule	F	269410	4514638	1000					
4SE13	Bc dels Cirers	Fonteta dels Cirers	F	267735	4514607	1000					
4SE2	Tolls dels Arenals	Ullal Senia Marcial	F	269227	4504364	416					A
4SE3		Pou sota la presa Ulldesona	P	266551	4506217	451	521-6-6				D
4SE4	Piezómetro sota la presa Ulldesona	SGOP-SO2	S	266551	4506217	450			200	90	D
4SE5	Caminó P Ulldesona-Cova Rossegadors	SGOP-SO3-Piezómetro Barracones	S	266843	4506080	430	521-6-3		207	60	D
4SE6	Caminó P Ulldesona-Cova Rossegadors	SGOP-SO1-Piezómetro manómetro roto	S	266770	4506181	440	521-6-2		150	60	D
4SE7	Bc de Salt	Salt d'en Robert	F	265367	4510133						
4SE8	Bc de la Fou	Cova dels Angels	F	267682	4521243	770					
4SE9	Bc de la Fou	Font de la Fou	F	265862	4509197						
4TV1	Pou Vinallop nou	Pou depòsit Vinallop	P	289867	4516549	34.8		EMPRESA MUNICIPAL DE SERVEIS PUBLICS	401	400	D
4UL1	La Miliana	Pou la Miliana	P	283606	4503145	135					
5AM1	ullals de baltasar (de Ariste)	ullals de baltasar (de Ariste)	F	296550	4506125	0.8					
5AM2	LLIGALLO DE FORCHERON, SGOP 11.	LLIGALLO DE FORCHERON, SGOP 11.	S	295315	4505020	32			145.35		
5GA1	abastecimiento a la Galera. Corvaxot	abastecimiento a la Galera. Corvaxot	S	284435	4508438	170					
5HS1	Paraje Font Montblanc		S	274485	4535540	410					
5PB1	PRAT DE COMTE	BARRANCO (Pou barranc de la Chalamera)	P	281952	4540118	370					244
5RO1	ullals de soldavilla	ullals de soldavilla	F	274414	4524735	1200					
5RO2	BUFADORS. BARRANCO DE LLORET MMA	BUFADORS. BARRANCO DE LLORET MMA	S	276839	4517388	300					253
5SB1	sondeo nuevo de abastecimiento a Bitem	sondeo nuevo de abastecimiento a Bitem	S	292225	4519300	35					
5SB2	Pozo San Carlos	Pozo San Carlos	P	286768	4511512	105					260
5SC1	HIGALLO DEL CODOÑAL, SGOP 5. ALCANAR	HIGALLO DEL CODOÑAL, SGOP 5. ALCANAR	S	294427	4497659	34.94					111
5SE1	BARRANCO DEL POVET. SONDEO Nº 1 SGOP	BARRANCO DEL POVET. SONDEO Nº 1 SGOP	S	271029	-1						
5TT1	mig cami	mig cami	S	286085	4511865	110					
5TT2	BARRANCO DE LA LECHE, TORTOSA MMA	BARRANCO DE LA LECHE, TORTOSA MMA	S	292519	4519400	60					200

Tabla A.1.b. Inventario de puntos de agua con registro piezométrico histórico.

Expediente	Topónimo	Nombre	Tipo	X(m)	Y(m)	Z(msnm)	Orto	Titular	Prof(m)	Diám(m)	Uso
0AL100	Piezómetro Sol de Riu		S	288850	4489385	20.8	547-1-7		120		C
0AL111	Cementeri	Tio Pepe 2	P	287185	4491680	104.18	547-1-7	PEÑA ARRIBAS, JOSE I JULIO	230	350	A
0AM257	Pou Dipòsit Tosses	Pou Dipòsit (Amp.Abastament)	P	294194	4509105	55.93	522-4-7	AJUNTAMENT AMPOSTA	133	500	D
0GA4		Piezómetro Solana (Pou bertomeu)	S	284145	4508438	155	521-11-7	BERTOMEU, JOSEP (ALCALDE DE S. BARBARA)	210	350	D
0GO10	Les Vinetes. Lligallo Arbos	Vinyetes GODALL 3B	P	286945	4505965	108.67	522-11-8	SAT POU'S GODALL	220	400	A
0GO9	Espinalets	Arcis GODALL IV	P	284065	4505425	135.49	521-11-8	SAT POU'S GODALL	166	600	A
0MV15		Pou Müller-IRTA	P	289305	4508850	64	522-1-7	MÜLLER ARMIN, ERNST	128	400	A
0RO102	La Caramella	Piezómetro La Caramella	S	281045	4520340	108.18	521-10-2	CR POU LA CARAMELLA	320	200	A
0RO54	Bc. de Vallcervera	Pou Ventós	P	288042	4522665	57.6		CU POU VENTOS	86	225	A
0RO91	Corrallises	Forcada 2	P	284165	4515950	130	521-11-4	FORCADA ALBELLA, JUAN	190	400	A
0RO93	Carreretes	Piezómetro Paridora del Lloro	S	281684	4522586	273	521-10-1	CR PARIDORA DEL LLORO	312	320	A
0SB0		Piezometría acufero superficial	S	287755	4511060	85.22	522-1-6	FORCADA			
0SB13	Les Quatre Portes	Pou 4 Portes-2	P	286200	4511200	110			220	600	A
0SB17	Pou Forcada	Pou Finca Palmera. Pz. "Forcada 1 Y 2"	S	287755	4511060	82	522-1-6		230	500	A
0SB28		Piezómetro barranco Lledó.	S	290131	4513244	34.27	522-1-5		82	400	C
0SE13		Pou abastecimiento de La Senia	P	269409	4503287	380		AJUNTAMENT LA SENIA			
0TB783	MAS DE LLEDO	Pou abastament "piezómetro xarxa"	P	292320	4525990	57	497-3-7	AJUNTAMENT TORTOSA - BITEM	122	400	D
0TC344	Poligon Ind. Baix Ebre	INTORSA 2 (Tortosa)	P	292945	4516145	21.78	522-3-4	INTERMEDIOS ORGANICOS, SA (INTORSA)	50	400	I
0TT912	Barranc del Rastre	Pou Rastre 1	P	292115	4521275	29	522-2-1	AJUNTAMENT TORTOSA - JAC	175	500	D
0TT947		Pou barranc de la Llet	P	292250	4519300	35	522-3-2	CR MIG CAMI	147	400	A
0TV663	Sant Antoni	SGOP 1	S	288290	4518505	5.3	522-1-3		106	60	C
0UL1	Barranc de les Cases	Pou Les Cases d'Alcanar 2. Piez Bc. Sant Jaume	S								



Tabla A.1.1.c. Inventario de estaciones de aforo de los cauces principales de la zona de estudio.

ID	ESTACIÓN	UTM ED50 USO 30		Sup. cuenca km <sup>2</sup>
		X	Y	
9113	Figuerales	763131	4521717	55
9113	Figuerales	763131	4521717	55
9110	Pena (Beceite)	764145	451568	49
9110	Pena (Beciete)	764145	451568	49
9109	Pena (Valderrobles)	764231	4524156	79
9052	Matarraña (Ulldemó)	768746	4524361	48
9052	Matarraña (Ulldemó)	768746	4524361	48
9176	Matarraña (Nonaspe)	766068	4565505	1260
9153	Algars (Horta SJ)	775723	4537182	115
9153	Algars (Horta SJ)	775723	4537182	115
9177	Algars (Nonaspe)	769513	4555743	335
9154	Tastavins	755369	4514294	42
8009	Cenia (Bc de la Fou-mas Retor)	772553	451045	41
8009	Cenia (Bc de la Fou-mas Retor)	772553	451045	41
8010	Cenia (Bc Corruscar-mas Vidre)	771838	4507085	48
8010	Cenia (Bc Corruscar-mas Vidre)	771838	4507085	48
8099	Cenia (salida embalse 1)	773799	4507530	97
8099	Cenia (salida embalse 2)	773799	4507530	97
8099	Cenia (salida embalse 3)	773799	4507530	97
8099	Cenia (salida embalse)	773799	4507530	97
8099	Cenia (salida embalse)	773799	4507530	97
8001	Uldecona Molí	789330	4498500	97
8213	Los Bancalots (SRafael del riu)	781828	4501232	130
*6	Canaletas 1	277340	4538029	
*7	Canaletas 2	286794	4541911	
*8	Barranc de Pauils	284053	4533715	
*9	Barranc de la Conca	281115	4526866	
*11	Barranc de la Vall Cervera	281531	4525750	

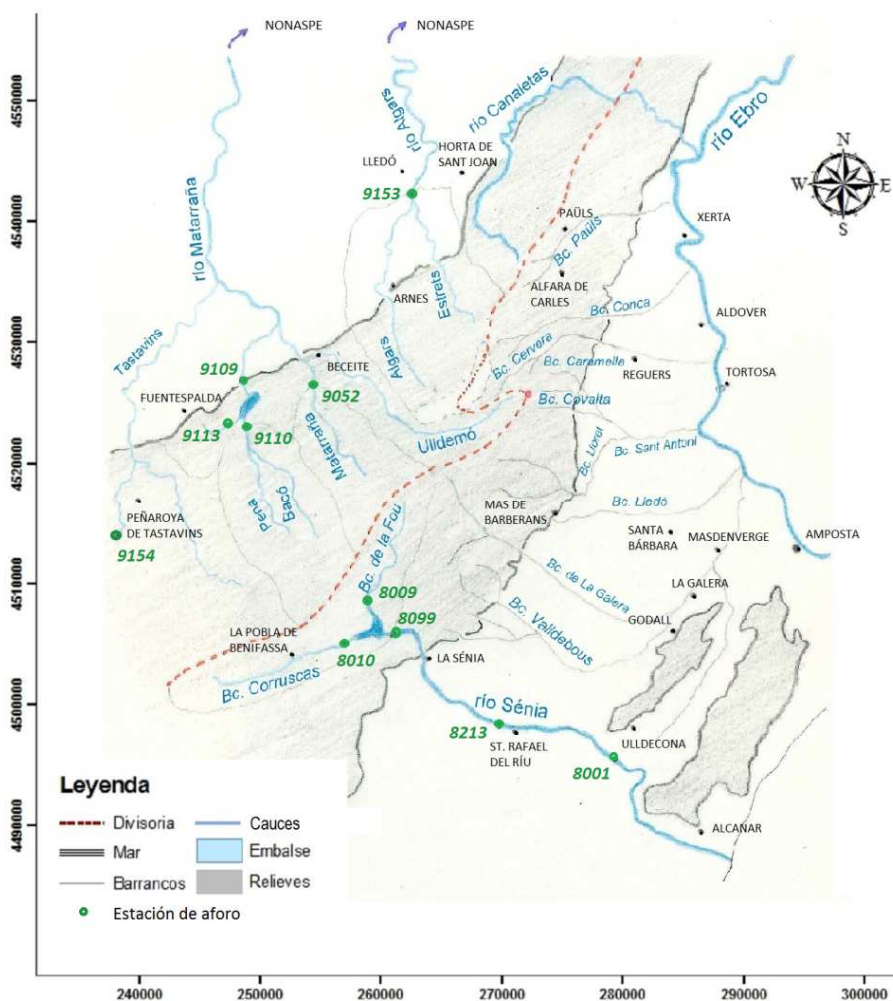


Figura A.1. Ubicación de las estaciones de aforo de los cauces principales de la zona de estudio.

Tabla A.1.d. Inventario de puntos de agua con análisis químico elemental completo (1 de 2).

Expediente	Topónimo	Nombre	Tipo	X(m)	y(m)	Z(msnm)	Orto	Titular	Prof(m)	Diám(m)	Uso
OAD107	Mayets		P	286537	4527339	125		GANADOS Y CARNES ALGUERO MONTESO, SRC			A
OAD83		Pou complementari AYUNTAMENT ALDOVER	P	289349	4528589	30.1	487-1-6	AJUNTAMENT ALDOVER			D
QAL10	El Pla		P	289245	4492705	104.18	547-2-6	BELTRAN VALLS, CONCEPCION	28	1500	A
QAL100	Piezòmetre Sol de Riu		S	288850	4489385	20.8	547-1-7		120		C
QAL101			P	294105	4498055		547-4-3	MATAMOROS MATAMOROS, JOSEP	87	300	A
QAL108		Pou Sant Miquel	P	286320	4491230			AJUNTAMENT D'ALCANAR	62.42		D
QAL110	Casc urbà	Pou Dipòsit (Nou)	P	286260	4491400	109.55	564-12-6	AJUNTAMENT D'ALCANAR	209	220	D
QAL111	Cementeri	Tio Pepe 2	P	287185	4491680		547-1-7	PEÑA ARRIBAS, JOSE I JULIO	230	350	A
QAL113	Calafes	Calafes	P	288880	4492770	31	547-2-6	GIL FABREGAT, JOSEP MARIA	40	2500	A
QAL114	El Marjal	Fondo de Jan	P	290030	4491535		547-2-6	FABREGAT FIGUERES, MIGUEL I M. CARMEN	4.5	1500	A
QAL115	Mallades		P	289215	4490970		547-2-7	FABREGAT FIGUERES, MIGUEL I M. CARMEN	15	1500	A
QAL116	El Pla		P	290015	4492495	35	547-2-6	FABREGAT FIGUERES, MIGUEL I M. CARMEN	25	3600	A
QAL119	Can Conil		P	290440	4492760	22	547-2-6	PLA GUASCH, José i BEL, Manolo			A
QAL120		Biots-Villa	P	289655	4490205	11	547-2-7	GIL FABREGAT, JOSEP MARIA			A
QAL121		Pou Fonda	P	291445	4494225	28	547-3-5	QUERALT, MIGUEL	28	4000	A
QAL122	El Marjal	Pou noria	P	290180	4490935	2.9	547-2-6	Desconocido			A
QAL125	La Punta	Pou Cases d'Alcanar 1 (Estació meteorològica)	P	290400	4492825	26.17	547-2-6	AJUNTAMENT D'ALCANAR			D
QAL126		Pou Irla	P	286450	4490275		546-12-5	DARP			A
QAL128		Pou Santíssima Trinitat	P	288735	4491255		547-1-6	COMUNITAT DE REGANTS			A
QAL129		Pou Santa Teresa	P	287280	4492505		547-1-6	COMUNITAT DE REGANTS			A
QAL130		Toni	P	287840	4490755	35	547-1-7	REVERTER FABREGAT, A JOSE	41.5	2500	A
QAL132		Pedregals	P	288080	4491970		547-1-6	GIL FABREGAT, JOSEP MARIA	90	400	A
QAL133		Pou Cisterna	P	284875	4491255		546-12-6	COMUNITAT DE REGANTS			A
QAL134		C. Virol	P	289565	4490285		547-2-7	SANCHO, JULIAN			A
QAL135		Granja de Paterrat	P	288270	4490115		547-1-7	BUNYOLS, Enric			A
QAL136	Castellans		P	287481	4493132		547-1-6	ANA MARIA ULDEMDOLINS SOLDEVILA	110	300	A
QAL137		Crevetes	P	285715	4490745		546-12-7	FABREGAT, F			A
QAL138	Cases d'Alcanar	Cinto	P	290955	4492780		547-2-6	AGROPUNTA, SL			A
QAL140		Collets	P	285940	4492010		547-2-6		170	400	A
QAL144			P	286160	4492340	127	547-2-6	FIBLA QUERALT, JOAN RAMON	198	200	A
QAL146		Rentadors	P	287063	4491055		547-1-7	Desconocido			A
QAL150		Puig Gros	P	284745	4491715		546-12-6	COMUNITAT DE REGANTS			A
QAL151			P	286724	4491487		547-1-5	Desconocido			A
QAL8	Mas d'en Serra	Finca	P	290070	4493615		547-2-5	REVERTER CASTELL, JOAN	90	400	A
OAM165	Molinàs		P	293950	4511365		522-3-6	SAT POU MOLINÀS	135	300	A
OAM177	Pins	Pou Pins	P	294125	4509620	32	522-3-6	AJUNTAMENT D'AMPOSTA	105	500	D
OAM193	Molinet		P	296350	4508900	10	522-4-7	HERKA, SA	20	300	A
OAM216	Cabiscol		P	292430	4507095		522-3-8	CHAVARRIA MASIA, ANTONIO	135	300	A
OAM249	Raco de Muria	Pou abastecimiento Freginals	P	292741	4506360	86.1	522-3-8	AJUNTAMENT DE FREGINALS	135	400	D
OAM257	Pou Dipòsit Tosses	Pou Dipòsit (Amp.Abastament)	P	294194	4509105	55.93	522-4-7	AJUNTAMENT AMPOSTA	133	500	D
OAM261		Granja Guillen	P	293405	4509330	64.5	522-3-7	ASENSIO, ENRIQUETA	90	500	D
OAM264		Pou San Jaume d'Enveja	P	295079	4511756	3.4		AJUNTAMENT ST JAUME D'ENVEJA	32	400	D
OAM469	MAS D'EN CIVIL		P	295860	4502905	40.3		ORTEGA HERRERO, RAFAEL I GRACIANO MORENO, ENCARNIA	39	400	A
ORF14	Palomites	Pou 3 CRF "Palomites"	P	288595	4502780	132.91	547-1-1	CR FREGINALS	358	250	A
ORF2	Valletes	Pou 2 Barranc Roig (SGOP 2)	P	289715	4504637	91.75	547-2-1	CR FREGINALS	355	300	A
ORF5	Fenoses	CR Freginals (3 en cuaderno de campo)	P	291180	4504585	128.63	547-2-1	CR FREGINALS	198	350	A
OGA17	Covaxot		P	283985	4506450	139	521-11-8	CR COVARCHOT	185	350	A
OGA28		Pou Camí de Tortosa	P	285475	4507485	120	521-12-7	CR POU CAMI DE TORTOSA	100	350	A
OGA50	Carretera	Pou Rosa	P	287010	4508155	99.21	521-12-7	CR POU ROSA	130	300	A
OGO1	Granja Vincents Subirats	Pou Granja Vincent	P	283093	4503125	136			150	350	A
OGO16	Clapises	Pou abastament municipal AYUNTAMIENTO	P	285505	4505640	100	521-8-5	AJUNTAMENT DE GODALL	160	400	D
OGO9	Espinalets	Arcis GODALL IV	P	284065	4505425	135.49	521-11-8	SAT POU GODALL	166	600	A
OMB5		Pozo granja - camí de la Vall	P	277290	4511365	362.6		ROYO, MARIO (BAR DEL MAS)	250	160	G
OMV15		Pou Müller-IRTA	P	289305	4508850	64	522-1-7	MÜLLER ARMIN, ERNST	128	400	A
OMV47	Coll	Pou Nou Abastament	P	292760	4509770	91.4	522-3-6	AJUNTAMENT MASDENVERGE	180	450	D
ORO102	La Caramella	Piezòmetre La Caramella	S	281045	4520340	108.18	521-10-2	CR POU LA CARAMELLA	320	200	A
ORO115	Parellades	Pou Perellades-Caramella	P	282200	4520090	175	521-10-2	CR PARELLADES-CARAMELLA	280	200	A
ORO123	Salva Rosa		P	286800	4514625	82.8	521-12-4	SAT Nº 797 POU SALVAROSA	140	350	A
ORO136	Raval de Cristo	Matadero	P	289035	4520982	7	522-1-1		45	500	A
ORO140	Barranc Sant Antoni	SGOP 4	S	284765	4518165	83.3	521-11-3		170	60	C
ORO149	Panxa Blanca		P	282530	4515480	155	521-10-4	LLEIXA LLEIXA, AURELIO	155	200	A
ORO164	Pilans	Pou Pilans	P	285687	4522835	97.75	521-12-1	AJUNTAMENT ROQUETES	105	300	D
ORO173	Pou nº 3 (CID SOROLLA, ANGEL)	Pou ERUSA1	P	285075	4513790	104.3		EXPLOTACIONES RUSTICAS, SA (ERUSA)			A
ORO366	Finca La Pastora	Pozo II ZAHARA	P	284318	4514261	136			260	400	A
ORO376	La Càrdenes	43133-0386	P	282565	4513655	175		CR POU CARDENES	190		A
ORO83	Sant Francesc	Masia Gil. Pou Lleixà Roquetes FILBE	P	285891	4514133	107		MASIA GIL EXPLOTACIONES AGRICOLAS, S.A. Castellón SXII	115	350	A
ORO99	Mas de la Dama	MIRALLES GINER, FRANCISCO	P	283785	4520950	130	521-11-2	MASIA QUATRE CAMINS, SA (MIRALLES)	250	400	A
OSB114		pou Groguet (xarxa ACA)	P	288317	4510269			desconegut			G
OSB13	Les Quatre Portes	Pou 4 Portes-2	P	286200	4511200	110			220	600	A
OSB131		Pou Ay. Sta. Bàrbara 3 pou nou	P	288798	4512804	60			401		D
OSB17	Pou Forcada	Pou Finca Palmera. Pz. "Forcada 1 Y 2"	S	287755	4511060	82	522-1-6		230	500	A
OSC1	El Sit-Poligon Rajolar	Pou Obert	P	296805	4501240	20.5	547-5-2	AJUNTAMENT LA RAPITA	19.1	1000	
OSC19	Poligon Rajolar	Pou Entubat	P	296645	4501080	27.5	547-5-2	AJUNTAMENT LA RAPITA	58	300	
OSC38	Casc urbà	Camp de Futbol	P	296300	4500330	25	547-5-2	AJUNTAMENT LA RAPITA	34	1000	D
OTJ207	Reguers	Pou Camp de Fútbol	P	284666	4524238	128.5		AJUNTAMENT TORTOSA - REGUERS	155	350	D
OTJ222	Bernabé 2		P	288169	4523163	56	522-1-1		100	400	D
OTJ270	Ideal 1		P	290755	4521730	8	522-2-1	ayto sbarbara	16	450	I/A
OTT1123	CARLARES		P	269969	4518483	1022		GIMA CASTELLÓN S.A	116	140	D
OTT912	Barranc del Rastre	Pou Rastre I	P	292115	4521275	29	522-2-1	AJUNTAMENT TORTOSA - JAC	175	500	D
OTT955	Soldebre		P	289998	4520999	8.1			42	550	I
OTV507	Delta Fruit 2		P	287961	4514525	62.5	521-12-5		240	350	A
OTV577			P	287735	4515825	65.01	522-1-4	EXPLOTACIONES AGRARIAS CAP DE TERME, SA	262	200	
OTV580	Vinallop		P	287020	4514845	78.34	521-12-4	AMODROS CASTAÑER, JOSEP I PERIS CORET, VICENTE	265		A
OTV585	Pou abierto Mianes 2		P	291680	4513846	6.9	522-3-5	INVERSIONES RUSTICAS INMOBILIARIAS, SA	8		A
OTV593	Cap de Terme 2		P	287465	4515785	62.3	522-1-4		122	350	A
OTV615	Kanban antiguo		P	290678	4513574	31.5	522-2-5		60	650	A
OTV659	Kanban 3		P	291486	4514826	10.3			60	400	A

Tabla A.1.d. Inventario de puntos de agua con análisis químico elemental completo (2 de 2).

Expediente	Topónimo	Nombre	Tipo	X(m)	Y(m)	Z(msnm)	Orto	Titular	Prof(m)	Diám(m)	Uso
OUL1	Barranc de les Cases	Pou Les Cases d'Alcanar 2. Piez Bc. Sant Jaume	S	289400	4493560	60	547-2-5	AJUNTAMENT D'ALCANAR - JAC	92	330	
OUL2	Ulldecona 2	Pou Moli de la Roca	P	274240	4499365	276.24		CR ULLDECONA			
OUL24	Ulldecona 2	Ulldecona 2	P	285290	4493090		546-12-6	CR VALLDEPINS			A
OUL26		Valdepins	P	283610	4492725	110	546-11-6	CR			A
OUL36	Castell	Pou Dipòsit abastecimiento Ulldecona	P	282760	4497495	163.5	546-7-4	AJUNTAMENT D'ULLDECONA	300	400	D
OUL39		Piezòmetre " Pou Ventalles"	S	288225	4502110	116		AJUNTAMENT ULLDECONA - LES VENTALLÉS-	237	195	D
OUL6	Castell	Pou Dipòsit Castell 2	P	282850	4497485	176.84	546-7-4	AJUNTAMENT ULLDECONA			D
OUL62	Llequeta		P	288700	4499090	210.81		DOMENECH FONOLLOSA, JOSE	300	200	A
OUL79	Ermita	Pou Ermita Pietat	P	286140	4501093	176		AJUNTAMENT D'ULLDECONA	280	195	D
OUL98	Ulldecona-3 (Sant Joan Del Pas I)		P	278970	4498815	203.2	546-9-3	CR ULLDECONA - JAC	400	500	A
0XE10	Tereoles	Piezòmetre Pepeta	S	284145	4527055	135	496-11-7	VAQUE RICART, JOSEFA	160	350	A
0XE105	Tereoles		P	284365	4527210	150	496-11-7	CR TEREOLÉS			A
0XE106	Font Amarga		P	285050	4529635	183		POVILL FARNOS, FRANCISCO	200	180	A
0XE18	Vinyases. Campo de futbol	Pou camp d'esports	P	288585	4532265	25		AJUNTAMENT XERTA			
1A11		Pou Nou	P	286363	4491938						
1A12	Segarra		P	288800	4489950						
1GA1	Blanc		P	288817	4508649						
1GA2		Pou abast La Galera NOU-antiguo	P	284719	4506844	134.5			130	260	D
1GA3	Solana		P	284104	4508598						
1RE1			P	283675	4525475						
1SB1		Pou ayto sbarbara antiguo	P	288828	4512679	60.4		AJUNTAMENT SANTA BARBARA	60	1200	A
1SC1	Subirats		P	296575	4501700						
1SE1	Prades		P	271450	4505075						
1UL1	Els Valentins		P	277625	4500945						
1XE1	Planes de Vences	Pou Granja Ecológicas	P	285647	4530988	289		000145781 PRODUCCIO ECOLOGICA ROCA CABRERA, S.L	210	195	A
2AC1	Bc Vall Cervera	Manantial Vall Cervera	P	281151	4525814	210					
2AM1	Ullals de la Carrova	Fuente de la Carrova	F	294277	4513276	5	522-3-5				A
2AM2	Tosses	Pou Tosses	P	293956	4509000						D
2GA1	Granja Bonavilla		P	280755	4500737	171		CR Corvaxot			
2GA17	Corvaxot		P	283975	4506442	141.3			185	350	
2GA2	Granja Bericat	Pou Granja Bericat	P	280083	4500625	180			60		D
2SE1	Fuente San Pere	Fuente San Pere	F	268891	4505096	380					D
2TV577	Cap de Terme 1		P	287728	4515949	58	522-1-4		262		A
3A12		St. Miguel	P	285365	4490766	62	546-8-4		64	1800	
3AM2	S11		S	295699	4505354	19	522-6-23		145.5	100	
3GO1		Gravera	P	281417	4509541	204	521-8-14		152	300	
3MV2	PIDISI		P	290694	4511571	51	522-5-21		70	1200	
3RO2	Galatxo		P	283120	4520493	137	251-4-14		350		
3SB1		Dania	P	286872	4511477	100	521-8-6		192	300	
3SC1		Partida Kària I	P	296716	4501959	12.6	547-2-17		24.6		
3SE4	Els Valentins		P	277677	4500984	209	546-3-17		405	500	
3SE5	Traiguera		P	278737	4497894	205	546-3-21		500	400	
3TT11		Coll de l'Alba	P	297979	4522512	12	522-2-36		280	0	
3TT12		Granja	P	303326	4518060	37.5	522-3-4		185	400	
3TT5	Punt camp dels Esports		P	290226	4521177	7.62	522-1-65				
3TT8		pou nº 50	P	293139	4515968	21	522-1-90		20.5	1500	
3UL2	Granja Nel·lo		P	275919	4498973	242	546-3-10		80	350	
3UL6	Querol		P	282551	4497798	175	546-4-44		297	400	
4AC1	Font dels Ullals	Font dels Ullals	F	277980	4526690	429	496-7-4				D
4AC2	Fonts del Tosca	Font del Cabrit	F	277135	4524957	490					
4AC3	Bc Val cervera	Font del Mascà	F	274742	4521588	1050					
4AC5	Font de la Perera	Font de la Perera	F	284569	4531148	335					
4AC6	Font Nova	Font Nova	F	283778	4530940	400					
4AC7	Fonts del Tosca	Font del Ferro	F	276696	4525074	540					
4AC8	Font del Lloret	Font del Lloret	F	281436	4525567	230					
4AL1	L'Alberg		P	295942	4501933	41.1					R
4AM5	Ullals de l'Ariste	Pou de l'Ariste	P	296884	4505237	0.2					
4CRULL	C.R. Ulldecona		P	274108	4499408						
4GA1		Pou abast La Galera NOU	GA	284531	4506965	134.2			130		
4GA2	Bc Solsó-la Galera	Ullals de Solsó	F	290564	4508134	50					
4GO1	Font de l'Arboç	Font de l'Arboç	F	286911	4505268	150					
4GO2	Font cap d'Àsens	Font cap d'Àsens	F	286507	4502326	310					
4PA1	font de San Roc	Font de San Roc	F	279700	4532371	450					
4PA2	Les Font de Paüls	Les Font de Paüls	F	284312	4533803	125					
4PA3	Font del Teix de Paüls	Font del Teix de Paüls	F	279092	4530859	567					
4PA4	Font de la Plorona/Batiste	Font de la Plorona/Batiste	F	279186	4528810	652					
4PA5	Ullal de les Valls	Ullal de les Valls	F	279455	4530378	580					
4RO10	Bassis de Caro	Bassis de Caro	F	276709	4520052	1000					
4RO15	Bc de la Caramella	Font de la Caramella	F	278598	4520683	575	521-3-1				
4RO18	Covalta	Bufador	F	279560	4518569	219					
4RO2	Bc de la Caramella	Surgencia de la Caramella	F	279597	4520573	290					
4RO20	Bc de Sant Antoni	Tolls de Sant Antoni	F	285973	4518284	49					
4RO24	La Vall (Bc de la Galera)	Font del Bosc	F	272359	4516409	775					
4RO26	Font Cova Pintada	Font Cova Pintada	F	276221	4518091	425					
4RO27	Font del Petrolí	Font del Petrolí	F	273954	4515473	542					
4RO3	Bc de Lloret	Els bufadors de Lloret	F	276532	4517367	310					
4RO5	Capella del Carme	Jose Andreu Garcia	P	286485	4516606	78.3					
4RO8	Font Cendrossa	Font Cendrossa	F	272338	4516013	750					D
4RO9	Font Cova Avellanes	Font Cova Avellanes	F	272848	4518837	1000	521-2-8				
4RON164	Pilans nou	Pou Pilans Nou	P	285667	4522865	96.9		AJUNTAMENT ROQUETES	150	300	D
4SC1	Horta vella	Pou finca del payes de la Noria de agua	P	297069	4500788	5.6					A
4SC2	Font de Burgar	Font de Burgar	F	292737	4502203	399					
4SC3	Pou Burgar	Montsià	P	292660	4502265	450					
4SE1	Font de Rossegadors	Font de Rossegadors	F	266638	4506247	430	521-6-5				D
4SE11	Bc de la Fou	Font Teix	F	268096	4513063	700					
4SE12	Bc del Retaule	Font Retaule	F	269410	4514638	1000					
4SE2	Tolls dels Arenals	Ullal Senia Marcial	F	269227	4504364	416					A
4SE3	Piezòmetre sota la presa	Pou sota la presa Ulldecona	P	266551	4506217	451	521-6-6				D
4SE4	Ulldecona	SGOP-SQ2	S	266551	4506217	450	521-6-1		200	90	
4SE9	Bc de la Fou	Font de la Fou	F	265862	4509197						
4TV1	Pou Vinallop nuevo	Pou depósito Vinallop	P	289987	4516549	34.8		EMPRESA MUNICIPAL DE SERVEIS PUBLICS	401	400	D
4UL1	La Miliana	Pou la Miliana	P	283606	4503145	135					
5AM1	ullals de batasar (de Ariste)	ullals de batasar (de Ariste)	F	296550	4506125	0.8					
5GA1	abastecimiento a la Galera.	abastecimiento a la Galera. Corvaxot	S	284145	4508438	170					
5PB1	PRAT DE COMTE	BARRANCO (Pou barranc de la Chalamera)	P	281952	4540118	370					244
5RO1	ullals de soldevilla	ullals de soldevilla	F	274414	4524735	1200					
5RO2	BUFADORS	BUFADORS. BARRANCO DE LLORET MMA	S	276839	4517388	300					
5SB1	sondeo nuevo de abast a Bitem	sondeo nuevo de abastecimiento a Bitem	S	292250	4519300	35					
5TT1	mig cami	mig cami	S	286085	4511865	110					

Tabla A.1.e. Inventario de puntos de agua con análisis isotópico de la molécula de agua.

Expediente	Topónimo	Nombre	Tipo	X(m)	y(m)	Z(msnm)	Orto	Titular	Prof(m)	Diám(m)	Uso
0AD46	Plana d'Alfara	LUCERO ANGUERA, JOAQUIN I ALTRES	P	286380	4528460	112.8	496-12-6	CR POU TAMARID-CODOLLA	130	300	A
0AD83		Pou complementari AYUNTAMENT ALDOVER	P	289349	4528589	30.1	487-1-6	AJUNTAMENT ALDOVER			D
0AL110	Casc urbà	Pou Dipòsit (Nou)	P	286260	4491400	109.55	564-12-6	AJUNTAMENT D'ALCANAR	209	220	D
0AM249	Raco de Muria	Pou abastecimiento Freginals	P	292741	4506360	86.1	522-3-8	AJUNTAMENT DE FREGINALS	135	400	D
0AM257	Pou Dipòsit Tosses	Pou Dipòsit (Amp.Abastament)	P	294194	4509105	55.93	522-4-7	AJUNTAMENT AMPOSTA	133	500	D
0GO16	Clapises	Pou abastament municipal AYUNTAMIENTO	P	285505	4505640	100	521-8-5	AJUNTAMENT DE GODALL	160	400	D
0GO09	Espinalets	Arcis GODALL IV	P	284065	4505425	135.49	521-11-8	SAT POUS GODALL	166	600	A
0MB5		Pozo granja - cami de la Vall	P	277290	4511365	362.6		ROYO, MARIO (BAR DEL MAS)	250	160	G
0MV47	Coll	Pou Nou Abastament	P	292760	4509770	91.4	522-3-6	AJUNTAMENT MASDENVERGE	180	450	D
0RO118	Poc Augment	Mas de la Dama 1 (Pou Reserva)	P	284155	4520750	120	521-11-2	MASIA QUATRE CAMINS, SA	140	350	A
0RO136	Raval de Cristo	Matadero	P	289035	4520982	7	522-1-1		45	500	
0RO164	Pilans	Pou Pilans	P	285687	4522835	97.75	521-12-1	AJUNTAMENT ROQUETES	105	300	D
0RO366	Finca La Pastora	Pozo II ZAHARA	P	284318	4514261	136			260	400	
0RO54	Bc. de Vallcervera	Pou Ventós	P	288042	4522665	57.6		CU POU VENTOS	86	225	A
0RO99	Mas de la Dama	MIRALLES GINER, FRANCISCO	P	283785	4520950	130	521-11-2	MASIA QUATRE CAMINS, SA (MIRALLES)	250	400	A
05B17	Pou Forcada	Pou Finca Palmera. Pz. "Forcada 1 Y 2"	S	287755	4511060	82	522-1-6		230	500	A
0TJ207	Reguers	Pou Camp de Fútbol	P	284666	4524238	128.5		AJUNTAMENT TORTOSA - REGUERS	155	350	D
0UL1	Barranc de les Cases	Pou Les Cases d'Alcanar 2. Piez Bc. Sant Jaume	S	289400	4493560	60	547-2-5	AJUNTAMENT D'ALCANAR - JAC	92	330	
0UL2	Ulldecona 2 Pou Molí de la Roca	Lligallo Canyada Reial de la Roca	P	274240	4499365	276.24		CR ULLDECONA			
0UL39		Piezòmetre " Pou Ventalles"	S	288225	4502110	116		AJUNTAMENT ULLDECONA - LES VENTALLS-	237	195	D
0UL6	Castell	Pou Dipòsit Castell 2	P	282850	4497485	176.84	546-7-4	AJUNTAMENT ULLDECONA			D
0UL98	Ulldecona-3 (Sant Joan Del Pas I)		P	278970	4498815	203.2	546-9-3	CR ULLDECONA - JAC	400	500	A
0XE105	Tereoles		P	284365	4527210	150	496-11-7	CR TEREOLAS			A
0XE18	Vinyases. Campo de futbol	Pou camp d'esports	P	288585	4532265	25		AJUNTAMENT XERTA			
1GA2		Pou abast La Galera NOU-antiguo	P	284719	4506844	134.5			130	260	D
2AM1	Ullals de la Carrova	Fuente de la Carrova	F	294277	4513276	5	522-3-5				A
2SE1	Fuente San Pere	Fuente San Pere	F	268891	4505096	380					D
3AL2		St. Miguel	P	285365	4490766	62	546-8-4		64	1800	
3RO2	Galatxo		P	283120	4520493	137	251-4-14			350	
3SB1		Dania	P	286872	4511477	100	521-8-6		192	300	
3SC1		Partida Karia I	P	296716	4501959	12.6	547-2-17		24.6		
3SE5	Traiguera		P	278737	4497894	205	546-3-21		500	400	
3TT11		Coll de l'Alba	P	297979	4522512	12	522-2-36		280	0	
3TT12		Granja	P	303326	4518060	37.5	522-3-4		185	400	
3UL2	Granja Nel.lo		P	275919	4498973	242	546-3-10		80	350	
3UL6	Querol		P	282551	4497798	175	546-4-44		297	400	
4AC1	Font dels Ullals	Font dels Ullals	F	277980	4526690	429	496-7-4				D
4AC3	Bc Val cervera	Font del Mascà	F	274742	4521588	1050					
4AC6	Font Nova	Font Nova	F	283778	4530940	400					
4AC7	Fonts del Tosca	Font del Ferro	F	276696	4525074	540					
4AM5	Ullals de l'Ariste	Pou de l'Ariste	F	296884	4505237	0.2					
4CRULL	C.R. Ulldecona	C.R. Ulldecona	P	274108	4499408						
4GA1		Pou abast La Galera NOU	P	284531	4506965	134.2			130		
4GO1	Font de l'Arboç	Font de l'Arboç	F	286911	4505268	150					
4GO2	Font cap d'Àsens	Font cap d'Àsens	F	286507	4502326	310					
4PA1	font de San Roc	Font de San Roc	F	279700	4532371	450					
4PA2	Les Font de Pauïls	Les Font de Pauïls	F	284312	4533803	125					
4RO15	Bc de la Caramella	Font de la Caramella	F	278598	4520683	575	521-3-1				
4RO18	Covalta	Bufador	F	279560	4518569	219					
4RO20	Bc de Sant Antoni	Tolls de Sant Antoni	F	285973	4518284	49					
4RO24	La Vall (Bc de la Galera)	Font del Bosc	F	272359	4516409	775					
4RO26	Font Cova Pintada	Font Cova Pintada	F	276221	4518091	425					
4RO3	Bc de Lloret	Els bufadors de Lloret	F	276532	4517367	310					
4RO8	Font Cendrossa	Font Cendrossa	F	272338	4516013	750					D
4RO9	Font Cova Avellanes	Font Cova Avellanes	F	272848	4518837	1000	521-2-8				
4RON164	Pilans nou	Pou Pilans Nou	P	285667	4522865	96.9		AJUNTAMENT ROQUETES	150	300	D
4SC2	Font de Burgar	Font de Burgar	F	292737	4502203	399					
4SC3	Pou Burgar	Montsià	P	292660	4502265	450					
4SE1	Font de Rossegadors	Font de Rossegadors	F	266638	4506247	430	521-6-5				D
4SE11	Bc de la Fou	Font Teix	F	268096	4513063	700					
4SE12	Bc del Retaule	Font Retaule	F	269410	4514638	1000					
4SE2	Tolls dels Arenals	Ullal Senia Marcial	F	269227	4504364	416					A
4SE3		Pou sota la presa Ulldecona	P	266551	4506217	451	521-6-6				D
4TV1	Pou Vinallop nuevo	Pou depósito Vinallop	P	289987	4516549	34.8		EMPRESA MUNICIPAL DE SERVEIS PUBLICS	401	400	D
4UL1	La Miliana	Pou la Miliana	P	283606	4503145	135					
5AM1	ullals de baltasar (de Ariste)	ullals de baltasar (de Ariste)	F	296550	4506125	0.8					



## ANEXO 2. CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DEL AGUA DE LLUVIA

### A.2.1. ANTECEDENTES EN LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA

Datos extraídos de la Tesis Doctoral Alcalá, 2005 (ver Capítulo 6.1).

El muestreo se llevó a cabo con frecuencia quincenal a mensual. En cada muestreo se lavaba el dispositivo con 500 mL de agua destilada para recoger las sales precipitadas. Dicho volumen de agua se tuvo en cuenta a la hora de interpretar los resultados de los análisis del laboratorio.

Tabla A.2.1. Características geográficas y periodo de muestreo previo de la lluvia en Roquetes.

Estación	Código		coordenadas			fecha de los muestreos		características	Tipo de deposición
	ID		X (m)	Y (m)	Z (msnm)	inicio	final		
Roquetes	ES03		288677	4522047	51	01-jun-87	31-may-03	apertura automática, permanente	húmeda
Roquetes	TMM PA		288676	4522054	51	10-oct-02	10-nov-03	abierto, muestreo temporal	total

#### A.2.1.1. Deposición atmosférica de ión cloruro

Tabla A.2.1.1.a. Deposición atmosférica total de ión cloruro,  $A_p$  ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) en el periodo octubre 2002-noviembre 2003 (Alcalá, 2005) en TMM PA.

Muestreos	n(días)	$P_m$ (mm)	$Cl_p$ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	$A_p$ ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ )	* $A_p$ ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )
16-oct-02 a 14-nov-02	30	2	13.12	0.1	1.25
14-nov-02 a 17-dic-02	33	26	2.38	0.08	0.84
17-dic-02 a 16-ene-03	30	26	1.89	0.06	0.74
16-ene-03 a 17-feb-03	32	5	2.54	0.03	0.33
17-feb-03 a 17-mar-03	28	70	2.7	0.21	2.69
17-mar-03 a 15-abr-03	29	127	1.06	0.14	1.77
16-abr-03 a 9-may-03	23	116	1.18	0.14	2.29
9-may-03 a 19-may-03	10	4	3.29	0.03	1.19
19-may-03 a 16-jun-03	28	12	1.75	0.03	0.42
16-jun-03 a 19-jul-03	33	6	2.62	0.03	0.36
19-jul-03 a 18-ago-03	30	50	1.11	0.06	0.76
18-ago-03 a 18-sep-03	31	47	2.36	0.13	1.48
18-sep-03 a 16-oct-03	28	74	1.08	0.09	1.13
16-oct-03 a 04-nov-03	19	25	1.83	0.06	1.08
suma	385	591	38.89	1.19	1.16

n: número de días del periodo de muestreo;  $P_m$ : precipitación estimada;  $Cl_p$ : cloruros atmosféricos totales del agua de lluvia;  $A_p$ : deposición atmosférica total de ión cloruro calculada a partir de  $Cl_p$ . Para el cálculo de  $A_p$  se ha tenido en cuenta la incorporación de 500 ml de agua destilada utilizada durante el muestreo del agua de lluvia. \* $A_p$  ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ) en valor anualizado según la duración del periodo de muestreo.

Se realizó el muestreo acumulado de la deposición total por intervalos temporales, obteniendo al final de cada periodo un volumen de muestra que incluye el volumen de precipitación y el volumen conocido de agua destilada añadida para lavar el polvo y precipitados depositados en el embudo colector (500 mL). El diámetro del colector es de 320 mm.

La deposición de cloruro en cada intervalo es calculada mediante:

$$A_p \text{ (g}\cdot\text{m}^{-2}\text{)} = \frac{Cl_p \text{ (mg/L)}}{S_c \text{ (m}^2\text{)}} [V_L \text{ (mL)} + V_A \text{ (mL)}] \frac{1\text{L}}{1000\text{mL}} \frac{1\text{g}}{1000\text{mg}}$$

(Siendo,  $A_p$ = deposición total en el periodo  $\Delta t$ ;  $Cl_p$ = concentración de cloruros en el agua recolectada;  $S_c$ = superficie del embudo del colector;  $V_L$ = volumen de precipitación;  $V_A$ = volumen añadido de agua destilada para el lavado del embudo, todo ello en las unidades indicadas (Alcalá, 2005).

La suma de la deposición de cada intervalo temporal (en  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) permite obtener la deposición total producida durante todo el periodo considerado (Tabla A.2.1.1a y A.2.1.1.b).

Tabla A.2.1.1.b. Deposición atmosférica húmeda de ión cloruro registrada en la estación ubicada en el Observatori de l'Ebre ES03-Roquetes (1987-2003).

muestreo	n(días)	P(mm)	Cl med (mg/l)	$\bar{A}_p$ (g·m <sup>-2</sup> )	$\Sigma A_{p_i}$ (g·m <sup>-2</sup> )
1-jun-87 a 31-dic-87	214	334	2.98	0.99	0.43
1-ene-88 a 31-dic-88	366	428	2.74	1.17	1.3
1-ene-89 a 31-dic-89	365	544	2.38	1.30	0.87
1-ene-90 a 31-dic-90	365	316	1.60	0.50	0.4
1-ene-91 a 31-dic-91	365	397	2.96	1.18	0.64
1-ene-92 a 31-dic-92	366	563	1.61	0.90	1.18
1-ene-93 a 31-dic-93	365	433	2.30	1.00	0.68
1-ene-94 a 31-dic-94	365	493	2.11	1.04	0.52
1-ene-95 a 31-dic-95	365	318	3.23	1.03	0.39
1-ene-96 a 31-dic-96	366	370	1.34	0.49	0.72
1-ene-97 a 31-dic-97	365	556	3.15	1.75	0.77
1-ene-98 a 31-dic-98	365	409	3.80	1.56	0.58
1-ene-99 a 31-dic-99	365	449	2.24	1.01	0.75
1-ene-00 a 12-jun-00	164	235	2.45	0.58	0.56
1-ene-01 a 31-dic-01	365	100	4.07	0.41	0.44
1-ene-02 a 31-dic-02	365	509	3.21	1.63	0.98
1-ene-03 a 31-may-03	151	259	1.68	0.44	0.38
valor medio		395	2.58	1.00	0.68

n: número de días del periodo de muestreo; P: sumatorio de las precipitaciones diarias para el periodo considerado; Cl med: promedio de cloruros atmosféricos de deposición húmeda para el periodo considerado;  $\bar{A}_p$ : deposición atmosférica total de ión cloruro calculada a partir de los cloruros promediados por la precipitación;  $\Sigma A_{p_i}$ : deposición atmosférica total de ión cloruro para el periodo considerado calculada a partir de la suma de las aportaciones diarias calculadas para cada muestreo.



Tabla A.2.1.1.c. Comparación de la deposición total y húmeda de Cl en la estación de Roquetes para iguales periodos de muestreo (\* y \*\*).

Muestreos	n(días)	Muestreador de deposición total (TMM PA)			Muestreador de deposición húmeda (ES03-Roquetes)		
		P <sub>m</sub> (mm)	Cl <sub>p</sub> (mg·L <sup>-1</sup> )	Ap <sub>p</sub> (g·m <sup>-2</sup> )	P (mm)	Cl <sub>p</sub> (mg·L <sup>-1</sup> )	Ap <sub>p</sub> (g·m <sup>-2</sup> )
*16-oct-02 a 14-nov-02	30	2	13.12	0.1	2	1.72	0.00
14-nov-02 a 17-dic-02	33	26	2.38	0.08	12	2.62	0.03
17-dic-02 a 16-ene-03	30	26	1.89	0.06	0	-	0.00
16-ene-03 a 17-feb-03	32	5	2.54	0.03	0	-	0.00
17-feb-03 a 17-mar-03	28	70	2.7	0.21	5	0.98	0.01
17-mar-03 a 15-abr-03	29	127	1.06	0.14	110	1.39	0.15
16-abr-03 a 9-may-03	23	116	1.18	0.14	116	1.5	0.17
9-may-03 a 19-may-03	10	4	3.29	0.03	4	1.52	0.01
19-may-03 a 16-jun-03	28	12	1.75	0.03	12	1.5	0.02
16-jun-03 a 19-jul-03	33	6	2.62	0.03	6	1.83	0.01
19-jul-03 a 18-ago-03	30	50	1.11	0.06	50	1.15	0.06
18-ago-03 a 18-sep-03	31	47	2.36	0.13	49	2.81	0.14
18-sep-03 a 16-oct-03	28	74	1.08	0.09	74	1.48	0.11
16-oct-03 a 04-nov-03	19	25	1.83	0.06	23	1.58	0.04
suma	354	588		1.09	461		0.74
media		45	1.98	0.08	36	1.67	0.06

\*P<sub>m</sub> (mm): precipitación estimada a partir del volumen de agua de lluvia almacenado en el colector durante el periodo de muestreo. P (mm): precipitación registrada por el pluviómetro de la estación meteorológica de l' Observatori de l'Ebre situado en el mismo recinto que el TMM PA y la estación de deposición húmeda ES03-Roquetes.  $Ap_p = \sum Cl_i * P_i$  para el colector ES03-Roquetes (el muestreo y análisis se realiza para cada evento de lluvia) y  $Ap_p = Cl_i * P_i$  para el TMM PA (es una sola muestra agregada para el periodo considerado).

\*\*La primera recogida no se ha tenido en cuenta en los cálculos ya que se asume que por manipulación en el montaje del colector de agua de lluvia los resultados no representan la realidad.

### A.2.1.2. Química elemental del agua de lluvia

Para los datos de la estación ES03-Roquetes se han obtenido las medias con sus desviaciones estándar; dado que las desviaciones estándar son significativamente grandes se han considerado para el estudio de los datos los percentiles 25, 50 y 75 de los muestreos para el periodo 1987-2003 (ver Tabla A.2.1.2.b).

Tabla A.2.1.2.a. Análisis químico de agua de lluvia recogida en el colector de agua de lluvia TMM PA (periodo 2002-2003).

Muestreo		n (días)	Lluvia P (mm)	Agua destilada (L)	pH 25º	C E	(mg·L <sup>-1</sup> )										NH <sub>4</sub>	e
inicio	final						Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Br	Na	K	Ca	Mg		
14-nov-02	17-dic-02	33	20.55	0.5	6.9	70	2.35	<1	23.59	20.81	0.56	0.004	2.78	<1	6.94	4.16	<0,05	1.12
17-dic-02	16-ene-03	30	20.83	0.5	6.9	42	1.86	<1	13.88	15.26	0.14	0.003		<1	4.16	4.16	<0,05	1.20
16-ene-03	17-feb-03	32	4.18	0.5	6.9	165	2.41	3.36	84.64	47.18	1.25	0.004	2.78	<1	31.91	8.33	<0,05	1.06
17-feb-03	17-mar-03	28	56.46	0.5	7	49	2.68	<1	26.36	12.49	0.42	0.010	2.78	<1	5.55	4.16	<0,05	1.12
17-mar-03	15-abr-03	29	101.98	0.5	7.1	27	1.06	<1	13.88	5.55	0.28	0.005	<2	<1	2.78	2.78	<0,05	1.21
15-abr-03	16-abr-03	1	2.09	0.5	6.8	44	1.55	<1	20.81	13.88	0.97	0.016	<2	<1	5.55	4.16	<0,05	1.20
16-abr-03	09-may-03	23	93.21	0.5	6.9	20	1.18	<1	9.71	4.16	0.14	0.027	<2	<1	1.39	2.78	<0,05	1.22
09-may-03	19-may-03	10	2.98	0.5	6.8	62	3.40	<1	11.10	31.91	1.11	0.031	4.16	2.78	5.55	4.16	<0,05	0.99
19-may-03	16-jun-03	28	9.65	0.5	6.7	118	1.66	4.21	63.83	24.98	2.36	0.013	2.78	1.39	19.43	6.94	<0,05	1.06
16-jun-03	19-jul-03	33	4.91	0.5	6.7	155	2.48	3.31	86.03	36.08	1.67	0.016	2.78	4.16	29.14	6.94	<0,05	1.01
19-jul-03	18-ago-03	30	40.21	0.5	6.9	54	1.10	<1	34.69	9.71	0.56	0.019	<3	<1	8.33	4.16	<0,05	1.17
18-ago-03	18-sep-03	31	38.04	0.5	6.9	63	2.34	<1	34.69	11.10	0.56	0.004	4.16	<1	8.33	2.78	<0,05	1.08
18-sep-03	16-oct-03	28	59.27	0.5	6.8	30	1.08	<1	11.10	8.33	0.28	nd	<2	<1	2.78	2.78	0.17	1.18
16-oct-03	04-nov-03	19	19.78	0.5	6.7	30	1.80	<1	11.10	8.33	0.28	0.001	<2	<1	2.78	2.78	0.48	1.16
suma		355	474.14															
media					6.86	66.36	1.92		31.82	17.84	0.75	0.012			9.61	4.36		1.13
desviación estándar					0.12	46.56	0.71		26.90	12.81	0.65	0.010			9.89	1.79		0.08
mediana					6.90	51.50	1.83		22.20	13.18	0.56	0.010			5.55	4.16		1.14
CV					0.02	0.70	0.37		0.85	0.72	0.86	0.815			1.03	0.41		0.07
P		Pluviometría estimada en mm obtenida a partir del volumen de agua de lluvia recogida en el colector de agua lluvia											e	error = 200(Σ aniones- Σ cationes)/( Σ aniones+ Σ cationes) (%)				
CE		Conductividad eléctrica en μS·cm <sup>-1</sup> a 25º											nd	no determinado				
(mg·L <sup>-1</sup> )		concentración de la lluvia																

Tabla A.2.1.2.b. Análisis químicos de agua de lluvia recogida en el colector de agua de lluvia ES03-Roquetes (1987-2003). (Concentraciones en mg·L<sup>-1</sup>).

Percentil	SO <sub>4</sub>	Cl	NO <sub>3</sub>	Na	K	Ca	Mg
P <sub>25</sub>	0.67	0.86	0.34	0.43	0.12	0.81	0.14
P <sub>50</sub>	0.89	1.20	0.56	0.85	0.16	1.63	0.25
P <sub>75</sub>	1.18	2.45	0.87	1.67	0.24	2.50	0.38

## A.2.2. ESTUDIO DEL AGUA DE LLUVIA DURANTE EL PERIODO 2010-2014

### A.2.2.1. Material de montaje del colector de agua de lluvia

- 1 bidón con cierre de ballesta de 30L de capacidad
- 1 vaso graduado de plástico de 5L de capacidad y bidón de 10L para las zonas en las que se prevee mayor precipitación
- 1 embudo de plástico de 26 cm de diámetro como tapa del bidón
- 1 rejilla
- Alambre para fijar la rejilla al embudo de 26 cm de diámetro
- Cinta adhesiva blanca
- 1 bote de parafina líquida
- Botellas de plástico de 0,5 y 1 L con sus respectivas tapas internas y externas
- 1 embudo pequeño de 10 cm de diámetro para la recogida de muestras
- 1 jeringa graduada
- 1 rotulador permanente, cinta adhesiva transparente y etiquetas de papel para marcado de las botellas
- 1 carpeta con mapa de situación de tomamuestras y estadillo de recopilación de datos
- Caja de guantes profilácticos de vinilo (hipoalergénicos)

### A.2.2.2. Configuración del colector de agua de lluvia

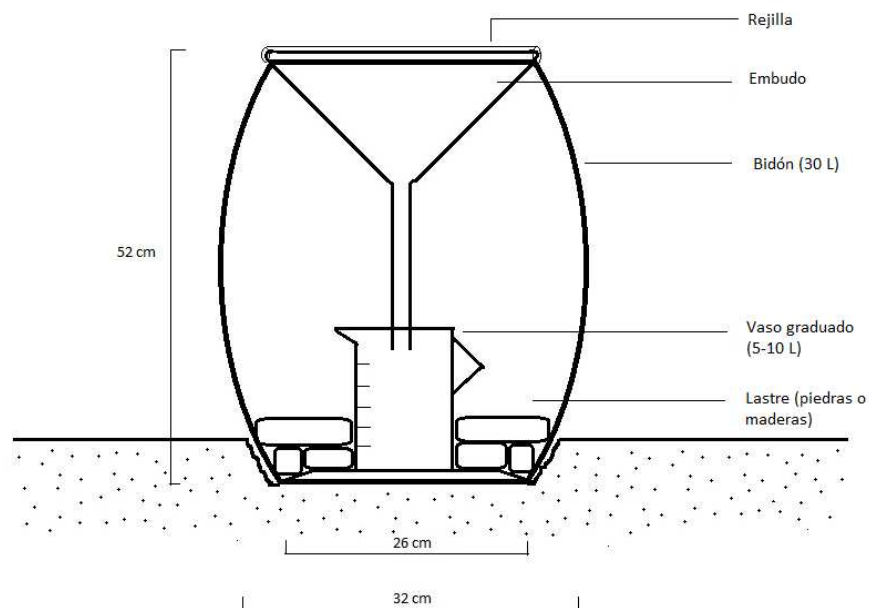


Figura A.2.2.2.a. Configuración del colector de agua de lluvia



Figura A.2.2.2.b. Proceso de instalación de un colector de agua de lluvia.

### A.2.2.3. Muestreos realizados durante el periodo 2011-2014

En el muestreo actual, a diferencia del realizado en el periodo 2002-2003 (ver Anexo 2.1.1) no se ha realizado el lavado del vaso graduado ni del embudo con cada recogida de agua de lluvia, de modo que las sales precipitadas se incorporan a la muestra siguiente.

En la Tabla A.2.2.3.a aparecen las fechas de inicio y fin de los muestreos llevados a cabo hasta el momento en los 9 colectores de agua de lluvia (TMM P1A, P1B, P1C, 1-D, P2A, P2B, P3A, P3B, P3C). Dado que durante algunos muestreos se produjeron incidencias se consideran como válidos para el estudio del primer año de recogidas los siguientes periodos de muestreo recogidos en la Tabla A.2.2.3.b.

Tabla A.2.2.3.a. Muestreos realizados durante el periodo de estudio (2011-2014).

Muestreo	Fecha inicio	Fecha fin
1	16-dic-10	11-feb-11
2	11-feb-11	25-mar-11
3	25-mar-11	27-abr-11
4	27-abr-11	06-jul-11
5	06-jul-11	19-dic-11
6	19-dic-11	28-feb-12
7	28-feb-12	11-abr-12
8	11-abr-12	31-may-12
9	31-may-12	16-jul-12
10	16-jul-12	05-oct-12
11	05-oct-12	21-nov-12
12	21-nov-12	08-feb-13
13	08-feb-13	13-mar-13
14	13-mar-13	10-may-13
15	10-may-13	12-jul-13
16	12-jul-13	22-sep-13
17	22-sep-13	16-dic-13
18	16-dic-13	17-feb-14

Tabla A.2.2.3.b. Muestreos considerados para el periodo de estudio (2011-2014).

Muestreo	Fecha inicio	Fecha fin
2	11-feb-11	25-mar-11
3+4	25-mar-11	06-jul-11
5	06-jul-11	19-dic-11
6	19-dic-11	28-feb-12
7	28-feb-12	11-abr-12
8	11-abr-12	31-may-12
9	31-may-12	16-jul-12
10	16-jul-12	05-oct-12
11	05-oct-12	21-nov-12
12+13	21-nov-12	13-mar-13
14	13-mar-13	10-may-13
15	10-may-13	12-jul-13
16	12-jul-13	22-sep-13
17	22-sep-13	16-dic-13
18	16-dic-13	17-feb-14

Incidencias producidas durante los muestreos:

- 1) No se considerará el muestreo 1 puesto que los resultados difieren notablemente respecto al resto de periodos de muestreo; dichas muestras pudieron verse afectadas tanto por la falta de lavado inicial como por la manipulación durante el montaje de los colectores ya que al instalarlos se utilizó cemento para la fijación de los bidones que pudo incorporarse al vaso de recogida de agua de lluvia y alterar la muestra.
- 2) Para el muestreo número 3, marzo- abril 2011, no se recogió la muestra para el colector TMM P1-B. Por tanto se ha considerado la muestra agregada para el periodo de marzo 2011-julio 2011. Lo mismo ha sucedido para el TMM P1-B y P3-B en el muestreo número 12, noviembre 2012-febrero 2013, considerándose la muestra agregada de noviembre 2012 a marzo 2013.
- 3) Del TMM P1-A el muestreo número 13 no se pudo realizar debido a la cantidad de nieve-hielo que había en la carretera de acceso al punto de recogida de la muestra y del muestreo número 11 no se considerará la muestra perteneciente al TMM P3-C dado que la cantidad de lluvia fue tan grande que originó una pequeña avenida en el entorno del colector haciendo que desbordara y volcara.

#### A.2.2.4. Análisis de química elemental de agua de lluvia y valores de deposición atmosférica total

Tabla A.2.2.4.a. Química básica y deposición atmosférica total. ( $A_p$  ( $g\ m^{-2}$ ): deposición atmosférica total para el periodo de muestreo, P(mm): Precipitación acumulada en el periodo de muestreo) (1 de 3).

Estación meteorológica	Estación muestreo	Fecha muestreo			pH	CE ( $\mu S/cm$ )	Cl		SO4		P (mm)	Ap ( $g/m^2$ )
		Inicio	Fin	días			(mg/l)	(meq/l)	(mg/l)	(meq/l)		
PN Els Ports	TMM P1-A	11-feb-11	25-mar-11	42	7	38	6.4	0.18	3.8	0.08	430.7	2.76
PN Els Ports	TMM P2-A	11-feb-11	22-mar-11	39	7.3	34	4.6	0.13	3.8	0.08	374	1.72
PN Els Ports	TMM P3-A	11-feb-11	19-mar-11	35	6.6	14	3.9	0.11	1.9	0.04	396.9	1.55
PN Els Ports	TMM P1-B	11-feb-11	25-mar-11	42	7.5	37	6	0.17	1.9	0.04	430.7	2.58
L'Aldea	TMM P2-B	11-feb-11	22-mar-11	39	7.2	34	5	0.14	3.8	0.08	204.2	1.02
Fredes	TMM P3-B	11-feb-11	22-mar-11	39	7.1	58	7.8	0.22	7.7	0.16	190.4	1.49
L'Aldea	TMM P1-C	11-feb-11	25-mar-11	42	6.5	62	6.7	0.19	9.6	0.2	204.4	1.37
Els Valentins	TMM P3-C	11-feb-11	22-mar-11	39	7.1	39	5	0.14	3.8	0.08	159.4	0.8
PN Els Ports	TMM P1-A	25-mar-11	06-jul-11	103	7	44	6.4	0.18	2.4	0.05	299.5	1.92
PN Els Ports	TMM P2-A	22-mar-11	07-jul-11	107	7.3	53	6.2	0.18	6.25	0.13	314.75	1.95
PN Els Ports	TMM P3-A	19-mar-11	07-jul-11	110	6.6	21	5.3	0.15	2.53	0.05	253.2	1.34
PN Els Ports	TMM P1-B	25-mar-11	06-jul-11	103	6.7	34	6	0.17	1.9	0.04	199.5	1.2
L'Aldea	TMM P2-B	22-mar-11	07-jul-11	107	7.4	133	18.4	0.52	23.05	0.48	102	1.88
Fredes	TMM P3-B	22-mar-11	07-jul-11	107	7	82	6.4	0.18	13.45	0.28	187	1.2
L'Aldea	TMM P1-C	25-mar-11	06-jul-11	103	7.2	70	7.8	0.22	10.55	0.22	120.4	0.94
Els Valentins	TMM P3-C	22-mar-11	07-jul-11	107	7.3	100	11.15	0.31	8.3	0.17	136.3	1.52
PN Els Ports	TMM P1-A	06-jul-11	19-dic-11	166	7.5	28	5.7	0.16	1.9	0.04	485.5	2.77
PN Els Ports	TMM P2-A	07-jul-11	19-dic-11	166	7.3	104	5.3	0.15	7.7	0.16	485.5	2.57
PN Els Ports	TMM P3-A	07-jul-11	03-dic-11	160	6.7	59	6.5	0.18	7.6	0.16	346.4	2.25
PN Els Ports	TMM P1-B	06-jul-11	19-dic-11	166	7.4	96	5	0.14	5.8	0.12	485.5	2.43
L'Aldea	TMM P2-B	07-jul-11	20-dic-11	167	7.4	305	7.1	0.2	88.4	1.84	151.8	1.08
Fredes	TMM P3-B	07-jul-11	19-dic-11	166	7.1	110	6.5	0.18	3	0.06	234	1.52
L'Aldea	TMM P1-C	06-jul-11	25-feb-12	234	7.5	163	4.8	0.14	5.8	0.12	237.8	1.14
Els Valentins	TMM P3-C	07-jul-11	19-dic-11	166	7.3	59	6	0.17	2.9	0.06	234	1.4

Tabla A.2.2.4.a. Química básica y deposición atmosférica total. ( $A_p$  ( $g \cdot m^{-2}$ ): deposición atmosférica total para el periodo de muestreo, P(mm): Precipitación acumulada en el periodo de muestreo) (2 de 3).

Estación meteorológica	Estación muestreo	Fecha muestreo			días	pH	CE ( $\mu S/cm$ )	Cl		SO4		P (mm)	Ap ( $g/m^2$ )
		Inicio	Fin	(mg/l)				(meq/l)	(mg/l)	(meq/l)			
PN Els Ports	TMM P1-A	19-dic-11	28-feb-12	71	7.5	28	5.7	0.16	19	0.04	81.7	0.47	
PN Els Ports	TMM P2-A	19-dic-11	28-feb-12	71	6.6	34	2.1	0.06	19	0.04	81.7	0.17	
PN Els Ports	TMM P3-A	03-dic-11	21-ene-12	50	6.1	17	2.1	0.06	19	0.04	45.8	0.1	
PN Els Ports	TMM P1-B	19-dic-11	28-feb-12	71	7	116	1.8	0.05	5.8	0.12	81.7	0.15	
L'Aldea	TMM P2-B	20-dic-11	28-feb-12	70	7.3	78	3.5	0.1	19	0.04	47.5	0.14	
Fredes	TMM P3-B	19-dic-11	28-feb-12	71	6.9	102	2.7	0.08	19	0.04	45.8	0.12	
L'Aldea	TMM P1-C	06-jul-11	25-feb-12	234	7.5	163	4.8	0.14	5.8	0.12	237.8	0.05	
Els Valentins	TMM P3-C	19-dic-11	28-feb-12	71	6.7	43	2.5	0.07	19	0.04	45.8	0.11	
PN Els Ports	TMM P1-A	11-abr-12	28-feb-12	43	6.6	25	1.8	0.05	3.8	0.08	247.1	0.44	
PN Els Ports	TMM P2-A	11-abr-12	28-feb-12	43	6.7	32	2.7	0.08	3.8	0.08	247.1	0.67	
PN Els Ports	TMM P3-A	11-abr-12	21-ene-12	81	6.15	23	3.5	0.1	1.9	0.04	178.5	0.62	
PN Els Ports	TMM P1-B	11-abr-12	28-feb-12	43	6.9	57	3.4	0.1	3.8	0.08	247.1	0.84	
L'Aldea	TMM P2-B	11-abr-12	28-feb-12	43	7.1	73	4.1	0.12	3.8	0.08	82.6	0.34	
Els Valentins	TMM P3-B	11-abr-12	28-feb-12	43	6.8	94	3.4	0.1	5.8	0.12	63.7	0.22	
L'Aldea	TMM P1-C	11-abr-12	28-feb-12	43	7.45	58	3.4	0.1	1.9	0.04	82.6	0.28	
Els Valentins	TMM P3-C	11-abr-12	28-feb-12	43	6.6	53	4.3	0.12	1.9	0.04	63.7	0.27	
Observatori (Roque	TMM P1-D	11-abr-12	28-feb-12	43	7.25	75	3.2	0.09	1.9	0.04	71.2	0.23	
PN Els Ports	TMM P1-A	31-may-12	11-abr-12	50	6.8	32	1.8	0.05	1.9	0.04	65.2	0.12	
PN Els Ports	TMM P2-A	31-may-12	11-abr-12	50	6.65	71	3.4	0.1	1.9	0.04	65.2	0.22	
PN Els Ports	TMM P3-A	31-may-12	11-abr-12	50	6.25	27	2	0.06	1.9	0.04	65.2	0.13	
PN Els Ports	TMM P1-B	31-may-12	11-abr-12	50	6.75	113	3.8	0.11	5.8	0.12	65.2	0.25	
L'Aldea	TMM P2-B	31-may-12	11-abr-12	50	6.7	208	4.6	0.13	21.1	0.44	16.3	0.13	
Els Valentins	TMM P3-B	31-may-12	11-abr-12	50	6.65	210	3.9	0.11	23.1	0.48	27.1	0.11	
L'Aldea	TMM P1-C	31-may-12	11-abr-12	50	6.7	59	1.8	0.05	1.9	0.04	34.8	0.05	
Els Valentins	TMM P3-C	31-may-12	11-abr-12	50	6.55	82	5	0.14	1.9	0.04	27.1	0.14	
Observatori (Roque	TMM P1-D	31-may-12	11-abr-12	50	6.9	100	2.3	0.06	1.9	0.04	55.4	0.13	
PN Els Ports	TMM P1-A	16-jul-12	31-may-12	46	6.75	51	4.3	0.12	1.9	0.04	36.9	0.16	
PN Els Ports	TMM P2-A	16-jul-12	31-may-12	46	6.35	73	4.6	0.13	7.7	0.16	36.9	0.17	
PN Els Ports	TMM P3-A	16-jul-12	31-may-12	46	6.5	36	4.2	0.12	5.8	0.12	36.9	0.15	
PN Els Ports	TMM P1-B	16-jul-12	31-may-12	46	6.7	113	6.4	0.18	1.9	0.04	36.9	0.24	
L'Aldea	TMM P2-B	16-jul-12	31-may-12	46	6.9	415	11	0.31	109.5	2.28	9.6	0.11	
Els Valentins	TMM P3-B	16-jul-12	31-may-12	46	6.9	116	5	0.14	15.4	0.32	65.1	0.33	
L'Aldea	TMM P1-C	16-jul-12	31-may-12	46	6.65	125	8.9	0.25	9.6	0.2	20	0.09	
Els Valentins	TMM P3-C	16-jul-12	31-may-12	46	6.9	0.14	6	0.17	7.7	0.16	65.1	0.39	
Observatori (Roque	TMM P1-D	16-jul-12	31-may-12	46	5.25	190	12.8	0.36	11.5	0.24	24	0.31	
PN Els Ports	TMM P1-A	05-oct-12	16-jul-12	81	7.25	39	5	0.14	1.9	0.04	84	0.42	
PN Els Ports	TMM P2-A	05-oct-12	16-jul-12	81	6	58	4.6	0.13	5.8	0.12	84	0.39	
PN Els Ports	TMM P3-A	05-oct-12	16-jul-12	81	6.25	37	4.3	0.12	1.9	0.04	84	0.36	
PN Els Ports	TMM P1-B	05-oct-12	16-jul-12	81	7.1	101	8.2	0.23	5.8	0.12	84	0.69	
L'Aldea	TMM P2-B	05-oct-12	16-jul-12	81	6.2	145	9.9	0.28	5.8	0.12	65.2	0.65	
Els Valentins	TMM P3-B	05-oct-12	16-jul-12	81	6.4	168	6.4	0.18	7.7	0.16	60	0.38	
L'Aldea	TMM P1-C	05-oct-12	16-jul-12	81	7.05	92	8.6	0.24	5.8	0.12	65.2	0.56	
Els Valentins	TMM P3-C	05-oct-12	16-jul-12	81	6.6	96	7.4	0.21	5.8	0.12	60	0.44	
Observatori (Roque	TMM P1-D	05-oct-12	16-jul-12	81	5.55	142	12.4	0.35	3.8	0.08	42	0.52	
PN Els Ports	TMM P1-A	21-nov-12	05-oct-12	47	6.44	36	3.55	0.1	1	0.02	448.2	1.59	
PN Els Ports	TMM P2-A	21-nov-12	05-oct-12	47	6.35	28	4.61	0.13	1.92	0.04	448.2	2.07	
PN Els Ports	TMM P3-A	21-nov-12	05-oct-12	47	6.51	17	3.55	0.1	1	0.02	208.2	1.59	
PN Els Ports	TMM P1-B	21-nov-12	05-oct-12	47	6.52	41	4.25	0.12	1.92	0.04	448.2	1.9	
L'Aldea	TMM P2-B	21-nov-12	05-oct-12	47	6.43	52	6.03	0.17	1.92	0.04	287.9	1.74	
Els Valentins	TMM P3-B	21-nov-12	05-oct-12	47	6.84	98	5.32	0.15	1.92	0.04	341.9	1.82	
L'Aldea	TMM P1-C	21-nov-12	05-oct-12	47	6.61	25	4.96	0.14	1	0.02	287.9	1.43	
Els Valentins	TMM P3-C	21-nov-12	05-oct-12	47	6.61	25	4.25	0.12	4.8	0.1	341.9	1.45	
Observatori (Roque	TMM P1-D	21-nov-12	05-oct-12	47	6.43	14	4.61	0.13	1	0.02	259.4	1.2	

Tabla A.2.2.4.a. Química básica y deposición atmosférica total. ( $A_p$  ( $g\ m^{-2}$ ): deposición atmosférica total para el periodo de muestreo, P(mm): Precipitación acumulada en el periodo de muestreo) (3 de 3).

Estación meteorológica	Estación muestreo	Fecha muestreo			pH	CE ( $\mu S/cm$ )	Cl		SO <sub>4</sub>		P (mm)	Ap (mg/l)
		Inicio	Fin	días			(mg/l)	(meq/l)	(mg/l)	(meq/l)		
PN Els Ports	TMM P1-A	08-feb-13	21-nov-12	79	7.46	41	3.19	0.09	3.84	0.08	100.5	0.32
PN Els Ports	TMM P2-A	13-mar-13	21-nov-12	112	6.68	28.5	5.32	0.15	1	0.02	487.7	2.59
PN Els Ports	TMM P3-A	13-mar-13	21-nov-12	112	6.37	19	4.78	0.13	1.46	0.03	197.8	0.95
PN Els Ports	TMM P1-B	13-mar-13	21-nov-12	112	6.95	33	4.96	0.14	0.96	0.02	488.2	2.42
L'Aldea	TMM P2-B	13-mar-13	21-nov-12	112	6.84	122.5	8.15	0.23	5.28	0.11	166.3	1.36
Els Valentins	TMM P3-B	13-mar-13	21-nov-12	112	7.6	100	5.32	0.15	2.88	0.06	197.8	1.41
L'Aldea	TMM P1-C	13-mar-13	21-nov-12	112	6.76	46	5.14	0.14	1.46	0.03	167.6	0.86
Els Valentins	TMM P3-C	13-mar-13	21-nov-12	112	6.95	178.5	8.21	0.23	1.46	0.03	265.5	2.18
servatori (Roque	TMM P1-D	13-mar-13	21-nov-12	112	6.37	76	5.49	0.15	2.8	0.06	172.2	0.95
PN Els Ports	TMM P1-A	10-may-13	13-mar-13	58	6.83	22	3.55	0.1	1.9	0.04	206.4	0.73
PN Els Ports	TMM P2-A	10-may-13	13-mar-13	58	6.81	26	3.19	0.09	1.92	0.04	206.4	0.66
PN Els Ports	TMM P3-A	10-may-13	13-mar-13	58	6.33	12	4.25	0.12	1.9	0.04	206.4	0.58
PN Els Ports	TMM P1-B	10-may-13	13-mar-13	58	6.98	39	4.25	0.12	1.92	0.04	206.4	0.88
L'Aldea	TMM P2-B	10-may-13	13-mar-13	58	6.97	53	6.38	0.18	1.9	0.04	117.9	0.75
Els Valentins	TMM P3-B	10-may-13	13-mar-13	58	6.94	99	5.32	0.15	1.92	0.04	97.8	0.52
L'Aldea	TMM P1-C	10-may-13	13-mar-13	58	6.64	33	4.96	0.14	1.9	0.04	117.9	0.58
Els Valentins	TMM P3-C	10-may-13	13-mar-13	58	7.1	43	5.32	0.15	1.9	0.04	97.8	0.52
servatori (Roque	TMM P1-D	10-may-13	13-mar-13	58	6.99	47	5.32	0.15	1.9	0.04	93.9	0.5
PN Els Ports	TMM P1-A	12-jul-13	10-may-13	63	6.22	31	4.25	0.12	1.92	0.04	154.7	0.66
PN Els Ports	TMM P2-A	22-sep-13	10-may-13	135	7.14	41	6.38	0.18	1.9	0.04	229.5	1.46
PN Els Ports	TMM P3-A	12-jul-13	10-may-13	63	6.14	20	3.9	0.11	1.92	0.04	154.7	0.76
PN Els Ports	TMM P1-B	12-jul-13	10-may-13	63	6.71	51	4.96	0.14	5.76	0.12	154.7	0.77
L'Aldea	TMM P2-B	12-jul-13	10-may-13	63	6.93	149	6.03	0.17	9.61	0.2	49.6	0.3
Els Valentins	TMM P3-B	12-jul-13	10-may-13	63	7.22	145	4.61	0.13	1.92	0.04	128.9	0.59
L'Aldea	TMM P1-C	12-jul-13	10-may-13	63	6.74	46	7.45	0.21	1.92	0.04	49.6	0.37
Els Valentins	TMM P3-C	12-jul-13	10-may-13	63	6.61	56	6.38	0.18	0	0	128.9	0.82
servatori (Roque	TMM P1-D	12-jul-13	10-may-13	63	6.23	49	8.15	0.23	2.88	0.06	142.7	1.16
PN Els Ports	TMM P1-A	22-sep-13	12-jul-13	72	6.16	34	4.25	0.12	1.9	0.04	74.8	0.32
PN Els Ports	TMM P3-A	22-sep-13	12-jul-13	72	6.47	27	4.96	0.14	1.9	0.04	74.8	0.42
PN Els Ports	TMM P1-B	22-sep-13	12-jul-13	72	6.72	58	4.96	0.14	1.9	0.04	74.8	0.37
L'Aldea	TMM P2-B	22-sep-13	12-jul-13	72	6.84	206	12.76	0.36	32.66	0.68	46.9	0.6
Els Valentins	TMM P3-B	22-sep-13	12-jul-13	72	6.92	111	5.67	0.16	1.92	0.04	43.8	0.25
L'Aldea	TMM P1-C	22-sep-13	12-jul-13	72	6.34	173	25.53	0.72	1.92	0.04	46.9	1.2
Els Valentins	TMM P3-C	22-sep-13	12-jul-13	72	6.74	100	4.96	0.14	5.76	0.12	43.8	0.22
servatori (Roque	TMM P1-D	22-sep-13	12-jul-13	72	7.55	967	40.77	1.15	0	0	46.4	1.89
PN Els Ports	TMM P1-A	16-dic-13	22-sep-13	85	6.53	35	7.09	0.2	1.9	0.04	201	1.43
PN Els Ports	TMM P2-A	16-dic-13	22-sep-13	85	6.74	34	6.03	0.17	1.92	0.04	201	1.21
PN Els Ports	TMM P3-A	16-dic-13	22-sep-13	85	6.41	43	6.38	0.18	2.88	0.06	201	0.36
PN Els Ports	TMM P1-B	16-dic-13	22-sep-13	85	6.94	32	6.03	0.17	1.9	0.04	201	1.21
L'Aldea	TMM P2-B	16-dic-13	22-sep-13	85	7.02	59	6.74	0.19	1.9	0.04	114.5	0.77
Els Valentins	TMM P3-B	16-dic-13	22-sep-13	85	6.93	98	5.32	0.15	3.84	0.08	55.7	0.3
L'Aldea	TMM P1-C	16-dic-13	22-sep-13	85	6.85	37	6.03	0.17	1.9	0.04	114.5	0.69
Els Valentins	TMM P3-C	08-ene-14	22-sep-13	23	7.03	80	4.61	0.13	2.88	0.06	55.7	0.26
servatori (Roque	TMM P1-D	16-dic-13	22-sep-13	85	6.82	52	4.96	0.14	1.92	0.04	114.3	0.57
PN Els Ports	TMM P1-A	17-feb-14	16-dic-13	63	2.5	3.9	6.93	0.2	1.9	0.04	89.7	0.35
PN Els Ports	TMM P2-A	17-feb-14	16-dic-13	63	6.84	18	3.9	0.11	1.9	0.04	89.7	0.35
PN Els Ports	TMM P3-A	17-feb-14	16-dic-13	63	5.95	11	3.9	0.11	1.9	0.04	89.7	0.25
PN Els Ports	TMM P1-B	17-feb-14	16-dic-13	63	7.05	36	3.9	0.11	1.9	0.04	89.7	0.35
L'Aldea	TMM P2-B	17-feb-14	16-dic-13	63	6.91	68	4.61	0.13	1.92	0.04	34	0.16
Els Valentins	TMM P3-B	17-feb-14	16-dic-13	63	6.89	58	3.9	0.11	1.92	0.04	63.3	0.25
L'Aldea	TMM P1-C	17-feb-14	16-dic-13	63	6.66	41	3.9	0.11	1.9	0.04	34	0.13
Els Valentins	TMM P3-C	17-feb-14	08-ene-14	40	7.02	47	4.25	0.12	1.9	0.04	63.3	0.27
servatori (Roque	TMM P1-D	17-feb-14	16-dic-13	63	6.75	46	4.96	0.14	1.9	0.04	61.7	0.31



En la Tabla A.2.2.4.b se presentan los resultados obtenidos de la deposición atmosférica anualizada del agua de lluvia de los muestreos realizados durante el periodo de tiempo febrero 2011-marzo 2014.

Tabla A.2.2.4.b. Cálculo de la deposición atmosférica de cloruro medio anualizado ( $A_p$  ( $g\ m^{-2}\ a^{-1}$ )) y la relación iónica sulfato-cloruro (2011-2012, 2012-2013 y 2013-2014).

Periodo	Estación	X	Y	Z	P total ( $mm\ a^{-1}$ )	Ap ( $g\ m^{-2}\ a^{-1}$ )	Cl prom ( $mg\ L^{-1}$ )	rSO4/rCl		
		(m)		Z (msnm)				Q <sub>25</sub>	Q <sub>50</sub>	Q <sub>75</sub>
2011-2012	TMM P1-A	274731	4520916	1010	1297	7.5	5.8	0.25	0.38	0.43
	TMM P1-B	278761	4522814	575	1197	6.1	5.1	0.23	0.55	1.24
	TMM P2-A	274194	4515835	590	1256	6.1	4.9	0.61	0.67	1.07
	TMM P3-A	260660	4508741	1050	1286	6.5	5.1	0.26	0.31	0.42
	TMM P3-B	265897	4505944	500	426	3.8	6.3	0.52	0.73	1.20
	TMM P1-C	287976	4522766	40	544	3.1	5.6	0.88	0.98	1.13
	TMM P2-B	289837	4510943	54	544	3.3	6.1	0.56	1.67	2.01
	TMM P3-C	277684	4500991	210	552	3.4	6.2	0.36	0.56	0.56
2012-2013	TMM P1-A	274731	4520916	1010	1370	4.0	2.9	0.30	0.78	1.20
	TMM P1-B	278761	4522814	575	1370	6.1	4.5	0.25	0.43	0.75
	TMM P2-A	274194	4515835	590	1370	6.1	4.4	0.23	0.41	0.99
	TMM P3-A	260660	4508741	1050	1301	4.4	3.4	0.26	0.33	0.55
	TMM P3-B	265897	4505944	500	823	4.1	5.0	0.52	1.08	2.02
	TMM P1-C	287976	4522766	40	673	3.3	5.0	0.28	0.41	0.64
	TMM P1-D	288696	4522023	49	624	3.2	5.2	0.19	0.44	0.64
	TMM P2-B	289837	4510943	54	673	4.3	6.4	0.33	0.69	2.07
TMM P3-C	277684	4500991	210	823	4.5	5.5	0.29	0.45	0.71	
2013-2014	TMM P1-A	274731	4520916	1010	727	3.7	5.1	0.32	0.35	0.75
	TMM P1-B	278761	4522814	575	727	3.8	5.3	0.28	0.33	0.36
	TMM P2-A	274194	4515835	590	727	3.9	5.4	0.23	0.30	0.38
	TMM P3-A	260660	4508741	1050	534	2.5	4.7	0.33	0.33	0.36
	TMM P3-B	265897	4505944	500	390	2.0	5.2	0.27	0.31	0.36
	TMM P1-C	287976	4522766	40	363	3.2	8.8	0.19	0.23	0.28
	TMM P1-D	288696	4522023	49	459	4.7	10.3	0.26	0.26	0.28
	TMM P2-B	289837	4510943	54	363	2.8	7.6	0.22	0.31	1.18
TMM P3-C	277684	4500991	210	390	3.0	7.6	0.26	0.33	0.46	

Ap:  $\Sigma Ap_i$  de cada muestreo realizado a lo largo del periodo 2011-2012 y 2012-2013 y anualizado. \*Cl med: obtenido a partir del valor de Ap y de la precipitación total registrada en las estaciones meteorológicas cercanas a los TMM ( $Ap*1000/P(mm\ a^{-1})$ ).

Tabla A.2.2.4.c. Cálculo de deposición atmosférica de cloruro medio anual ( $A_p(g\ m^{-2}\ a^{-1})$ ) y relación iónica sulfato-cloruro (feb 2011-mar2014).

Periodo	Estación	X	Y	Z	P media ( $mm\ a^{-1}$ )	Ap ( $g\ m^{-2}\ a^{-1}$ )	CV ( $\sigma/Apmedia$ )	Cl prom ( $mg\ L^{-1}$ )	rSO4/rCl		
		(m)		Z (msnm)					Q <sub>25</sub>	Q <sub>50</sub>	Q <sub>75</sub>
2011-2014	TMM P1-A	274731	4520916	1010	1131	5.1	0.9	4.5	0.28	0.36	0.44
	TMM P1-B	278761	4522814	575	1098	5.4	0.8	4.9	0.23	0.33	0.84
	TMM P1-C	287976	4522766	40	527	3.2	0.8	6.1	0.26	0.39	0.80
	TMM P1-D	288696	4522023	49	542	3.9	0.8	7.3	0.21	0.27	0.48
	TMM P2-A	274194	4515835	590	1117	5.4	0.8	4.9	0.29	0.43	0.96
	TMM P2-B	289837	4510943	54	527	3.5	0.8	6.6	0.31	0.69	1.89
	TMM P3-A	260660	4508741	1050	1040	4.5	0.9	4.3	0.28	0.33	0.37
	TMM P3-B	265897	4505944	500	604	3.3	0.8	5.5	0.33	0.53	1.21
	TMM P3-C	277684	4500991	210	588	3.7	0.8	6.3	0.26	0.36	0.58

Ap:  $\Sigma Ap_i$  de cada muestreo realizado a lo largo del periodo 2011-2014 y trianualizado. \*Cl med: obtenido a partir del valor de Ap y de la precipitación media de los dos periodos 2011-2012/2012-2013/2013-2014.

## A.2.2.5. Química elemental de agua de lluvia

Tabla A.2.2.5. Concentración de iones mayoritarios, relaciones iónicas principales y error analítico ( $= 200 * (\sum r \text{ cat} - \sum r \text{ an}) / (\sum r \text{ cat} + \sum r \text{ an})$ ),  $r$ : (meq L<sup>-1</sup>) (concentraciones: mg L<sup>-1</sup>; CE:  $\mu\text{S cm}^{-1}$  y error: %).

Estación	Fecha	pH	CE	HCO3	Cl	SO4	NO3	Na	K	Ca	Mg	SiO2	Error
TMM P1-A	19-dic-11	7.5	28	15.86	6.03	7.68	0.11	7.7	1.22	2.73	1.26		2.50
TMM P1-A	21-nov-12	6.44	36	21.96	3.55	1	0.11	2.68	0.59	4.21	1.58	0.05	-2.08
TMM P1-A	08-feb-13	7.46	41	19.52	3.19	3.84	0.12	3.16	0.67	4.01	1.7	0.14	0.76
TMM P1-A	13-mar-13	6.99	146	92.72	2.84	5.76	0.1	2.68	0.52	22.44	5.84	1.24	0.74
TMM P1-A	10-may-13	6.83	22	9.76	3.55	1.9	0.1	1.79	0.29	5.27	0.58	0.07	27.36
TMM P1-A	12-jul-13	6.22	31	15.86	4.25	1.92	0.1	1.26	0.23	3.45	1.31	0.12	-20.95
TMM P1-A	22-sep-13	6.16	34	19.52	4.25	1.9	0.1	2.28	0.44	4.17	1.51	0.18	-8.05
TMM P1-A	16-dic-13	6.53	35	18.3	7.09	1.9	0.1	4.22	0.75	4.01	1.22	0.07	-7.07
TMM P1-A	17-feb-14	6.93	25	13.42	3.9	1.9	0.1	2.74	0.5	2.81	0.73	0.05	-10.89
TMM P1-B	06-jul-11	6.7	34	13.42	6.03	7.68	0.15	6.48	0.92	3.93	0.78		2.49
TMM P1-B	19-dic-11	7.4	96	39.04	4.96	21.13	0.22	11.8	1.83	10.74	1.9		2.45
TMM P1-B	21-nov-12	6.52	41	20.74	4.25	1.92	0.13	2.98	0.66	5.21	1.31	0.06	2.63
TMM P1-B	13-mar-13	6.95	33	14.64	4.96	0.96	0.13	3.22	0.49	3.53	0.92	0.05	0.81
TMM P1-B	10-may-13	6.98	39	15.86	4.25	1.92	0.1	3.1	0.6	4.01	0.88	0.13	0.48
TMM P1-B	12-jul-13	6.71	51	18.3	4.96	5.76	0.1	4.22	0.78	5.21	1.22	0.21	0.61
TMM P1-B	22-sep-13	6.72	58	28.06	4.96	1.9	0.1	1.65	0.32	7.78	1.65	0.27	-5.72
TMM P1-B	16-dic-13	6.94	35	14.64	6.03	1.9	0.1	3.44	0.58	3.61	0.83	0.03	-8.69
TMM P1-B	17-feb-14	7.05	36	19.52	3.9	1.9	0.1	2.76	0.49	4.09	1.17	0.12	-8.25
TMM P1-C	06-jul-11	7.25	100	69.54	9.57	15.37	0.44	12.5	1.92	20.92	1.65		
TMM P1-C	25-feb-12	7.5	163	81.74	10.99	15.37	0.51	11.3	1.88	24.21	3.31		2.17
TMM P1-C	21-nov-12	6.61	25	12.2	4.96	1	0.11	3.02	0.4	3.53	0.39	0.12	2.27
TMM P1-C	08-feb-13	6.98	68	35.38	4.96	1.92	0.44	2.76	0.48	10.82	1.22	0.64	-3.38
TMM P1-C	13-mar-13	6.55	24	10.98	5.32	1	0.11	3.12	0.55	3.05	0.39	0.05	0.95
TMM P1-C	10-may-13	6.64	33	15.86	4.96	1.9	0.1	2.43	0.47	4.89	0.49	0.17	-5.25
TMM P1-C	12-jul-13	6.74	46	17.08	7.45	1.92	0.1	4.46	0.75	5.21	0.73	0.23	-9.07
TMM P1-C	22-sep-13	6.34	173	67.1	25.53	1.92	1.41	13.4	1.9	20.04	2.43	1.3	0.46
TMM P1-C	16-dic-13	6.85	37	18.3	6.03	1.92	0.1	5.16	0.97	3.61	1.02	0.05	-2.58
TMM P1-C	17-feb-14	6.66	41	20.74	3.9	1.9	0.1	2.28	0.38	5.29	0.97	0.05	0.48
TMM P1-D	05-oct-12	5.55	142	79.3	12.41	3.84	0.28	7.16	1.28	25.65	1.46	1.34	-7.95
TMM P1-D	21-nov-12	6.43	14	4.88	4.61	1	0.1	2.54	0.33	1.76	0.1	0.05	-7.67
TMM P1-D	08-feb-13	6.93	127	71.98	5.32	4.8	0.5	1.41	0.29	25.25	1.22	0.52	-0.41
TMM P1-D	13-mar-13	5.81	25	10.74	5.67	1	0.1	3.34	0.66	3.05	0.29	0.04	-5.64
TMM P1-D	10-may-13	6.99	47	23.18	5.32	1.9	0.1	1.68	0.31	7.45	0.97	0.39	-6.77
TMM P1-D	12-jul-13	6.23	49	15.86	8.15	2.88	0.1	2.42	0.46	6.65	1.17	0.32	-0.91
TMM P1-D	16-dic-13	6.82	52	24.4	4.96	1.92	0.9	3.22	0.57	7.54	0.83	0.16	0.99
TMM P1-D	17-feb-14	6.75	46	23.18	4.96	1.9	0.11	2.44	0.43	6.97	0.73	0.42	-6.47
TMM P2-A	19-dic-11	7.25	104	36.6	5.67	24.98	0.42	15.7	2.31	9.46	1.31		2.762
TMM P2-A	21-nov-12	6.35	25	12.2	4.61	1.92	0.1	3.52	0.51	3.37	0.54	0.04	2.063
TMM P2-A	08-feb-13	6.84	24	10.98	4.61	1	0.5	3.42	0.44	2.2	0.61	0.04	-5.582
TMM P2-A	13-mar-13	6.53	33	13.42	6.03	1	0.1	3.5	0.57	2.4	0.54	0.03	-21.76
TMM P2-A	10-may-13	6.81	26	10.98	3.19	1.92	0.1	3	0.51	2.57	0.49	0.06	0.321
TMM P2-A	22-sep-13	7.14	41	23.18	6.38	1.9	0.1	4.2	0.66	4.93	1.43	0.12	-6.308
TMM P2-A	16-dic-13	6.74	34	15.86	6.03	1.92	1.1	4.84	0.79	3.77	0.88	0.06	0.871
TMM P2-A	17-feb-14	6.84	18	9.76	3.9	1.9	0.1	2.78	0.42	2	0.49	0.02	-13.36
TMM P2-B	07-jul-11	7.35	187	86.62	9.57	33.62	0.74	23.2	2.48	22.44	3.31		2.7
TMM P2-B	20-dic-11	7.4	305	63.44	6.74	90.3	0.96	47	3.56	18.12	1.9		2.244
TMM P2-B	21-nov-12	6.43	52	24.4	6.03	1.92	0.14	4.5	0.78	6.49	1.07	0.03	2.646
TMM P2-B	08-feb-13	6.97	191	117.12	8.51	8.65	1.78	6.24	1.22	37.41	2.59	0.76	0.775
TMM P2-B	13-mar-13	6.71	54	23.18	7.8	1.92	0.11	5.8	0.84	5.69	1.07	0.03	0.791
TMM P2-B	10-may-13	6.97	53	23.18	6.38	1.9	0.1	3.38	0.63	6.49	0.92	0.1	-6.408
TMM P2-B	12-jul-13	6.93	149	73.2	6.03	9.61	0.1	3.58	0.63	22.04	3.65	0.12	0.238
TMM P2-B	22-sep-13	6.84	206	76.86	12.76	32.66	1.12	3.56	0.66	29.26	8.51	0.76	0.861
TMM P2-B	16-dic-13	7.02	59	28.06	6.74	1.9	0.83	3.16	0.57	8.02	1.41	0.05	-4.858
TMM P2-B	17-feb-14	6.91	68	36.6	4.61	1.92	0.1	2.54	0.48	10.02	1.85	0.05	0.663
TMM P3-A	03-dic-11	6.25	10.5	3.66	4.25	5.76	0.15	5.24	0.81	1.1	0.08		2.618
TMM P3-A	21-nov-12	6.51	17	8.54	3.55	1	0.1	2.38	0.4	2.48	0.1	0.03	-6.48
TMM P3-A	08-feb-13	6.54	26	9.76	4.61	1.92	0.14	3.06	0.43	3.41	0.24	0.28	0.678
TMM P3-A	13-mar-13	6.2	12	4.88	4.96	1	0.1	2.92	0.56	1.52	0.05	0.03	-8.954
TMM P3-A	10-may-13	6.33	12	3.66	4.25	1.9	0.1	1.97	0.29	1.68	0.05	0.09	-19.75
TMM P3-A	12-jul-13	6.14	20	6.1	3.9	1.92	0.1	2.74	0.49	2.24	0.1	0.15	0.181
TMM P3-A	22-sep-13	6.47	27	12.2	4.96	1.9	0.1	2.62	0.47	3.93	0.24	0.54	-10.69
TMM P3-A	16-dic-13	6.41	43	15.86	6.38	2.88	1.91	4.92	0.88	5.05	0.24	0.12	-4.19
TMM P3-A	17-feb-14	5.95	11	6.1	3.9	1.9	0.1	2.36	0.35	1.6	0.24	0.04	-17.15
TMM P3-B	07-jul-11	7.1	97	68.32	4.96	1.92	0.38	4.52	0.72	17.64	2.92		2.452
TMM P3-B	19-dic-11	7.05	110	58.56	4.96	21.13	0.55	12.6	1.44	17.15	1.75		2.423
TMM P3-B	21-nov-12	6.84	98	59.17	5.32	1.92	0.11	3.98	0.68	18.12	1.17	0.22	2.675
TMM P3-B	13-mar-13	7.6	100	62.22	5.32	2.88	0.12	4.68	0.63	18.44	1.22	0.26	0.859
TMM P3-B	10-may-13	6.94	99	61	5.32	1.92	0.31	3.78	0.73	19.4	0.63	0.36	0.852
TMM P3-B	12-jul-13	7.22	145	84.18	4.61	1.92	0.1	2.07	0.36	26.05	1.95	0.38	0.732
TMM P3-B	22-sep-13	6.92	111	62.22	5.67	1.92	1.32	2.26	0.43	19.84	1.82	0.37	0.856
TMM P3-B	16-dic-13	6.93	98	54.9	5.32	3.84	2.22	4.28	0.75	16.83	1.56	0.18	0.857
TMM P3-B	17-feb-14	6.89	58	32.94	3.9	1.92	0.1	3.12	0.56	9.46	0.88	0.03	0.61
TMM P3-C	19-dic-11	7.3	59	31.72	7.8	5.76	0.79	7.45	1.11	8.98	1.12		2.424
TMM P3-C	21-nov-12	7.13	161	118.34	4.25	4.8	0.26	5.88	1.11	36.47	0.97	1.1	1.094
TMM P3-C	08-feb-13	6.72	311	217.16	8.98	1.92	0.14	5.76	0.99	68.94	1.95	0.24	0.742
TMM P3-C	13-mar-13	7.18	46	23.18	7.45	1	0.1	4.44	0.65	7.29	0.24	0.03	-3.035
TMM P3-C	10-may-13	7.1	43	19.52	5.32	1.9	0.1	2.32	0.45	6.01	0.73	0.08	-7.69
TMM P3-C	12-jul-13	6.61	56	28.06	6.38	0	0.1	2.98	0.56	8.42	0.97	0.47	0.579
TMM P3-C	22-sep-13	6.74	100	54.9	4.96	5.76	0.1	3.66	0.59	17.23	1.46	0.66	-0.427
TMM P3-C	08-ene-14	7.03	80	41.48	4.61	2.88	1.82	4.26	0.76	12.42	0.97	0.84	0.732
TMM P3-C	17-feb-14	7.02	47	25.62	4.25	1.9	0.12	2.86	0.51	6.81	0.83	0.52	-6.163

## A.2.2.6. Isótopos del agua de lluvia

Los muestreos seleccionados para su análisis isotópico han sido el 3+4 (periodo de julio de 2011) y el 5 (periodo diciembre de 2011) y el muestreo 10 (julio 2012) y el 12+13 (noviembre 2012) para analizar las posibles variaciones estacionales (ver Tabla A.2.2.3.b).

Tabla A.2.2.6. Resultados de los análisis isotópicos del agua de lluvia para los muestreos de julio y diciembre 2011 (Laboratorio Universidad de Salamanca) y julio diciembre 2012 (Laboratorio Universidad de Barcelona).

Expediente	Fecha	O <sup>18</sup> SMOW ‰	±1σ n=9 O <sup>18</sup>	H2 SMOW ‰	±1σ n=6 H <sup>2</sup>	d (exceso de H <sup>2</sup> )	σ d
TMM P1-A	07/07/2011	-5,86	0,36	-31.44	0.3	15.4	2.9
TMM P1-B	07/07/2011	-4,90	0,20	-27.01	0.6	12.2	1.7
TMM P1-C	07/07/2011	-2,88	0,30	-18.85	0.41	4.2	2.4
TMM P2-A	07/07/2011	-4,25	0,34	-26.23	0.31	7.8	2.7
TMM P2-B	07/07/2011	-2,91	0,40	-14.29	0.29	9.0	3.2
TMM P3-A	07/07/2011	-5,58	0,25	-31.85	0.48	12.8	2.1
TMM P3-B	07/07/2011	-5,13	0,21	-30.1	0.47	10.9	1.7
TMM P3-C	07/07/2011	-3,25	0,32	-16.11	0.8	9.9	2.7
TMM P1-A	19/12/2011	-7,55	0,46	-41.5	0.16	18.9	3.7
TMM P1-B	19/12/2011	-6,42	0,19	-35.86	0.37	15.5	1.6
TMM P1-C	19/12/2011	-5,30	0,20	-30.57	0.33	11.8	1.6
TMM P2-A	19/12/2011	-6,14	0,26	-40.1	0.49	9.0	2.1
TMM P2-B	19/12/2011	-6,22	0,31	-33.86	0.57	15.9	2.5
TMM P3-A	19/12/2011	-7,66	0,34	-41.44	0.49	19.8	2.8
TMM P3-B	19/12/2011	-6,32	0,33	-35.98	0.58	14.6	2.7
TMM P3-C	19/12/2011	-5,12	0,25	-27.26	0.37	13.7	2.0
TMM P1-A	21/11/2012	-7.1	0.2	-44.1	1.5	12.7	2.19
TMM P1-B	21/11/2012	-6.4	0.2	-39.5	1.5	11.7	2.19
TMM P1-C	21/11/2012	-5.8	0.2	-34.8	1.5	11.6	2.19
TMM P1-D	21/11/2012	-5.6	0.2	-37.1	1.5	7.7	2.19
TMM P2-A	21/11/2012	-6.5	0.2	-38.8	1.5	13.2	2.19
TMM P2-B	21/11/2012	-5.6	0.2	-33.5	1.5	11.3	2.19
TMM P3-A	21/11/2012	-7.4	0.2	-45.5	1.5	13.7	2.19
TMM P3-B	21/11/2012	-6.6	0.2	-41.5	1.5	11.3	2.19
TMM P3-C	21/11/2012	-5.9	0.2	-37.2	1.5	10.0	2.19
TMM P1-A	16/07/2012	-4.4	0.2	-31.2	1.5	4.0	2.19
TMM P1-B	16/07/2012	-2.4	0.2	-15.1	1.5	4.1	2.19
TMM P1-C	16/07/2012	0	0.2	0.1	1.5	0.1	2.19
TMM P1-D	16/07/2012	4.3	0.2	10.3	1.5	-24.1	2.19
TMM P2-A	16/07/2012	-3	0.2	-20.3	1.5	3.7	2.19
TMM P2-B	16/07/2012	4.2	0.2	18.5	1.5	-15.1	2.19
TMM P3-A	16/07/2012	-4.1	0.2	-24	1.5	8.8	2.19
TMM P3-B	16/07/2012	-3.2	0.2	-22	1.5	3.6	2.19
TMM P3-C	16/07/2012	-1.9	0.2	-14.2	1.5	1.0	2.19

$$*\sigma_d^2 = \sigma_{H_2}^2 + 8\sigma_{O_{18}}^2$$

## ANEXO 3. CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

### A.3.1. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

La base de datos generada durante el desarrollo de esta Tesis Doctoral reúne datos pertenecientes a diferentes fuentes:

- Base de datos interna de La Agència Catalana de l'Aigua (ACA), oficina de Tortosa.
- Base de datos pública de las Confederaciones Hidrográficas del Ebro y del Júcar.
- Consulta de informes y trabajos: Touris, 1986; Badiella, 2009; Ansón y Yañez, 2010.
- Datos generados durante el desarrollo de esta Tesis Doctoral.

Nomenclatura de la identificación de los puntos de agua: ISSXXX

I: Fuente de origen de los datos.

- 0- Inventario de puntos de agua interno de la ACA
- 1- Inventario de puntos de agua publicado en la web de la ACA
- 2- Ansón y Yañez, 2010, trabajo del 44 Curso Internacional de Hidrología Subterránea.
- 3- Estudio hidrogeológico, Touris, 1986.
- 4- Inventario de puntos de agua generado durante el desarrollo de esta Tesis
- 5- Inventario de puntos de agua interno de la CHE

SS: Iniciales del término municipal al cual pertenece el punto dentro de la zona de estudio.

XXX: numeración del punto dentro del término municipal.

Tabla A.3.1 (1/5). Análisis de química elemental completa de las aguas subterráneas (X, Y (m snm); TAC, Dureza, concentraciones (mg L<sup>-1</sup>); CE (μS cm<sup>-1</sup>) a 20°C.

Pozo	Fecha	x	y	CE	pH	TAC	DUR	HCO3	SO4	Cl	NO3	Na	K	Ca	Mg	Tipo	
OAD83	30-mar-99	289349	4528589	459	7.65	184	262	225.00	75.10	10.40	6.40	5.40	1.00	64.80	24.40	P	
OAL10	01-oct-95	289245	4492705	499	7.67			226.08	88.80	23.09	23.38	9.66	1.17	76.40	24.84	P	
OAL100	15-jun-95	288850	4489385	2781		205	719	250.00	109.00	805.00	9.00	327.00	4.10	181.00	64.90	S	
OAL100	13-jun-95	288850	4489385	2510		207	701	253.00	116.00	715.00	16.30	291.00	3.40	175.00	64.30	S	
OAL100	14-jun-95	288850	4489385	2547		186	647	227.00	110.00	727.00	10.30	291.00	2.40	168.00	61.80	S	
OAL101	27-mar-86	294105	4498055	2400	7.6			262.30	163.68	646.08	0.00	290.00	7.00	148.80	63.50	P	
OAL108	03-abr-96	286320	4491230	5685	7.7	216	322	263.50	72.00	18.40	32.90	9.40	1.10	93.00	21.90	P	
OAL110	27-may-94	286260	4491400	515		221		269.00	82.00	12.00	11.20	13.00	2.20	91.00	19.00	P	
OAL110	26-may-94	286260	4491400	521		221		269.00	78.00	11.00	8.60	8.30	3.30	91.00	21.00	P	
OAL111	16-ago-94	287185	4491680	505	7.66	189		231.00	82.10	5.00	13.30	9.40	1.50	61.50	26.00	P	
OAL111	02-abr-96	287185	4491680	548	7.6	212		258.60	74.90	21.30	21.60	11.30	1.40	97.80	16.10	P	
OAL111	07-nov-95	287185	4491680	533		209	314	255.00	79.80	18.20	17.60	9.70	0.80	90.00	21.70	P	
OAL113	01-oct-95	288880	4492770	481				254.73	81.60	18.00	19.68	9.20	1.17	85.00	24.36	P	
OAL114	01-oct-95	290030	4491535	563	7.45			273.62	84.96	25.93	30.76	11.27	1.56	92.80	24.96	P	
OAL115	01-oct-95	289215	4490970	804	7.42			265.69	144.48	89.53	68.29	39.79	1.56	108.40	25.56	P	
OAL115	06-may-96	289215	4490970	942		204	439	249.00	140.00	83.00	83.70	38.00	1.40	115.00	37.00	P	
OAL116	01-oct-95	290015	4492495	567	7.55			266.30	69.70	19.18	27.68	11.04	1.17	88.20	24.24	P	
OAL119	13-may-96	290440	4492760	665	7.55	212	320	258.60	72.00	40.40	16.20	16.10	0.90	101.80	16.10	P	
OAL119	01-ene-05	290440	4492760	681.33	7.5		341.9	266.90	92.00	52.00	22.50	21.01	1.90	98.50	23.30	P	
OAL119	01-ene-02	290440	4492760	651	7.73			386	268.00	92.50	77.80	22.00	26.99	0.95	105.00	24.95	P
OAL119	01-ene-04	290440	4492760	268.2	7.8			334.4	268.20	88.00	38.23	23.30	18.56	0.72	97.30	22.20	P
OAL119	01-ene-03	290440	4492760	687.5	7.7			364.2	265.40	88.00	41.13	29.00	17.40	0.89	107.10	23.50	P
OAL119	01-ene-07	290440	4492760	688	7.4			351.1	273.60	87.00	40.70	25.00	22.55	1.76	100.70	24.20	P
OAL119	01-ene-08	290440	4492760	624	7.46			312.2	258.30	80.00	26.20	23.30	17.14	1.39	88.90	21.90	P
OAL119	01-ene-09	290440	4492760	664	7.45			337.2	263.00	86.00	40.80	41.80	16.70	1.80	95.30	24.10	P
OAL119	01-ene-10	290440	4492760	733	7.6			394.1	257.60	91.00	95.70	22.60	40.70	2.40	110.00	29.00	P
OAL120	01-oct-95	289655	4490205	822	7.68			263.26	105.60	115.00	72.60	48.07	1.56	116.00	35.40	P	
OAL121	06-may-96	291445	4494225	1758		213	459	260.00	126.00	390.00	7.40	196.00	4.00	109.60	45.20	P	
OAL121	01-oct-95	291445	4494225	1534	7.17			271.79	99.84	385.14	33.22	206.54	7.80	99.60	50.52	P	
OAL122	01-ene-07	290180	4490935	1242	7.36			582.6	271.60	172.00	137.70	95.50	53.39	4.66	157.30	46.10	P
OAL122	01-ene-09	290180	4490935	1000	7.53			528.3	264.40	153.00	500.00	97.00	47.20	2.80	139.00	44.00	P
OAL122	01-ene-10	290180	4490935	1000	7.4			548.1	269.90	175.00	111.00	105.60	52.10	3.90	140.00	48.20	P
OAL122	02-abr-96	290180	4490935	1127	7.8	200		474	244.00	120.10	184.40	75.40	80.50	6.50	120.20	42.30	P
OAL122	01-ene-08	290180	4490935	1067	7.12			529.3	257.30	162.00	112.90	102.90	51.54	3.31	141.90	42.50	P
OAL125	13-abr-11	290400	4492825	902	7.55	212	400	258.60	84.50	127.60	17.60	42.50	2.40	120.20	24.30	P	
OAL125	03-abr-96	290400	4492825	664	7.6	214	324	216.10	82.60	44.70	21.70	24.40	1.40	99.40	18.50	P	
OAL125	14-sep-94	290400	4492825	767	7.43	208	367	254.00	84.00	106.00	15.70	37.10	1.10	104.00	26.20	P	
OAL126	01-oct-95	286450	4490275	529	6.36			267.52	69.60	37.66	13.53	16.79	1.17	85.40	24.36	P	
OAL128	01-oct-95	288735	4491255	681	7.04			265.09	76.80	57.55	44.30	26.91	1.17	98.60	30.72	P	
OAL129	01-oct-95	287280	4492505	489	7.37			244.37	60.96	18.47	12.30	8.05	1.17	77.40	24.96	P	
OAL130	02-may-96	287840	4490755	820	7.45	216	342	263.50	86.50	85.10	11.90	44.00	1.50	101.80	21.40	P	
OAL130	01-oct-95	287840	4490755	645	7.41			276.66	118.56	60.40	16.61	34.96	1.56	91.80	24.96	P	
OAL132	01-oct-95	288080	4491970	474	7.78			235.22	61.92	24.00	16.61	10.95	1.17	80.20	21.48	P	
OAL133	01-oct-95	284875	4491255	523	7.59			239.50	65.76	18.12	52.92	7.85	0.78	76.80	28.56	P	
OAL134	01-oct-95	289565	4490285	786	7.58			271.79	94.08	90.24	52.91	42.78	2.34	99.40	37.57	P	
OAL135	01-oct-95	288270	4490115	659	7.64			237.01	84.96	70.70	9.84	35.88	1.56	92.00	35.32	P	
OAL136	01-oct-95	287481	4493132	511	7.58			269.96	49.92	19.89	23.38	10.35	0.78	75.60	26.88	P	
OAL136	06-may-96	287481	4493132	544				250.00	61.60	16.80	22.80	17.00	0.80	75.40	22.40	P	
OAL137	01-oct-95	285715	4490745	530	7.61			252.29	32.16	26.00	66.45	8.74	1.17	74.40	31.00	P	
OAL138	06-may-96	290955	4492780	1335	7.55	214	400	261.10	105.70	230.40	18.10	123.00	4.50	104.20	34.80	P	
OAL138	01-oct-95	290955	4492780	1058	7.6			272.40	168.96	182.00	14.76	117.07	5.07	93.60	35.64	P	
OAL140	01-oct-95	285940	4492010	487	7.5			251.07	66.72	14.92	16.61	8.97	1.95	81.60	23.52	P	
OAL144	01-oct-95	286160	4492340	1332	7.46			252.90	121.92	316.92	62.60	139.38	2.73	114.20	46.44	P	
OAL146	01-oct-95	287063	4491055	557	7.7			271.18	88.80	43.00	13.53	17.25	1.17	96.00	23.40	P	
OAL150	01-oct-95	284745	4491715	505	7.7			274.23	84.48	31.00	0.10	7.59	1.17	93.20	21.24	P	
OAL151	01-oct-95	286724	4491487	482	7.62			216.94	74.88	21.00	32.00	13.11	0.78	71.00	23.64	P	
OAL8	01-oct-95	290070	4493615	476	7.57			241.32	68.64	25.00	33.84	8.74	1.17	81.80	21.84	P	
OAM165	12-ene-93	293950	4511365	743	7.97			290.50	24.40	104.00	8.20	62.10	3.00	84.60	17.30	P	
OAM177	06-ago-96	294125	4509620	1509		224	429	273.00	112.00	305.00	22.60	161.00	6.00	109.00	38.10	P	
OAM177	14-sep-94	294125	4509620	1127	7.56	223	379	272.00	93.50	231.00	14.80	125.00	4.60	100.00	31.40	P	
OAM249	13-abr-11	292741	4506360	632	7.55	244	316	297.70	55.70	35.50	21.30	22.40	4.40	104.20	13.60	P	
OAM261	12-mar-97	293405	4509330	1359		230	394	281.00	77.20	231.00	29.30	125.00	3.50	102.00	34.00	P	
OAM264	30-abr-98	295079	4511756	928		211	305	257.00	58.00	160.00	11.40	95.90	2.50	70.00	28.10	P	
OAM264	15-nov-96	295079	4511756	1235		213	429	260.00	80.00	278.00	10.40	115.00	4.40	103.00	41.70	P	
OAM264	12-abr-11	295079	4511756	746	7.55	200	392	244.00	62.40	34.00	125.60	9.40	2.70	110.60	28.20	P	
FR14	13-abr-11	288595	4502780	673	7.7	236	316	287.90	63.40	32.60	37.80	26.40	4.40	97.80	17.50	P	
FR2	21-nov-77	289715	4504637		7.15			292.80	172.70	21.20	23.10	14.60	3.80	88.10	46.20	P	
FR5	19-mar-96	291180	4504585	552		270	300	329.00	17.50	24.40	18.70	14.30	2.20	101.30	11.40	P	
OGA50	06-nov-95	287010	4508155	456	7.64			268.50	8.30	18.40	21.20	8.00	16.80	64.10	16.80	P	
OGO1	01-abr-10	283093	4503125	584	7.73			327.2	275.80	13.00	61.00	39.60	6.80	1.00	88.50	25.80	P
OGO16	01-ene-03	285505	4505640	518				355.6	269.60	81.00	11.30	13.10	3.96	0.60	108.10	20.80	P
OGO16	06-feb-76	285505	4505640					240	256.20	20.20	19.10	29.70	10.60	1.40	40.00	34.00	P
OGO16	01-ene-05	285505	4505640	612				337.9	268.60	89.00	12.60	10.70	6.32	1.29	99.20	21.90	P
OGO16	01-ene-09	285505	4505640	652				366	266.80	94.							

Tabla A.3.1 (2/5). Análisis de química elemental completa de las aguas subterráneas (X, Y (m snm); TAC, Dureza, concentraciones (mg L<sup>-1</sup>); CE (μS cm<sup>-1</sup>) a 20°C).

Pozo	Fecha	x	y	CE	pH	TAC	DUR	HCO3	SO4	Cl	NO3	Na	K	Ca	Mg	Tipo
ORO102	21-may-96	281045	4520340	433	7.65	184	224	224.50	26.90	16.30	13.80	11.40	0.90	62.50	16.50	S
ORO115	01-ene-09	282200	4520090	367			209.4	223.00	4.00	5.00	10.90	2.50	1.40	47.10	22.30	P
ORO115	01-ene-10	282200	4520090	344			225.4	255.10	4.00	17.90	26.30	2.50	0.50	52.00	23.20	P
ORO115	01-ene-07	282200	4520090	367			209.4	223.80	4.00	6.70	5.00	3.73	0.64	50.80	21.00	P
ORO115	01-ene-05	282200	4520090	317			189.6	220.90	4.00	7.00	5.70	1.69	0.65	44.60	19.00	P
ORO115	01-ene-04	282200	4520090	308			209.4	226.20	4.00	10.60	3.60	1.64	0.20	51.20	19.80	P
ORO115	01-ene-03	282200	4520090	332			218.5	225.50	5.00	6.70	5.50	2.19	0.27	54.20	20.20	P
ORO115	01-ene-02	282200	4520090				214.5	231.70	6.50	12.80	7.15	2.57	0.24	49.95	21.85	P
ORO123	13-abr-11	286800	4514625	452	8.15	214	236	261.10	15.40	19.10	13.90	14.10	2.00	71.30	14.10	P
ORO136	30-abr-98	289035	4520982	566	7.72	212	303	258.60	59.00	36.00	23.50	20.10	1.50	72.80	29.50	P
ORO140	30-mar-10	284765	4518165	583	7.93		272.4	257.00	10.00	16.00	33.60	5.10	1.00	59.90	29.90	S
ORO149	01-oct-99	282530	4515480	357	7.71			229.40	12.20	16.30	3.40	3.20	0.40	51.30	18.20	P
ORO164	20-nov-96	285687	4522835	368		195	211	238.00	4.60	9.30	5.30	3.80	0.30	47.40	22.50	P
ORO164	31-mar-10	285687	4522835	422	7.58		240	251.10	8.75	8.00	9.20	3.75	0.80	52.40	26.50	P
ORO164	01-ene-02	285687	4522835				221	253.30	7.00	9.90	7.60	2.32	0.19	49.70	23.60	P
ORO164	30-jun-82	285687	4522835	402	7.8		226	244.00	9.60	14.90	4.80	4.00	0.90	51.30	23.80	P
ORO83	04-oct-11	285891	4514133	415	7.75	206	230	251.30	15.40	14.90	14.20	10.50	1.60	60.90	19.00	P
ORO99	01-ene-09	283785	4520950	404			234.7	243.20	8.00	5.00	11.10	2.50	1.10	56.90	22.50	P
ORO99	01-ene-10	283785	4520950				238.7	254.90	14.00	13.40	2.50	2.50	0.50	59.00	22.20	P
ORO99	01-ene-03	283785	4520950	378			252.2	247.70	15.00	7.10	4.30	2.12	0.27	62.40	13.40	P
ORO99	01-ene-02	283785	4520950				243	259.35	13.50	11.80	6.00	2.41	0.26	57.35	24.20	P
ORO99	01-ene-05	283785	4520950	375			234.7	243.30	15.00	6.60	6.30	2.76	0.70	56.90	22.50	P
ORO99	01-ene-04	283785	4520950	348			240.7	252.40	11.00	7.00	6.30	1.89	0.21	58.80	22.80	P
ORO99	01-ene-08	283785	4520950				231.5	255.40	13.00	10.60	7.20	2.50	1.25	57.90	21.10	P
OSB13	04-abr-96	286200	4511200	540	7.45	170	244	207.40	43.20	14.20	37.20	7.90	4.50	68.90	17.50	P
OSB131	13-abr-11	288798	4512804	539	7.75	220	288	268.40	62.40	18.40	10.40	13.70	2.10	88.20	16.50	P
OSB131	29-abr-96	288798	4512804	400	7.1	197	256.67	240.34	5.90	11.40	32.60	3.90	0.00	61.00	25.00	P
OSB131	02-sep-96	288798	4512804	384	6.8	190	239.17	231.80	7.30	12.60	34.80	5.80	0.70	54.00	25.00	P
OSB131	18-nov-96	288798	4512804	297	6.9	191	236.58	233.02	6.20	12.20	32.20	5.00	0.00	52.30	25.40	P
OSB131	19-feb-97	288798	4512804	399	6.9	209	235.08	254.98	11.20	11.40	31.70	5.80	1.00	55.20	23.30	P
OSB131	05-may-97	288798	4512804	440	7.4	189	245.92	230.58	6.30	11.20	34.90	5.00	1.00	56.70	25.00	P
OSB131	01-mar-99	288798	4512804	464	7.56	195	247.83	237.90	5.70	11.30	35.70	5.60	0.50	56.80	25.40	P
OSB131	31-may-99	288798	4512804	449	7.5	203	250.58	247.66	6.80	13.70	36.40	5.80	0.50	57.40	25.70	P
OSB131	07-oct-99	288798	4512804	422	7.6	190	249.25	231.80	6.40	11.70	39.10	5.60	0.50	57.20	25.50	P
OSB131	22-nov-99	288798	4512804	412	7.56	186	250.67	226.92	6.20	12.10	41.90	5.60	0.50	58.10	25.30	P
OSB131	02-mar-00	288798	4512804	437	7.5	193	239.92	235.46	6.00	10.60	36.20	5.00	0.50	55.30	24.40	P
OSB131	24-may-00	288798	4512804	389	7.5	194	237.75	236.68	8.80	13.10	39.70	6.60	0.50	54.60	24.30	P
OSB131	13-sep-00	288798	4512804	432	7.5	205	232.33	250.10	6.10	12.90	41.50	4.80	0.00	53.60	23.60	P
OSB131	15-nov-00	288798	4512804	446	7.5	198	255.25	241.56	8.10	12.70	39.70	5.90	1.00	58.60	26.10	P
OSB131	19-feb-96	288798	4512804	428	7.2	201	238.83	245.22	6.00	11.50	32.10	5.00	0.00	54.20	24.80	P
OSB131	27-feb-95	288798	4512804	416	7.5	193.5	241.67	236.07	6.60	10.20	30.90	3.90	4.00	52.00	26.80	P
OSB131	15-may-95	288798	4512804	397	7.5	205	236	250.10	6.90	12.10	31.20	5.10	1.70	54.80	23.80	P
OSB131	20-nov-95	288798	4512804	415	7.3	194	239.17	236.68	5.80	11.90	31.40	5.20	0.20	54.00	25.00	P
OSB131	04-sep-95	288798	4512804	436	7.4	195	234.67	237.90	2.10	3.20	8.60	1.60	0.90	53.70	24.10	P
OSC1	17-sep-99	296805	4501240	2103	7.29	255	772	311.00	123.00	393.00	211.00	162.30	3.80	176.20	80.80	P
OSC19	21-sep-99	296645	4501080	2464	7.48	244	601	298.00	239.90	535.00	16.70	310.90	8.00	133.10	65.30	P
OTJ207	09-dic-98	284666	4524238	370		189	209	231.00	8.00	8.80	5.70	4.00	0.40	46.50	22.50	P
OTJ207	04-oct-11	284666	4524238	389	7.75	196	214	239.10	11.50	15.60	7.30	9.50	1.60	58.50	16.50	P
OTJ222	13-abr-89	288169	4523163	610	7.6	220	288	268.49	75.00	10.00	5.00	6.50	1.20	66.80	29.20	P
OTJ270	29-mar-10	290755	4521730	843	7.5		305.6	275.70	54.70	55.00	22.60	33.30	2.10	72.60	30.60	P
OTT1123	09-nov-95	269969	4518483	561	7.18		32.4	414.80	12.90	5.74	2.60	3.10	0.30	76.30	32.70	P
OTT912	22-dic-90	292115	4521275	1387	7.27	218	412	265.90	89.10	326.10	5.58	142.00	5.50	107.20	35.00	P
OTT955	29-mar-10	289998	4520999	1278	7.5		530.4	319.20	110.50	213.00	20.60	72.90	2.40	112.80	60.40	P
OTV507	30-mar-10	287961	4514525	696	7.91		304.1	229.60	17.10	6.00	138.00	6.70	0.30	64.90	34.50	P
OTV577	01-ene-10	287735	4515825				241.6	240.50	13.00	12.50	2.50	2.50	0.50	59.00	22.90	P
OTV577	01-ene-05	287735	4515825	362			239.8	254.90	26.00	6.90	1.30	8.15	4.31	55.30	24.70	P
OTV577	01-ene-04	287735	4515825	335			231	242.60	8.00	8.10	4.30	1.81	0.37	59.20	20.20	P
OTV577	18-may-05	287735	4515825	369	7.6			264.00	13.50	10.00	4.00	4.00	0.40	55.00	26.00	P
OTV577	01-ene-03	287735	4515825	360			238.2	242.50	12.00	6.00	3.10	2.27	0.40	61.90	20.30	P
OTV577	01-ene-02	287735	4515825				299.5	252.10	13.00	14.00	3.45	2.57	0.40	56.65	21.40	P
OTV585	30-mar-10	291680	4513846	666	7.6		319.6	261.40	26.90	20.00	99.90	12.00	0.25	75.20	32.00	P
OTV585	14-jul-05	291680	4513846	295	7.6			248.00	11.50	6.00	8.00	4.00	0.40	66.00	16.00	P
OTV593	29-mar-10	287465	4515785	696	7.67		321.6	276.80	15.90	23.00	40.90	6.70	1.10	65.90	32.80	P
OTV593	18-may-95	287465	4515785	480	7.6			272.00	11.50	15.00	43.00	5.90	0.70	69.00	29.00	P
OTV615	30-mar-10	290678	4513574	612	7.64		269.9	233.10	16.00	9.00	71.80	6.50	0.45	61.10	28.50	P
OTV659	30-mar-10	291486	4514826	566	7.69		264.3	258.80	14.80	12.00	45.70	7.90	0.55	61.00	27.20	P
OUL1	15-jun-95	289400	4493560	535		218	310	266.00	69.50	12.90	14.60	8.10	1.90	88.90	21.50	S
OUL24	01-oct-95	285290	4493090	503	7.87			265.09	56.16	21.00	33.84	11.04	1.17	79.40	25.20	P
OUL26	01-oct-95	283610	4492725	482	7.85			246.20	62.40	16.00	24.61	7.13	0.78	74.20	25.92	P
OUL36	13-abr-11	282760	4497495	660	7.65	216	340	263.50	81.70	28.40	42.60	15.20	2.90	115.40	12.60	P
OUL39	01-ago-94	288225	4502110	605	7.31	264		323.00	52.50	11.40	12.80	7.50	0.70	91.00	24.00	S
OUL6	30-sep-94	282850	4497485	623		241	392	294.00	92.00	17.40	48.30	7.60	0.80	116.00	25.00	P
OUL62	23-feb-99	288700	4499090	483	7.2		291.5	275.11	66.24	13.13	0.00	7.59	0.39	82.20	20.65	P
OUL79	22-jul-92	286140	4501093	531.9	7.6	228.8	372.17	279.14	86.40	25.30	38.60	9.00	1.50	104.20	26.80	P
OUL79	13-sep-00	286140														

Tabla A.3.1 (3/5). Análisis de química elemental completa de las aguas subterráneas (X, Y (m snm); TAC, Dureza, concentraciones (mg L<sup>-1</sup>); CE (μS cm<sup>-1</sup>) a 20°C.

Pozo	Fecha	x	y	CE	pH	TAC	DUR	HCO3	SO4	Cl	NO3	Na	K	Ca	Mg	Tipo
1A1L	01-ene-07	286363	4491938	565	7.7		341.6	285.40	82.00	12.60	11.50	7.42	1.30	101.00	21.70	P
1A1L	01-ene-10	286363	4491938	552	7.7		334.5	274.80	84.00	17.90	11.00	9.00	1.30	97.00	22.40	P
1A1L	01-ene-08	286363	4491938	558	7.1		341.1	265.80	83.00	12.40	12.00	7.59	1.31	100.80	21.70	P
1A1L	01-ene-05	286363	4491938	514.67	7.57		326.6	276.10	84.00	12.90	11.20	6.49	1.34	97.00	20.50	P
1A1L	01-ene-03	286363	4491938	563.5	7.73		349	273.00	81.00	12.90	10.60	5.84	1.53	105.90	20.60	P
1A1L	01-ene-02	286363	4491938	516	7.73		333	287.00	84.50	22.00	9.45	5.66	0.56	91.95	21.45	P
1A1L	01-ene-09	286363	4491938	660	7.64		334.6	270.10	79.00	12.40	27.70	2.50	1.10	97.90	21.90	P
1A1L	01-ene-04	286363	4491938	338.5	7.6		338.5	273.60	80.00	13.90	11.40	5.22	0.57	101.10	20.90	P
1A1L	01-ene-08	288800	4489950	968	7.22		427.5	254.70	128.00	107.20	49.20	55.22	2.04	112.00	35.90	P
1A1L	01-ene-07	288800	4489950	1047	7.4		455.7	268.90	132.00	126.60	54.10	61.43	2.96	118.50	38.80	P
1A1L	01-ene-09	288800	4489950	957	7.45		427.8	259.10	118.00	91.50	54.60	49.50	2.20	109.30	37.60	P
1A1L	01-ene-10	288800	4489950	880	7.5		441.2	263.10	126.00	97.50	57.50	52.50	2.30	117.00	36.20	P
1GA1	01-ene-04	288817	4508649	395			265.8	277.20	9.00	10.60	11.20	3.51	0.42	77.90	17.30	P
1GA1	01-ene-02	288817	4508649				251	280.90	14.50	11.40	14.20	4.36	0.41	72.25	17.15	P
1GA1	01-ene-03	288817	4508649				284.4	274.70	27.00	9.70	10.10	5.60	0.46	84.20	18.00	P
1GA1	01-ene-05	288817	4508649	416			435.3	136.40	310.00	122.90	2.60	64.26	45.59	56.40	71.50	P
1GA2	01-ene-03	284719	4506844	420			258.5	232.90	9.00	13.20	32.60	3.75	0.32	75.50	17.00	P
1GA2	01-ene-10	284719	4506844	454			256.4	230.90	12.00	13.10	41.30	6.30	0.50	73.00	18.00	P
1GA2	01-ene-02	284719	4506844				243	242.75	9.50	19.40	26.50	0.31	0.31	69.55	24.20	P
1GA2	01-ene-09	284719	4506844	474			253.9	229.90	10.00	14.10	40.70	2.50	0.50	73.50	17.10	P
1GA2	01-ene-07	284719	4506844	450			260.3	238.30	11.00	13.40	37.60	5.98	0.76	74.90	17.80	P
1GA2	01-ene-05	284719	4506844	407			232.5	231.20	11.00	14.00	37.40	5.02	0.80	67.40	15.60	P
1GA2	01-ene-04	284719	4506844	387			245.5	232.50	5.00	12.40	29.00	3.66	0.26	70.60	16.80	P
1GA2	01-ene-08	284719	4506844	438			258.8	232.80	12.00	13.60	37.00	5.08	0.50	74.60	17.60	P
1GA2	01-abr-10	284719	4506844	467	7.69		188.5	166.70	11.00	14.80	44.40	5.80	0.50	45.80	18.00	P
1GA3	01-ene-02	284104	4508598				291.5	279.00	49.00	17.75	7.20	4.08	0.41	84.25	19.70	P
1GA3	01-ene-10	284104	4508598	484			288.8	263.50	43.00	15.60	11.00	5.90	1.40	83.00	19.80	P
1GA3	01-ene-08	284104	4508598	490			297.6	266.30	46.00	5.00	10.00	2.50	0.50	87.50	19.20	P
1GA3	01-ene-07	284104	4508598	396			295.6	277.20	48.00	10.00	9.00	5.75	1.04	86.40	19.40	P
1GA3	01-ene-05	284104	4508598	396			263.8	268.40	43.00	10.60	8.20	5.02	1.06	77.60	17.00	P
1GA3	01-ene-04	284104	4508598	402			297.8	272.50	43.00	10.10	9.70	3.39	0.37	88.90	18.40	P
1GA3	01-ene-03	284104	4508598	416			307.2	268.70	45.00	10.50	8.30	3.58	0.42	92.20	18.70	P
1GA3	01-ene-09	284104	4508598	486			267.2	265.20	42.00	5.00	16.10	2.50	1.20	78.00	17.60	P
1RE1	01-ene-07	283675	4525475	380			233.4	244.70	10.00	9.50	6.90	4.66	0.78	53.90	24.00	P
1RE1	01-ene-10	283675	4525475	382			239.4	237.80	11.00	20.90	13.70	10.90	0.50	54.00	25.40	P
1RE1	01-ene-09	283675	4525475	413			240.4	240.30	16.00	13.20	10.50	6.10	0.50	54.40	25.40	P
1RE1	01-ene-08	283675	4525475	372			212.9	231.20	10.00	5.00	7.60	2.50	0.50	48.80	22.10	P
1RE1	01-ene-04	283675	4525475	353			238.1	235.30	17.00	12.80	5.60	2.65	0.24	56.60	23.50	P
1RE1	01-ene-03	283675	4525475	388			237.6	237.40	13.00	9.80	6.10	2.78	0.33	57.70	22.70	P
1RE1	01-ene-02	283675	4525475				226	246.50	8.00	13.35	6.40	2.91	0.31	51.85	23.40	P
1RE1	01-ene-05	283675	4525475	361			224.7	242.90	13.00	10.40	7.90	3.86	0.85	52.70	22.60	P
1SB1	13-abr-11	288828	4512679	526	7.75	192	268	234.20	5.80	25.50	67.20	8.50	2.30	80.20	16.50	P
1SB1	01-ene-02	288828	4512679				246	244.20	6.00	16.50	53.60	5.70	0.40	58.30	24.40	P
1SB1	01-ene-04	288828	4512679	406			262.8	299.10	3.00	17.00	48.70	3.75	0.27	64.20	24.90	P
1SB1	01-ene-05	288828	4512679	510			246.8	235.00	9.00	17.30	51.30	6.05	0.94	60.90	23.00	P
1SB1	31-mar-10	288828	4512679	526	7.8		212.8	154.30	18.30	5.00	83.30	6.90	0.25	37.90	28.70	P
1SB1	01-ene-07	288828	4512679	476			271.5	235.00	6.00	17.20	59.20	6.40	0.86	65.20	26.40	P
1SC1	01-ene-08	296575	4501700	1760	7.2		697.9	323.00	68.00	318.90	212.30	109.10	5.63	162.90	70.70	P
1SC1	01-ene-07	296575	4501700	1919	7.4		732.6	457.60	69.00	303.50	95.50	117.60	6.57	172.00	73.60	P
1SC1	01-ene-10	296575	4501700	1872	7.1		826.1	321.00	64.00	364.10	269.70	117.00	5.50	189.00	86.00	P
1SC1	01-ene-09	296575	4501700	2200	7.45		869.3	316.30	66.00	384.60	226.20	125.40	5.70	197.40	91.40	P
1SE1	01-ene-08	271450	4505075	506			303.1	304.90	20.00	20.30	6.90	6.91	1.79	76.20	27.40	P
1SE1	01-ene-10	271450	4505075	565			349.1	350.80	23.00	22.80	8.20	11.90	1.90	76.00	38.70	P
1SE1	01-ene-02	271450	4505075	518			328	355.95	21.00	19.75	6.90	5.85	1.01	76.00	33.60	P
1SE1	01-ene-03	271450	4505075	549			357.8	361.00	20.00	15.90	6.90	4.57	1.05	90.50	32.00	P
1SE1	01-ene-04	271450	4505075	530			345.8	364.30	16.00	15.30	5.70	3.42	0.90	85.40	32.20	P
1SE1	01-ene-07	271450	4505075	583			335.4	349.50	21.00	14.80	7.90	7.15	2.18	84.70	30.10	P
1SE1	01-ene-09	271450	4505075	573			350	341.80	26.00	15.90	10.50	2.50	1.30	74.70	39.70	P
1SE1	01-ene-05	271450	4505075	574			284	271.40	45.00	9.80	3.40	3.71	1.49	66.90	28.40	P
1UL1	01-ene-02	277625	4500945				389	311.45	97.00	32.75	30.05	8.64	0.76	107.35	29.40	P
1UL1	01-ene-03	277625	4500945	502			372.2	267.10	96.00	13.80	24.30	4.96	0.64	108.50	24.60	P
1UL1	01-ene-04	277625	4500945	558			348.9	267.60	59.00	15.40	39.80	4.47	0.54	99.50	24.40	P
1UL1	01-ene-05	277625	4500945	587			340.1	269.30	89.00	14.50	26.60	6.03	1.32	99.60	22.20	P
1UL1	01-ene-07	277625	4500945	590			367.8	270.00	98.00	13.40	26.20	7.49	1.37	103.60	26.50	P
1UL1	01-ene-08	277625	4500945	583			340.4	261.80	84.00	12.50	23.40	6.94	1.07	96.10	24.40	P
1UL1	01-ene-09	277625	4500945	583			348.7	265.00	80.00	13.20	25.80	2.50	0.50	98.10	25.20	P
1UL1	01-ene-10	277625	4500945	534			343.9	271.50	81.00	19.20	30.20	8.20	1.00	96.00	25.30	P
2AC1	31-mar-11	281151	4525814	601	7.8	180	336	219.60	134.50	14.20	1.10	2.40	0.50	105.80	17.50	F
2AC1	29-mar-10	281151	4525814	760	7.55		464.2	243.20	10.00	225.00	6.10	6.00	1.20	121.10	39.30	F
2AC1	02-dic-11	281151	4525814	290	8.2	126	152	153.70	28.80	14.20	5.20	12.20	1.70	33.70	16.50	F
2AM1	24-may-00	294277	4513276	506	7.3	224	313.25	273.28	66.50	18.70	18.90	12.20	0.50	86.80	23.10	F
2AM1	19-feb-96	294277	4513276	697	7.2	216	327.83	263.52	64.50	69.70	13.10	35.20	1.40	88.80	25.40	F
2AM1	02-mar-00	294277	4513276	564	7.4	222	310.67	270.84	64.00	16.90	19.00	10.50	0.50	87.10	22.30	F
2AM1	15-nov-00	294277	4513276	692	7.4	218	334.92	265.96	72.50	65.70	15.80	64.50	1.40	91.80	25.30	F
2AM1	13-sep-00	294277	4513276	550	7.3	227	300.08	276.94	68.10	16.80	17.00	10.30	0.50	83.20	22.10	F
2AM1	22-jul-92	294277														



Tabla A.3.1 (4/5). Análisis de química elemental completa de las aguas subterráneas (X, Y (m snm); TAC, Dureza, concentraciones (mg L<sup>-1</sup>); CE (μS cm<sup>-1</sup>) a 20°C.

Pozo	Fecha	x	y	CE	pH	TAC	DUR	HCO3	SO4	Cl	NO3	Na	K	Ca	Mg	Tipo
2TV577	30-mar-10	287728	4515949	457	7.73		235.5	241.60	15.10	13.00	4.00	4.00	0.50	57.70	22.20	P
3AL2	24-feb-82	285365	4490766	700	7.4		342	258.60	79.70	27.00	18.50	7.80	1.80	94.60	25.80	P
3G01	14-feb-82	281417	4509541	875	7.4		342	280.60	27.00	3.20	4.00	19.50	1.90	105.80	19.00	P
3MV2	30-jun-82	290694	4511571	652	7.75		286	270.80	13.60	55.40	30.60	27.20	1.90	94.60	12.20	P
3RO2	04-nov-82	283120	4520493	417	7.4		220	219.60	12.50	17.70	3.90	4.50	1.50	48.90	23.80	P
3SB1	04-nov-82	286872	4511477	460	7.75		250	234.20	28.90	20.60	5.30	6.80	1.60	58.50	25.30	P
35C1	29-abr-70	296716	4501959	2706	7.3		590	270.00	197.00	652.00	58.30	327.00	7.10	116.00	72.00	P
35C1	04-nov-82	296716	4501959	2150	7.5		634	283.00	144.00	497.00	2.20	190.00	14.00	167.50	52.50	P
35E4	01-sep-82	277677	4500984	631	7.4		318	302.50	31.00	20.00	26.40	10.00	1.50	87.00	24.00	P
35E5	04-nov-82	278737	4497894	530	7.75		264	231.80	49.90	22.00	21.40	12.00	1.70	68.10	22.90	P
3TT11	04-nov-82	297979	4522512	553	7.45		276	297.70	15.40	29.10	3.80	13.00	1.70	72.10	23.30	P
3TT12	04-nov-82	303326	4518060	199	8.45		68	61.00	5.80	34.10	0.40	21.00	1.90	7.20	12.20	P
3TT5	30-jun-82	290226	4521177	1100	7.75		460	317.20	181.20	100.80	15.70	64.00	4.70	101.00	56.60	P
3TT8	01-ene-73	293139	4515968	763	7.4		350	256.00	64.00	100.00	6.30	45.00	3.00	80.00	36.00	P
3UL2	04-nov-82	275919	4498973	750	7.4		400	317.20	82.80	22.00	43.50	8.00	1.00	98.60	37.40	P
4AC1	30-ago-82	277980	4526690	422	8.1		234	236.70	22.30	18.60	2.70	8.50	0.80	61.70	19.50	F
4AC1	31-mar-11	277980	4526690	385	8	188	210	229.40	5.80	12.10	5.10	2.50	0.40	68.10	9.70	F
4AC2	31-mar-11	277135	4524957	447	7.8	238	252	290.40	9.60	12.80	0.90	6.60	1.30	73.70	16.50	F
4AC5	02-dic-11	284569	4531148	322	7.95	112	156	136.60	28.80	23.40	1.00	8.50	1.50	44.10	11.20	F
4AC6	02-dic-11	283778	4530940	283	8.05	98	136	119.60	21.10	17.70	9.20	7.20	0.90	41.70	7.80	F
4AC7	02-dic-11	276696	4525074	392	7.95	210	222	256.20	9.60	10.90	1.90	6.40	1.20	59.30	18.00	F
4AC8	02-dic-11	281436	4525567	307	7.8	122	160	148.80	19.20	14.90	3.70	2.60	0.50	39.30	15.10	F
4AL1	14-abr-11	295942	4501933	4810	7.2	216	1150	263.50	605.20	1201.90	11.10	628.00	29.80	308.60	92.40	P
4AM5	21-jul-11	296884	4505237	2390	7.6	224	560	273.30	155.60	585.00	12.40	296.00	156.30	156.30	41.30	F
4GA2	02-dic-11	290564	4508134	962	7.45	236	488	287.90	59.60	45.40	214.80	22.20	1.20	163.50	19.50	F
4GO1	02-dic-11	286911	4505268	472	7.6	244	256	297.70	15.40	21.30	0.80	15.60	1.50	89.80	7.80	F
4GO1	24-feb-82	286911	4505268	795				283.00	27.80	27.00	1.80	14.10	1.70	83.40	14.60	F
4GO1	13-abr-11	286911	4505268	1260	7.35	236	556	287.90	134.50	212.70	22.30	62.80	3.20	184.40	23.30	F
4GO2	02-dic-11	286507	4502326	640	7.65	272	352	331.80	26.90	26.90	61.20	14.90	2.80	126.70	8.80	F
4PA1	20-jul-11	279700	4532371	428	8.05	172	236	209.80	55.70	13.50	7.10	8.40	1.30	70.50	14.60	F
4PA2	02-dic-11	284312	4533803	767	7.55	204	420	248.90	209.40	31.20	6.40	22.40	2.00	133.10	21.40	F
4PA3	02-dic-11	279092	4530859	478	7.9	212	260	258.60	44.20	14.20	4.90	9.80	1.10	78.60	15.60	F
4PA4	02-dic-11	279186	4528810	1565	7.95	156	1088	190.30	883.80	29.80	0.80	13.40	2.10	328.70	65.20	F
4PA5	02-dic-11	279455	4530378	410	7.85	216	236	263.50	7.70	12.80	7.20	5.40	0.90	78.60	9.70	F
4RO10	21-jul-11	276709	4520052	453	8.05	252	264	307.40	7.70	9.20	0.00	4.30	0.60	85.00	12.60	F
4RO18	02-dic-11	278862	4518690	386	7.8	216	224	263.50	1.90	10.60	0.60	4.20	0.70	60.90	17.50	F
4RO2	31-mar-11	279597	4520573	394	8.15	204	218	248.90	1.90	14.90	0.60	4.10	0.80	56.90	15.80	F
4RO20	02-dic-11	285973	4518284	651	7.55	276	360	336.70	21.10	17.70	103.80	19.90	3.80	91.40	32.10	F
4RO26	02-dic-11	276221	4518091	463	8	260	270	317.20	11.50	12.80	2.10	9.70	1.10	53.70	33.10	F
4RO27	02-dic-11	273954	4515473	378	7.9	196	214	239.10	5.80	12.80	0.90	3.00	0.50	52.90	19.90	F
4RO3	02-dic-11	276532	4517367	429	7.8	240	252	292.80	5.80	9.90	4.10	5.20	0.80	68.90	19.50	F
4RO3	31-mar-11	276532	4517367	515	7.6	264	274	322.10	3.80	11.30	1.00	5.20	0.50	80.20	18.00	F
4RO5	04-oct-11	286485	4516606	527	7.8	252	272	307.40	17.30	36.90	0.90	21.50	3.80	62.50	28.20	P
4RO8	29-nov-10	272338	4516013	2200	7.8	124	1600	151.30	1479.30	22.00	1.10	45.50	2.60	581.20	36.50	F
4RO8	02-dic-11	272338	4516013	2180	7.6	188	1610	229.40	1392.90	26.90	3.20	33.20	1.80	549.10	58.40	F
4RO9	06-jul-82	272848	4518837	558	7.35		322	368.40	9.60	11.40	0.80	0.90	75.30	32.60	F	
4RO9	21-jul-11	272848	4518837	534	7.65	308	312	375.80	7.70	8.50	1.20	7.60	1.30	85.00	24.30	F
4SC2	02-dic-11	292707	4502179	380	7.8	182	196	222.00	15.40	18.40	1.80	12.60	2.20	72.90	3.40	F
4SE1	29-nov-10	266638	4506247	477	8.05	222	272	270.80	48.00	14.20	1.10	9.30	1.00	79.40	18.00	F
4SE1	04-nov-82	266638	4506247	507	7.4		288	258.60	53.80	21.30	1.00	9.70	2.00	72.10	26.30	F
4SE11	02-dic-11	268096	4513063	455	7.9	254	272	309.90	11.50	9.90	4.40	5.40	0.70	68.90	24.30	F
4SE12	20-dic-11	269410	4514638	545	8	304	320	370.90	21.10	11.30	0.50	9.60	1.70	80.20	29.20	F
4SE3	02-dic-11	266551	4506217	531	7.8	240	316	292.80	67.20	10.60	4.80	6.00	0.80	88.20	23.30	P
4SE3	13-abr-11	266551	4506217	564	7.55	236	316	287.90	76.80	14.20	0.90	9.60	1.10	96.20	0.90	P
4SE9	02-dic-11	265862	4509197	367	8.15	196	212	239.10	3.80	9.90	3.60	2.30	0.40	64.10	12.60	F
5AM1	28-may-97	296550	4506125	2080	7.3	222	472.5	270.84	130.00	465.00	13.90	249.00	8.30	113.00	45.60	F
5AM1	22-jul-92	296550	4506125	1385	7.4	205	580.08	250.10	164.80	407.40	12.20	170.50	7.60	104.20	76.70	F
5AM1	15-may-95	296550	4506125	1499	7.4	227.5	414	277.55	116.60	363.20	12.80	203.70	7.00	98.00	40.20	F
5AM1	04-dic-92	296550	4506125	1651.5	7.6	254	534.92	309.88	186.90	358.20	13.50	175.90	7.10	144.30	41.80	F
5AM1	02-sep-96	296550	4506125	1631	7.1	221	485.83	269.62	142.00	477.00	2.90	251.00	8.30	114.00	48.20	F
5AM1	08-nov-00	296550	4506125	1725	7.4	221	477.5	269.62	135.00	454.00	15.90	246.00	8.00	114.00	46.20	F
5AM1	29-abr-96	296550	4506125	1666	7	230	435.42	280.60	118.00	338.00	12.30	242.00	0.00	110.00	38.50	F
5AM1	22-may-00	296550	4506125	1488	7.3	230	485.42	280.60	135.00	454.00	14.40	247.00	7.90	115.00	47.50	F
5AM1	26-may-99	296550	4506125	1826	7.3	222	486.25	270.84	131.00	476.00	13.80	244.00	7.90	111.00	50.10	F
5AM1	06-oct-99	296550	4506125	1703	7.3	222	500.42	270.84	132.00	461.00	14.10	255.00	8.00	118.00	49.30	F
5AM1	04-sep-95	296550	4506125	1680	7.1	221	441.67	269.62	119.00	364.00	13.80	204.00	7.40	107.00	41.80	F
5GA1	18-nov-96	284145	4508438	271	7.2	186	212	226.92	8.70	11.10	24.30	16.20	0.00	57.30	16.50	S
5GA1	22-nov-99	284145	4508438	391	7.6	195	237.75	237.90	8.70	10.60	25.90	5.40	0.50	65.10	18.00	S
5GA1	27-feb-95	284145	4508438	404	7.6	190	231	231.80	9.80	10.50	21.60	4.30	2.70	60.10	19.50	S
5GA1	29-abr-96	284145	4508438	380	7.4	189	235.75	230.58	8.00	5.20	21.90	3.90	0.00	64.30	18.00	S
5GA1	15-nov-00	284145	4508438	420	7.6	191	237.08	233.02	9.40	12.00	27.50	5.80	0.50	64.50	18.20	S
5GA1	13-sep-00	284145	4508438	418	7.5	193	224.83	235.46	9.20	11.80	28.30	4.60	0.00	63.10	16.10	S
5GA1	02-mar-00	284145	4508438	414	7.5	191	224	233.02	9.20	9.60	26.10	4.60	0.50	62.60	16.20	S

Tabla A.3.1 (5/5). Análisis de química elemental completa de las aguas subterráneas (X, Y (m snm); TAC, Dureza, concentraciones ( $\text{mg L}^{-1}$ ); CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) a 20°C.

Pozo	Fecha	x	y	CE	pH	TAC	DUR	HCO3	SO4	Cl	NO3	Na	K	Ca	Mg	Tipo
5RO2	02-abr-05	276839	4517388	501	7.77			313.44	43.10	17.24	0.52	9.14	1.30	46.83	42.96	S
5RO2	22-jun-05	276839	4517388	2450	7.39			228.19	1630.80	80.29	0.00	94.38	20.65	433.74	156.90	S
5RO2	23-jun-05	276839	4517388	2260	7.24			239.47	1293.40	78.14	0.00	100.04	19.83	409.82	154.00	S
5SB1	07-oct-99	292250	4519300	414	7.5	219	251.25	267.18	8.80	10.00	2.40	6.10	0.50	59.00	24.90	S
5SB1	13-nov-00	292250	4519300	437	7.5	223	242.17	272.06	9.10	10.80	2.10	5.60	0.50	56.70	24.10	S
5SB1	22-may-00	292250	4519300	386	7.5	233	246.42	284.26	10.00	10.90	3.10	6.50	0.50	57.90	24.20	S
5SB1	28-feb-00	292250	4519300	430	7.6	221	243.75	269.62	9.70	9.60	2.90	5.70	0.00	58.50	23.40	S
5SB1	04-sep-96	292250	4519300	380	6.5	173	196.5	211.06	8.50	10.60	1.70	6.20	0.60	37.60	24.60	S
5SB1	24-nov-99	292250	4519300	709	7.53	218	249.5	265.96	10.30	11.90	2.50	7.50	0.50	59.30	24.30	S
5SB1	31-may-99	292250	4519300	442	7.4	219	247.58	267.18	8.40	13.40	2.90	6.10	0.50	58.70	24.20	S
5SB1	03-mar-99	292250	4519300	467	7.57	221	258.5	269.62	9.00	10.10	3.00	6.40	0.50	61.90	24.90	S
5SB1	23-abr-97	292250	4519300	454	7.4	227	257.75	276.94	8.80	9.70	2.70	5.40	0.00	60.60	25.50	S
5SB1	25-nov-96	292250	4519300	328	6.7	225	236.58	274.50	9.10	10.90	2.50	6.20	0.00	54.80	23.90	S
5SB1	08-may-96	292250	4519300	412	6.9	232	236.75	283.04	8.50	9.70	2.80	5.10	0.30	53.70	24.60	S
5SB1	20-feb-96	292250	4519300	432	7.3	229	253	279.38	8.70	9.70	2.70	5.90	0.00	59.70	24.90	S
5SB1	22-nov-95	292250	4519300	414	7.4	225	230	274.50	8.60	10.30	2.60	5.40	0.20	54.50	22.50	S
5SB1	13-sep-95	292250	4519300	441	7.3	220	237.5	268.40	15.60	13.30	4.60	0.50	0.00	58.00	22.20	S
5SB1	26-feb-97	292250	4519300	419	7	225	257.58	274.50	9.00	9.70	2.50	5.70	0.00	61.20	25.10	S
5TT1	13-nov-00	286085	4511865	841	7.2	221	343	269.62	59.30	121.00	21.00	57.60	1.50	99.70	22.50	S
5TT1	22-may-00	286085	4511865	811	7.2	223	362.5	272.06	61.10	160.00	13.80	78.70	1.80	102.00	25.80	S
5TT1	28-feb-00	286085	4511865	889	7.3	216	355	263.52	57.20	148.00	16.10	74.00	1.60	101.00	24.60	S

### A.3.2 VARIABILIDAD TEMPORAL

Se presentan los diagramas de columnas verticales logarítmicas (Schoeller-Berkaloff) de los 38 puntos de control con análisis de química elemental completa repetitivo a lo largo del tiempo.

A partir de dicha representación se ha observado que la variabilidad a lo largo del tiempo de la concentración de iones mayoritarios de cada punto de muestreo no es significativa, por lo que se ha seleccionado el análisis más representativo para cada punto, quedando seleccionados 121 puntos para la caracterización de las aguas subterráneas de la zona de estudio (ver Tabla A.3.2).

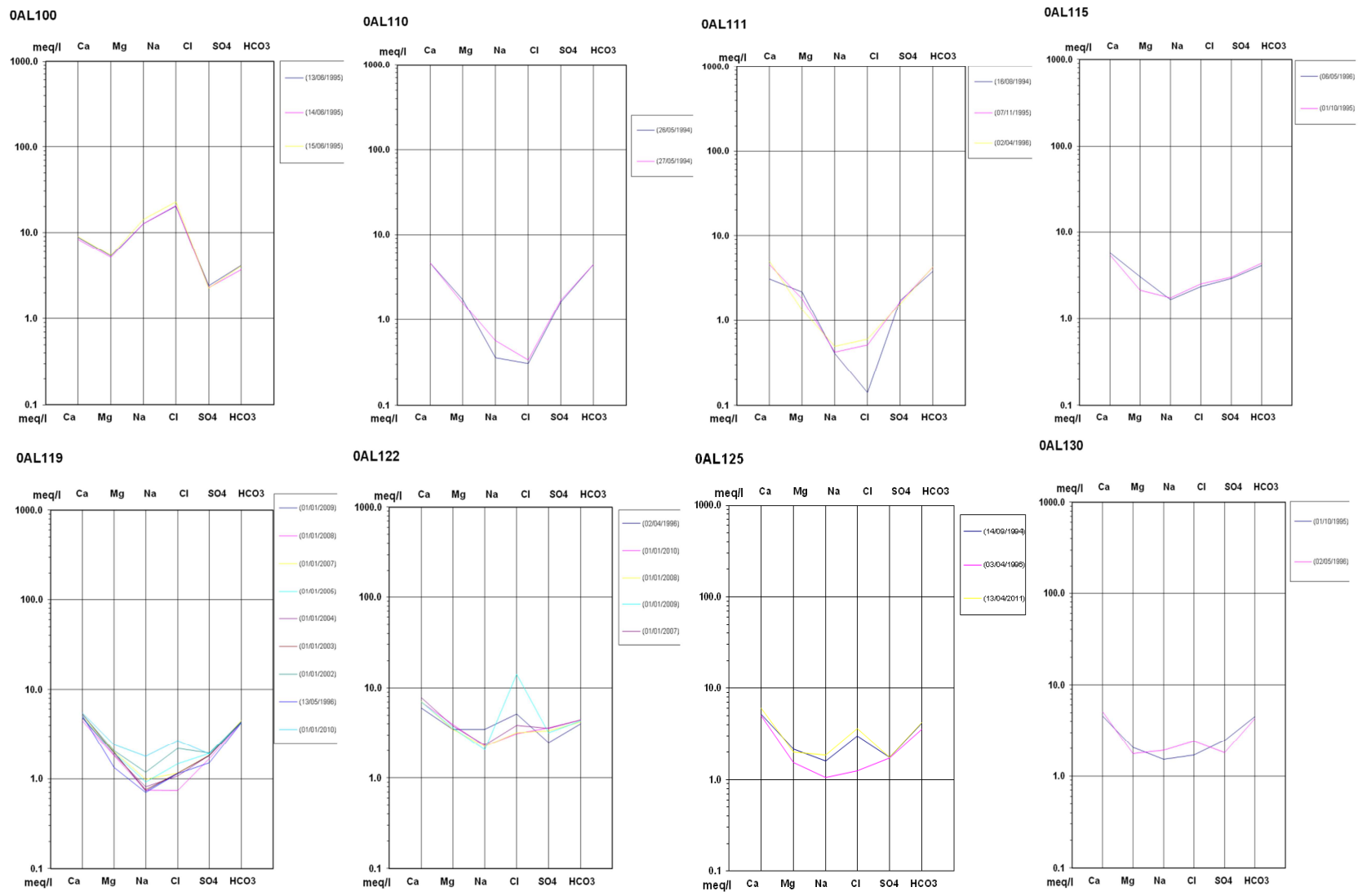


Figura A.3.2. (1/5). Diagramas de columnas verticales para estudio de la variabilidad temporal de análisis de química elemental de agua subterránea.

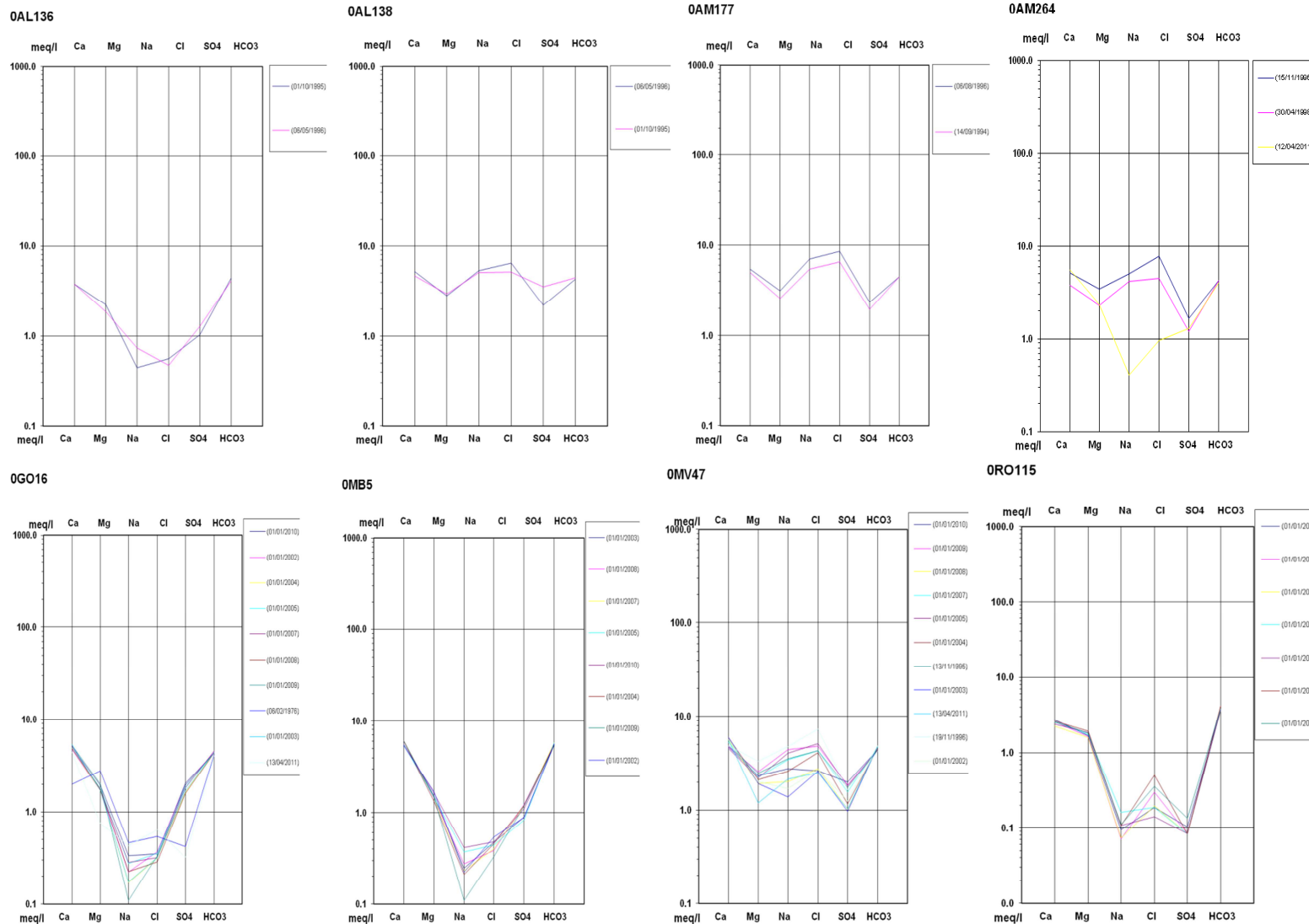


Figura A.3.2. (2/5). Diagramas de columnas verticales para estudio de la variabilidad temporal de análisis de química elemental de agua subterránea.

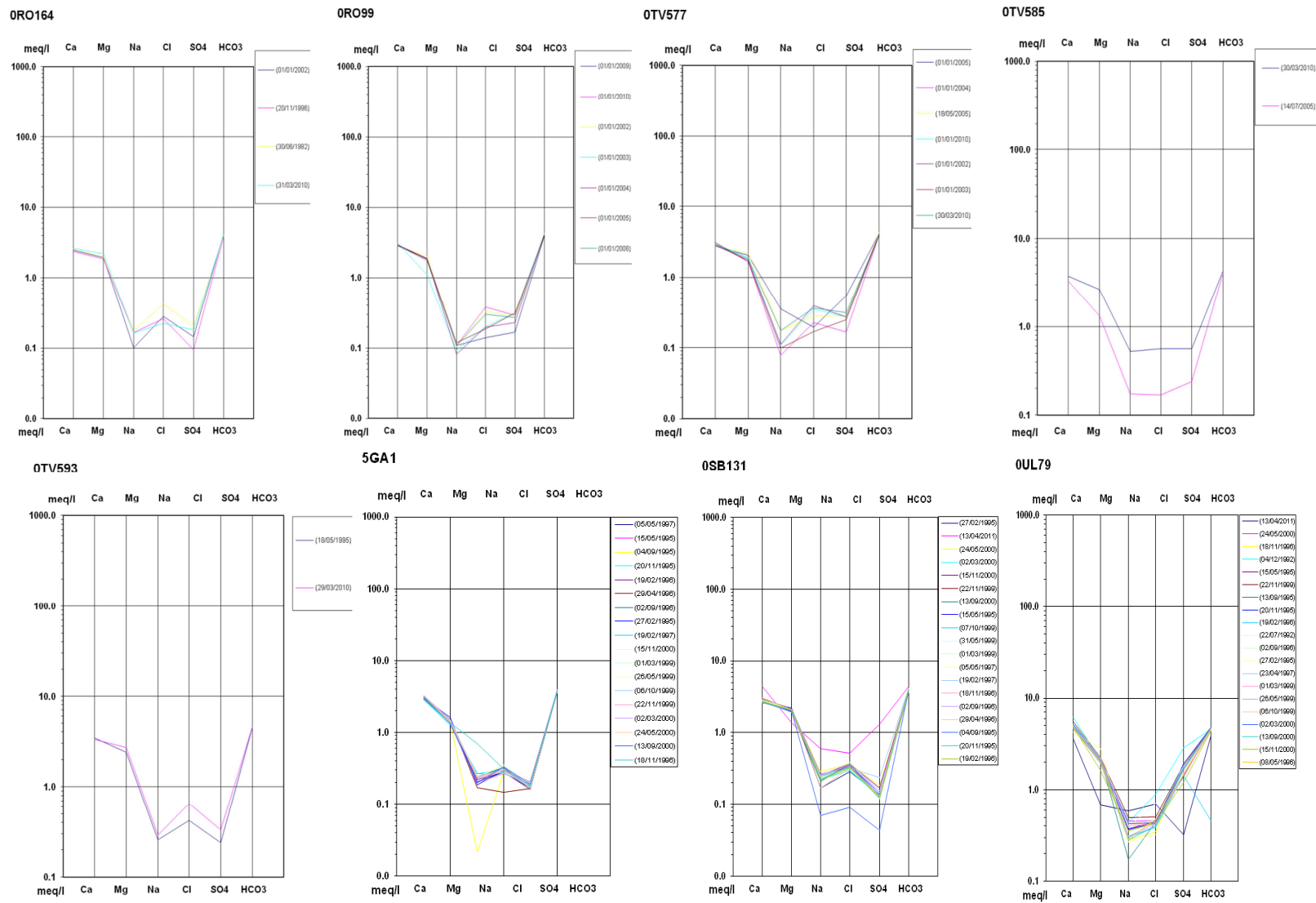


Figura A.3.2. (3/5). Diagramas de columnas verticales para estudio de la variabilidad temporal de análisis de química elemental de agua subterránea.

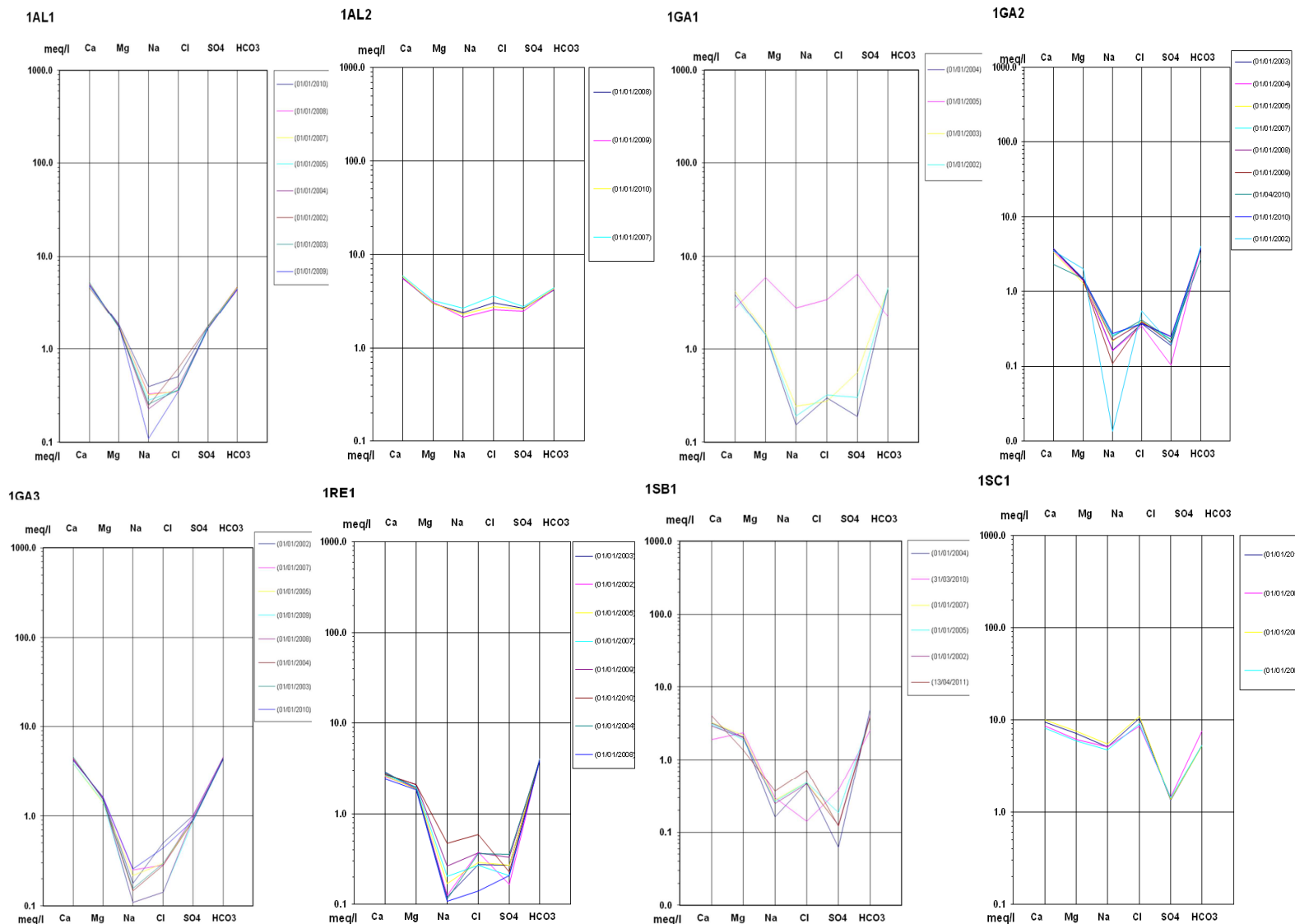


Figura A.3.2. (4/5). Diagramas de columnas verticales para estudio de la variabilidad temporal de análisis de química elemental de agua subterránea.

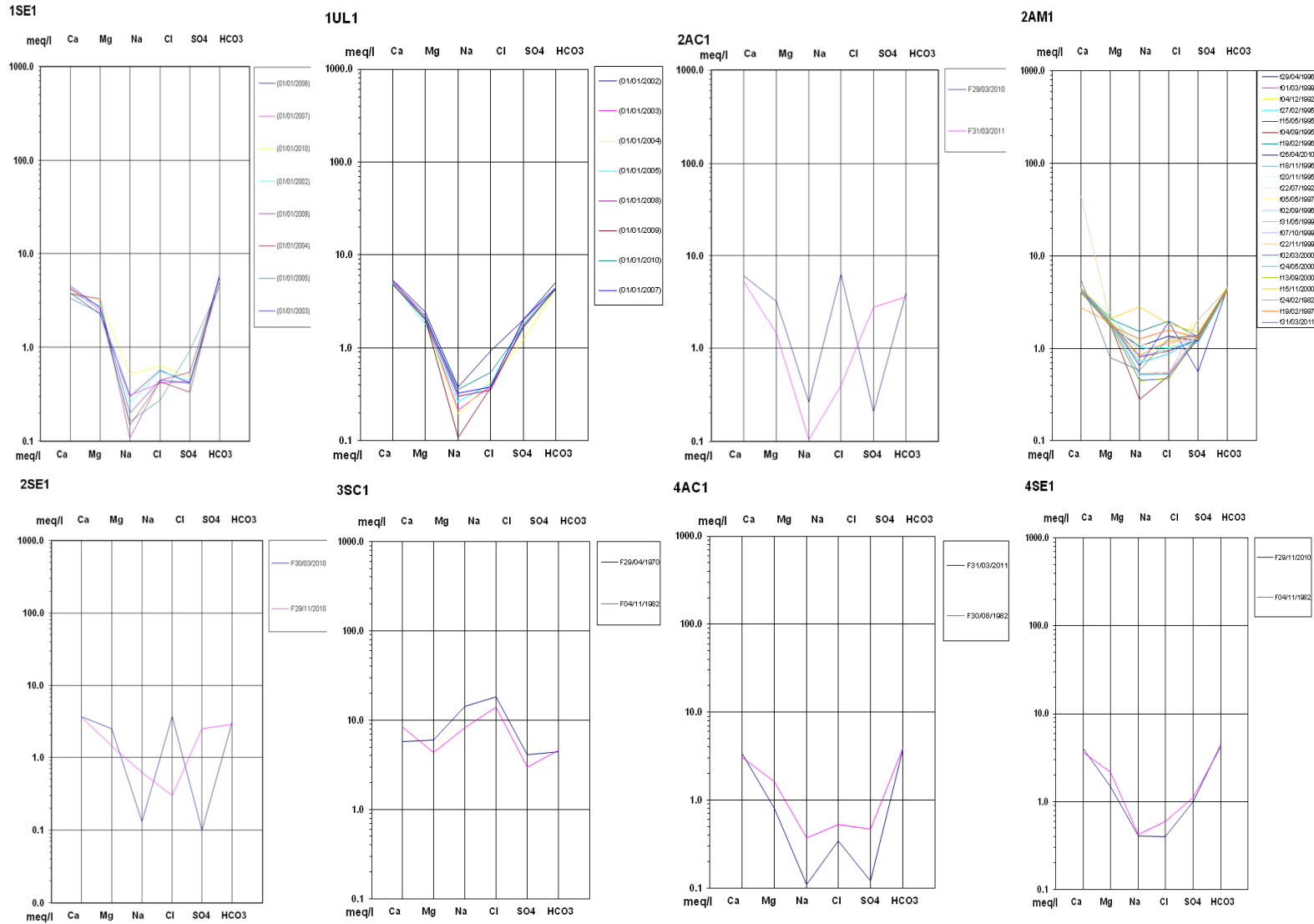


Figura A.3.2. (5/5). Diagramas de columnas verticales para estudio de la variabilidad temporal de análisis de química elemental de agua subterránea.



Tabla A.3.2 Análisis seleccionados de química elemental de las aguas Subterráneas (X, Y (m snm); TAC, Dureza, concentraciones (mg L<sup>-1</sup>); CE (μS cm<sup>-1</sup>) a 20°C.

Pozo	x (m)	y (m)	z (msnm)	Tipo	Toponimo	Grupo	Edad	Profundidad (m)	NO3	CE (μS/cm)	pH	TAC	DUR	HCO3	SO4	Cl (mg/L)	NO3	Na	K	Ca	Mg
OM85	277200	4511365	363	P	Pou granja Cami de la Vall	1	JCc	250	M	576			371.6	339.9	58	16.1	19.6	4.84	1.4	122.1	16.2
OT1123	269969	4518483	1022	P	Pou Gima Castellón CLARLES	1	JDm	116	B	561	7.18		32.4	414.8	12.9	5.74	2.6	3.1	0.3	76.3	32.7
SRO2	276839	4517388	300	P	Pou CHE BC Lloret	1	253	B	501	7.77			313.44	43.1	17.24	0.52	9.14	1.3	46.83	42.96	
4PA1	279700	4523271	450	F	Font de Sant Roc	1	Tm3	B	428	8.05	172	236	209.8	55.7	13.5	7.1	8.4	1.3	70.5	14.6	
4PA2	284312	4533803	125	F	Font de Pauls	1	Tm3/Tk	B	754	7.7	200	420	244	200.8	31.2	1.1	1.7	1.7	3	128.3	24.3
4PA3	279092	4530859	567	F	Font del Teix PA	1	Tm3	B	478	7.9	212	260	258.6	44.2	14.2	4.9	9.8	1.1	78.6	15.6	
4PA4	279186	4528810	130	F	Font de la Plorona	1	JDb	B	1565	7.95	156	1088	190.3	883.8	29.8	0.8	13.4	2.1	328.7	65.2	
4AC5	279455	4530378	580	F	Ullal de les Vallis	1	Tm3	B	435	7.85	216	236	265.8	77	12.8	7.2	5.4	0.9	78.5	9.7	
2AC1	281151	4525814	210	F	Vall Cenvera	1	Tm3	B	760	7.55			243.2	225	10	6.1	6	1.2	121.1	39.3	
4RO8	272338	4516013	750	F	Font de la Cendrossa	1	3/CapAc/Tm2	B	1818	7.6	188	1610	229.4	1392.9	26.9	3.2	33.2	1.8	549.1	58.4	
4RO24	272359	4516409	775	F	Font del Bosc	1	JCd/CapAc1	B	598	7.74	204	354	248.9	139.3	13.5	0.8	6.5	1.3	108.2	20.4	
2GA1	280755	4507377	171	P	Granja Bonavilla	1	NEO/Q	A	740	7.84		407.8	245.9	56	23.8	159	9.7	1.5	109.7	32.5	
2GA2	280083	4500625	180	P	Granja Traiguera	1	NEO/Q	A	618	7.87		326.7	207.8	48	20.6	115.4	8	1.5	85	27.8	
3F5	278737	4497894	205	P	Pou Traiguera	1		500	M	530	7.75		264	231.8	49.9	22	21.4	12	1.7	68.1	22.9
3UL2	275919	4498973				1				750	7.4		400	317.2	82.8	22	43.5	8	1	98.6	37.4
2E1	268891	4505996	380	F	Font de Sant Pere	1	m/JCd/Qa3	B	569	7.62	220	332	286.4	110.5	12.8	0.7	9.7	1.4	104.2	17.5	
4E1	268891	4505996	430	F	Font de Rossegadors	1	JCd/Q	B	222	272	8.05	477	270.8	48	14.2	1.1	1.3	1	79.4	18	
4E2	269227	4504364	416	P	Tolls dels Arenals	1		B	608	7.65	216	348	263.5	123	14.2	1.4	7.2	1.5	101	23.3	
OU136	282760	4497495	164	P	Pou deposito Abto Ulldacona	1	CNbc	300	A	660	7.65	216	340	263.5	81.7	28.4	42.6	15.2	2.9	115.4	12.6
4E3	266551	4506217	451	P	Pou presa Ulldacona	1		150	B	564	7.55	236	316	287.9	76.8	14.2	0.9	9.6	1.1	96.2	9
4CRULL	274108	4499408				1			A	572	7.55	210	316	256.2	71.1	19.1	33.2	9.4	1.8	95.4	19
OU124	285290	4493090				1	CNbc	A	503	7.87		265.09	56.16	21	33.84	11.04	1.17	79.4	25.2		
OU126	283610	4492725	125	P	Pou de Canals	1	CNbc	M	482	7.85		246.2	62.4	16	24.61	7.13	0.78	74.2	25.92		
OU162	288700	4499990	911	P	Pou de la Liegueta	1	CNbc	300	B	483	7.2		291.5	275.11	66.24	13.13	0	7.59	3.99	82.2	20.65
OR2	289715	4504637	212	P	Pou 2 Barranc Roig (SGOP 2)	1	CNbc	355	M	587	7.15		340.1	269.3	89	14.5	26.6	6.03	1.32	99.6	22.2
JUL1	277625	4500945				1			M	587	7.15		340.1	269.3	89	14.5	26.6	6.03	1.32	99.6	22.2
OG106	285505	4505640	100	P	Pou abto ayto Godall Caplises	1	CapAc	160	A	505	7.6	204	258	248.9	15.4	22.7	36.4	9.9	1.8	88.2	9.2
OT1222	288169	4523163	56	P	Pou Bernabé 2	1	Qa4	100	B	610	7.6	220	288	268.49	75	10	5	6.5	1.2	66.8	29.6
OXE10	284145	4527055	135	P	Pou Teroles	1	Qa4/Q4-5	160	B	492		200	244	66	15.8	5.3	6.8	1.1	66	27	
OXE106	285050	4529635	183	P	Pou de La Font Amarga	1	Qa4/Q4-5	200	M	621		208	367	254	135	12.6	13.9	8.5	1.1	99.8	28.8
OMV15	289305	4508850	64	P	Pou Müller	1	CapAc	128	M	566	77.6	180	258	219.6	57.6	16.3	10.4	7.8	0.6	72.9	18.5
1GA3	284104	4508598				1			B	416			307.2	268.7	45	10.5	8.3	3.58	0.42	92.2	18.7
OSB13	286200	4511200	110	P	Pou Les Quatre Portes	1	CapAc	220	A	540	7.45	170	244	207.4	43.2	14.2	37.2	7.9	4.5	68.9	17.5
OS131	288798	4506560	60	P	Pou abto Santa Barbara nou	1	Capcm	401	A	539	7.75	220	288	268.4	62.4	18.4	10.4	13.7	2.1	88.2	16.5
2AM1	294277	4531276	5	F	Ullal de la Carrova	1			A	579	7.22		311.2	275.2	69	26.9	42.3	41.3	14.9	11.2	82.8
OAD83	289349	4528589	30	P	Pou complementari ayto Aldover	1	Qa4	B	433	8.02	162	232	197.6	57.60	17	1.40	6.70	1.10	64.90	17.00	
OR0136	289035	4520882	7	P	Pou Raval de Cristo	1	Qa4	45	B	487	8.15	176	258	214	71.10	16.3	1.10	7.20	0.70	67.30	21.90
OXE18	288855	4532265	25	P	Vinyases, Camp de futbol	1	Qa3	B	849.00	7.51	212.00	468	258.6	230.5	44	9.4	24.6	1.4	149.1	23.3	
OXE105	284365	4527210	150	P	Terolees	1	NPcgg	B	497.00	8.27	192.00	270	234.2	61.5	14.7	1.1	6.4	0.6	77	19	
OAD46	286380	4528460	112.8	P	Plana d'Alfara	1	NMcgl	139	B	446.00	8.08	158.00	234	192.8	65.3	18.4	0.5	7.8	1.4	59.3	20.9
OU110	286260	4491400	109.55	P	Cascurbà	1	CapC2	209	M	576	7.68	228	316	278.20	76.80	21.30	5.30	11.60	1.40	102.60	14.60
OU12	274240	4499365	276.24	P	Ulldacona 2 Pou Moil de la Roca	1	CapC2		M	491	8.08	184	260	224.50	54.80	17.00	14.30	7.40	0.90	75.50	17.50
OU11	289400	4502860	60	P	Pou de les Cases de Alcanar	1	CNbc	92	M	535		218	210	266	256	15.9	14.6	8.1	1	88.0	21.5
4AC1	277980	4526590	429	F	Font dels Ullals	2	Tm3/Tk	B	485	8	188	210	228.4	8.8	12.1	1.1	5.4	0.4	68.1	9.7	
4AC2	277135	4524957	490	F	Font del Cabrit (Toscà)	2	Tm3/Tk	B	447	7.8	238	252	290.4	9.6	12.8	0.9	6.6	1.3	73.7	16.5	
4RO27	273954	4515473	542	F	Font del Petrolí	2	JDm	B	378	7.9	196	214	239.1	5.8	12.8	0.9	3	0.5	52.9	19.9	
4E9	265862	4509197				2	Cbc/JCc	B	367	8.15	196	212	239.1	3.8	9.9	3.6	2.3	0.4	64.1	12.6	
OR0115	282200	4520090	175	P	Pou Perellades-Caramella	2	NPcgg	280	B	332		218.5	225.5	5	6.7	5.5	2.19	0.27	54.2	20.2	
OR0140	284765	4518165	83	P	SGOP 4 BC Sant Antoni	2	NPcgg	170	A	583	7.93		272.4	257	10	16	33.6	5.1	1	59.9	29.9
OR0149	282530	4515480	155	P	Pou Panxa Blanca	2	KCTc	155	B	357	7.71		230.4	12.2	16.3	3.4	3.2	0.4	51.3	18.2	
OT1955	289958	4520999	8	P	Pou Sollebre	2	Qa4/Qv3	42	M	1278	7.5		530.4	319.2	110.5	213	20.6	72.9	2.4	112.8	60.4
OT1959	287465	4519795	62	P	Pou Cap de Terme 2	2	Qa4/Qv3	122	A	696	7.67	226	321	280.9	15.5	14.2	40.9	6.7	11	88.0	18.8
SRO2	283120	4520493	137	P	Pou Galatxo	2		B	417	7.4		220	219.6	125.5	17.7	3.9	4.5	1.5	48.9	23.8	
OG01	283093	4503125	136	P	Granja Vicent	2	NEO/Q	150	A	584	7.73		327.2	275.8	13	61	39.6	6.8	1	88.5	25.8
OR0118	284155	4520750	120	P	Pou August	2	Q12	140	M	403.00	8.31	188.00	222	229.4	11.5	17	15.1	7	1.2	55.3	20.4
4AC3	274742	4521588	1050	F	Font del Mascà	3	JCd	B	340	8.4	188	192	229.4	5.8	11.3	0.6	9.7	1.8	35.3	25.3	
4RO3	276532	4517367	310	F	Els Bufadors de Lloret	3	JCd	B	515	7.6	264	274	322.1	3.8	11.3	1	5.2	0.5	80.2	18	
4RO9	272848	451883	1000	F	Font Cova Avellanes	3	JCd	B	619	7.47	364	376	444.1	1	12.8	0.6	3.5	0.7	96.2	33.1	
4RO15	278598	4520683				3		B	422	8.1	222	234	270.8	1.9	14.2	1.6	5.2	0.8	59.3	20.9	
4RO126	276221	4518091	425	F	Font Cova Pintada	3	JCd	B	416	8.25	216	232	263.7	17.7	13.5	0.6	7	0.8	50.5	25.8	
1GA2	284719	4506844	135	P	Pou abto Santa Barbara antiguo	3	KCTc	130	B	452	7.7	192	236	234.2	9.6	19.1	36.6	9.4	1.3	72.9	13.1
4G01	286911	4505268	150	F	Font del Arboç	3	'A'PaP/QaC3	B	514	7.71	260	284	317.2	6.7	8.1	0.8	8.1	0.9	99.4	8.8	
OMV47	292760	4509770	91	P	Pou Coll abto Masdenverge	3	KCTc	180	A	775	7.35	240	340	292.8	50	89.3	39.3	49.5	2.8	112.2	14.6
0AM105	293950	4511365				3		B	135	7.93		290.5	24.4	10.4	8.2	62.1	3	0.4	84.6	17.3	
OGA50	287010	4508155	100	P	Pou Rosa Carretera	3	Ckt	130	M	456	7.64		268.5	8.3	18.4	21.2	8	16.8	64.1	16.8	
3MV2	290694	4511571	51	P	Pou PIDIS I	3		70	A	652	7.75		286	270.8	13.6	55.4	30.6	27.2	1.9	94.6	12

**A.3.3. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL**

Se ha realizado el estudio mediante la representación gráfica de los análisis de química elemental completa en diagramas de columnas verticales logarítmicas, clasificando las aguas en 7 grupos (ver Figura A.3.3.a-d). Los comentarios acerca de la clasificación se describen en el Capítulo 7.1.2.

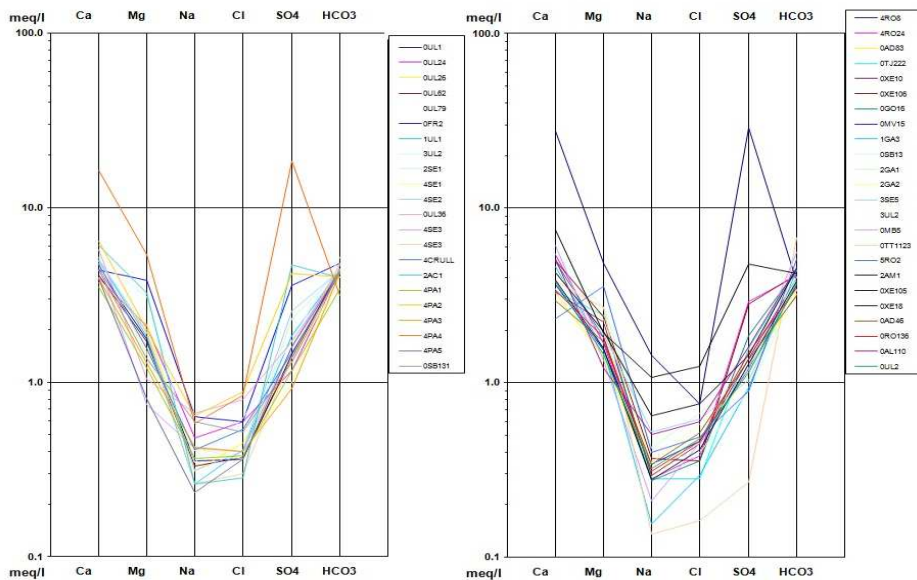


Figura A.3.3.a. Estudio de la distribución espacial. Diagramas Schoeller-Berkaloff grupo 1.

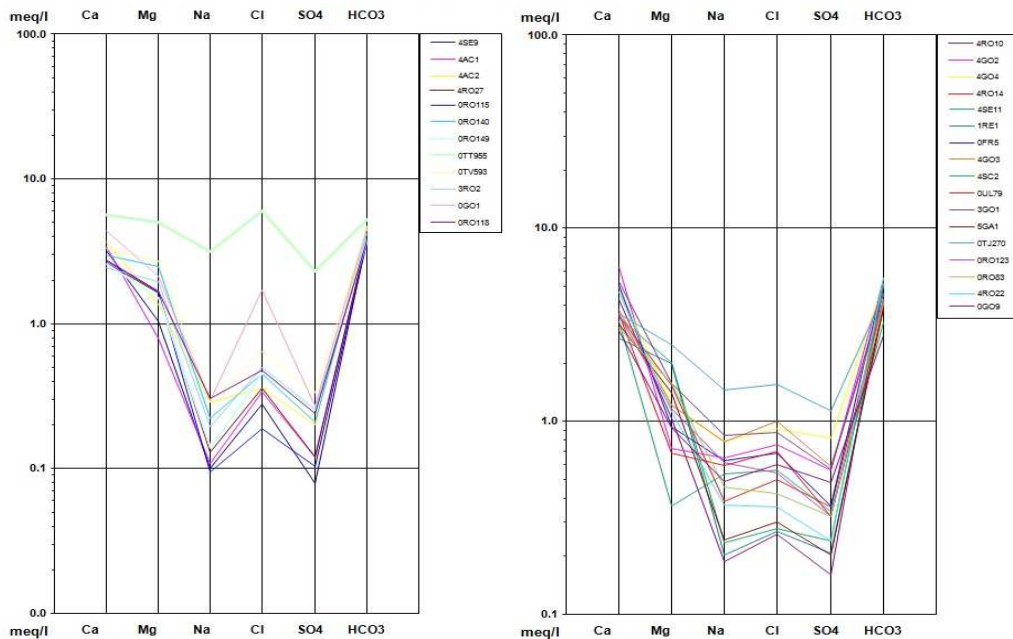


Figura A.3.3.b. Estudio de la distribución espacial. Diagramas Schoeller-Berkaloff grupos 2 y 5.

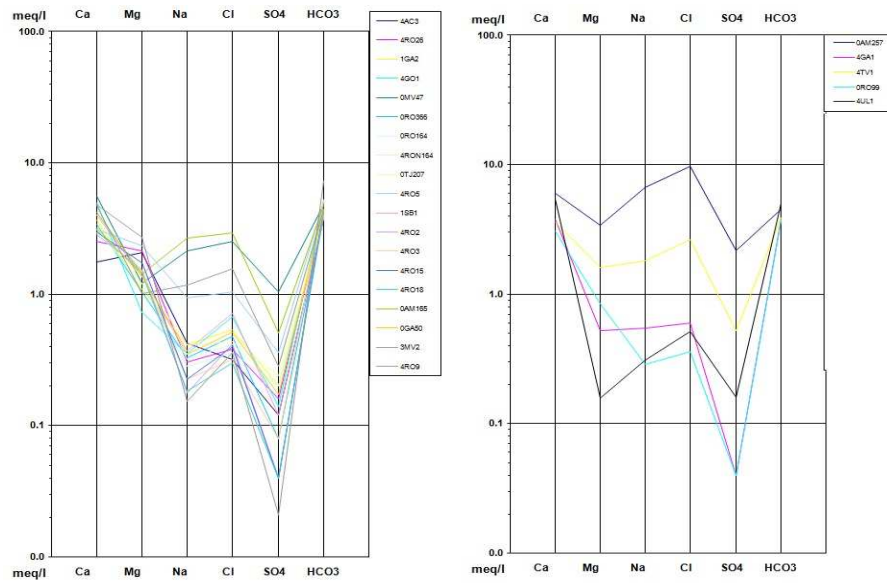


Figura A.3.3.c. Estudio de la distribución espacial. Diagramas Schoeller-Berkaloff grupo 3.

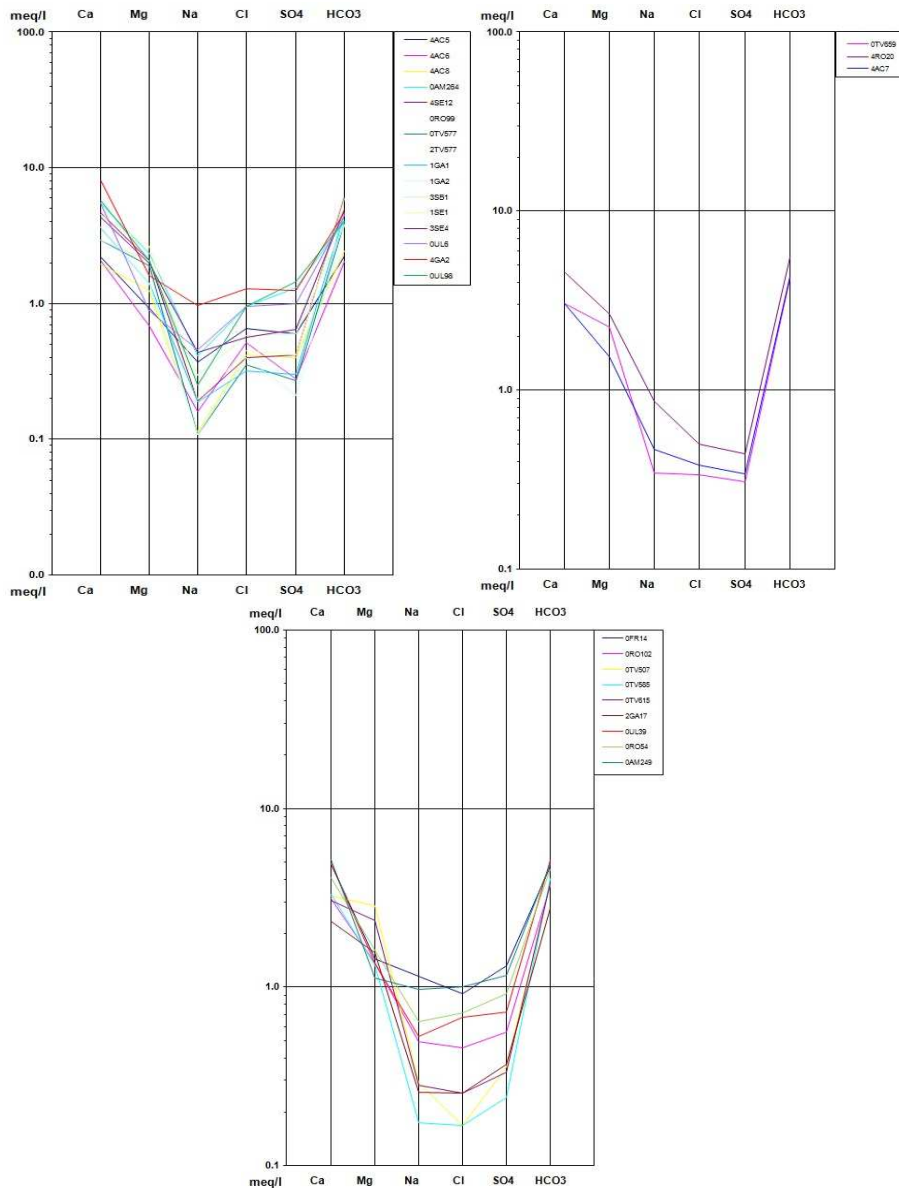


Figura A.3.3.d. Estudio de la distribución espacial. Diagramas Schoeller-Berkaloff grupos 4, 6 y 7.

A.3.3.1. Selección de puntos representativos de la recarga en la zona de estudio

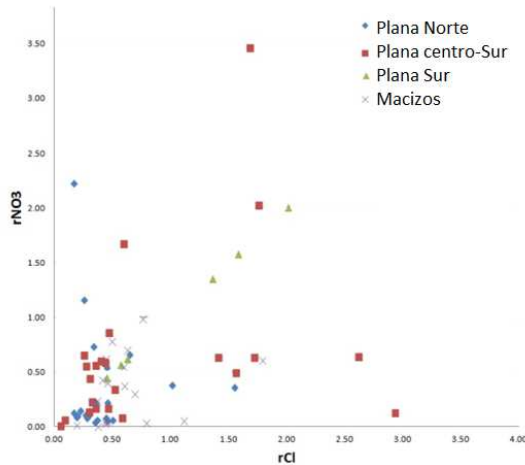


Figura A.3.3.1.a. Relación entre cloruro (meq L<sup>-1</sup>) y concentración de nitratos (meq L<sup>-1</sup>).

Tabla A.3.3.1. Selección de los puntos con la concentración de ión cloruro representativo del agua de recarga con NO<sub>3</sub><30 mg L<sup>-1</sup>

<sup>1</sup>. \*NO<sub>3</sub>: rango de concentración de nitratos B (bajo)<10 mg L<sup>-1</sup>; M (medio): 10-30 mg L<sup>-1</sup> (X, Y (m snm); TAC, Dureza, concentraciones (mg L<sup>-1</sup>); CE (μS cm<sup>-1</sup>) a 20°C).

Pozo	x	y	z	Tipo	Toponimo	Grupo	Edad	rofundida	NO3	CE	pH	TAC	DUR	HCO3	SO4	Cl	NO3	Na	K	Ca	Mg
4PA1	279700	4532371	450	F	Font de Sant Roc	1			B	428	8.05	172	236	209.8	55.7	13.5	7.1	8.4	1.3	70.5	14.6
4PA2	284312	4533803	125	F	Font de Pauls	1	Tm3/Tk		B	754	7.7	200	420	244	200.8	31.2	1.1	14.7	3	128.3	24.3
4PA3	279692	4530859	567	F	Font del Teix PA	1	Tm3		B	478	7.9	212	260	258.6	44.2	14.2	4.9	9.8	1.1	78.6	15.6
4PA4	279186	4528810	662	F	Font de la Plorona	1	JLb		B	1565	7.95	156	1088	190.3	883.8	29.8	0.8	13.4	2.1	328.7	65.2
4PA5	279455	4530378	580	F	Ullal de les Vallis	1	Tm3		B	410	7.85	216	236	263.5	77	12.8	7.2	5.4	0.9	78.6	9.7
4AC1	277980	4526690	429	F	Font dels Ullals	2	Tm3/Tk		B	385	8	188	210	229.4	5.8	12.1	5.1	2.5	0.4	68.1	9.7
4AC2	277135	4524957	490	F	Font del Cabrit (Tosca)	2	Tm3/Tk		B	447	7.8	238	252	290.4	9.6	12.8	0.9	6.6	1.3	73.7	16.5
4AC3	274742	4521588	1050	F	Font del Mascà	3	JCd		B	340	8.4	188	192	229.4	5.8	11.3	0.6	9.7	1.8	35.3	25.3
4AC5	284569	4531148	335	F	Font de la Perera	4	Tm3/Tk		B	322	7.95	112	156	136.6	28.8	23.4	1	8.5	1.5	44.1	11.2
4AC6	283778	453094	400	F	Font Nova	4	Tm3/Tk		B	282	7.9	102	138	124.4	13.4	18.4	5.3	3.7	0.5	41.7	8.3
4AC7	276696	4525074	540	F	Font del Ferro (Tosca)	6	Tk/Trd		B	435	8.08	216	228	263.5	16.3	13.5	0.9	10.7	1.8	60.9	18.5
4AC8	281436	4525567	230	F	Font del Lloret	4	Tm3/Tk		B	307	7.8	122	160	148.8	19.2	14.9	3.7	2.6	0.5	39.3	15.1
2AC1	281151	4525814	210	F	Vall Cervera	1	Tm3		B	760	7.55	265	243.2	225	10	6.1	6	1.2	121.1	39.3	
4RO10	276709	4520052	1000	F	Bassis de Caro	5	JCd		B	453	8.05	252	264	307.4	7.7	9.2	0	4.3	0.6	85	12.6
4RO14	278285	4521709	985	F	Font del Gel	5	JCd		B	449	8.4	216	252	263.5	17.3	17.7	1.5	8.9	1.5	70.5	18.5
ORO102	281045	4520340	108	P	Piezómetro de la Caramella	7	JCd	320	M	433	7.65	184	224	224.5	26.9	16.3	13.8	11.4	0.9	62.5	16.5
4RO15	278598	4520683		F	Font de la Caramella	3			B	422	8.1	222	234	270.8	1.9	14.2	1.6	5.2	0.8	59.3	20.9
4RO18	279560	4518599	219	F	Buafador de Covalta	3	JCd		B	449	7.88	246	258	300.1	5.80	10.6	3.60	5.30	0.90	71.30	19.50
4RO26	276221	4518091	425	F	Font Cova Pintada	3	JCd		B	416	8.25	216	232	263.5	7.7	13.5	0.6	7	0.8	50.5	25.8
4RO3	276532	4517367	310	F	Els Bufadors de Lloret	3	JCd		B	515	7.6	264	274	322.1	3.8	11.3	1	5.2	0.5	80.2	18
5RO2	276839	4517388	300	P	Pou CHE Bc Lloret	1		253	B	501	7.77			313.44	43.1	17.24	0.52	9.14	1.3	46.83	42.96
4RO22	272899	4516969	1025	F	Font de la Lagosta	5	CApC1/Cku		B	508	7.55	276	288	336.7	11.5	12.8	0.7	8.5	1.1	93	13.6
4RO24	272359	4516409	775	F	Font del Bosc	1	JCd/CApC1		B	598	7.74	204	354	248.9	139.3	13.5	0.8	6.5	1.3	108.2	20.4
4RO27	273954	4515473	542	F	Font del Petrolí	2	JDm		B	378	7.9	196	214	239.1	5.8	12.8	0.9	3	0.5	52.9	19.9
4RO8	272338	4516013	750	F	Font de la Cendrossa	1	J/CApC1/Tm2		B	2180	7.6	188	1610	229.4	1392.9	26.9	3.2	33.2	1.8	549.1	58.4
4RO9	272848	451883	1000	F	Font Cova Avellanés	3	JCd		B	619	7.47	364	376	444.1	1	12.8	0.6	3.5	0.7	96.2	33.1
4SE11	268096	4513063	700	F	Font del Teix FOU	5	JCd		B	455	7.9	254	272	309.9	11.5	9.9	4.4	5.4	0.7	89.8	24.3
4SE12	269410	4514638	1000	F	Font del Retaule	4	JCd		B	545	7.62	304	336	370.9	20.2	14.2	0.5	4.4	0.7	93	25.3
4SE3	266551	4506217	451	P	Pou presa Ulldescon	1		150	B	564	7.55	236	316	287.9	76.8	14.2	0.9	9.6	1.1	96.2	9
4SE9	265862	4509197		F	Font de la Fou	2	Cbc/JCc		B	367	8.15	196	212	239.1	3.8	9.9	3.6	2.3	0.4	64.1	12.6
4SE1	268891	4505096	430	F	Font de Rossegadors	1	JCc/JCd		B	222	27.2	8.05	477	270.8	48	14.2	1.1	9.3	1	79.4	18
4SE2	269227	4504364	416	P	Tolls dels Arenals	1			B	608	7.65	216	348	263.5	123	14.2	1.4	7.2	1.5	101	23.3
2SE1	268891	4505096	380	F	Font de Sant Pere	1	m/JCd/Qac3		B	569	7.62	220	332	268.4	110.5	12.8	0.7	9.7	1.4	104.2	17.5
1SE1	271450	4505075		P	Pou Prades	4			B	549			357.8	361	20	15.9	6.9	4.57	1.05	90.5	32
0XE106	265050	4526635	183	P	Pou de la Font Amarga	1	Qa4/Qf4-5	200	M	621	208		367	254	135	12.6	13.9	8.5	1.1	99.8	28.8
QAD46	286380	4528460	112.8	P	Plana d'Alfars	1	NMgl	130	B	446.00	8.08	158.00	234	192.8	65.3	18.4	0.5	7.8	1.4	59.3	20.9
0XE10	284145	4527055	135	P	Pou Tereoles	1	Qa4/Qf4-5	160	B	492		200		244	66	15.8	5.3	6.8	1.1	66	27
0XE105	284365	4527210	150	P	Tereoles	1	NPegg		B	497.00	8.27	192.00	270	234.2	61.5	14.7	1.1	6.4	0.6	77	19
1RE1	283675	4525475		P		5			B	380			233.4	244.7	10	9.5	6.9	4.66	0.78	53.9	24
0TJ207	284666	4524238	129	P	Pou Camp de Futbol	3	Pcgg+Capc	150	B	389	7.75	196	214	239.1	11.5	15.6	7.3	9.5	1.6	58.5	16.5
4RON164	285667	4522865	97	P	Pou Pilans nuevo	3		150	B	391	7.75	198	216	241.6	9.6	12.8	6	6.5	1.1	62.5	14.6
3RO2	283120	4520493	137	P	Pou Galaxo	2			B	417	7.4		220	219.6	12.5	17.7	3.9	4.5	1.5	48.9	23.8
0RO115	282200	4520090	175	P	Pou Pirellades-Caramella	2	NPegg	280	B	332			218.5	225.5	5	6.7	5.5	2.19	0.27	54.2	20.2
0RO149	282330	4515480	155	P	Pou Fina Blanca	2	KTC	155	0	357	7.71		229.4	12.2	16.3	3.4	3.2	0.4	51.3	18.2	
QAD83	289349	4528689	30	P	Pou complementari ayto Aldover	1	Qa4		B	433	8.02	162	232	197.6	57.60	17	14.0	6.70	1.10	64.90	17.00
0RO54	288042	4522665	57.6	P	Bc. de Vallcervera	7	Qa3	86	B	518	7.71	228	284	278.2	44.20	25.5	9.30	14.80	1.70	81.80	19.50
0RO136	289035	4520982	7	P	Pou Raval de Cristó	1	Qa4	45	B	487	8.15	176	258	214	71.10	16.3	1.10	7.20	0.70	67.30	21.90
4RO5	286485	4516606	78	P	Pou Capella del Carme	3			B	527	7.8	252	272	307.4	17.3	36.9	0.9	21.5	3.8	62.5	28.2
0TV577	287735	4515825	66	P	Pou Cap de Terme	4	NPegg	262	B				241.6	240.5	13	12.5	2.5	2.5	0.5	59	22.9
0RO366	284318	4514261	136	P	Pou Fina La Pastora	3	Pcgg+Capc	260	M	408	7.75	200	222	244	3.8	17	14.2	7.6	1.3	68.1	12.6
0RO83	285891	4514133	107	P	Pou Masia Gil FILBE	5	KTC	115	M	415	7.75	206	230	251.3	15.4	14.9	14.2	10.5	1.6	60.9	19
3S81	286872	4511477	100	P	Pou Dania	4		192	B	460	7.75		250	234.2	28.9	20.6	5.3	6.8	1.6	58.5	25.3
0S817	287755	4511060	82	S	Finca Palmera, Pz. "Forcada 1 Y 2"	7	CApAC	230	B	464			266	290.5	16.3	21.3	5.4	11.4	1.9	52.9	32.1
1GA1	288817	4508649		P	Pou Blanc	4			M				251	280.9	14.5	11.4	14.2	4.36	0.41	72.25	17.15
0MB5	277290	4511365	363	P	Pou granja Cami de la Vall	1	JCc	250	M	576			371.6	339.9	58	16.1	19.6	4.84	1.4	122.1	16.2
3G01	281417	4509541	204	P	Pou gravera	5		152	B	875	7.4		342	280.6	27	31	4				

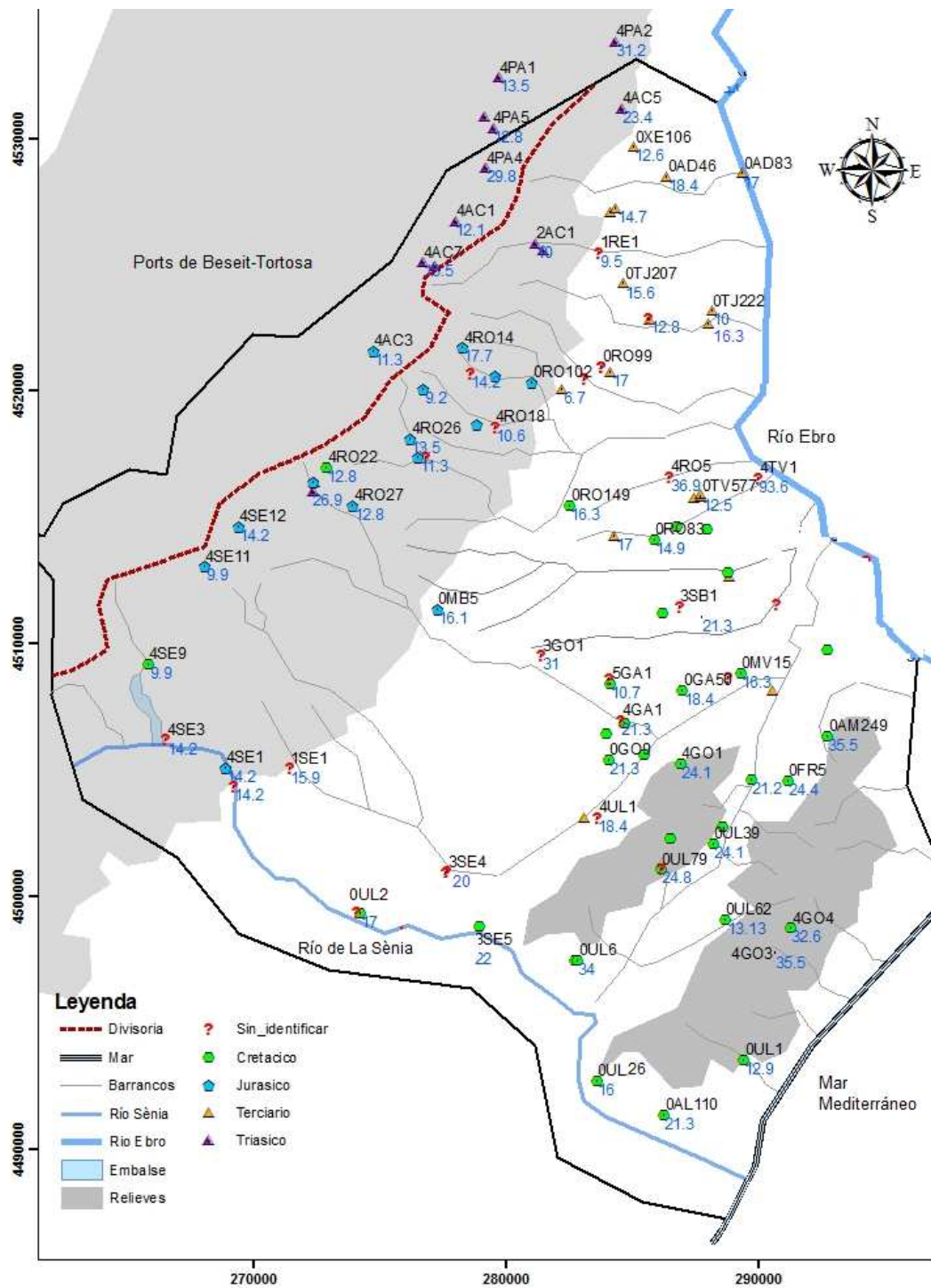


Figura A.3.3.1.b. Distribución de los puntos con la concentración de ión cloruro representativo del agua de recarga con  $NO_3 < 30 \text{ mg L}^{-1}$ .

**A.3.3.2. Distribución de frecuencias de la concentración de cloruro en el agua subterránea**

Se ha realizado un estudio de la distribución de frecuencias de los valores de cloruro de las aguas subterráneas partiendo de los valores de la Tabla A.3.3.1 con el fin de diferenciar los valores representativos de cada sub-zona (ver Capítulo 8.3.1).

SZ1: Plana de La Galera

Esta subzona se ha dividido en dos ya que se observa una diferenciación de valores entre la franja más cercana a los Ports (SZ1a) y la franja más cercana al Río Ebro (SZ1b).

Tabla A.3.3.2.a. Datos de partida para la distribución de frecuencias de los valores de cloruro de las aguas subterráneas en la SZ1a (izquierda) y b (derecha).

Nº datos	Intervalos de clase							
	LI	LS	marca de clase	f <sub>i</sub>	F <sub>i</sub>	h <sub>i</sub>	f(%)	
Máximo	18.4	6	9	7.5	1	1	0.10	10.00
Mínimo	6.7	9.1	12.1	10.6	1	2	0.10	10.00
Rango	11.7	12.1	15.1	13.6	3	5	0.30	30.00
Nº intervalos	4	15.1	18.1	16.6	4	9	0.40	40.00
Amplitud de clase	3	18.1	21.1	19.6	1	10	0.10	10.00
Diferencia	0.1							
SUMA				10	1	100		

Nº datos	Intervalos de clase							
	LI	LS	marca de clase	f <sub>i</sub>	F <sub>i</sub>	h <sub>i</sub>	f(%)	
Máximo	36.9	12	18.5	15.25	5	5	0.71	71.43
Mínimo	12.5	18.6	25.1	21.85	0	5	0.00	0.00
Rango	24.4	25.1	31.6	28.35	1	6	0.14	14.29
Nº intervalos	4	31.6	38.1	34.85	1	7	0.14	14.29
Amplitud de clase	6.5							
Diferencia	0.1							
SUMA				7	1	100		

(f<sub>i</sub>: frecuencia absoluta, F<sub>i</sub>: frecuencia absoluta acumulada, h<sub>i</sub>: frecuencia relativa y f: frecuencia porcentual).

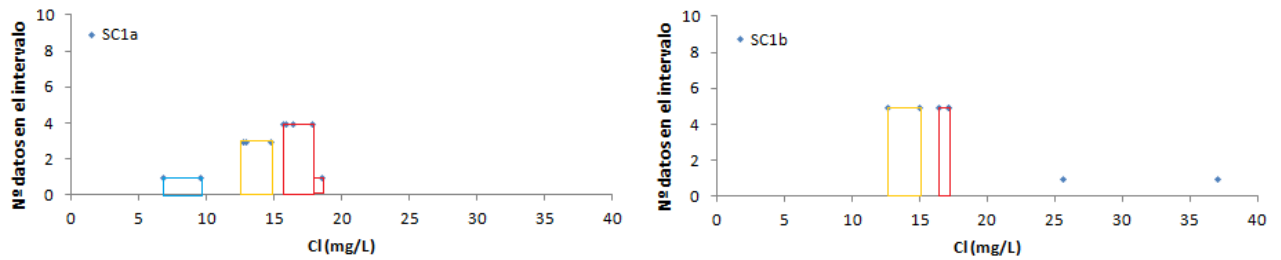


Figura A.3.3.2.a Distribución de frecuencias de concentración de cloruro de las aguas subterráneas en la SZ1a (izquierda) y b (derecha).

SZ2: Plana de La Galera SE

Tabla A.3.3.2.b. Datos de partida para la distribución de frecuencias de los valores de cloruro de las aguas subterráneas en la SZ2.

Nº datos	Intervalos de clase							
	LI	LS	marca de clase	f <sub>i</sub>	F <sub>i</sub>	h <sub>i</sub>	f(%)	
Máximo	31	10	14	12	6	6	0.38	37.50
Mínimo	10.5	14.1	18.1	16.1	9	15	0.56	56.25
Rango	20.5	18.1	22.1	20.1	0	15	0.00	0.00
Nº intervalos	5	22.1	26.1	24.1	0	15	0.00	0.00
Amplitud de clase	4	26.1	30.1	28.1	1	16	0.06	6.25
Diferencia	0.1	30.1	34.1	32.1	0	16	0.00	0.00
SUMA				16	1	100		

(f<sub>i</sub>: frecuencia absoluta, F<sub>i</sub>: frecuencia absoluta acumulada, h<sub>i</sub>: frecuencia relativa y f: frecuencia porcentual).

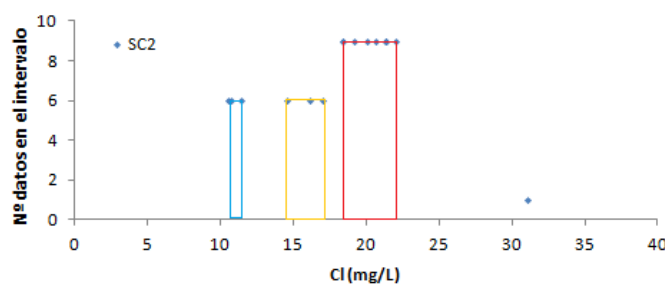


Figura A.3.3.2.b Distribución de frecuencias de concentración de cloruro de las aguas subterráneas en la SZ2.

**SZ3: Macizos Godall y Montsià**

Tabla A.3.3.2.c. Datos de partida para la distribución de frecuencias de los valores de cloruro de las aguas subterráneas en la SZ3.

	Nº datos	Intervalos de clase		marca de clase	f <sub>i</sub>	F <sub>i</sub>	h <sub>i</sub>	f(%)
		LI	LS					
Máximo	35.5	12	17	14.5	3	3	0.23	23.08
Mínimo	12.9	17.1	22.1	19.6	2	5	0.15	15.38
Rango	22.6	22.1	27.1	24.6	4	9	0.31	30.77
Nº intervalos	5	27.1	32.1	29.6	0	9	0.00	0.00
Amplitud de clase	5	32.1	37.1	34.6	4	13	0.31	30.77
Diferencia	0.1							
				SUMA	13		1	100

(f<sub>i</sub>: frecuencia absoluta, F<sub>i</sub>: frecuencia absoluta acumulada, h<sub>i</sub>: frecuencia relativa y f: frecuencia porcentual).

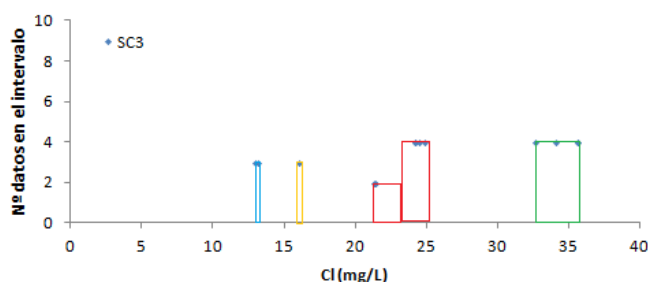


Figura A.3.3.2.c Distribución de frecuencias de concentración de cloruro de las aguas subterráneas en la SZ3.

**SZ4: Ports de Beseit-Tortosa NE**

Tabla A.3.3.2.d. Datos de partida para la distribución de frecuencias de los valores de cloruro de las aguas subterráneas en la SZ4.

	Nº datos	Intervalos de clase		marca de clase	f <sub>i</sub>	F <sub>i</sub>	h <sub>i</sub>	f(%)
		LI	LS					
Máximo	31.2	9	13	11	8	8	0.38	38.10
Mínimo	9.2	13.1	17.1	15.1	7	15	0.33	33.33
Rango	22	17.1	21.1	19.1	3	18	0.14	14.29
Nº intervalos	5	21.1	25.1	23.1	1	19	0.05	4.76
Amplitud de clase	4	25.1	29.1	27.1	0	19	0.00	0.00
Diferencia	0.1	29.1	33.1	31.1	2	21	0.10	9.52
				SUMA	21		1	100

(f<sub>i</sub>: frecuencia absoluta, F<sub>i</sub>: frecuencia absoluta acumulada, h<sub>i</sub>: frecuencia relativa y f: frecuencia porcentual).

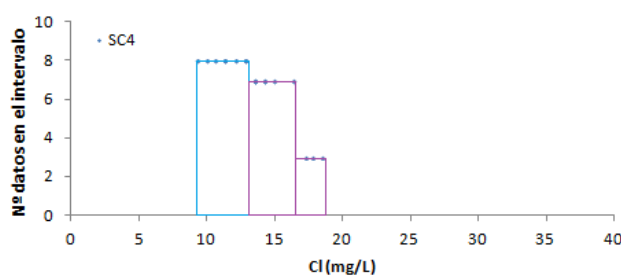


Figura A.3.3.2.d Distribución de frecuencias de concentración de cloruro de las aguas subterráneas en la SZ4.

**SZ5: Ports de Beseit-Tortosa SW**

Tabla A.3.3.2.e. Datos de partida para la distribución de frecuencias de los valores de cloruro de las aguas subterráneas en la SZ5.

	Nº datos	Intervalos de clase		marca de clase	f <sub>i</sub>	F <sub>i</sub>	h <sub>i</sub>	f(%)
		LI	LS					
Máximo	26.9	9	12.5	10.75	2	2	0.15	15.38
Mínimo	9.9	12.6	16.1	14.35	10	12	0.77	76.92
Rango	17	16.1	19.6	17.85	0	12	0.00	0.00
Nº intervalos	5	19.6	23.1	21.35	0	12	0.00	0.00
Amplitud de clase	3.5	23.1	26.6	24.85	0	12	0.00	0.00
Diferencia	0.1	26.6	30.1	28.35	1	13	0.08	7.69
				SUMA	13		1	100

(f<sub>i</sub>: frecuencia absoluta, F<sub>i</sub>: frecuencia absoluta acumulada, h<sub>i</sub>: frecuencia relativa y f: frecuencia porcentual).



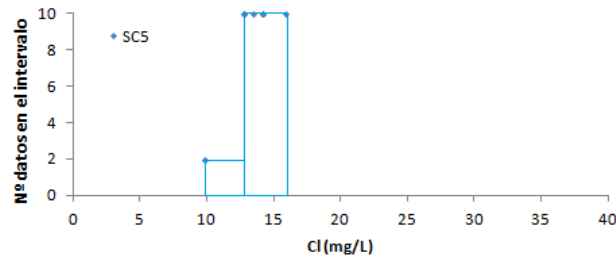


Figura A.3.3.2.e Distribución de frecuencias de concentración de cloruro de las aguas subterráneas en la SZ5.

**A.3.3.3. Caracterización de manantiales de la vertiente NW de los Ports de Beseit**

Para verificar que la descarga del macizo Ports de Beseit-Tortosa se produce hacia las dos vertientes (Plana de la Galera y Cuenca del río Matarraña), se ha procedido a la caracterización de hidroquímica de los manantiales existentes en la zona. El estudio se ha realizado a partir de los análisis de química elemental representados en diagramas logarítmicos verticales (Schoeller-Berkaloff), obteniendo como la más común la marca bicarbonatada cálcica ligeramente magnésica, típica de aguas circulantes por materiales carbonatados, con variable relación de los iones Na, SO<sub>4</sub> y Cl, en función de la circulación de dichas aguas por materiales de edad triásica, al igual que en los manantiales muestreados en la vertiente SW de los Ports (ver Tabla A.3.4 y Figura A.3.4).

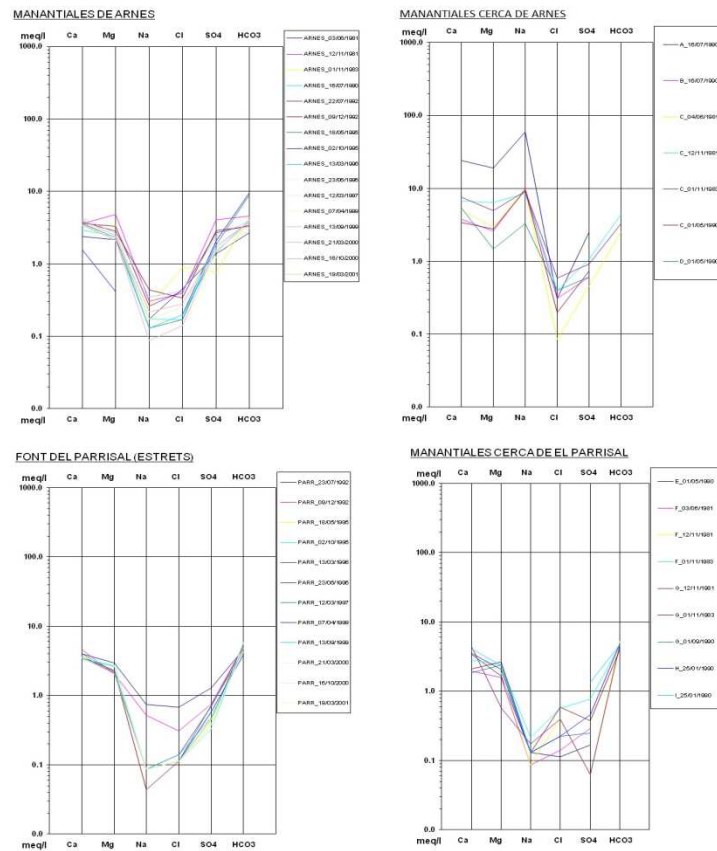


Figura A.3.3.3. Caracterización de las aguas subterráneas de los Ports de Beseit en diagramas de columnas verticales logarítmicas (Schoeller-Berkaloff). No se analizó el bicarbonato de los aguas de manantiales cercanos a los manantiales de Arnes.

### A.3.4. ISÓTOPOS DE LA MOLÉCULA DE AGUA

Se presenta la relación de puntos de control con análisis de  $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$  (Servicios Técnicos de la Universidad de Barcelona) y tritio (CEDEX).

Tabla A.3.4. Totalidad de los análisis isotópicos de la molécula de agua de las aguas subterráneas. ( $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$  en SMOW (‰); d: exceso de deuterio; error del tritio expresado como 2 $\sigma$ ).

pozo	x	y	z	Tipo	Toponimo	Grupo	Edad	Profundidad	Fecha	$^{18}\text{O}$	$^2\text{H}$	d	$^3\text{H}$
ORO54	288042	4522665	57.6	P	Bc. de Vallcervera/Ventós	7	Qa3	86	15/03/2013	-7.00	-40.30	15.70	1.65±0.43
OXE18	288585	4532265	25	P	Vinyases. Campo de futbol	1	Qac3		12/03/2013	-7.90	-45.80	17.40	
ORO118	284155	4520750	120	P	Poc Augment	2	Qt2	140	12/03/2013	-7.10	-41.00	15.80	1.39±0.50
0AD46	286380	4528460	112.8	P	Plana d'Alfara	1	NMcgl	130	14/03/2013	-7.40	-41.60	17.60	1.17±0.49
ORO164	285687	4522835	98	P	Pou Pilans antiguo	3	NPcgg	108	27/07/2012	-6.51	-36.46	15.62	
OXE105	284365	4527210	150	P	Tereoles	1	NPcgg		12/03/2013	-7.50	-42.30	17.70	0.94±0.49
ORO366	284318	4514261	136	P	Pou Finca La Pastora	3	NPcgg+Capcm	260	13/12/2012	-6.80	-39.10	15.30	3.33±0.56
OTJ207	284666	4524238	129	P	Pou Camp de Futbol	3	NPcgg+Capcm	155	11/03/2013	-6.70	-39.00	14.60	0.97±0.49
0AM257	294194	4509105	55.93	P	Pou Dipòsit Tosses	3	KCTc	133	11/03/2013	-7.30	-42.40	16.00	1.45±0.50
OGO9	284065	4505425	135.49	P	ARCIS	5	KCTc	166	15/03/2013	-6.70	-39.00	14.60	3.01±0.49
0MV47	292760	4509770	91	P	Pou Coll abto Masdenverge	3	KcTc	180	11/03/2013	-7.60	-43.40	17.40	
OGO16	285505	4505640	100	P	Pou abto ayto Godall Caplises	1	CApAc	160	11/03/2013	-8.00	-46.00	18.00	
OUL39	288225	4502110	116	P	Pou Ventalles	7	CApAc	237	12/03/2013	-7.10	-41.00	15.80	1.17±0.42
0AL110	286260	4491400	109.55	P	Casc urbà	1	CApC2	209	12/03/2013	-8.30	-49.50	16.90	1.23±0.49
0SB17	287755	4511060	82	P	Pou Forcada	5	Capcm	230	23/04/2013	-7.30	-41.60	16.80	3.14±0.63
OUL98	278970	4498815	203.2	P	Ulldecona-3 (Sant Joan Del Pas I)	4	Capcm	400	13/03/2013	-7.40	-43.40	15.80	1.05±0.41
OUL6	282850	4497485	177	P	Pou depósito del Castell 2	4	CNbc		12/03/2013	-7.00	-41.30	14.70	
0MB5	277290	4511365	363	P	Pou granja Camí de la Vall	1	JCc	250	13/03/2013	-7.10	-39.00	17.80	6.19±0.67
ORO99	283785	4520950	130	P	Pou Miralles Mas de la Dama	3		250	12/03/2013	-7.40	-41.40	17.80	0.66±0.48
1GA2	288817	4508649		P	Pou Blanc	4			27/07/2012	-6.05	-33.16	15.24	
4CRULL	274108	4499408		P	CR Ulldecona	1			27/07/2012	-7.51	-41.36	18.72	
4GA1	284531	4506965	134.2	P	Pou abast La Galera NOU	3		130	11/03/2013	-6.80	-38.60	15.80	
4SE2	269227	4504364	416	P	Tolls dels Arenals	1			13/03/2013	-8.90	-51.90	19.30	1.26±0.42
4SE3	266551	4506217	451	P	Pou presa Ulldecona	1		150	02/12/2011	-7.74	-48.43	13.49	
4TV1	289987	4516549	34.8	P	Pou Vinallop nuevo	3		401	11/03/2013	-7.90	-44.70	18.50	0.37±0.47
4UL1	283606	4503145	135	P	La Miliana	3			12/03/2013	-7.30	-41.50	16.90	2.42±0.53
4GO1	286911	4505268	150	F	Font del Arboç	3	CApAp/Qac3		10/12/2012	-6.60	-35.80	17.00	3.37±0.62
4SC2	492707	4502179	399	F	Font del Burgar	5	CBc/JCc		13/12/2012	-6.60	-34.80	18.00	3.44±0.62
4GO2	286507	4502326	310	F	Font de Cap d'Asens	5	CKt		02/12/2011	-5.63	-32.42	12.62	
4SE1	268891	4505096	430	F	Font de Rossegadors	1	JCc/JCd		12/12/2012	-7.70	-45.90	15.70	3.28±0.56
4AC3	274742	4521588	1050	F	Font del Mascà	3	JCd		11/12/2012	-8.30	-45.70	20.70	3.31±0.56
4RO18	279560	4518569	219	F	Bufador de Covalta	3	JCd		15/03/2013	-8.70	-48.90	20.70	2.66±0.46
4RO26	276221	4518091	425	F	Font Cova Pintada	3	JCd		27/07/2012	-6.15	-33.55	15.65	
4RO3	276532	4517367	310	F	Els Bufadors de Lloret	3	JCd		02/12/2011	-6.91	-44.67	10.61	
4RO9	272848	451883	1000	F	Font Cova Avellanes	3	JCd		11/12/2012	-8.20	-46.70	18.90	3.54±0.57
4SE11	268096	4513063	700	F	Font del Teix FOU	5	JCd		12/12/2012	-8.10	-45.90	18.90	3.96±0.58
4SE12	269410	4514638	1000	F	Font del Retaule	4	JCd		12/12/2012	-8.10	-45.80	19.00	3.32±0.56
4RO24	272359	4516409	775	F	Font del Bosc	1	JCd/CApC1		13/12/2012	-7.50	-42.50	17.50	3.6±0.57
4RO8	272338	4516013	750	F	Font de la Cendrossa	1	JCd/CApC1/Tm2		12/12/2012	-7.30	-41.40	17.00	3.44±0.57
2SE1	268891	4505096	380	F	Font de Sant Pere	1	JdM/JCd/Qac3		12/12/2012	-8.50	-50.40	17.60	2.22±0.53
4RO20	285973	4518284	49	F	Tolls del Bc de Sant Antoni	6	Qv3		02/12/2011	-5.85	-37.15	9.65	
4AC7	276696	4525074	540	F	Font del Ferro (Toscà)	6	Tk/Trd		11/12/2012	-7.70	-41.20	20.40	3.16±0.61
4PA1	279700	4532371	450	F	Font de Sant Roc	1	Tm3		11/12/2012	-8.10	-44.90	19.90	3.00±0.61
4AC1	277980	4526690	429	F	Font dels Ullals	2	Tm3/Tk		27/07/2012	-7.26	-43.48	14.60	
4AC6	283778	453094	400	F	Font Nova	4	Tm3/Tk		11/12/2012	-7.30	-40.10	18.30	3.64±0.63
4PA2	284312	4533803	125	F	Font de Pauls	1	Tm3/Tk		11/12/2012	-7.90	-44.50	18.70	2.58±0.59
2AM1	294277	4513276	5	F	Ullal de la Carrova	1			23/04/2013	-7.60	-43.30	17.50	4.64±0.67
4RO15	278598	4520683		F	Font de la Caramella	3			12/12/2012	-6.50	-35.60	16.40	2.81±0.60
5AM1	296550	4506125	0.8	F	Ullals de Baltasar (Ariste)				10/12/2012	-7.20	-41.10	16.50	2.52±0.59

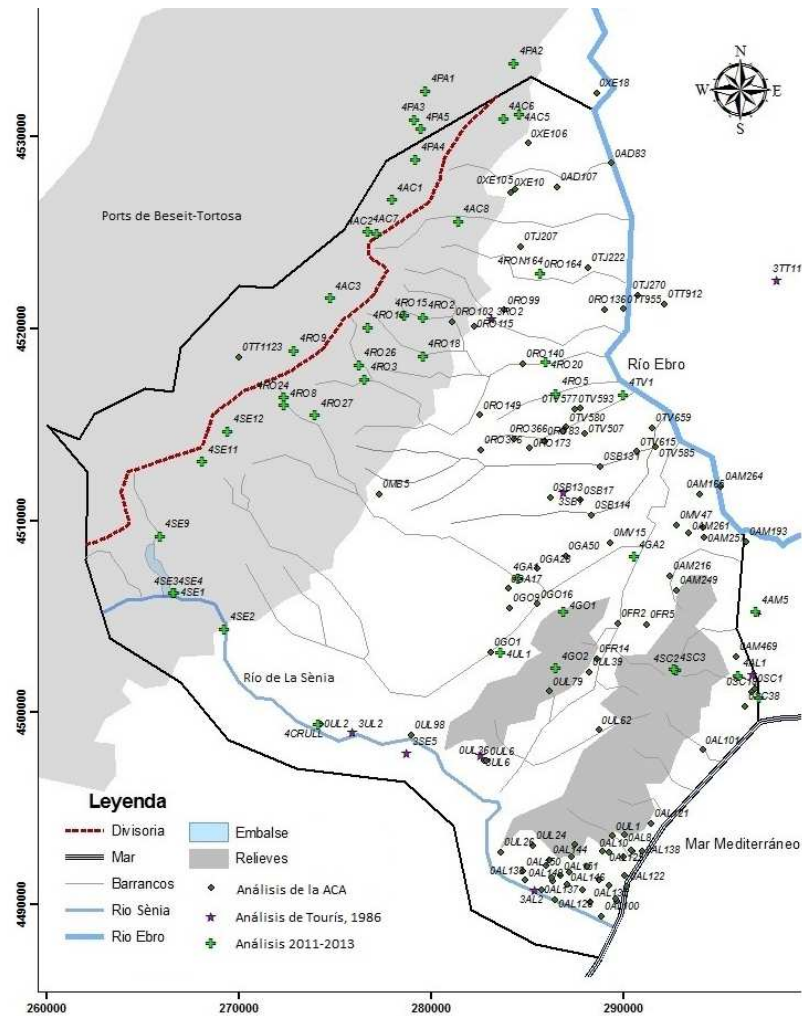


Figura A.3.4. Distribución espacial de análisis químicos de la bibliografía y realizados durante el desarrollo de esta Tesis Doctoral (2010-2013).

### A.3.4.1. Variabilidad del tritio atmosférico

Se ha estimado la variabilidad anual de los datos mensuales del tritio en la lluvia a partir de los datos de la estación de Barcelona (UPC-CEDEX) del periodo 1971-1987. Para la estimación se ha desestimado el par de valores máximos y mínimos del periodo.

Tabla A.3.4.1.a. Desviación estándar, media y variación relativa anual de las determinaciones de tritio mensual en la lluvia para el periodo 1971-1987 (Estación de Barcelona).

año	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1984	1985	1986	1987
rango	90.86	23.51	41.04	29.08	44.45	22.12	15.89	23.05	10.85	9.52	3.88	23.46	5.39	4.55	1.48
media	130.07	58.40	40.13	51.87	64.66	38.84	35.45	48.19	30.69	26.78	39.07	20.29	20.00	13.95	20.82
variación relativa	0.70	0.40	1.02	0.56	0.69	0.57	0.45	0.48	0.35	0.36	0.10	1.16	0.27	0.33	0.07

Tabla A.3.4.1.b. Desviación estándar, media y variación relativa de la variación relativa del tritio anual en la lluvia para el periodo 1971-1987 (Estación de Barcelona).

Periodo	1971-1987
rango	0.14
media	0.47
variación relativa	0.30

### A.3.4.2. Distribución de frecuencias del tritio de las aguas subterráneas

Se ha realizado un estudio de la distribución de frecuencias de los valores de tritio de las aguas subterráneas partiendo de los valores de la Tabla A.3.4 con el fin de diferenciar los extremos o grupos que se han observado en relación con la cota de muestreo (ver Capítulo 7.3.3.2).

Tabla A.3.4.2.a. Datos de partida para la distribución de frecuencias de los valores de tritio de las aguas subterráneas.

	Nº datos	Intervalos de clase		marca de clase	f <sub>i</sub>	F <sub>i</sub>	h <sub>i</sub>	f(%)
		LI	LS					
Máximo	6.19	0.30	1.30	0.80	9	9	0.26	25.71
Mínimo	0.37	1.37	2.32	1.85	5	14	0.14	14.29
Rango	5.82	2.39	3.35	2.87	12	26	0.34	34.29
Nº intervalos	6	3.42	4.37	3.90	7	33	0.20	20.00
Amplitud de clase	1	4.44	5.40	4.92	1	34	0.03	2.86
Diferencia	0.07	5.47	6.42	5.95	1	35	0.03	2.86
SUMA					35		1	100

(f<sub>i</sub>: frecuencia absoluta, F<sub>i</sub>: frecuencia absoluta acumulada, h<sub>i</sub>: frecuencia relativa y f: frecuencia porcentual).

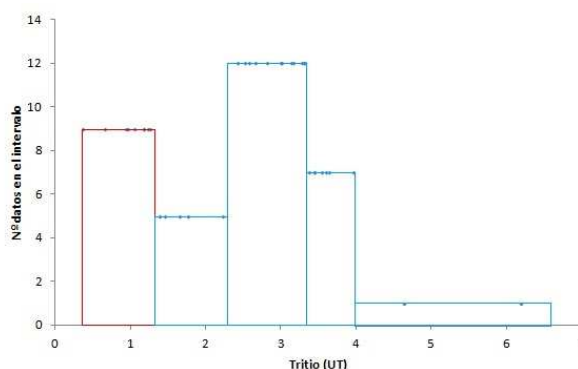


Figura A.3.4.2.a Distribución de frecuencias de concentración de tritio de las aguas subterráneas en el Baix Ebre.

Tabla A.3.4.2.b. Datos para la representación del diagrama de cajas de los valores de tritio de las aguas subterráneas para los extremos A, B y C.

Extremos	Cuartiles			
	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	RIC
A	0.96	1.17	1.41	0.66
B	2.64	3.30	3.56	1.37
C	3.08	3.14	3.26	0.27

(Q<sub>1</sub>: 25% de los datos, Q<sub>2</sub>: mediana o 50% de los datos, Q<sub>3</sub>: 75% de los datos y RIC: Rango intercuartílico= 1,5\*(Q<sub>3</sub>-Q<sub>1</sub>)).

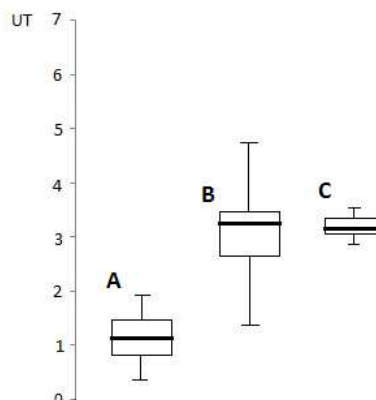


Figura A.3.4.2.b Diagrama de cajas de concentración de tritio de las aguas subterráneas en el Baix Ebre.

## ANEXO 4. ESTUDIO DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS

En este anexo se muestra el estudio de las series históricas de datos meteorológicos recogidos de las estaciones que cubren la zona de trabajo. Con ello se pretende analizar la correlación entre los datos de las mismas y en caso de que exista dicha correlación poder simplificar el número de estaciones a utilizar para los cálculos de la recarga en dicho área.

### A.4.1. PRIMERA SELECCIÓN DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS

Para enmarcar y seleccionar los datos de partida de las investigaciones se ha llevado a cabo un análisis de las estaciones meteorológicas y de los datos que ofrecían. Han sido 18 las estaciones consideradas en un principio (ver Figura A.4.1.a).

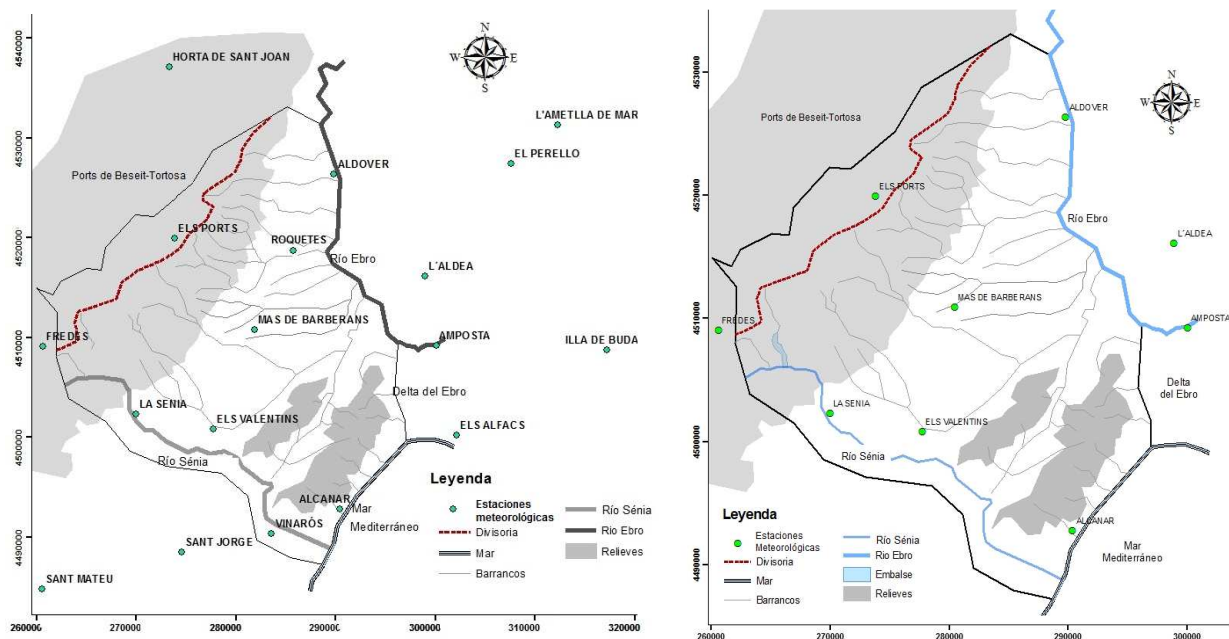


Figura A.4.1.a. Ubicación de las estaciones meteorológicas preseleccionadas (izquierda) y seleccionadas (derecha) para el estudio.

Partiendo de la hipótesis de que los datos originales no han sido tratados ni modificados el criterio de selección ha sido el siguiente:

- Ubicación dentro y en el entorno de la zona de estudio.
- Series climatológicas extensas, es decir que ofrecieran datos desde hace más de 10 años (no todas lo cumplen).
- Datos de fácil y rápida accesibilidad.
- Series de medición lo más completa posible y con los parámetros adecuados.

Las estaciones finalmente seleccionadas son las que figuran en la Tabla A.4.1.

Tabla A.4.1. Información sobre el registro de las estaciones meteorológicas seleccionadas para el área de estudio (P: precipitación, T: temperatura, Hr: humedad relativa, ISgd: Irradiación solar global diaria, ISnd: Irradiación solar neta diaria, Vv: velocidad del viento y ETr: evapotranspiración real). Las franjas coloreadas corresponden a los periodos con datos.

ESTACIÓN	x (m)	y (m)	z (m snm)	Registro histórico	P (mm/d)	Tmáx Tmedia Tmín (°C)	Hr media Hr máx (%)	ISgd ISnd	Vv (m/s)	Etr
Aldover	289820	4526347	52	1994-actualidad						
L'Aldea	298921	4516103	62	1994-actualidad						
Mas de Barberans	280481	4510937	240	1994-2011						
Amposta	300064	4509216	3	1994-actualidad						
Els Valentins	277747	4500824	210	1994-actualidad						
PN els Ports	290400	4492826	24	2007-actualidad						
Fredes	260627	4509072	1165	1990-2013						
La Sènia	269987	4502307	381	1990-2011						

\*\*Las estaciones de La Sènia y Fredes, aunque con pocos datos, se consideran para el presente análisis ya que son las únicas de su entorno con disponibilidad de datos de acceso libre (ver A.4.5) y con registro de datos de más de 10 años.

## A.4.2. TRATAMIENTO DE LOS DATOS

Primeramente se ha seleccionado el periodo de tiempo con mayor número de datos sin interrupciones que sea común para todas las estaciones, en total 17 años hidrológicos (octubre 1994-septiembre 2011), salvo para la estación PN els Ports que comenzó a funcionar en enero de 2007. Esta estación se considera de fundamental importancia debido a la escasez de estaciones meteorológicas localizadas en cotas altas.

Se han revisado datos disponibles de bibliografía para tener una primera idea de la distribución de precipitaciones en el área de estudio completados con datos obtenidos durante el desarrollo de esta investigación (ver Capítulo 4.2), teniendo una media de precipitación de aproximadamente  $1100 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$  en cotas altas (Ports de Beseit-Tortosa) y de  $540 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$  en cotas bajas (Plana de La Galera).

El análisis consta de una primera fase en la cual se han comparado las series diarias de precipitación de las estaciones agrupándolas en función de su cota de ubicación representando las pluviometrías diarias acumuladas y comparando las curvas descritas.

Como segunda fase del estudio se han analizado la coincidencia de eventos de precipitación, su distribución y su frecuencia de ocurrencia con el fin de determinar la correlación entre las series de datos de las diferentes estaciones.

### A.4.2.1. Comparación de la pluviometría diaria acumulada en función de la cota topográfica

El análisis comparativo se ha realizado a partir de la precipitación diaria acumulada dividiendo cada valor por el máximo de la serie con el objetivo de diferenciar variaciones y comportamiento al comparar las distintas estaciones. Se han establecido 3 grupos de comparación (ver Tabla A.4.2.1).

Tabla A.4.2.1. Grupos de estaciones en función de la cota topográfica en la que se encuentran ubicadas.

	Cota (m snm)	Estación	P media (mm a <sup>-1</sup> )
Grupo 1	1000-1200	PN els Ports	1100
		Fredes	670
Grupo 2	200-400	La Sènia	500
		Mas de Barberans	660
		Els Valentins	570
Grupo 3	0-100	L'Aldea	480
		Aldover	510
		Amposta	450

### Grupo 1

Estas son las dos estaciones que se encuentran situadas en los Ports de Tortosa-Beseit. Se trata del mayor relieve de la zona de estudio. La estación de Fredes se localiza al suroeste de los mismos y la de Ports de Tortosa-Beseit en la zona central. Dado que la estación limitante por periodo de tiempo de registro de datos es la de Ports de Tortosa-Beseit, se han comparado las dos estaciones considerando dicho periodo (2007-2011).

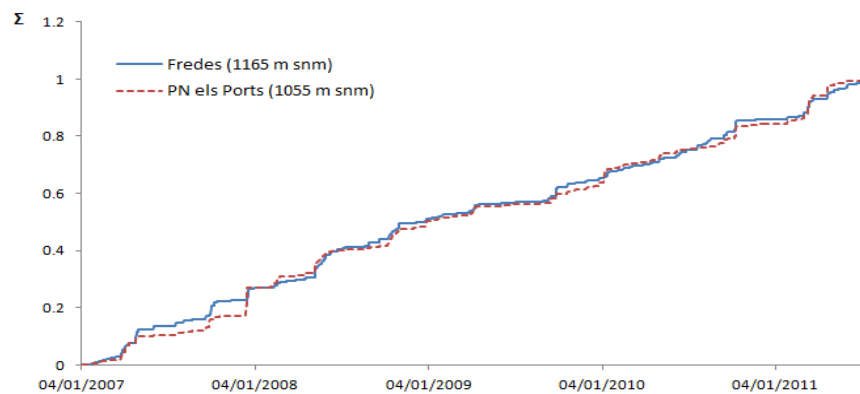


Figura A.4.2.1.a. Precipitación acumulada de las estaciones meteorológicas de Fredes y Els Ports (Zona Ports de Beseit-Tortosa).

De forma general se observa un comportamiento similar para las dos estaciones. Los escalones ascendentes más marcados, que representan eventos de mayor precipitación, se producen simultáneamente en las dos estaciones.

### Grupo 2

Representa la precipitación en la zona sur de la Plana de la Galera. La estación de La Sènia se localiza a las afueras del municipio de La Sènia, al sureste de La Plana, la de Mas de Barberans registra datos de la zona central y la de Ulldecona-Els Valentins de la centro-sureste. El periodo de tiempo con registro de datos que se ha utilizado para la comparación conjunta ha sido de 1/10/1994 a 28/7/2011.



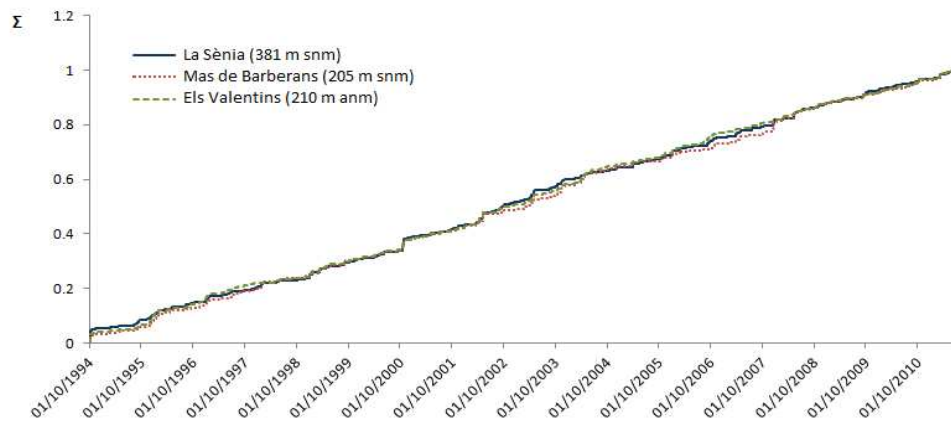


Figura A.4.2.1.b. Precipitación acumulada de las estaciones meteorológicas de La Sènia, Mas de Barberans y Els Valentins (Zona de La Plana SW).

Las estaciones de La Sènia y Els Valentins tienen un comportamiento similar, pero no la de Mas de Barberans. En octubre de 2002 y en octubre de 2006 se producen dos eventos de lluvia en las dos primeras estaciones que no se registran en la tercera. Eso hace que durante 1 año y medio la estación Mas de Barberans acumule menos que el resto; sin embargo en abril de 2004 y en marzo de 2008 se registran en Mas de Barberans eventos de lluvia que al no registrarse en las otras dos estaciones compensan la evolución.

### Grupo 3

Representa la pluviometría de la zona noreste de la Plana de La Galera. La estación de Aldover se localiza en la zona noreste de La Plana; L'Aldea y Amposta están situadas en la zona este, en el margen izquierdo del río Ebro. El periodo de tiempo con registro de datos que se ha utilizado para la comparación ha sido de 1/10/1994 a 30/9/2011.

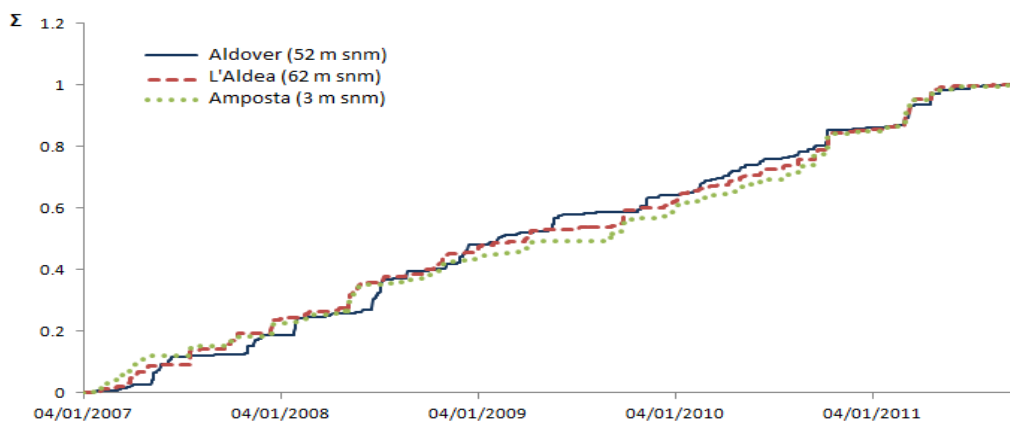


Figura A.4.2.1.c. Precipitación acumulada de las estaciones meteorológicas de Aldover, L'Aldea y Amposta (Zona La Plana NE).

Existe correlación entre la estación de Amposta y Aldover. Sin embargo L'Aldea reproduce un evento de lluvia más abundante en marzo de 1997 que no se ve compensado en la evolución hasta enero de 2001, cuando Aldover y Amposta registran otro gran evento de lluvia que en L'Aldea no se produce.

### A.4.2.2. Análisis de la coincidencia de eventos

Primeramente, para tener una visión general de la ocurrencia de eventos se han representado conjuntamente las precipitaciones acumuladas de todas las estaciones (ver Figura A.4.2.2). Todas las estaciones responden a los mismos eventos en mayor o menor medida coincidiendo en el tiempo.

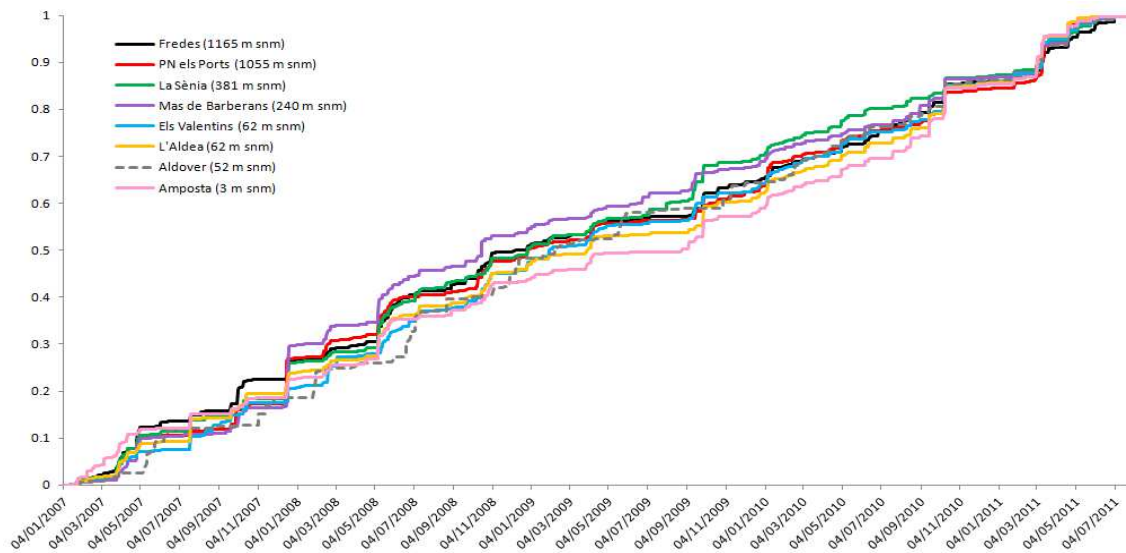


Figura A.4.2.2. Precipitación acumulada de las estaciones meteorológicas en el periodo octubre 2007-septiembre 2011.

La estación de Aldover registra eventos diferentes al resto de estaciones pudiendo representar tormentas puntuales de un día de duración en época estival. Para el resto de estaciones se reproducen distintos eventos de lluvia siendo coincidentes en el tiempo variando la magnitud.

Se observa cierta estacionalidad en los eventos de precipitación, siendo dos los eventos singulares los que se repiten dos veces al año, uno a mediados de primavera y otro a mediados de otoño.

Observando los eventos más significativos registrados en cada estación (ver Tabla A.4.2.2) donde se pueden diferenciar 4 secuencias de lluvia diferentes:

- 1- Eventos producidos en Els Ports, siendo las estaciones de Ports de Tortosa-Beseit, Fredes y Mas de Barberans las que registran los mismos eventos simultáneamente.
- 2- Producidos en la zona sur de La Plana registrados por las estaciones de La Senia y Els Valentins.
- 3- Los que tienen lugar en la zona este de La Plana, registrados por L'Aldea y Amposta.
- 4- Y otros que no tienen apenas coincidencia con el resto de eventos registrados en el resto de estaciones, los cuales tienen lugar en la zona Norte de La Plana, en Aldover.

Tabla A.4.2.2. Pluviometría en mm de los eventos breves significativos del periodo de tiempo 04/01/2007-30/09/2011.

FECHA	Els Ports	Fredes	Mas Barberans	La Senia	Els Valentins	L'Aldea	Amposta	Aldover
29/04/2007	46	57	76	28	16			
21/07/2007					44	76	16	28
11/10/2007	113.7	30	45			45		
04/11/2007						208	51	59
21/12/2007	232	60	208	100	51			51
10/05/2008	130	70	85	66		85		66
22/06/2008								52
06/07/2008				31	24			41
24/08/2008								51
30/11/2008						51	38	32
07/04/2009	59	24						
13/09/2009								
29/09/2009	65	88				50	10	
02/10/2009			51	32	38			
07/01/2010	180							
02/10/2009								
02/09/2010			50		10			
17/09/2010						88	87	52
12/10/2010	132	93	88	52	87	89	74	73
12/03/2011	203	57	89	65	74			59
21/04/2011								63

### A.4.2.3. Análisis de la distribución general de frecuencia de eventos de precipitación

Por el momento todas las estaciones menos Aldover presentan buena correlación en la serie diaria de precipitación. Para verificar dicha correlación se pretende ver la distribución de los tipos de lluvia a lo largo del periodo de estudio. Para ello se ha tomado la estación de Mas de Barberans como estación modelo en cotas bajas a partir de la cual comparar el resto de estaciones ya que en principio parece reproducir la media de eventos de precipitación registrados en el resto de estaciones.

El análisis se ha realizado a partir de la diferencia de precipitación diaria de cada par de estaciones respecto a la media del conjunto total de diferencias diarias y se ha estudiado la distribución en el periodo de tiempo para el que se ha calculado.

#### Mas de Barberans-Els Valentins

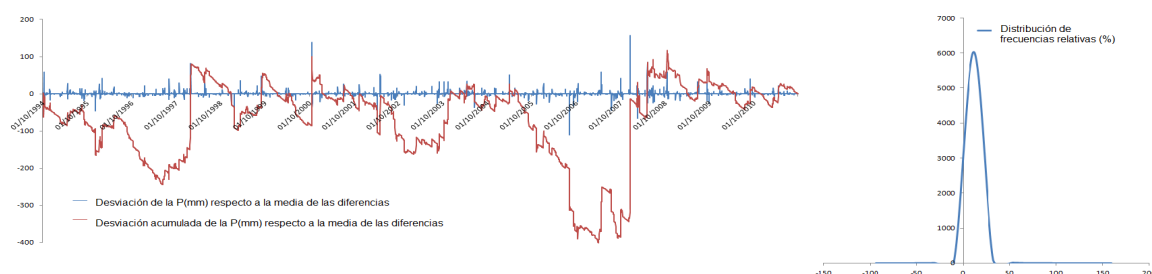


Figura A.4.2.3.a. Desviación de P(mm/d) respecto a la desviación media de 1994-2011 (izquierda) e histograma de distribución de frecuencia relativa de lluvias diarias en los días con lluvia (derecha) para el par Mas de Barberans-Els Valentins.

Todos los eventos registrados en Mas de Barberans se registran en la estación Els Valentins con cierto desfase temporal (ver Figura A.4.2.3.a). La magnitud de las precipitaciones es similar en ambas estaciones como cabe esperar tras el análisis de datos medios anuales pluviométricos (ver Tabla A.4.2.1).

### Mas de Barberans-Amposta

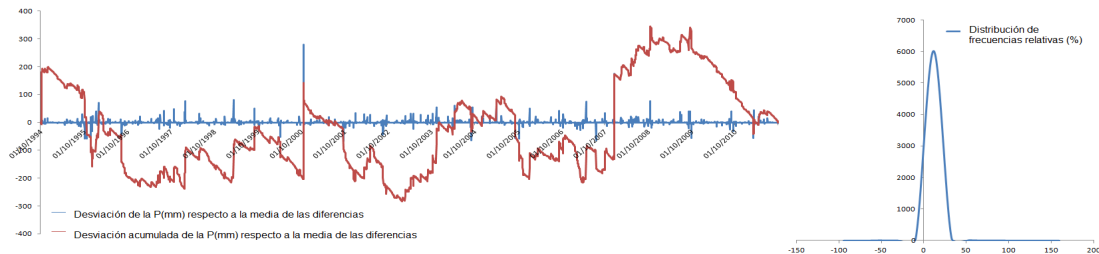


Figura A.4.2.3.b. Desviación de  $P(\text{mm/d})$  respecto a la desviación media de 1994-2011 (izquierda) e histograma de distribución de frecuencia relativa de lluvias diarias en los días con lluvia (derecha) para el par Mas de Barberans-Amposta.

El registro de la cantidad de lluvias como su magnitud es significativamente mayor en la estación de Mas de Barberans que en la de Amposta. Practicamente todos los eventos de lluvia acontecidos en el entorno de Amposta son registrados en la estación de Mas de Barberans, por el contrario no todos los eventos de precipitación producidos en el entorno de Mas de Barberans se registran en la estación de Amposta.

La distribución de frecuencias de eventos de lluvia está desplazada hacia intervalos de mayor valor numérico.

### Mas de Barberans-PN els Ports



Figura A.4.2.3.c. Desviación de  $P(\text{mm d}^{-1})$  respecto a la desviación media de 1994-2011 (izquierda) e histograma de distribución de frecuencia relativa de lluvias diarias en los días con lluvia (derecha) para el par Mas de Barberans-PN els Ports.

Todos los eventos registrados en Mas de Barberans se registran en la estación PN els Ports con cierto adelanto o retraso temporal (ver Figura A.4.2.3.c). La magnitud de las precipitaciones es superior en el registro de els Ports como cabe esperar tras el análisis de datos medios anuales pluviométricos (ver Tabla A.4.2.1).

### Mas de Barberans-Fredes

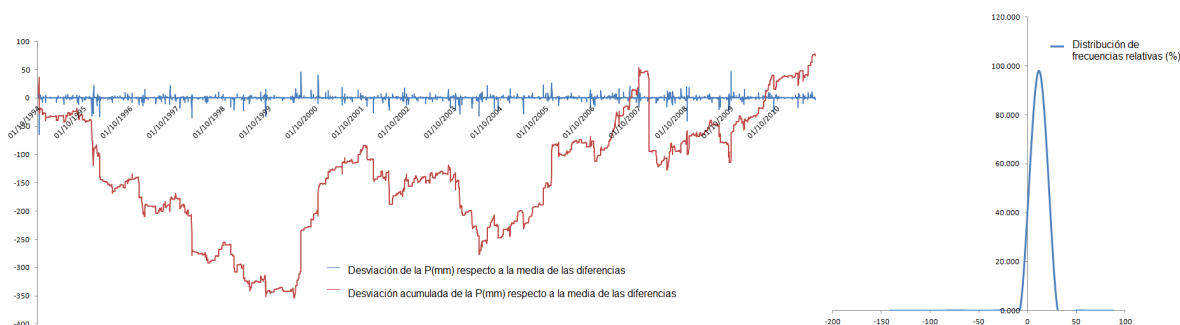


Figura A.4.2.4.d. Desviación de  $P(\text{mm d}^{-1})$  respecto a la desviación media de 1994-2011 (izquierda) e histograma de distribución de frecuencia relativa de lluvias diarias en los días con lluvia (derecha) para el par Mas de Barberans-Fredes.

El estudio de la distribución de frecuencias indica un desplazamiento de la distribución hacia intervalos de mayor magnitud, lo cual indica que en la estación de Mas de Barberans se registran mayor número de eventos de precipitación y de mayor magnitud.

En general tras el estudio puede considerarse representativa de los eventos de precipitación acontecidos en la Plana de La Galera la estación de Mas de Barberans, la cual será utilizada para generar la prolongación de la serie diaria de datos de la estación PN els Ports para completar el periodo de estudio 1994-2011, dicho estudio se desarrolla en el A.7.1.1.a.

### A.4.3. FUENTE DE LOS DATOS

Tabla A.3.a. Estaciones meteorológicas con datos procedentes de "METEOCAT".

ESTACIÓN	x	y	z
Aldover	289820	4526347	52
L'Aldea	298921	4516103	62
Mas de Barberans	280481	4510937	240
Amposta	300064	4509216	3
Els Valentins	277747	4500824	210
PN els Ports	273850	4519892	1055

**FUENTE:**

Servei Meteorologic de Catalunya ([www.meteo.cat](http://www.meteo.cat))

**SERVIDOR:**

<http://www.ruralcat.net/web/guest/agrometeo.estacions>

<http://www.meteo.cat/xema/AppJava/Mapper.do>

Tabla A.3.b. Estaciones meteorológicas con datos procedentes de "AEMET".

ESTACIÓN	x	y	z
La Sènia	269987	4502307	381
Fredes	260627	4509072	1165

**FUENTE:**

Agencia Estatal de Meteorología ([www.aemet.es](http://www.aemet.es))

**SERVIDOR:**

La Sènia: <http://www.meteolasenia.cat/indexLinks.html>

Fredes: <http://www.tiempodiario.com/tiempo-estacion/8520X/?order=t.fecha-ASC&init=12-01-2011&end=02-09-2012>



Tabla A.5.1. Inventario de puntos de control con registro piezométrico histórico (Uso: A=Agrícola, C= Punto de control, D=Doméstico).

Nombre	X	y	Z	Topónimo	Tipo	Aquífero	Edad	Material	Prof (m)	D (mm)	Uso	Años reg	inicio	fin
OXE10	284145	4527055	135	Piezómetro Pepeta	S	Poroso	Pleistoceno inferior	Conglomerado	160	350	A	5	1994	1999
OXE105	284365	4527210	150	Teroles	P	Poroso	Neógeno	Conglomerado			A	7	1999	2005
ORO102	281045	4520340	108.2	Piezómetro La Caramella	S	Fisurado kárstico, doble porosidad	Mesoz-Jurásico	Dolomías	320	200	A	14	1996	2010
OR054	288042	4522665	57.6	Pou Ventós	P	Poroso	Pleistoceno superior	Gravas	86	225	A	16	1994	2010
OR091	284165	4515950	130	Forcada 2	P	Fisurado kárstico, doble porosidad	Mesoz-Aptiense	Calizas	190	400	A	12	1996	2010
OR093	281684	4522586	273	Piezómetro Paridora del Lloro	S	Fisurado kárstico, doble porosidad	Mesoz-Neocom	Dolomías	312	320	A	12	1998	2010
OTV663	288290	4518505	5.3	SGOP 1	S	Poroso	Pleistoceno superior	Gravas	106	60	C	8	1998	2006
OSB13	286200	4511200	110	Pou 4 Potes-2	P	Fisurado kárstico, doble porosidad	Mesoz-Aptiense	Calizas	220	600	A	16	1994	2010
OSB17	287755	411060	82	Pou Finca Palmera	S	Fisurado kárstico, doble porosidad	Mesoz-Albiense	Calizas	230	500	A	14	1996	2010
OSB28	290131	4513244	34.27	Piezómetro Barranc de Lledó	S	Poroso	Pleistoceno superior	Gravas	82	400	C	16	1994	2010
OUL39	288225	4502110	116	Pou Ventalles	S	Fisurado kárstico, doble porosidad	Mesoz-Aptiense	Calizas	237	195	D	16	1994	2010
OUL7	282050	4495995	132	SGOP2 Ulldecona Pont del Molí	S	Fisurado kárstico, doble porosidad	Mesoz-Aptiense	Calizas	229	60		9	1998	2007
OUL98	278970	4498815	203.2	Ulldecona 3- Sant Joan del Pas I	P	Fisurado kárstico, doble porosidad	Mesoz-Aptiense	Calizas	400	500	A	16	1994	2010
OAL100	288850	4489385	20.8	Piezómetro Sol de Río	S	Poroso	Pleistoceno superior	Gravas	120	180		8	1995	2003
OAL111	287185	4491680	104.2	Tío Pepe 2	P	Fisurado kárstico, doble porosidad	Mesoz-Neocom	Calizas	230	350	A, D	8	1995	2003
OAM257	294194	4509105	55.93	Pou Dipòsit (Amp.Abastament)	P	Fisurado kárstico, doble porosidad	Mesoz-Cenomaniense	Calizas	133	500	D	15	1994	2009
OGA4	284145	4508438	155	Piezómetro Solana (Pou bertomeu)	S	Fisurado kárstico, doble porosidad	Mesoz-Albiense	Calizas	210	350		16	1994	2010
OGO10	286945	4505965	108.7	Vinyetes GODALL 3B	P	Fisurado kárstico, doble porosidad	Mesoz-Aptiense	Calizas	220	400	A	15	1994	2009
OGO9	284065	4505425	135.5	Arcis GODALL IV	P	Fisurado kárstico, doble porosidad	Mesoz-Cenomaniense	Calizas	166	600	A	16	1994	2010
OMV15	289305	4508850	64	Pou Müller-IRTA	P	Fisurado kárstico, doble porosidad	Mesoz-Aptiense	Calizas	128	450	A	16	1994	2010

## A.5.2. ESTUDIO DE HIDROGRAMAS

El comportamiento de los niveles piezométricos a lo largo del tiempo en respuesta a los eventos de lluvia registrados por las estaciones meteorológicas de la zona puede determinar el tipo del acuífero al que pertenecen y su funcionamiento. A continuación se representarán dichos hidrogramas con la intención de determinar la estación meteorológica que mejor representa las oscilaciones de niveles producidas en los puntos de control. Las conclusiones sobre el comportamiento acuífero se detallan en el Capítulo 4.4.3.

Para dicho análisis se han agrupado los puntos de control tanto por su ubicación como por el material acuífero del cual extraen el agua (ver Tabla A.5.2.a) Se han representado los registros de niveles piezométricos incorporando los hidrogramas de pluviometría de diversas estaciones meteorológicas para ver la correlación entre eventos de lluvia y aumento en los niveles (ver Figuras A.5.2.a-g).

Tabla A.5.2.a. Puntos de control vs estación meteorológica para comparación de hidrogramas piezométricos.

Grupo	Puntos de control	Estaciones meteorológicas
A Materiales detríticos	OR054- Ventós OSB28- piezómetro Barranc Lledó OAM257- Abast. Amposta OTV663- SGOP1 OXE10- Piezómetro Pepeta OXE105- CR Teroles	Aldover L'Aldea Mas de Barberans
B Materiales carbonáticos	OR091- Forcada 2 OR093- Paridora del lloro ORO102- La Caramella	Aldover Mas de Barberans
C Materiales carbonáticos	OGA4- Pou Bertomeu (Solana) OGO10- Vinyetes OMV15- Müller IRTA OSB13- Pou 4 potes 2	Els Valentins Mas de Barberans
D Materiales carbonáticos	OUL7- SGOP2 Pont del Molí OUL39- Ventalles OUL98- Ulldecona 3	Els Valentins La Senia Fredes Mas de Barberans
E Materiales carbonáticos	OAL100- Piezómetro Sol de Riu OAL111- Tío Pepe 2	Alcanar Mas de Barberans
F Materiales carbonáticos	OSB17- Finca Palmera OGO9- Arcis	Mas de Barberans



Grupo A

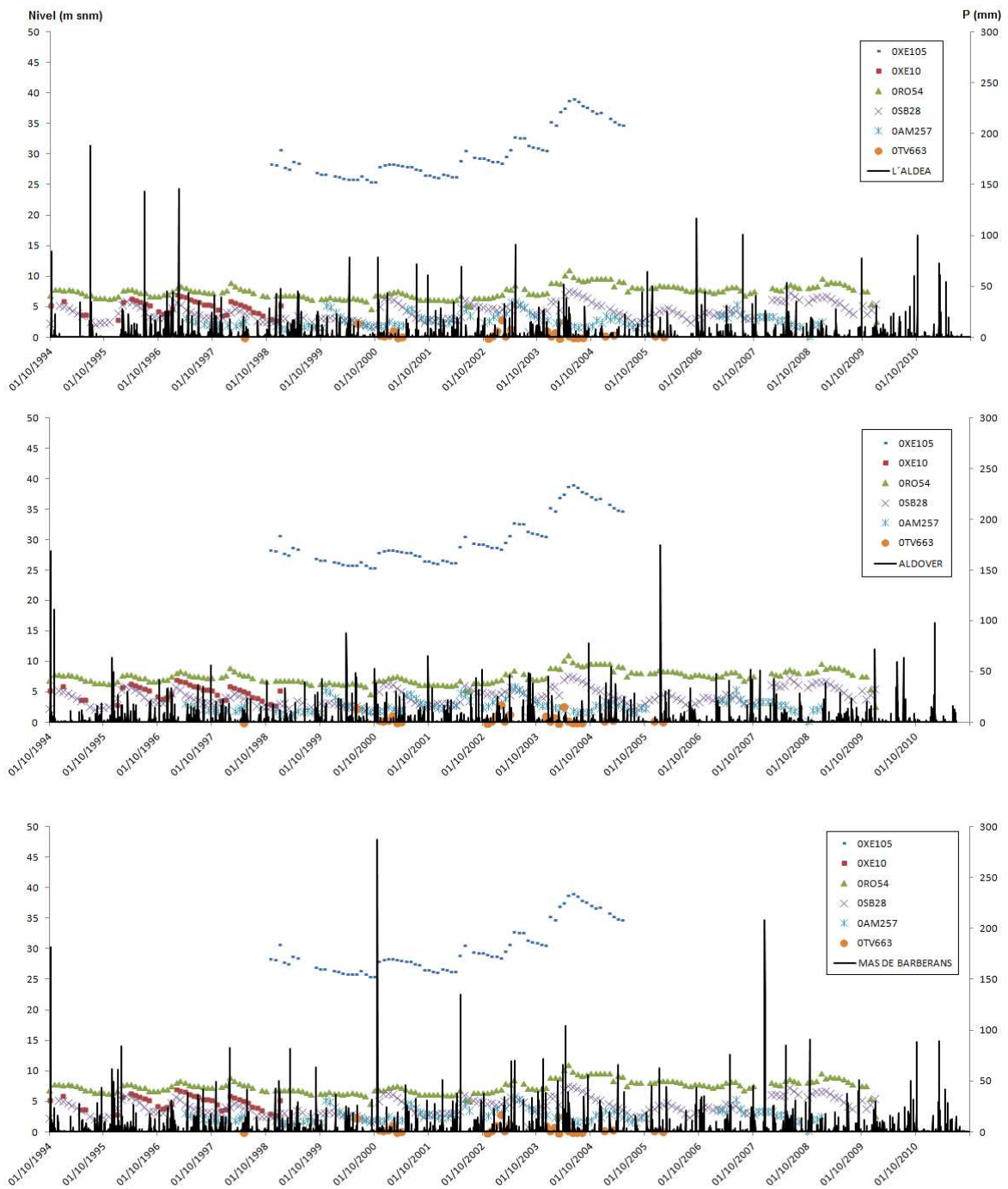


Figura A.5.2.b. Hidrograma de niveles piezométricos comparados con el hidrograma de pluviometría (Grupo A. Zona norte de la Plana de La Galera)

De las tres estaciones es la de Mas de Barberans la que registra los eventos de lluvia que producen respuesta en la oscilación de los niveles piezométricos. Todos los puntos de control salvo el OXE105 mantienen niveles similares, no ha sido posible identificar el fenómeno que produce esta diferencia siendo un piezómetro de similares características y colindante al punto OXE10.

**Grupo B**

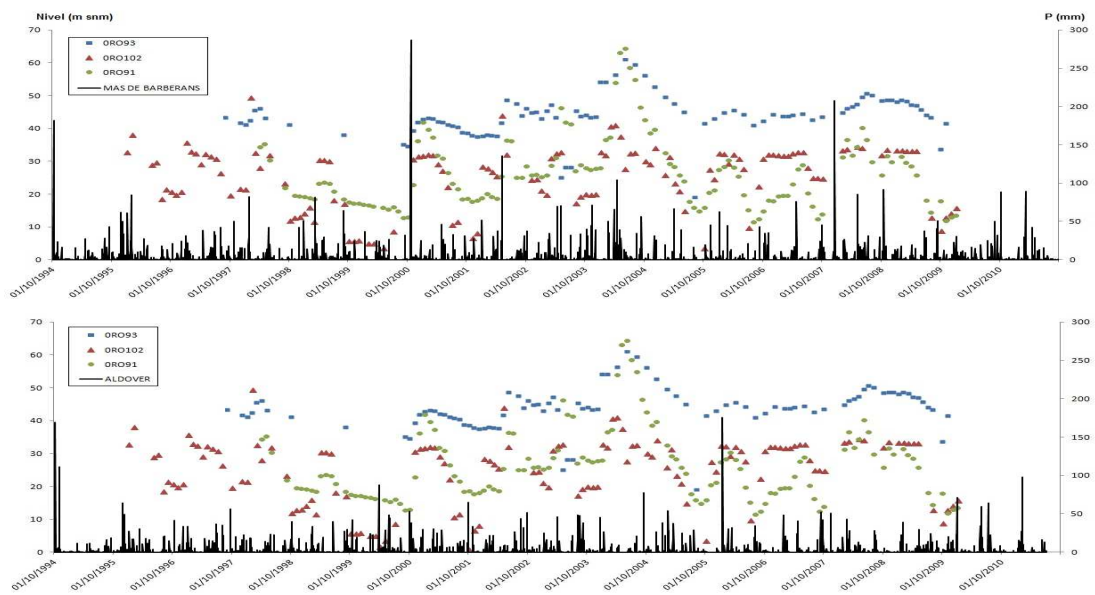


Figura A.5.2.c. Hidrograma de niveles piezométricos comparados con el hidrograma de pluviometría (Grupo B. Zona nor-occidental de la Plana de La Galera).

La estación de Mas de Barberans registra los eventos que dan lugar a las oscilaciones de nivel registradas en estos puntos de control. La evolución de niveles presentan saltos del mismo orden de magnitud que los puntos de control que captan agua subterránea de los mismos materiales (ver Figuras A.5.2.d-f) pero presentan diferencias en las caídas de los mismos. Esta diferencia puede deberse a la transferencia de recursos desde niveles superiores (piedemontes) a través del drenaje de los barrancos a pie de Ports.

**Grupo C**

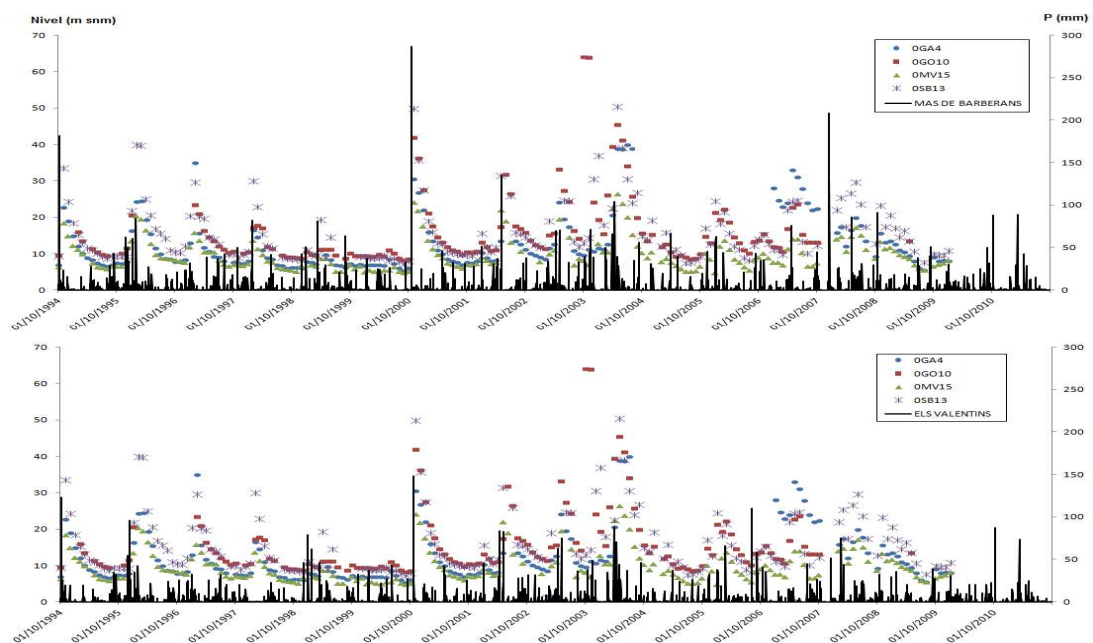


Figura A.5.2.d. Hidrograma de niveles piezométricos comparados con el hidrograma de pluviometría (Grupo C. Zona sur-occidental de la Plana de La Galera).

Grupo D

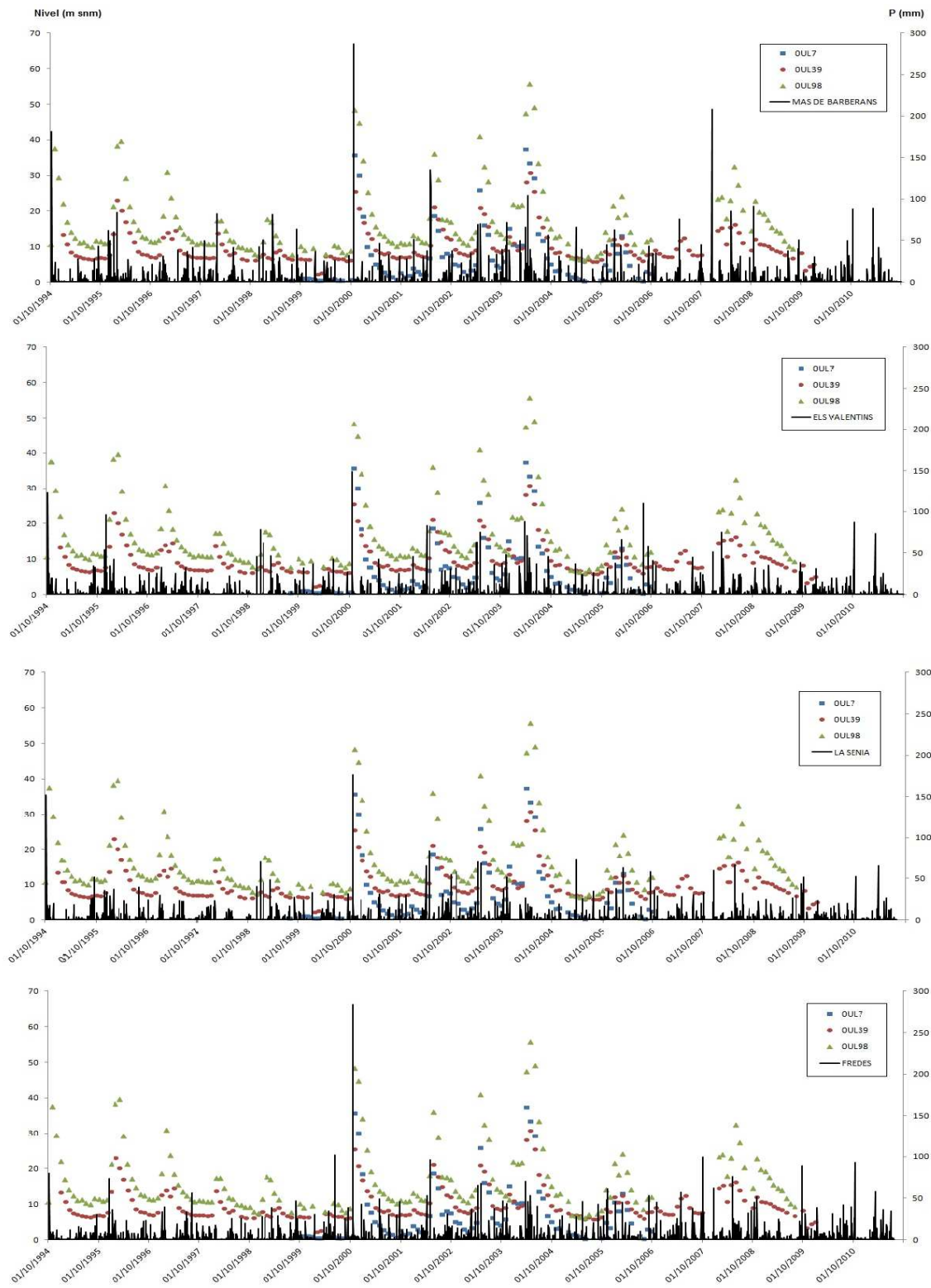


Figura A.5.2.e. Hidrograma de niveles piezométricos comparados con el hidrograma de pluviometría (Grupo D. Entorno del río de La Sènia y Fosa de Uldecona).

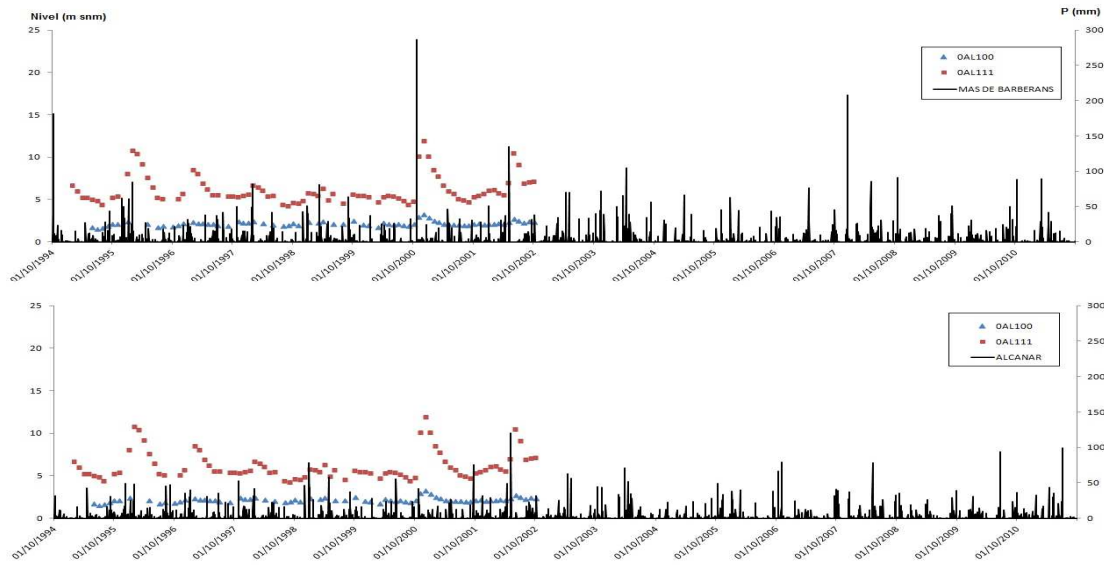
Grupo E

Figura A.5.2.f. Hidrograma de niveles piezométricos comparados con el hidrograma de pluviometría (Grupo E. Cara sureste del macizo del Montsià).

Los grupos C, D y E muestran la misma coherencia que los A, B y C en la respuesta a los eventos de lluvia registrados en la estación de Mas de Barberans. Por tanto, será dicha estación la utilizada en el Capítulo 8.1 para realizar el balance meteorológico en el cálculo de la recarga por precipitación con el código Visual Balan.

Grupo F

Este grupo presenta consideraciones especiales. Los dos puntos de control 0SB17 y 0GO9, con niveles de -80 msnm y +70 msnm de base respectivamente presentan una evolución de niveles coherente con la compleja estructura que caracteriza la zona. El pozo 0SB17 presenta un descenso continuo de su nivel piezométrico el cual no recupera debido a la extracción permanente a la que puede verse sometido y a que puede tratarse de un nivel colgado desconectado del entorno, mientras que el de 0GO9 pudiera estar conectado con otros niveles acuíferos superiores (ver Figura A.5.2.g).

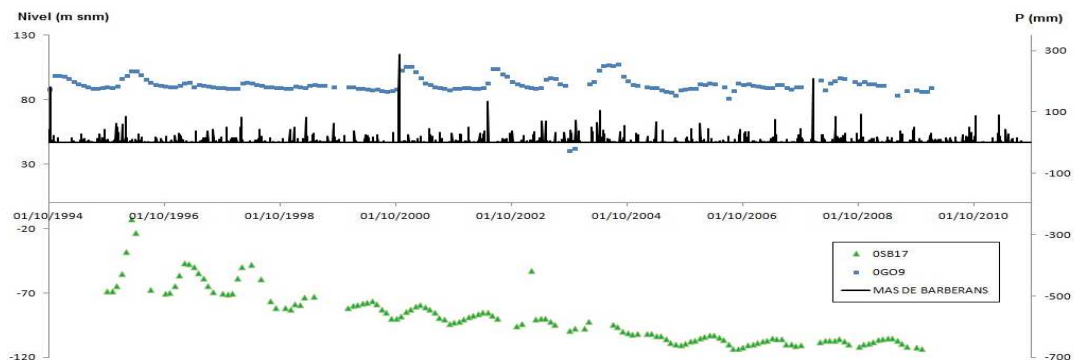


Figura A.5.2.g. Hidrograma de niveles piezométricos comparados con el hidrograma de pluviometría (Grupo F. Zona situada entre los municipios de Santa Bàrbara y Godall).

### A.5.3. ESTIMACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE AGOTAMIENTO A PARTIR DE LOS HIDROGRAMAS DE NIVELES

Este cálculo viene motivado por la necesidad de caracterización del acuífero con parámetros hidráulicos en la obtención de la recarga por precipitación en el balance de agua en el suelo con el código Visual Balan (ver Capítulo 8.1). Para ello se utilizan los hidrogramas de niveles piezométricos de distintos puntos de control a partir de los cuales se analiza la evolución de los agotamientos tras cada subida de nivel aplicando la siguiente formulación:

$$\alpha = \frac{2,30 \log \frac{h_A - h_0}{h_B - h_0}}{\Delta t}$$

Los resultados aparecen en las Tablas y Figuras A.5.3.a-o.

#### Grupo A

- Punto de control OXE10

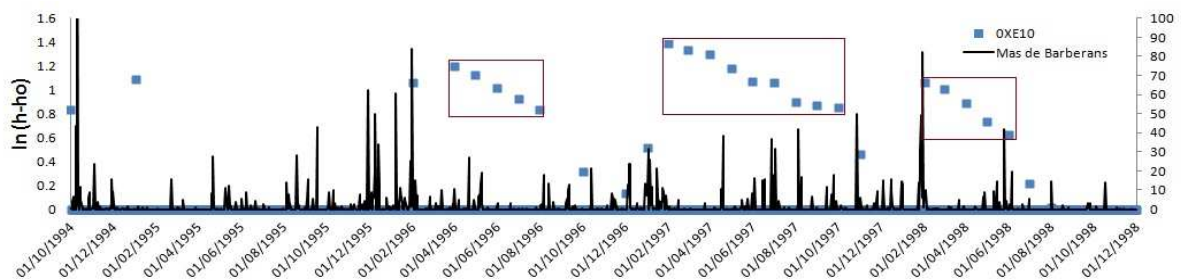


Figura A.5.3.a. Hidrograma para la obtención del coeficiente de agotamiento del acuífero. OXE10.

Tabla A.5.3.a. Cálculo del coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ). OXE10.

tiempo	h	ln(h-h <sub>0</sub> )	tiempo	h	ln(h-h <sub>0</sub> )	tiempo	h	ln(h-h <sub>0</sub> )
01/04/1996	6.33	1.2029723	01/02/1997	7.02	1.391282	01/02/1998	5.92	1.071584
01/08/1996	5.31	0.8372475	01/10/1997	5.35	0.854415	01/06/1998	4.88	0.631272
$\alpha_1$		-0.002998	$\alpha_2$		-0.00222	$\alpha_3$		-0.00367
$\alpha$ media		-0.0029618	h <sub>0</sub> 3 msnm					

- Punto de control OXE105

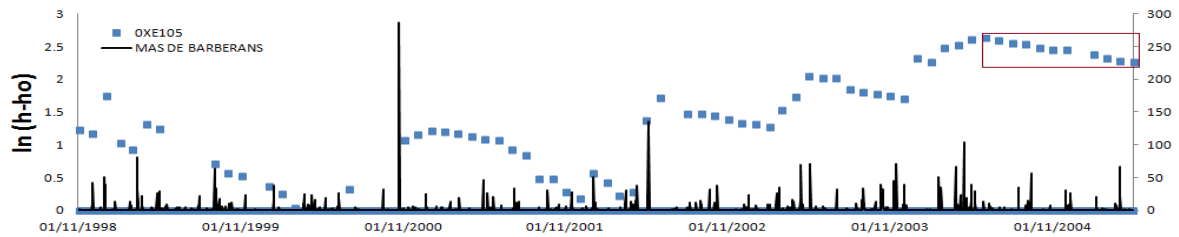


Figura A.5.3.b. Hidrograma para la obtención del coeficiente de agotamiento del acuífero. OXE105.

Tabla A.5.3.b. Calculo del coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ). OXE105.

tiempo	h	ln(h-ho)
01/06/2004	39.05	2.642622
01/05/2005	34.75	2.277267
$\alpha$	-0.00109	
h0	25msnm	

- Punto de control ORO54

Se han realizado dos cálculos del coeficiente de agotamiento suponiendo dos niveles de descarga (2 m snm, perteneciente a la cota de descarga supuesta en el Capítulo 8.1.2 en el río Ebro y 5 m snm, debido a que es el nivel de base del hidrograma lo que podría indicar la descarga en la riera del río). La selección final del valor se desarrolla en el Capítulo 8.1.1.2.

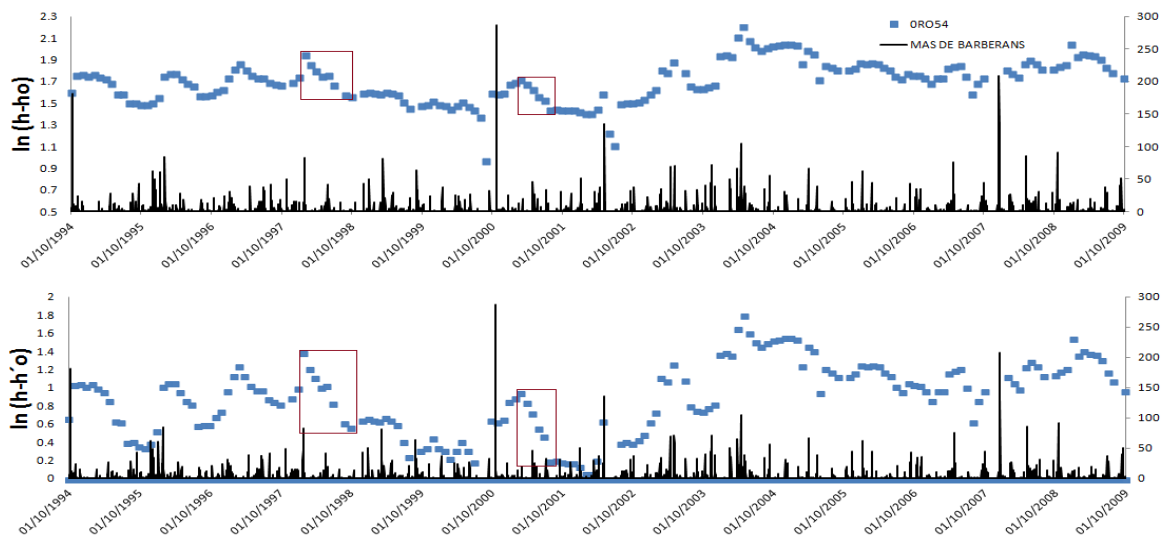


Figura A.5.3.c. Hidrograma para la obtención del coeficiente de agotamiento del acuífero. ORO54.

Tabla A.5.3.c. Calculo del coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ). ORO54.

tiempo	h	ln(h-ho)	ln(h-h'o)	tiempo	h	ln(h-ho)	ln(h-h'o)
01/02/1998	9.01	1.947338	1.38879124	01/03/2001	7.58	1.719189	0.9477894
01/10/1998	6.76	1.560248	0.56531381	01/08/2001	6.21	1.437463	0.19062036
$\alpha$ 1	-0.0016			$\alpha$ 2	-0.00184		
$\alpha'$ 1	-0.0034028			$\alpha'$ 2	-0.0049488		
$\alpha$ media	-0.00172			h0	2msnm		
$\alpha'$ media	-0.00418			h'o	5msnm		



- Punto de control OSB28

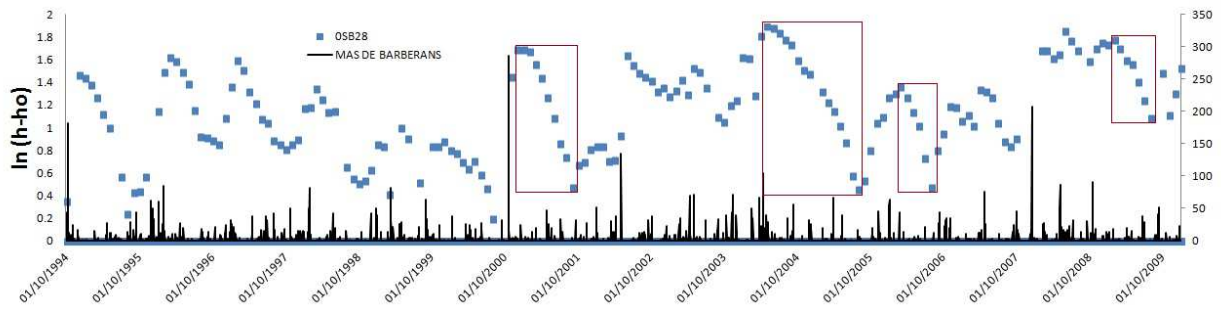


Figura A.5.3.d.. Hidrograma para la obtención del coeficiente de agotamiento del acuífero. OSB28.

Tabla A.5.3.d. Calculo del coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ). OSB28.

tiempo	h	ln(h-ho)	tiempo	h	ln(h-ho)	tiempo	h	ln(h-ho)	tiempo	h	ln(h-ho)		
01/01/2001	6.42	1.69009582	01/05/2004	7.66	1.896119	01/03/2006	4.92	1.366092	01/02/2009	6.92	1.778336		
01/09/2001	2.6	0.47000363	01/08/2005	2.57	0.451076	01/08/2006	2.6	0.470004	01/08/2009	3.97	1.088562		
$\alpha 1$		-0.005021	$\alpha 2$		-0.00316	$\alpha 3$		-0.00586	$\alpha 4$		-0.00381		
$\alpha$ media		-0.0044627										ho	1msnm

- Punto de control OAM257

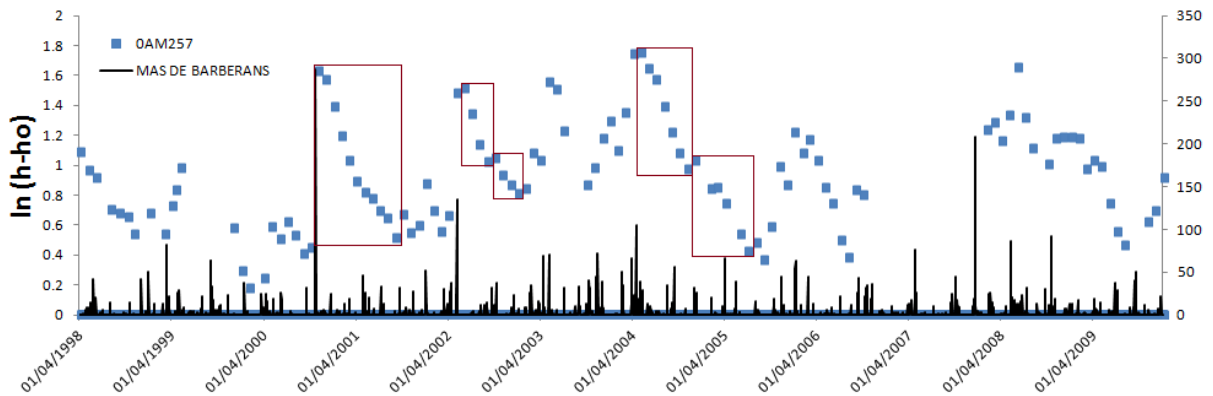


Figura A.5.3.e. Hidrograma para la obtención del coeficiente de agotamiento del acuífero. OAM257.

Tabla A.5.3.e. Calculo del coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ). OAM257.

tiempo	h	ln(h-ho)	tiempo	h	ln(h-ho)	tiempo	h	ln(h-ho)	tiempo	h	ln(h-ho)	tiempo	h	ln(h-ho)
01/11/2000	5.3	1.6292405	01/06/2002	4.77	1.5195132	01/10/2002	3.05	1.04731899	01/05/2004	5.95	1.7492	01/12/2004	3.01	1.033184
01/09/2001	1.88	0.5187938	01/09/2002	2.99	1.0260416	01/01/2003	2.45	0.81093022	01/11/2004	2.86	0.978326	01/09/2005	1.65	0.371564
$\alpha 1$		-0.0036528	$\alpha 2$		-0.0053638	$\alpha 3$		-0.0025694	$\alpha 4$		-0.00419	$\alpha 5$		-0.00241
$\alpha$ media		-0.0036381										ho	0.2msnm	



Grupo B

- Punto de control ORO93

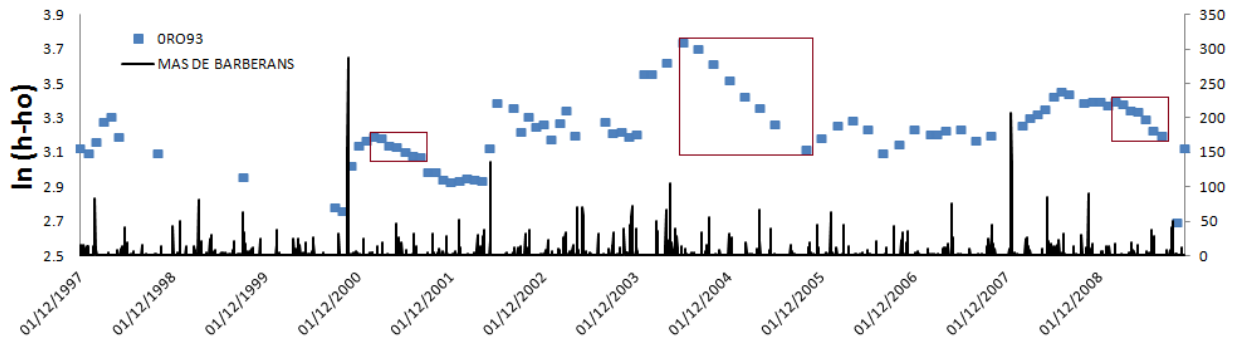


Figura A.5.3.f. Hidrograma para la obtención del coeficiente de agotamiento del acuífero. ORO93.

Tabla A.5.3.f. Calculo del coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ). ORO93.

tiempo	h	ln(h-ho)	tiempo	h	ln(h-ho)	tiempo	h	ln(h-ho)
01/02/2001	43.41	3.194993	01/06/2004	61.21	3.742657	01/02/2009	48.89	3.397524
01/09/2001	38.92	2.991724	01/10/2005	41.7	3.122365	01/08/2009	43.58	3.201933

$\alpha 1$	-0.00096	$\alpha 2$	-0.00127	$\alpha 3$	-0.00108
$\alpha$ media	-0.0011	ho	19msnm		

- Punto de control ORO91

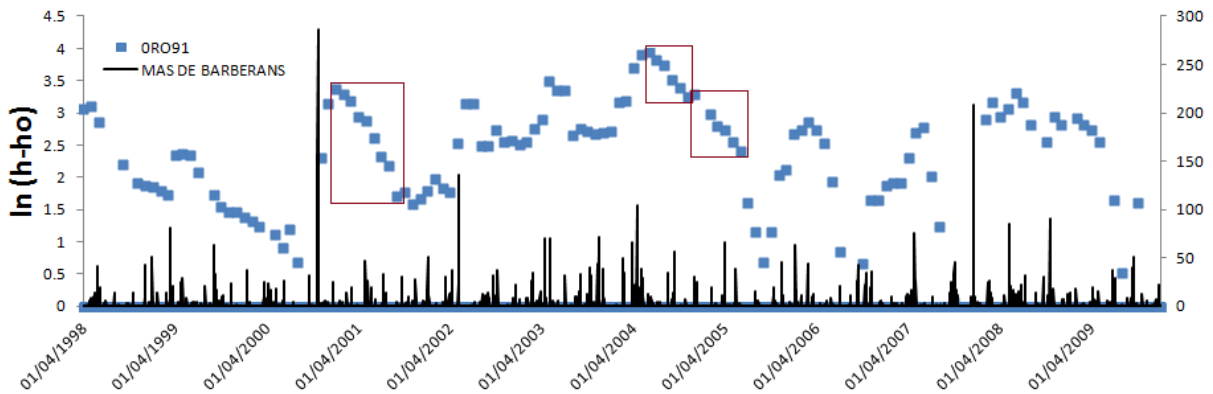


Figura A.5.3.g. Hidrograma para la obtención del coeficiente de agotamiento del acuífero. ORO91.

Tabla A.5.3.g. Calculo del coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ). ORO91.

tiempo	h	ln(h-ho)	tiempo	h	ln(h-ho)	tiempo	h	ln(h-ho)
01/01/2001	42.07	3.369707	01/04/2004	54.15	3.717224	01/12/2004	39.88	3.291383
01/09/2001	18.62	1.726332	01/11/2004	38.85	3.252311	01/06/2005	24.25	2.420368

$\alpha 1$	-0.00676	$\alpha 2$	-0.00217	$\alpha 3$	-0.00479
$\alpha$ media	-0.00676	ho	13msnm		

Grupo C

- Punto de control OGA4

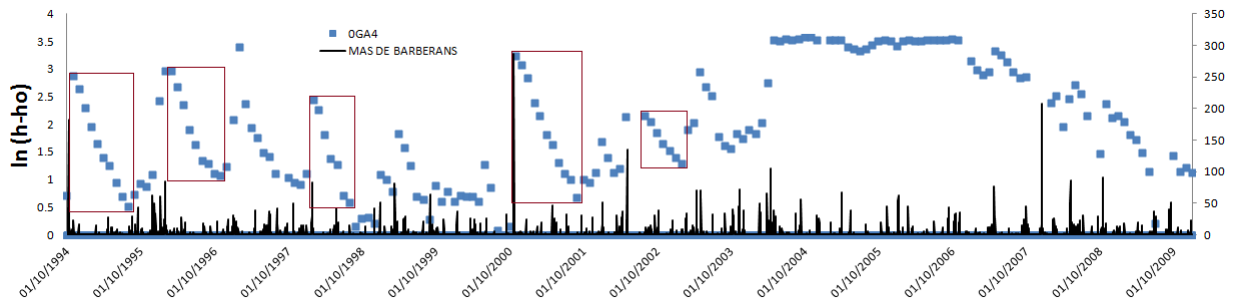


Figura A.5.3.h. Hidrograma para la obtención del coeficiente de agotamiento del acuífero. OGA4.

Tabla A.5.3.h. Calculo del coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ). OGA4.

tiempo	h	ln(h-ho)	tiempo	h	ln(h-ho)	tiempo	h	ln(h-ho)	tiempo	h	ln(h-ho)	tiempo	h	ln(h-ho)
01/11/1994	22.86	2.882564	01/03/1996	24.64	2.977568	01/02/1998	16.59	2.450143	01/11/2000	30.68	3.24571248	01/08/2002	13.6	2.151762
01/08/1995	6.69	0.524729	02/08/1996	8.84	1.345472	01/08/1998	6.79	0.582216	01/08/2001	7.74	1.00795792	01/02/2003	8.62	1.286474

$\alpha 1$	-0.00864	$\alpha 2$	-0.0106	$\alpha 3$	-0.01032	$\alpha 4$	-0.0081969	$\alpha 5$	-0.0047	
$\alpha$ media -0.00849									ho	5msnm

- Punto de control OGO10

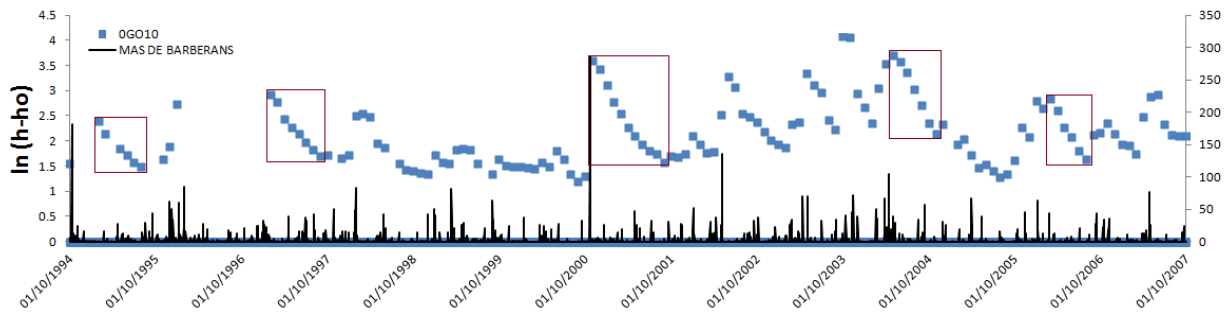


Figura A.5.3.i. Hidrograma para la obtención del coeficiente de agotamiento del acuífero. OGO10.

Tabla A.5.3.i. Calculo del coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ). OGO10.

tiempo	h	ln(h-ho)	tiempo	h	ln(h-ho)	tiempo	h	ln(h-ho)	tiempo	h	ln(h-ho)	tiempo	h	ln(h-ho)
01/02/1995	16.05	2.40243	01/02/1997	23.57	2.921547	01/11/2000	42.08	3.613078	01/05/2004	45.55	3.70253578	01/03/2006	22.32	2.851862
01/08/1995	9.49	1.501853	01/09/1997	10.47	1.699279	01/05/2001	13.31	2.11746	01/11/2004	13.57	2.14826773	01/08/2006	10.16	1.640937

$\alpha 1$	-0.00498	$\alpha 2$	-0.00577	$\alpha 3$	-0.00826	$\alpha 4$	-0.0084471	$\alpha 5$	-0.00791	
$\alpha$ media -0.00707									ho	5msnm

- Punto de control 0MV15

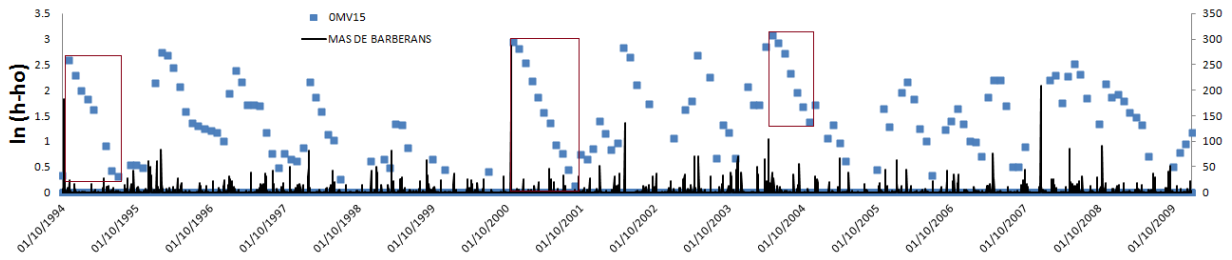


Figura A.5.3.j. Hidrograma para la obtención del coeficiente de agotamiento del acuífero. 0MV15.

Tabla A.5.3.j. Calculo del coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ). 0MV15.

tiempo	h	ln(h-ho)	tiempo	h	ln(h-ho)	tiempo	h	ln(h-ho)
01/11/1994	18.45	2.598979	01/11/2000	24.15	2.952303	01/05/2004	26.52	3.068983
01/07/1995	6.36	0.307485	01/09/2001	6.14	0.131028	01/11/2004	8.94	1.371181

$\alpha 1$  -0.00947

$\alpha 1$  -0.00928

$\alpha 1$  -0.00923

$\alpha$  media -0.00933

ho 5msnm

- Punto de control 0SB13

Es notable la existencia de dos agotamientos posiblemente por influencia de la transferencia de recursos de niveles acuíferos superiores.

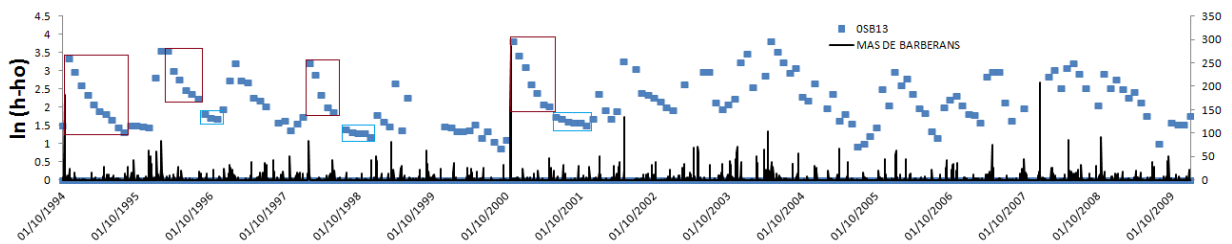


Figura A.5.3.k. Hidrograma para la obtención del coeficiente de agotamiento del acuífero. 0SB13.

Tabla A.5.3.k. Calculo del coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ). 0SB13.

tiempo	h	ln(h-ho)	tiempo	h	ln(h-ho)	tiempo	h	ln(h-ho)	tiempo	h	ln(h-ho)
01/11/1994	33.52	3.350606	01/03/1996	39.87	3.551627	01/02/1998	29.98	3.218076	01/11/2000	49.86	3.80354653
01/07/1995	9.27	1.451614	01/07/1996	15.58	2.358965	01/05/1998	12.35	1.9947	01/04/2001	13.04	2.08442908

$\alpha 1$  -0.00785

$\alpha 2$  -0.00978

$\alpha 3$  -0.01375

$\alpha 4$  -0.0113849

$\alpha$  media -0.01069

ho 5msnm

Grupo D

- Punto de control OUL7

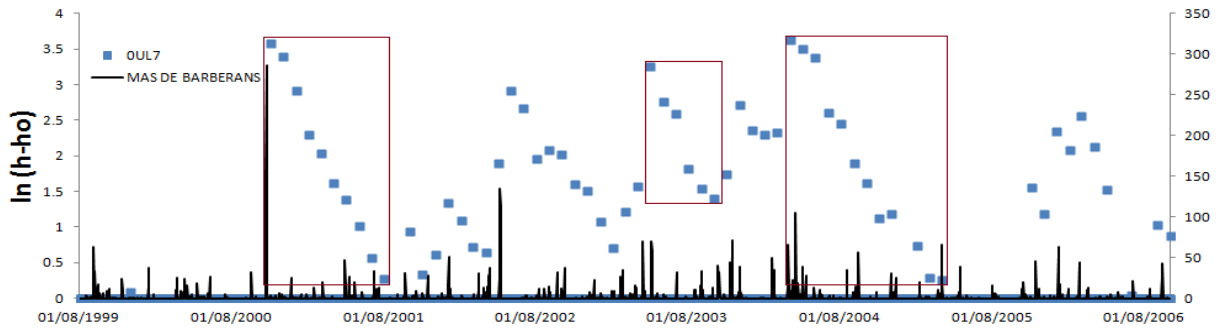


Figura A.5.3.l. Hidrograma para la obtención del coeficiente de agotamiento del acuífero. OUL7.

Tabla A.5.3.l. Calculo del coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ). OUL7.

tiempo	h	ln(h-ho)	tiempo	h	ln(h-ho)	tiempo	h	ln(h-ho)
01/12/2000	30.17	3.400197	01/05/2003	25.95	3.248435	01/04/2004	37.48	3.618457
01/08/2001	1.51	0.270027	01/10/2003	4.28	1.406097	01/03/2005	1.53	0.285179

$\alpha 1$	-0.01288	$\alpha 2$	-0.01204	$\alpha 3$	-0.00998
$\alpha$ media	-0.01163	ho	0.2msnm		

- Punto de control OUL39

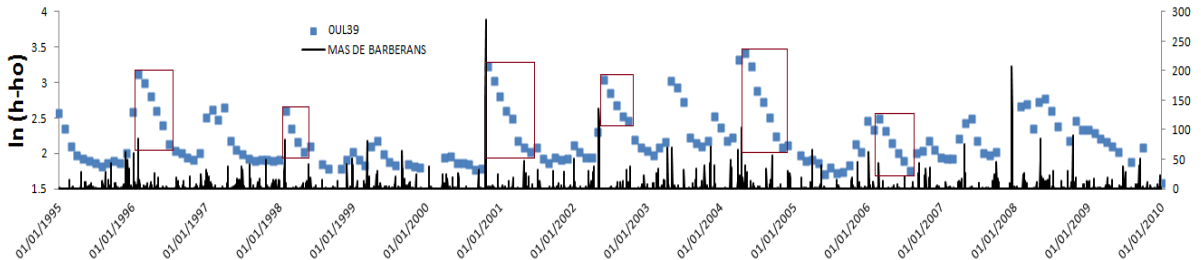


Figura A.5.3.m. Hidrograma para la obtención del coeficiente de agotamiento del acuífero. OUL39.

Tabla A.5.3.m. Calculo del coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ). OUL39.

tiempo	h	ln(h-ho)	tiempo	h	ln(h-ho)	tiempo	h	ln(h-ho)
01/02/1996	23.03	3.128075	01/02/1998	13.86	2.614472	01/11/2000	25.62	3.235536
01/07/1996	8.74	2.144761	01/05/1998	7.81	2.029463	01/04/2001	9.09	2.184927

$\alpha 1$	-0.00651	$\alpha 2$	-0.00657	$\alpha 3$	-0.00696
------------	----------	------------	----------	------------	----------

tiempo	h	ln(h-ho)	tiempo	h	ln(h-ho)	tiempo	h	ln(h-ho)
01/06/2002	21.22	3.04547437	01/05/2004	30.74	3.419037	01/03/2006	12.44	2.504709
01/09/2002	12.73	2.52812577	01/11/2004	8.31	2.093098	01/08/2006	6.05	1.766442

$\alpha 4$	-0.0056234	$\alpha 5$	-0.00721	$\alpha 6$	-0.00483
$\alpha$ media	-0.0062829	ho	0.2msnm		

- Punto de control 0UL98

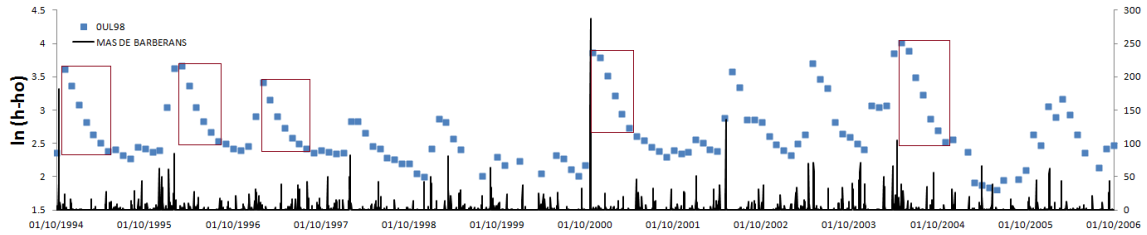


Figura A.5.3.n. Hidrograma para la obtención del coeficiente de agotamiento del acuífero. 0UL98.

Tabla A.5.3.n. Calculo del coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ). 0UL98.

Tiempo	h	ln(h-ho)	tiempo	h	ln(h-ho)	tiempo	h	ln(h-ho)	tiempo	h	ln(h-ho)	tiempo	h	ln(h-ho)	
01/11/1994	37.74	3.625407	01/03/1996	39.91	3.681603	01/02/1997	31.14	3.43205	01/11/2000	48.6	3.87949981	01/05/2004	55.82	4.018543	
01/04/1995	12.57	2.515274	01/08/1996	12.9	2.541602	01/06/1997	13.62	2.596746	01/04/2001	15.67	2.73890266	01/10/2004	15.2	2.70805	
$\alpha 1$		-0.00735	$\alpha 2$		-0.00745	$\alpha 3$		-0.00696	$\alpha 4$		-0.0075536	$\alpha 5$		-0.00857	
$\alpha$ media													-0.00758	ho	0.2msnm

Grupo E

- Punto de control 0AL100

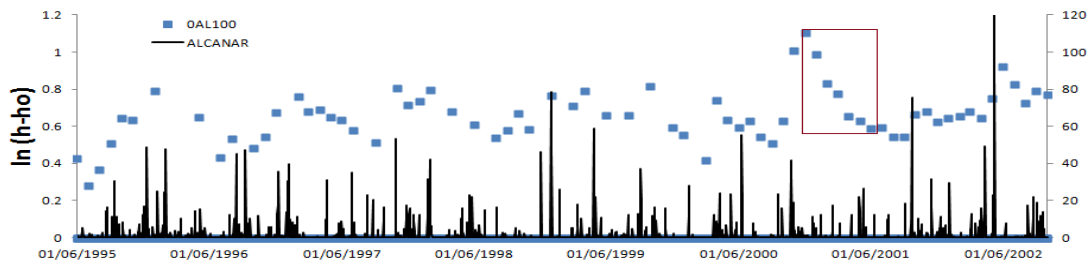


Figura A.5.3.ñ. Hidrograma para la obtención del coeficiente de agotamiento del acuífero. 0AL100.

Tabla A.5.3.ñ. Calculo del coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ). 0AL100.

tiempo	h	ln(h-ho)
01/12/2000	3.22	1.105257
01/04/2001	2.13	0.65752
$\alpha$		-0.0037
ho		0.2msnm

- Punto de control 0AL111

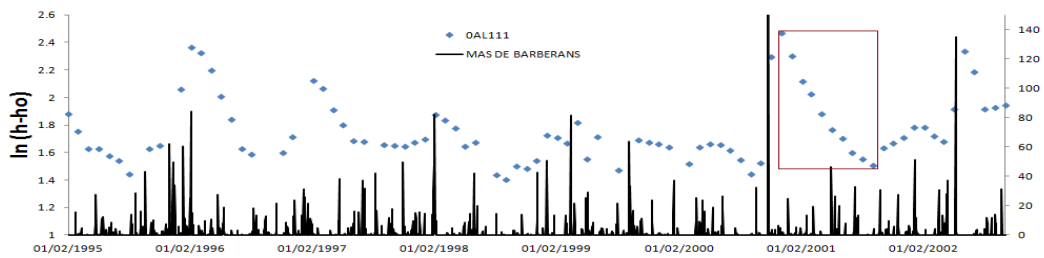


Figura A.5.3.o. Hidrograma para la obtención del coeficiente de agotamiento del acuífero. 0AL111.

Tabla A.5.3.o. Calculo del coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ). 0AL111.

tiempo	h	ln(h-ho)
01/12/2000	11.95	2.463853
01/05/2001	6.04	1.764731
$\alpha$		-0.00463
ho		0.2msnm

## ANEXO 6. CARACTERIZACIÓN DE USOS DE SUELO Y REGADÍO

### A.6.1. OBTENCIÓN DE DATOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE USOS DE SUELO

Para la zonación y clasificación se han tenido en cuenta diversos trabajos, destacando:

- Estudi tècnic i jurídic d'alternatives en la zona regable del canal Xerta-riu Sénia (Tallada, 2004)
- Informe i estudi hidrogeològic inicial pel coneixement de l'àrea d'influència de la zona reg del canal Xerta-riu Sénia (ACA, 1998).

Y la información disponible descargable en la red:

- Serie cartográfica de CORINE Land Cover (<http://www.eea.europa.eu>).
- Serie cartográfica del CREAM (Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals) (<http://www.cream.uab.es/cat/index.htm>)

### A.6.2. CLASIFICACIÓN DE USOS DE SUELO, CUANTIFICACIÓN DE SUPERFICIE REGABLE Y DOTACIONES POR MUNICIPIO

El número total de usos de suelo en la zona de estudio según CORINE Land Cover es de 22, los cuales han sido simplificados en 4 agrupaciones en función de la predominancia de las mismas en cuanto a superficie ocupada.

El criterio de selección de usos dentro de dichas 4 agrupaciones ha sido el siguiente:

Tabla A.6.2. Agrupaciones de usos de suelo y superficie ocupada.

Tipo y uso de suelo	Superficie (ha)
Coníferas	34.601,6
Matorral bajo	13.260,6
Olivar	26.621,7
Cultivo mixto (frutales)	26.326,9
Superficie total	100.810,8

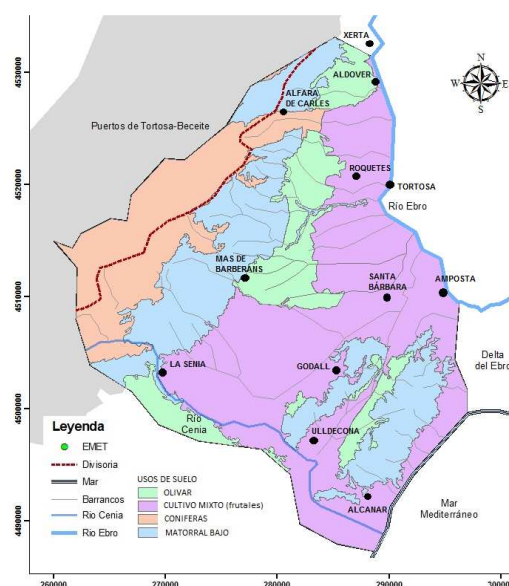


Figura A.6.2. Distribución de usos de suelo en el Baix Ebre.

A continuación se presentan las tablas con los datos de inventario de superficie regable y dotación por municipio dentro del área de estudio, así como de la procedencia de las aguas (ACA, 1998).

**A.6.2.1. Procedencia de las aguas de regadío**

Tabla A.6.2.1.a. Procedencia de las aguas superficiales y su uso en el área de estudio (CR: Comunidad de Regantes). Fuente: (ACA, 1998).

CUENCA (barranco)	USUARIO	USO	CAUDAL (L/s)	ÁREA (ha)	ABASTECIMIENTO	Observaciones	FUENTES	
PAÚLS	CR XERTA	AGRICOLA	150	170,4	XERTA	Excedentes hivernales. Azud a 120msnm	Ullals de les Valls Font de les Glòries Font del Morellà	
CUNCA/TOSCAR	CR ALDOVER	AGRICOLA	49,08	438	ALDOVER	R conglomerados pliocuaternarios	Fonts del Toscà	
	CR DELS REGUERS	AGRICOLA	50,55	50		(piedemonte)	Font de l'Ullal	
	AJUNT. TORTOSA	ABASTECIM.	0,5		ALFARA			
ST. ANTONI	LA CARAMELLA	AGRICOLA	6,25	50		Aa.ss. Circulan por bco. infiltrándose en el pliocuaternario	Font de la Caramella Els bufadors	
LA GALERA	CR MAS BARBERANS	AGRICOLA	40	14	MAS DE BARBERANS	En cabecera, tiene un agotamiento rápido	Font del Bosc	
							Caudales copiosos en invierno	Font de la Vall
								La Foia de Masdenverge
JUCAR (río Senia)	CR ULLDECONA				LA SENIA	Font del Rossegadors	Embalse de Ulldecona	
					ULLDECONA	Font de S. Pere y Font del Draper	Font de Rossegadors	
					SAN RAFAEL y MESTRAT	Font de S. Pere	Font de S. Pere	
							Font del Draper	

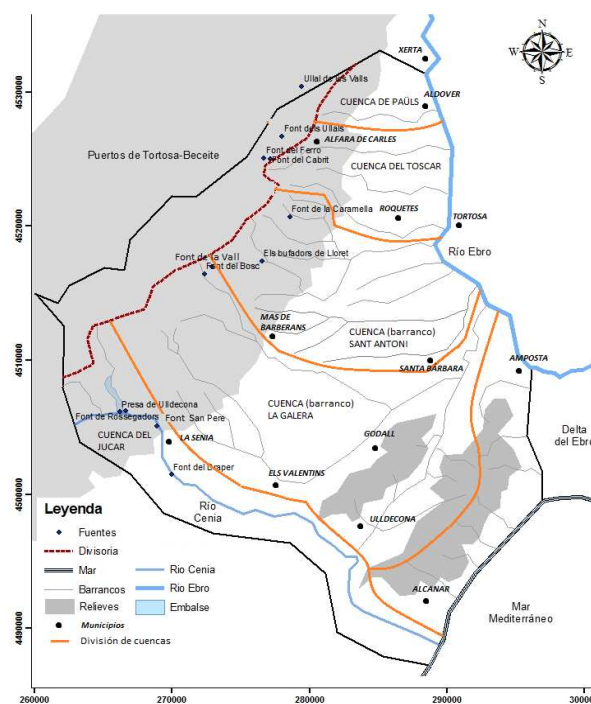


Figura A.6.3.1. Mapa de procedencia de las aguas superficiales y su uso en el área de estudio.



Tabla A.6.2.1.b. Procedencia de las aguas subterráneas y su uso en el área de estudio. Fuente: (ACA, 1998).

EXPLOTACIÓN	hm <sup>3</sup> /año
Abastecimiento urbano	4.43
Abastecimiento industrial	1.85
Ganadería	0.73
Riego agrícola	36.94
Total	43.95

Tabla A.6.2.1.c. Aportación derivada del río Ebro.

APORTACIÓN EBRO	
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	50

Tabla A.6.2.1.d. Aportaciones laterales. Fuente: (ACA, 1998).

Punto de aforo	Aportación L/s
Barranc Xalamera *	81
Barranc Pauls	46
Barranc de la Cunca + sèquia	182
Barranc Vallcervera	123
Caramella *	20
Font del Boix *	60
Rio Sènia + canal	1815
Total	2327

\*Dato puntual poco significativo.

## A.6.2.2. Superficie regable y dotación

Tabla A.6.2.2.a. Derivaciones de agua de manantiales o barrancos a las zonas regables. Fuente: (ACA, 1998).

COMUNIDAD	TOTAL (hm <sup>3</sup> /a)	REGADÍO (hm <sup>3</sup> /a)	Sup regable (ha)	Dotación media (m <sup>3</sup> /ha/a)	Modulo riego l/s	Abastecimiento (hm <sup>3</sup> /a)
Xerta	0,86	0,82	170,4	4812,21	136	0,04
Aldover	0,65	0,65	438	1484,02	49,08	0
Reguers-Jesús	1,15	1,14	490	2326,53	380	0,001
Vinallop	0	0	0		0	0
Roquetes	0,06	0,05	50	1040	6,25	0,005
Mas de Barberans	0,16	0,01	5	1000	0,75	0,043
Santa Bárbara	0	0	0		0	0
La Galera	0	0	0		0	0
Godall	0	0	0		0	0
Ulldecona (tot)	6	1,57	270	5814,81	216	0,02
Freginals	0	0	0		0	0
Masdenverge	0	0	0		0	0
Amposta	0	0	0		0	0
Total/media	8,88	4,24	1423,4	16477,57	788,08	0,109

Tabla A.6.2.2.b. Extracciones de agua subterránea en las zonas regables. Fuente: (ACA, 1998).

COMUNIDAD	TOTAL (hm <sup>3</sup> /a)	REGADÍO (hm <sup>3</sup> /a)	Sup regable (ha)	Dotación media (m <sup>3</sup> /ha/a)	Modul reg l/s	Abastecimiento (hm <sup>3</sup> /a)
Xerta	2,6	2,43	520,72	4666,62	224,5	0,152
Aldover	2,18	1,08	1408,49	766,8	155,1	0,058
Reguers-Jesús	4,47	3,82	1375,44	2777,29	542,25	0,486
Vinallop	5,71	5,57	1097,67	5074,38	470,5	0,034
Roquetes	8,79	6,42	1802	3562,71	522,7	0,587
Mas de Barberans	0,26	0,09	37,6	2393,62	9,8	0
Santa Bárbara	5,14	4,76	1037,9	4586,18	451,6	0,035
La Galera	3,97	3,84	919,8	4174,82	330,3	0,088
Godall	2,29	2,13	525,67	4051,97	195,7	0,11
Ulldecona (tot)	4,01	1,01	220	4590,91	77	0
Freginals	0,77	0,76	534,62	1421,57	77,26	0
Masdenverge	1,86	1,52	359,35	4229,86	158,4	0,048
Amposta	7,43	2,82	759,58	3712,58	218,85	2,52
Total/media	49,48	36,25	10598,84	46009,29	3433,96	4,118

Tabla A.6.2.2.c. Comparativa de superficies de riego actuales con agua subterránea y superficial. Fuente: (ACA, 1998).

COMUNIDAD	Superficie regable		Superficie total de riego (ha)
	Agua subterránea (ha)	Agua superficial(ha)	
Xerta	520,72	170,4	691,12
Aldover	1408,49	438	1846,49
Reguers-Jesús	1375,44	490	1865,44
Vinallop	1097,67	0	1097,67
Roquetes	1802	50	1852
Mas de Barberans	37,6	5	42,6
Santa Bárbara	1037,9	0	1037,9
La Galera	919,8	0	919,8
Godall	525,67	0	525,67
Ulldecona (tot)	220	270	490
Freginals	534,62	0	534,62
Masdenverge	359,35	0	359,35
Amposta	759,58	0	759,58
Total/media	10598,84	1423,4	<b>12022,24</b>

Según la Tabla A.6.2.2.c, la superficie total en regadío es la quinta parte de la superficie cultivada (ver Tabla A.6.2).

### A.6.3. ESTIMACIÓN DE LOS EXCEDENTES DE RIEGO

Se ha considerado que para riego con agua subterránea el retorno de riego representa un 10% de la dotación y para riego con agua superficial representa entre un 20-25%.

Tabla A.6.3.a. Estimación preliminar de excedentes de riego a partir de agua subterránea por municipio. Fuente: (ACA, 1998).

COMUNIDAD	Dotación media (m <sup>3</sup> /ha/a)	Recarga por riego (10%) (mm/a)
Xerta	4666,62	46,67
Aldover	766,78	7,67
Reguers-Jesús	2777,29	27,77
Vinallop	5074,38	50,74
Roquetes	3562,71	35,63
Mas de Barberans	2393,62	23,94
Santa Bárbara	4586,18	45,86
La Galera	4174,82	41,75
Godall	4051,97	40,52
Ulldecona (tot)	4590,91	45,91
Freginals	1421,57	14,22
Masdenverge	4229,86	42,30
Amposta	3712,58	37,13
Total/media	46009,29	460,09

Tabla A.6.3.b. Estimación preliminar de excedentes de riego a partir de agua superficial y de manantiales por municipio. Fuente: (ACA, 1998).

COMUNIDAD	Dotación media (m <sup>3</sup> /ha/a)		Recarga por riego (20-25%) (mm/a)
	Agua superficial	Manantiales/barrancos	
Xerta		4812,21	108,27
Aldover		1484,02	33,39
Reguers-Jesús		2326,53	52,35
Vinallop			
Roquetes	1040		23,40
Mas de Barberans		1000	22,50
Santa Bárbara			
La Galera			
Godall			
Ulldecona (tot)	5814,81		130,83
Freginals			
Masdenverge			
Amposta			
Total/media		16477,57	370,75



## ANEXO 7. BALANCE DE AGUA EN EL SUELO

### A.7.1. TRATAMIENTO DE LAS SERIES HIDROMETEOROLÓGICAS

#### A.7.1.1. Series diarias de datos hidrometeorológicos

La extensión de la serie de datos diaria de precipitación, velocidad del viento y humedad relativa de la estación meteorológica PN de Els Ports se ha realizado a partir de los datos de la estación de Mas de Barberans realizando una corrección por altitud con un factor de corrección calculado a partir de los valores acumulados de las series diarias de ambas estaciones (ver la correlación de las series en las Figuras A.7.1.1, b y c y Tablas A.7.1.1.a y b).

Tabla A.7.1.1. a. Periodo de datos de partida de las series diarias de datos meteorológicos.

Estación	x	y	z	Fecha	
	(m)			inicio	fin
Mas de Barberans	280481	4510937	240	01/10/1994	30/09/2011
PN els Ports	273850	4519892	1055	04/01/2007	actualidad

\*Periodo de datos común a las dos estaciones meteorológicas: 4/01/2007-30/09/2011.

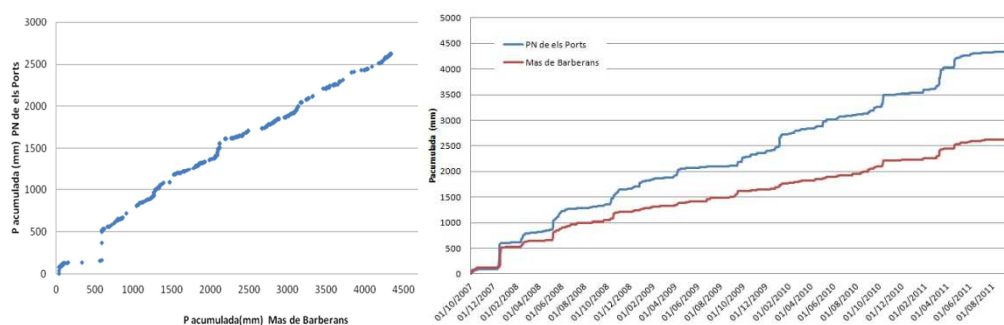


Figura A.7.1.1.a. Correlación de precipitaciones acumuladas diarias de las estaciones meteorológicas Mas de Barberans y PN de Els Ports.

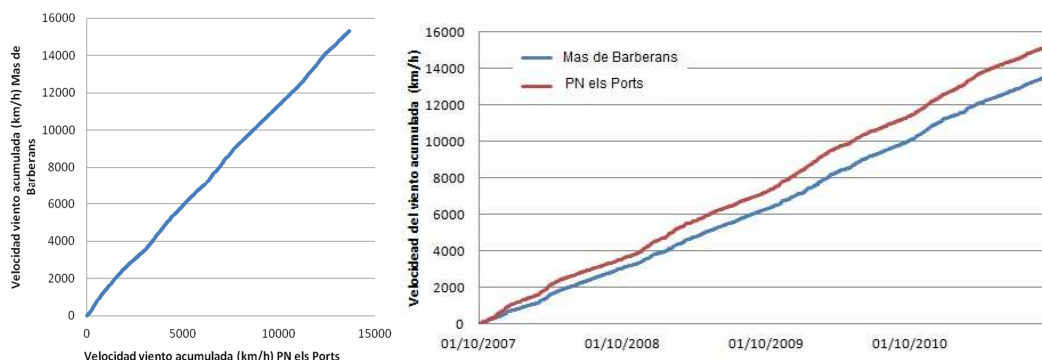


Figura A.7.1.1.b. Correlación de velocidad del viento acumulada diaria de las estaciones meteorológicas Mas de Barberans y PN de Els Ports.

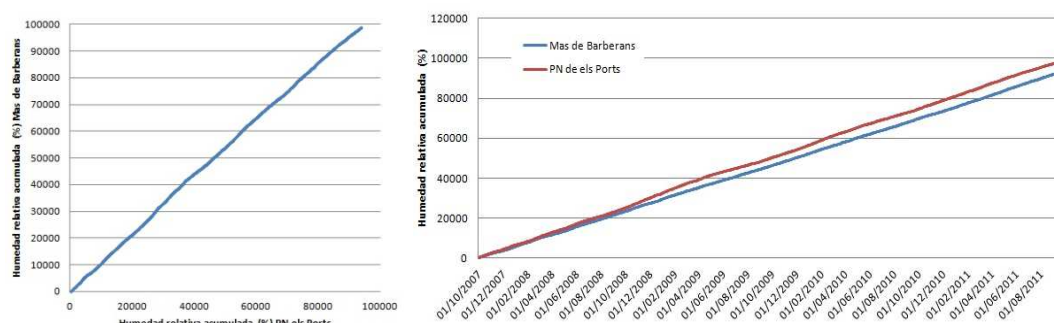


Figura A.7.1. 1.c. Correlación de humedad relativa acumulada diaria de las estaciones meteorológicas Mas de Barberans y PN de els Ports.

La correlación entre ambas estaciones es buena para el periodo común y por lo tanto se procede a generar la serie. Para ello los factores de corrección han sido los siguientes:

Tabla A.7.1.1.b. Factores de corrección para la generación de la serie de datos 01/10/1994-30/09/2011 de la estación PN de Els Ports (ac: acumulado).

EMET	P ac (mm)	Velocidad viento ac (km/h)	Humedad rel. ac (%)
PN de els Ports	4337	13662	98934
Mas de Barberans	2626	15309	93852
Factor de corrección (f)	1.65	1.12	1.05

### A.7.1.2. Corrección de la serie diaria de evapotranspiración potencial

Los datos disponibles de ETP pertenecen a la estación de Mas de Barberans para el periodo 1/01/1995-26/12/1999 y a la estación de Els Ports para el periodo 1/10/2007-30/09/2011, ambos calculados por la fórmula de Penman-Monteith.

Para obtener la serie de datos diarios de ETP para el periodo completo de estudio (1/10/1994-30/9/2011) se ha realizado el balance diario de agua en el suelo con el código Visual Balan, obteniendo así la serie por el método de Thornthwaite (ver apartado A.7.2.1). Este método utiliza valores medios mensuales de precipitación y temperatura para el cálculo de la ETP, lo que resulta poco representativo de la realidad al no tener en cuenta los eventos diarios de precipitación y consecuentemente generando valores inferiores a los reales de ETP. Esto repercute en el resultado del balance diario obteniendo valores de recarga media anual sobreestimados.

Para evitar dicha sobreestimación se ha generado una serie de datos diarios de ETP para el periodo completo de estudio, transformando los datos de ETP diarios calculados por Thornthwaite con el Código Visual Balan mediante un factor de conversión (ver Tabla A.7.1.1.2) calculado a partir del estudio de la correlación entre la ETP de Thornthwaite y la ETP de Penman-Monteith de las estaciones durante el periodo 1/01/1995-26/12/1999 en Mas de Barberans y 1/10/2007-30/09/2011 en PN de Els Ports (ver Figuras A.7.1.1.b.1 y 2).

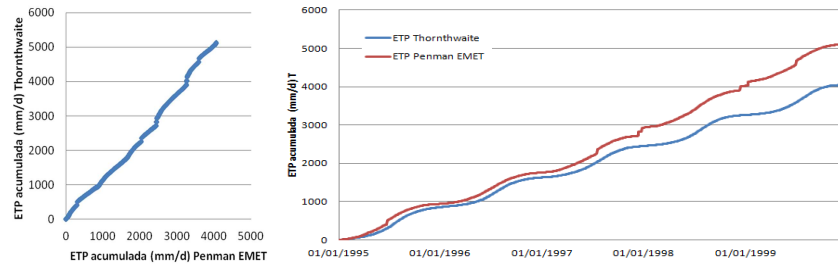


Figura A.7.1.2.a. Correlación de ETP diaria de la estación meteorológica Mas de Barberans para el periodo 1/01/1995-26/12/1999.

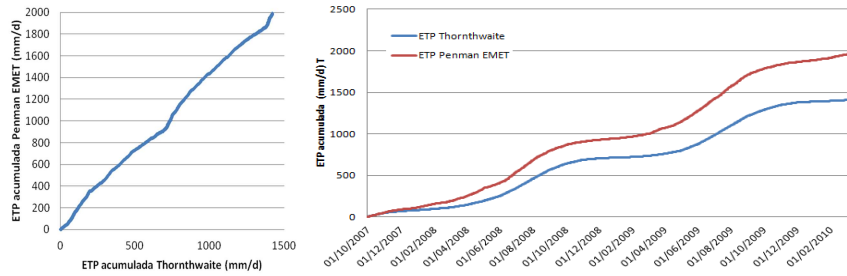


Figura A.7.1. 2.b. Correlación de ETP diaria de la estación meteorológica PN Els Ports para el periodo 1/10/2007-30/09/2011.

Tabla A.7.1.2. Factor de corrección para la generación de la serie de datos 01/10/1994-30/09/2011 de ETP diaria (ac: acumulado).

Método de cálculo	ETP ac (mm/d)	
	Mas de Barberans	PN de els Ports
Thornthwaite	4337	1422
Penman-Monteith*	2626	1990
Factor de corrección (f)	1.26	1.40

\*Penman-Monteith calculado respectivamente en las estaciones meteorológicas de Mas de Barberans y PN de Els Ports.

Se han comparado los valores de ETP generados por los diferentes métodos de cálculo. El de Thornthwaite corregido por Penman es el que mejor ajusta a los valores que proporciona la EMET (ver Figuras A.7.1.2.c y d).

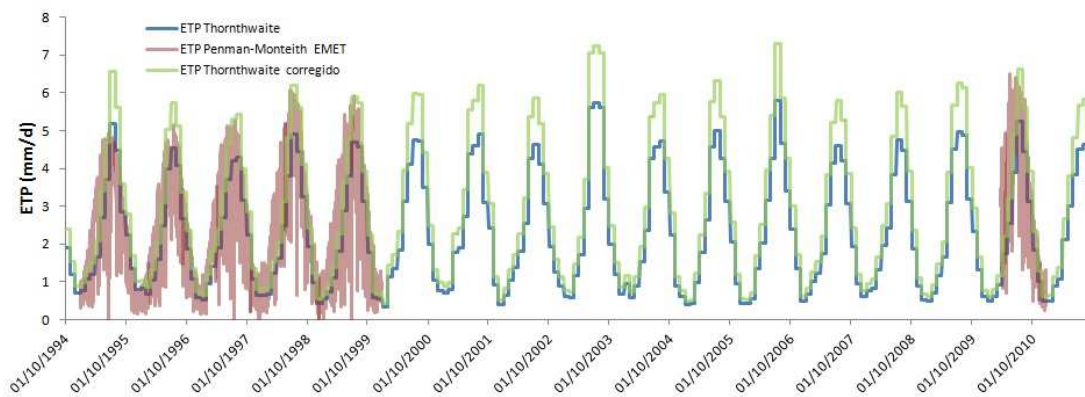


Figura A.7.1.2.c. Valores de ETP diaria obtenida por diferentes métodos para la estación meteorológica de Mas de Barberans.



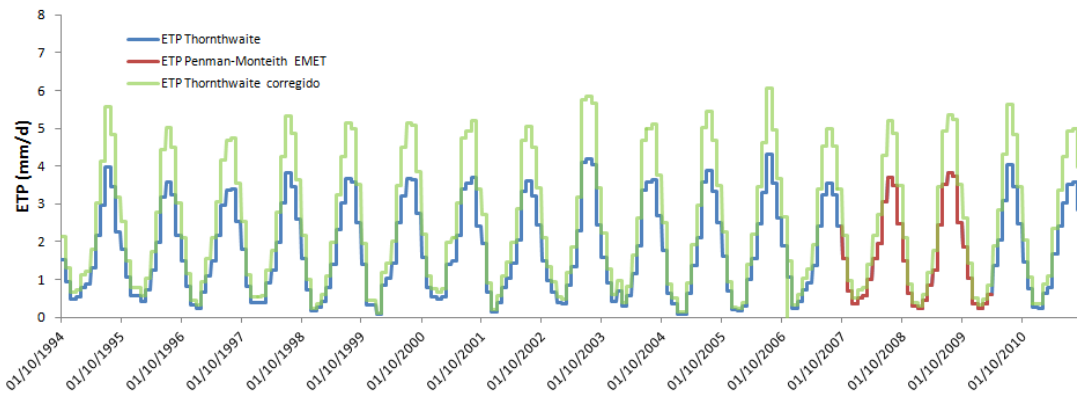


Figura A.7.1.2.d. Valores de ETP diaria obtenida por diferentes métodos para la estación meteorológica de PN de Els Ports.

Por tanto el método de cálculo de ETP seleccionado para el cálculo de la recarga media anual es Thornthwaite corregido por Penman-Monteith ya que este último utiliza valores diarios de precipitación y temperatura y tiene en cuenta parámetros de energía incidente en la superficie estudiada, frente a los obtenidos por Thornthwaite que utiliza valores de medias mensuales, subestimando así los valores de ETP y de ese modo sobreestimación de los valores de recarga medios anuales.

### A.7.2. BALANCE DE AGUA EN EL SUELO POR SUBZONAS

Para el balance hidrometeorológico que se realiza con el código BALAN es necesario definir los coeficientes que caracterizan la recarga en tránsito y la evapotranspiración real en las diferentes subzonas (SZ). Para ello se han ajustado los coeficientes de flujo preferente y de déficit hídrico (ver Figuras A.7.2.a, b y c).



Figura A.7.2.a. Variación del flujo de salida de la zona edáfica con el contenido de humedad del suelo y función de humedad respecto al contenido en humedad del suelo y relación del coeficiente de la evapotranspiración real y potencial en función del estado de humedad del suelo para las SZ1 y SZ2 (PM: punto de marchitez, CC: capacidad de campo, Kv: conductividad hidráulica vertical y CEME: coeficiente de déficit hídrico).



Figura A.7.2.b. Variación del flujo de salida de la zona edáfica con el contenido de humedad del suelo y función de humedad respecto al contenido en humedad del suelo y relación del coeficiente de la evapotranspiración real y potencial en función del estado de humedad del suelo para la SZ3 (PM: punto de marchitez, CC: capacidad de campo, Kv: conductividad hidráulica vertical y CEME: coeficiente de déficit hídrico).

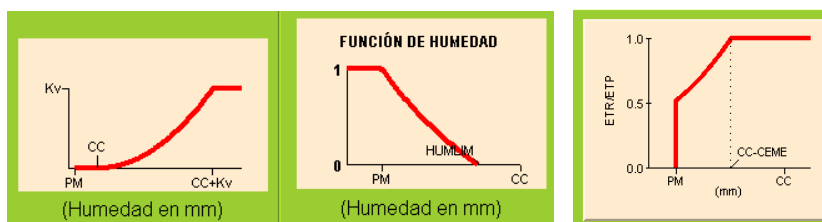


Figura A.7.2.c. Variación del flujo de salida de la zona edáfica con el contenido de humedad del suelo y función de humedad respecto al contenido en humedad del suelo y relación del coeficiente de la evapotranspiración real y potencial en función del estado de humedad del suelo para las SZ4 y SZ5 (PM: punto de marchitez, CC: capacidad de campo, Kv: conductividad hidráulica vertical y CEME: coeficiente de déficit hídrico).

**A.7.2.1. Selección del método de cálculo de ETP con el código Visual Balan en función de los resultados medios anuales de las variables que intervienen en el balance de agua en el suelo**

La evapotranspiración potencial se puede calcular con el código Visual Balan con uno de los siguientes métodos: Thornthwaite, Blaney-Criddle, Makkink, Penman-Monteith y Turc. Para este caso se ha considerado el de Thornthwaite y el de Penman-Monteith por el tipo de datos disponibles en las estaciones meteorológicas consideradas. También existe la posibilidad de proporcionar valores conocidos de la ETP.

En la Tabla A.7.2.1 se muestra el resultado de los balances de las 5 subzonas (SZ) aplicando para el cálculo de la ETP el método de Thornthwaite y el de Thornthwaite corregido por la ETP de las estaciones meteorológicas de Mas de Barberans y PN els Ports.

Tabla A.7.2.1. Resultados del balance de agua en el suelo por subzonas en función del método de cálculo de la ETP (valores medios anuales  $\text{mm a}^{-1}$ ).

SUBZONAS	Precipitación	Intercepción	Escurrentía	ETR		Recarga		Caudal total		
				Thornthwaite	Th correg	Thornthwaite	Th correg	Thornthwaite	Th correg	
SZ1	660	29	16	367	397	246	216	266	232	
SZ2	660	58	34	349	375	231	202	264	236	
SZ3	660	77	32	263	311	289	240	326	272	
SZ4	1086	90	103	354	383	557	511	654	615	
SZ5	serie 1	1035	101	95	318	388	566	455	630	550
	serie 2	1114	98	113	310	378	594	525	707	638

Como es de esperar Thornthwaite subestima la evapotranspiración generando más recarga que Thornthwaite corregido por Penman de las estaciones correspondientes.

**A.7.2.2. Ajuste de niveles para la selección del método del cálculo de la ETP**

Para la calibración del balance se han utilizado los registros históricos de niveles piezométricos de puntos de control, seleccionados tanto por su ubicación como por el material acuífero en el cual miden el nivel.

El código Visual Balan proporciona los resultados medios anuales de las variables de modo esquemático (recogidos en Tabla A.7.2.1), obteniéndose a su vez un hidrograma en el cual aparecen representados los valores de niveles medidos, niveles calculados por el modelo y niveles que el modelo estima como óptimos (ver Figuras A.7.2.2.a).

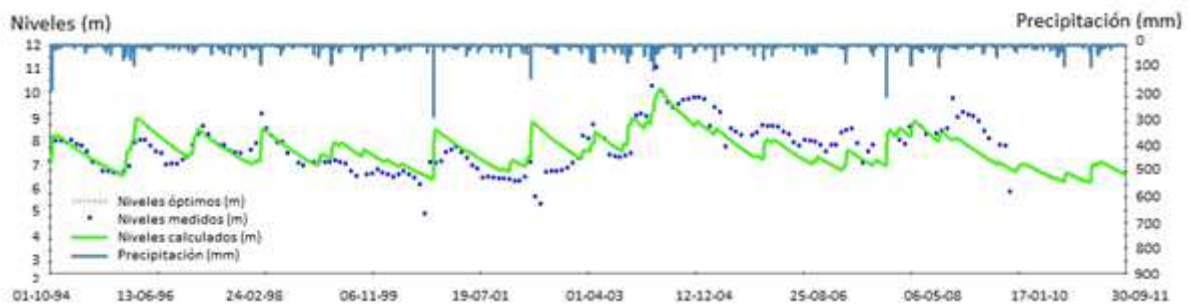
A continuación se muestran los resultados obtenidos para el ajuste en cada sub-zona. También se representan los hidrogramas de precipitación (mm/d), caudales ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) y escorrentía superficial ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) producidos, siendo común a todas las subzonas la ocurrencia de escorrentía para precipitaciones diarias mayores a 100 mm/d.

### SZ1- Plana de la Galera (NE)

- Punto de control: ORO54.

Serie pluviométrica: Estación meteorológica de Mas de Barberans.

Thornthwaite



Thornthwaite corregido por Penman-Monteith

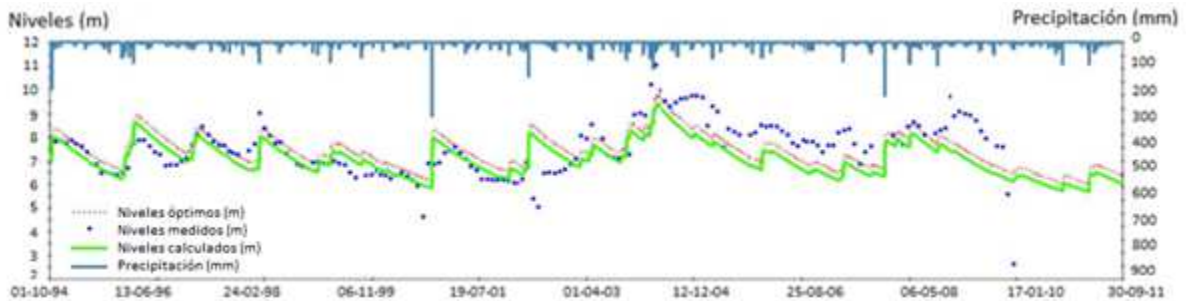


Figura A.7.2.1.a. Hidrograma de niveles calculados vs niveles medidos y su ajuste en SZ1.

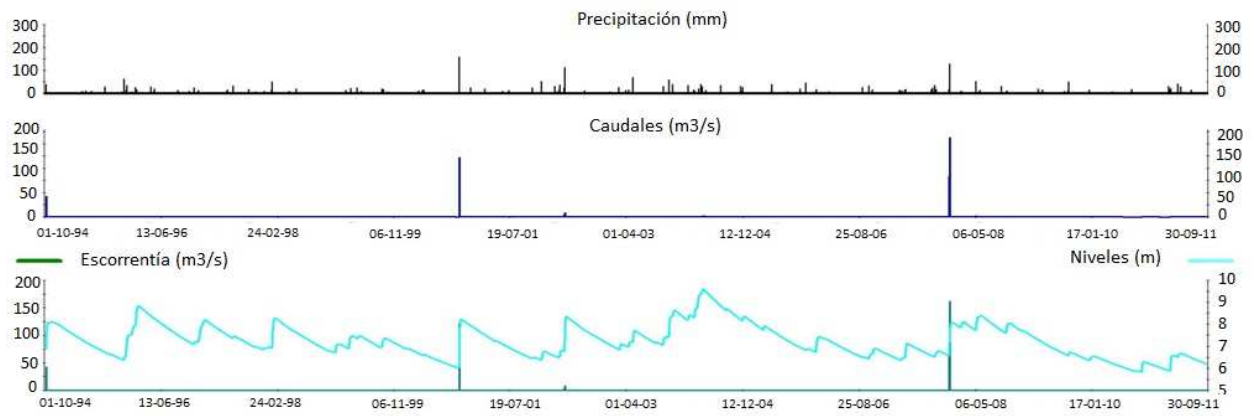


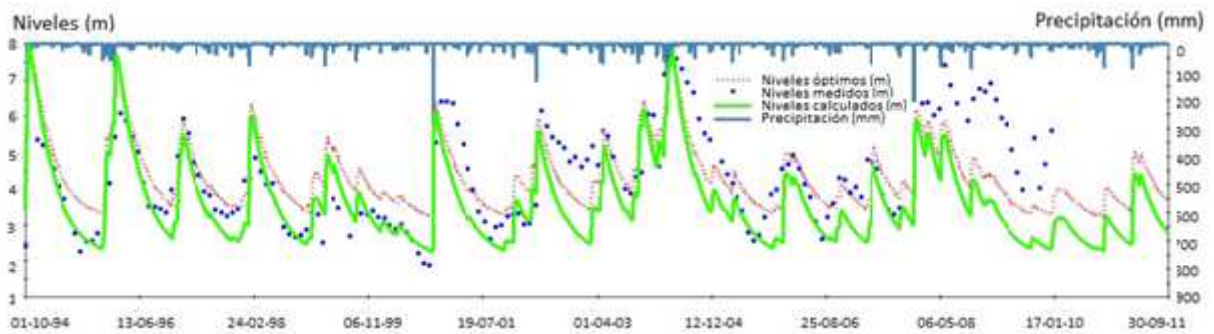
Figura A.7.2.1.b. Resultados diarios y mensuales de precipitación, caudales y escorrentía superficial en SZ1.

SZ2- Plana de la Galera (SE)

- Punto de control: OSB28.

Serie pluviométrica: Estación meteorológica de Mas de Barberans.

Thornthwaite



Thornthwaite corregido por Penman-Monteith

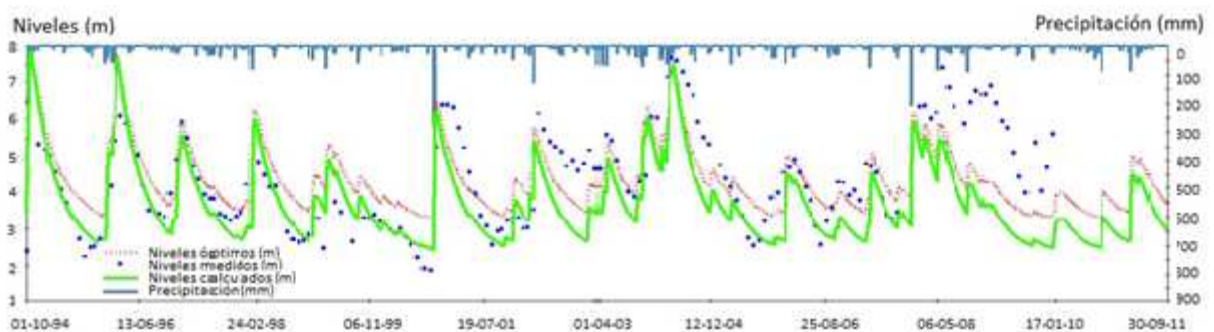


Figura A.7.2.1.c. Hidrograma de niveles calculados vs. niveles medidos y su ajuste en SZ2.

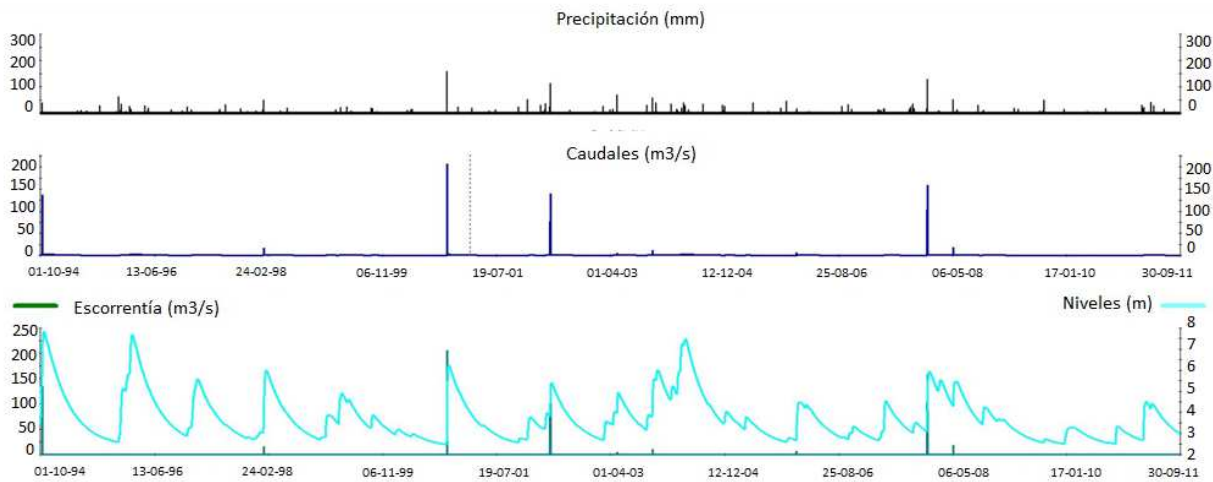


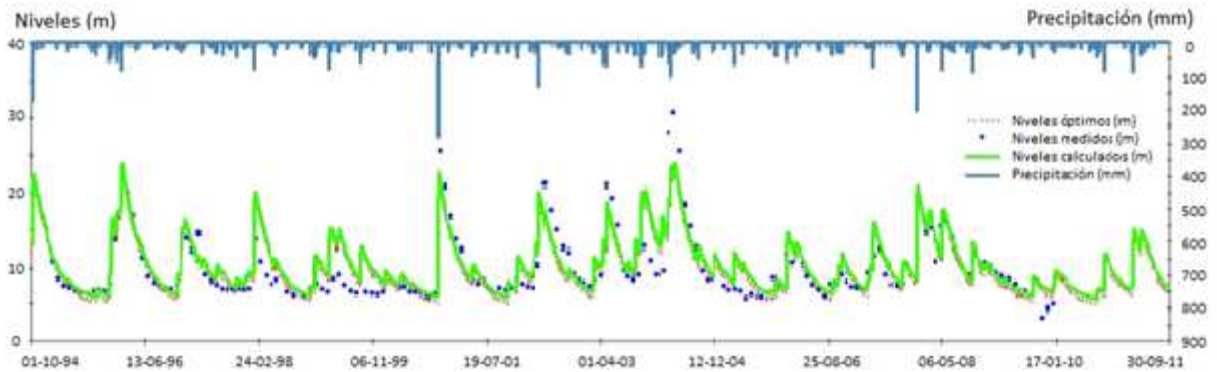
Figura A.7.2.1.d. Resultados diarios y mensuales de precipitación, caudales y escorrentía superficial en SZ2.

SZ3- Fosa de Ulldecona-macizos de Montsià y Godall (SE)

- Punto de control: 0UL39.

Serie pluviométrica: Estación meteorológica de Mas de Barberans.

Thornthwaite



Thornthwaite corregido por Penman-Monteith

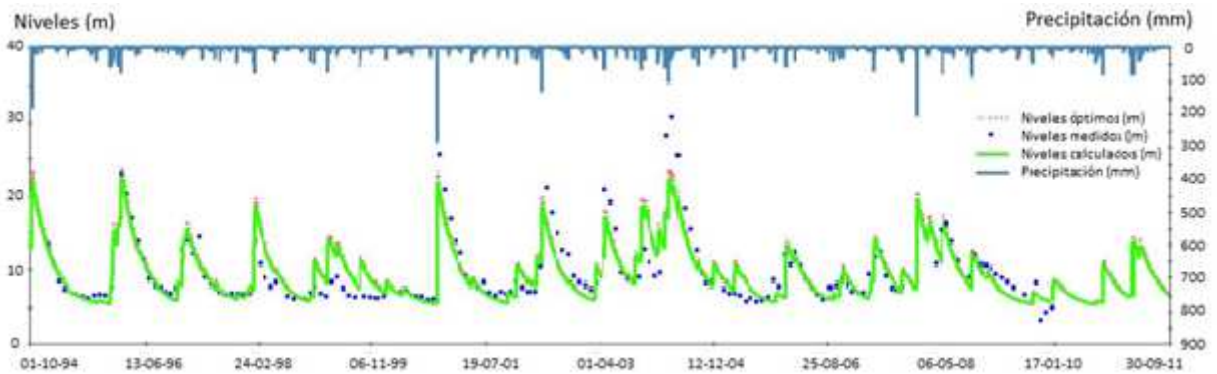


Figura A.7.2.1.e. Hidrograma de niveles calculados vs. niveles medidos y su ajuste en SZ3.



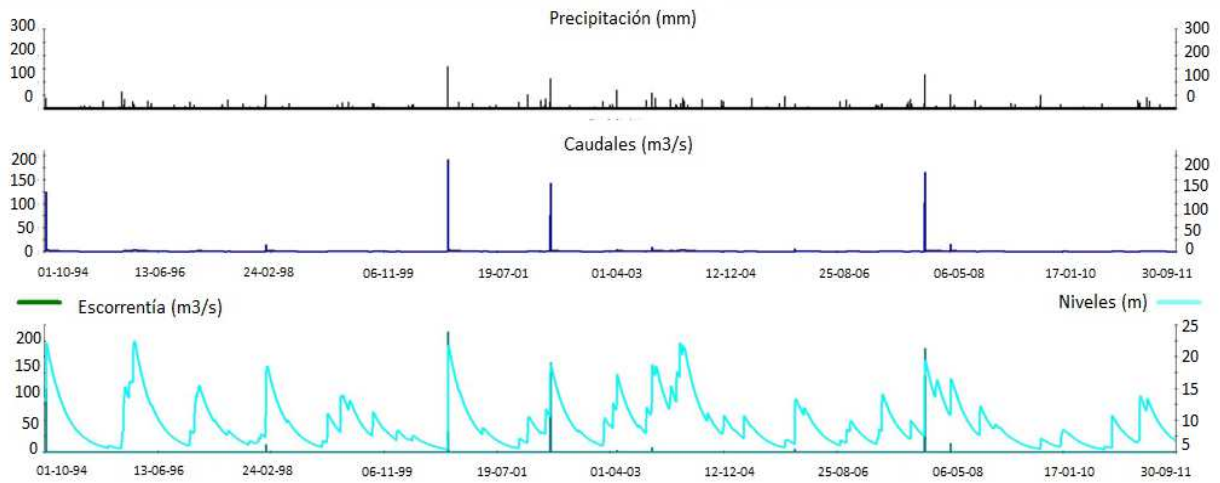


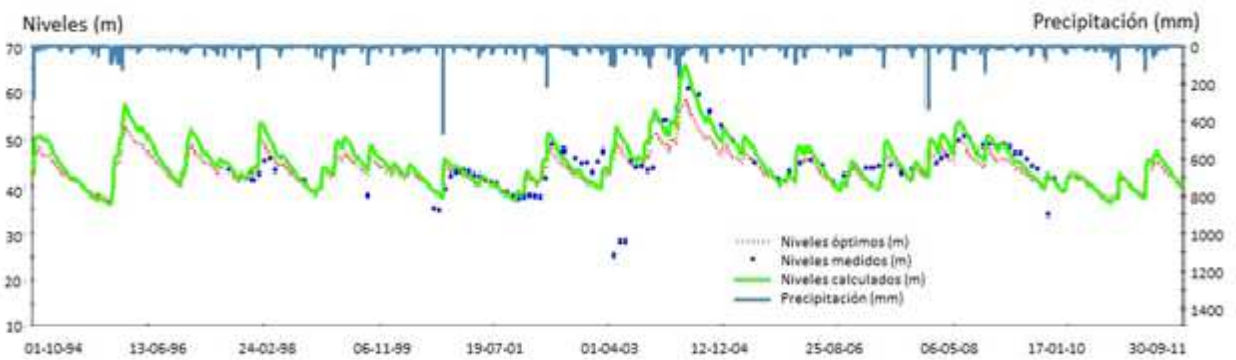
Figura A.7.2.1.f. Resultados diarios y mensuales de precipitación, caudales y escorrentía superficial en SZ3.

SZ4- Els Ports de Besseit (NW)

- Punto de control: 0RO93.

Serie pluviométrica: Estación meteorológica de PN Els Ports.

Thornthwaite



Thornthwaite corregido por Penman-Monteith

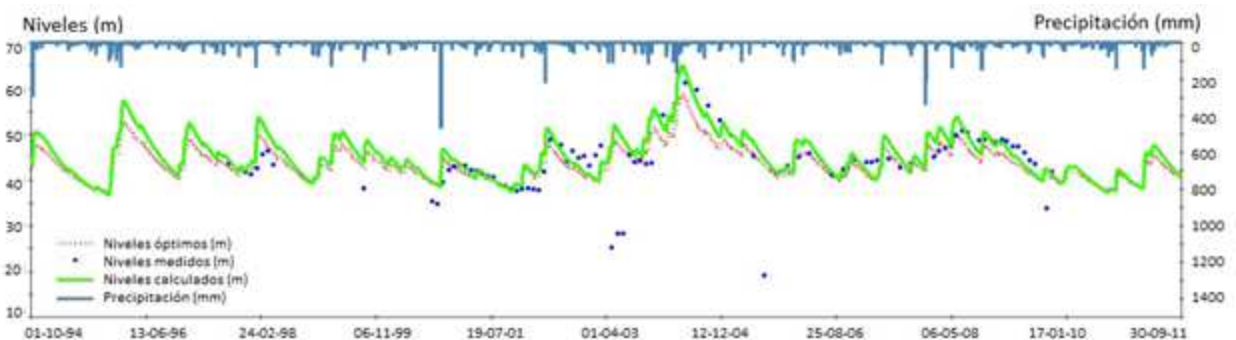


Figura A.7.2.1.g. Hidrograma de niveles calculados vs. niveles medidos y su ajuste en SZ4.

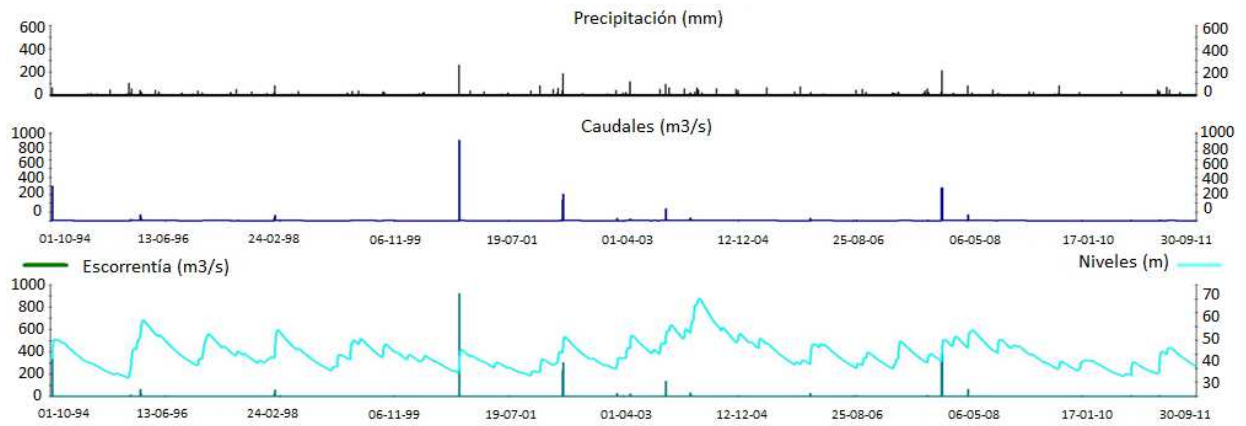


Figura A.7.2.1.h. Resultados diarios y mensuales de precipitación, caudales y escoorrentía superficial en SZ4.

SZ5- Ports de Tortosa-Beseit (SW)

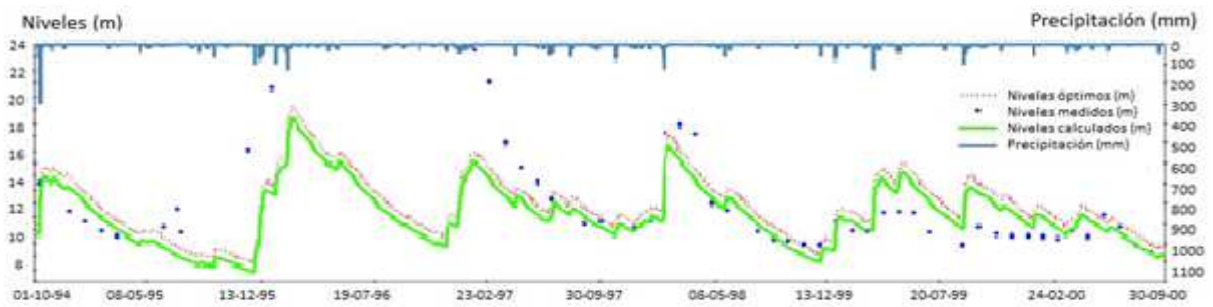
- Punto de control: OGO10.

Serie pluviométrica: Estación meteorológica de PN els Ports.

En esta sub-zona se ha dividido el registro en dos series dado que a partir de octubre de 2000 el hidrograma reproduce un comportamiento que difiere del periodo 1994-2000 y lo hace difícilmente ajustable. El origen de esta anomalía tampoco se ha sabido explicar hasta el momento por lo que se ha procedido a dividir el registro en las siguientes dos series dando como consecuencia los ajustes de las Figuras A.7.2.1.i y l.

Serie 1

Thorntwaite



Thorntwaite corregido por Penman-Monteith

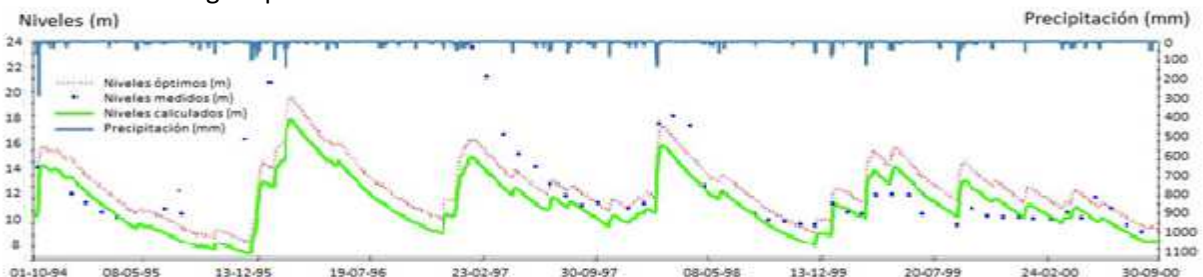


Figura A.7.2.1.i. Hidrograma de niveles calculados vs. niveles medidos y su ajuste en SZ5. Serie 1.

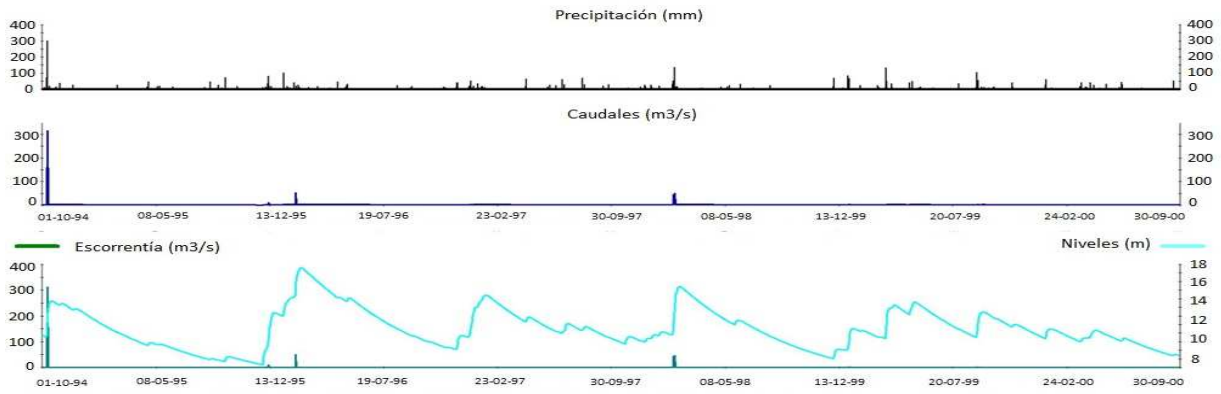
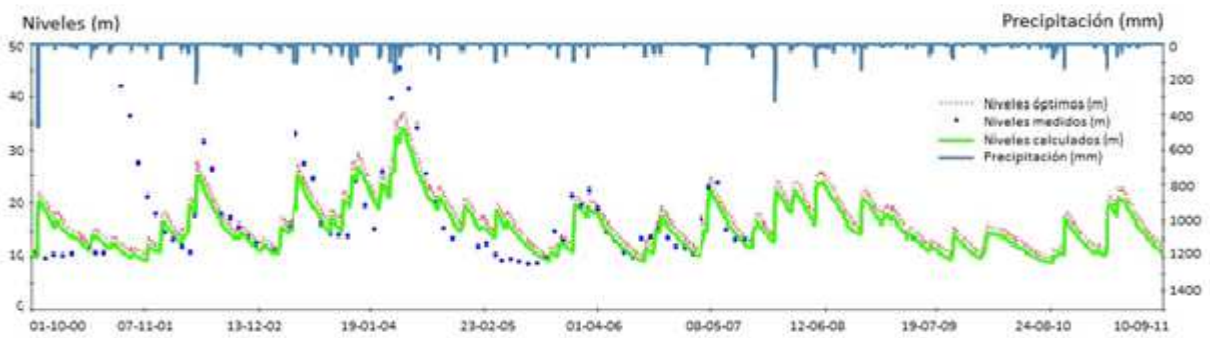


Figura A.7.2.1.j. Resultados diarios y mensuales de precipitación, caudales y escorrentía superficial en SZ5. Serie 1.

Serie 2

Thornthwaite



Thornthwaite corregido por Penman-Monteith

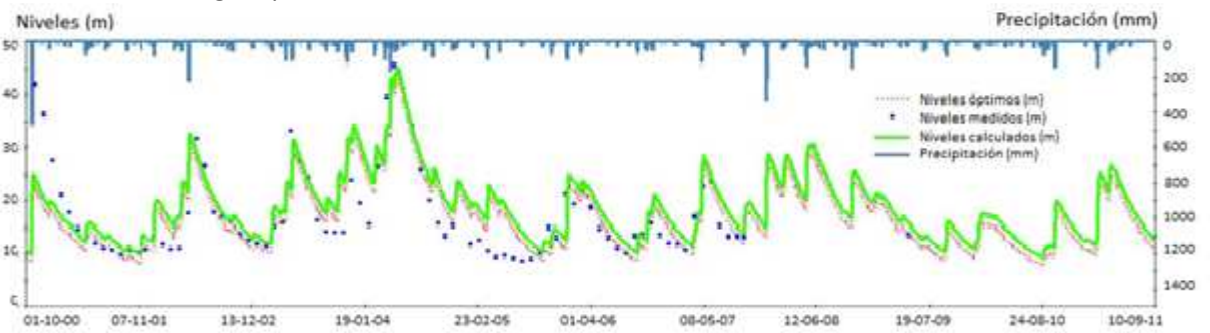


Figura A.7.2.1.k. Hidrograma de niveles calculados vs. niveles medidos y su ajuste en SZ5. Serie 2.

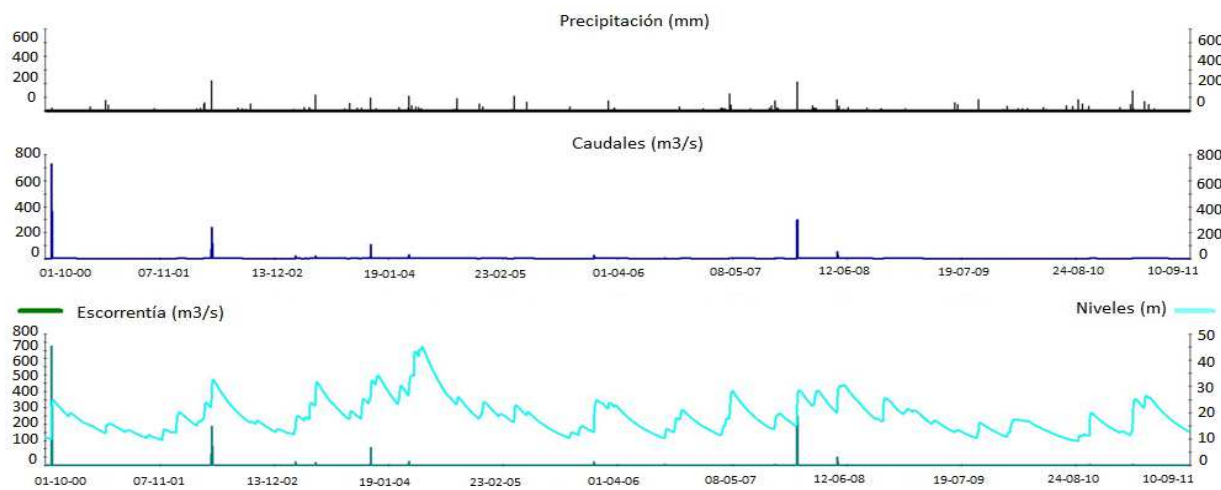


Figura A.7.2.1.l. Resultados diarios y mensuales de precipitación, caudales y escorrentía superficial en SZ5. Serie 2.



Tabla A.7.2.2. Error de ajuste en los niveles piezométricos (m snm) para cada subzona.

	SZ1	SZ2	SZ3	SZ4	SZ5	
					serie 1	serie 2
Penman						
error medio	0.22	0.19	-0.13	-2.82	0.78	-2.44
error cuadrático medio	0.997	0.954	2.59	5.96	2.85	5.76
Thornthwaite corregido por Penman-Monteith						
error medio	0.32	0.61	0.25	-2.07	2.12	-1.44
error cuadrático medio	0.94	1.16	2.48	5.71	3.36	5.21

El ajuste es aceptable en todos los hidrogramas tanto para Thornthwaite como para Thornthwaite corregido por Penman-Monteith. Para cuatro de las seis subzonas el error cuadrático medio es inferior aplicando el método de cálculo de la ETP por Thornthwaite corregido por Penman-Monteith, por lo tanto será dicho método el utilizado en la estimación de la recarga por precipitación mediante el balance de agua en el suelo con el código Visual Balan.

