



UNIVERSITAT DE  
BARCELONA

## El impacto del riego sobre las tierras de secano occidentales y meridionales de Cataluña. La afectación sobre el paisaje geográfico, la biodiversidad y las aguas superficiales y subterráneas

Ángel López Sánchez

**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.tdx.cat](http://www.tdx.cat)) i a través del Dipòsit Digital de la UB ([diposit.ub.edu](http://diposit.ub.edu)) 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 ni al Dipòsit Digital de la UB. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX o al Dipòsit Digital de la UB (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.tdx.cat](http://www.tdx.cat)) y a través del Repositorio Digital de la UB ([diposit.ub.edu](http://diposit.ub.edu)) 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 o al Repositorio Digital de la UB. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR o al Repositorio Digital de la UB (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.tdx.cat](http://www.tdx.cat)) service and by the UB Digital Repository ([diposit.ub.edu](http://diposit.ub.edu)) 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 nor its spreading and availability from a site foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository is not authorized (framing). Those 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.



**Facultat de Geografia i Historia**

Programa de doctorat

**Geografia, Planificació Territorial i Gestió Ambiental (HDKOT)**

**Tesis Doctoral**

El impacto del riego  
sobre las tierras de secano occidentales y meridionales de Cataluña.  
La afectación sobre el paisaje geográfico, la biodiversidad  
y  
las aguas superficiales y subterráneas

Volumen I

Ángel López Sánchez

Directores:

**Joan Tort i Donada**

**Salvador Tarragó i Cid**

**Tutor: Joan Tort i Donada**

Barcelona 2021-2022



La realización de una tesis es una victoria sobre uno mismo” J.Tort

Dedicada a: Ángel y Lola, a Dolores, a Patro y Domingo, Jacinto, Clemente, Solis, J.Rosique,  
y a mis amigo exploradores: Pite, J.Ramón, Pepe y a un gran coro de intercesores.



## Agradecimientos:

El documento que algunos de vosotros ojeareis, (no es frecuente que uno dedique su tiempo a leer tesis doctorales), es fruto de unos años de salidas de campo a la zona estudiada, entrevistas con personas destacadas de este ámbito, busca y lectura de una amplia bibliografía y de muchas horas intentando dar coherencia a miles de datos con la edición de mapas que (a modo de chuletas) me ayudaron a conocer mejor la realidad conforme progresaba en la “investigación”.

También es necesario mencionar las ayudas recibidas: sin duda los primeros de la lista son mis directores, y en particular el tiempo que me ha dedicado Salvador, en las largas tertulias filosofando sobre la Geografía, en su casa de Sant Cugat en el verano 2016, después como compañero de salidas de campo largas, unas en mangas de camisa recorriendo las murallas de Cervera un 16 de agosto y otras con anorak y gorros polares por la cuenca del Cercavins un 2 de febrero, comiendo a la intemperie y en refugios con poca protección y dedicando los cientos de Km recorridos a una incansable conversación sobre geografía, historia, y religión. A Joan, que ha corregido numerosas versiones, siempre mejorables y “el caos de la pre edición final” y a sus invitaciones para acompañarle como un alumno más en sus salidas de campo con los estudiantes.

A Josep María, siempre sonriendo y dispuesto a ayudar, sentados frente a una taza de té verde en el horno, escuchando mis “descubrimientos” y aconsejándome en las direcciones a seguir.

Sin la ayuda de Fina, no podría haber mejorado, corregido, y añadido aspectos enriquecedores a los mapas.

Sin la paciencia de Domnina, “en su colegio” haciendo y deshaciendo ediciones de los capítulos, en los que después de aparentemente finalizados, siempre había algo que añadir y reeditar.

También a la inestimable ayuda telepática, a cualquier hora y día, de Segismundo, sus conocimientos ergonómicos, informáticos me han sacado de apuros muchísimas veces, Se nota que, el haber trabajado juntos durante muchos meses en proyectos importantes, ponen de manifiesto la estima mutua que nos tenemos.

Jordi, también compañero de fatigas en muchos trabajos para romper rutinas, me ha ayudado haciendo de puente para facilitarme los contactos más importante durante este periodo.

A la Confederación Hidrográfica del Ebro, por las facilidades para el acceso a su base de datos analíticas y atender mis peticiones y consultas. Sin esta ayuda no se hubiera podido realizar la parte fundamental de este trabajo.

Alejandro, con su inteligencia e inestimable labor de corrección de casi todos los documentos, aunque fuera fin de semana.

A K, cansada de ver mi rincón de trabajo con tal cúmulo de “materiales intocables” que desentonaban con su estilo de buen gusto, orden y limpieza y además de tolerante con mis salidas de campo y a la biblioteca. Siempre ha sido el soporte en mi retaguardia, aunque casi nunca comprendía la importancia de mi avance continuo en la vanguardia. Si eso no había sido poca ayuda, al final con la rapidez de una incansable lectora ha corregido al galope, la totalidad del documento final.

Es necesario retroceder a los inicios, y recordar que la primera fuente de información, me la facilitó D. Ramón, con la gestión ante la autoridad competente, del préstamo durante la Navidad 2016/2017 de los 21 volúmenes de la Geografía comarcal y municipal de Cataluña, Bajo la única condición de que no me llevara nada más que los autorizados...

¿Y como nos vamos a olvidar de “xavi” ? cuantas veces habrá recordado que realmente lo que debía hacer era estar pescando, tampoco ha sido poca su ayuda silenciosa, cuando ha visto que el pez me tiraba al mar. Todo esto ha sido necesario para finalizar en mucho más tiempo del que yo pensaba la aventura geográfica cercana. Pero que ha servido como preparación para abordar la próxima aventura de África.

Gracias a todos, no son gracias vacías, quedo en deuda con cada uno de vosotros. Todos debemos sentirnos como contribuyente al conocimiento de la aproximación a la realidad de un trocito de 3.900 Km<sup>2</sup> de nuestro País.

Ángel López

## Breve resumen

La zona estudiada linda por el oeste con el curso del río Segre bajo. El progreso de la investigación se ha soportado sobre 80 mapas en formato A3, que se agrupan en el volumen II.

El marco geográfico se ha representado, dando una especial relevancia a la hidrología superficial: a) se identifican las subcuencas de los afluentes por el margen izquierdo del río Segre, b) las superficies de las zonas de recarga de los ríos y acuíferos, c) la pendiente del terreno paralelo al Segre medio y bajo, d) sección longitudinal cercana a la línea de partición de aguas entre las cuencas internas de Cataluña y la cuenca Segre-Ebro. e) El perfil longitudinal de los ríos, con el valor de la pendiente. f) Sobre los cursos de los ríos, se han realizado, en diversas zonas de cada uno, secciones transversales, que permiten ver las formas U o V de sus lechos, donde también se incluyen el perfil lineal de sus laderas.

En el marco territorial, separado por comarcas, se incluyen los usos del suelo agrícola, las producciones vegetales y su valorización. También la actividad ganadera y su localización. Por la importancia los puntos de extracción de aguas subterráneas se localizan sobre mapas y los balances de extracción por áreas hidrológicas.

Para poder estimar los efectos que podrían ocasionar las nuevas tierras puestas en regadíos, recurrimos a los datos públicos sobre los análisis de las aguas superficiales y subterráneas que realiza la CHEbro en la cuenca del Segre bajo, ya que presumiblemente podrían haber sido afectadas por los regadíos, las actividades agrarias y ganaderas que se realizan en la zona desde mediados del siglo XIX.

Se utilizan los resultados analíticos de 13 estaciones de control de las aguas superficiales (durante 37 años) y las de 80 puntos de control de las aguas subterráneas (durante 17 años).

Se forman las series históricas, de los parámetros básicos (conductividad, pH ) y, además, como mínimo de los 8 iones principales, 4 secundarios, 11 metales pesados, y tres familias pfs. Las series históricas, se tratan con el software hidro geoquímico LHA. Con los resultados se pudieron clasificar las aguas en la totalidad de los puntos de control. Parte de estos resultados se añadieron a las ediciones de los diversos mapas temáticos.

En las aguas superficiales se analizan por individualmente por puntos de control. En cambio, en las aguas subterráneas se realizan por la agrupación de puntos por áreas hidrológicas

Se estimar las cantidades de fertilizante utilizadas en la zona durante los últimos cinco años y las cantidades de PFs durante más de diez años. Se valora la compatibilidad entre estos el cambio de usos del suelo y la biodiversidad de la flora y la fauna.

Respecto al paisaje geográfico, en una zona de amplios espacios, como es la Depresión Central occidental catalana, basándonos en las observaciones realizadas durante los diferentes periodos vegetativos del año, se valora la modificación que sufre el paisaje.

Se utiliza como herramienta básica la búsqueda de correlaciones entre las actividades citadas y los resultados analíticos de las aguas, en cuanto a la presencia de sustancias no deseadas. Se insiste en la importancia de que de forma individual y general, tanto para las actividades agrícolas como las ganaderas se aplique la norma ISO 14046 sobre huella del agua. Podría ser una buena herramienta de gestión del uso del agua como estimulante del buen hacer de cada productor o empresario y productos finales.

## Short summary

The area studied borders on the west with the course of the lower Segre River. The progress of the investigation has been supported by 80 maps in A3 format, which are grouped in volume II.

The geographical framework has been represented giving special relevance to surface hydrology: a) the sub-basins of the tributaries are identified on the left bank of the Segre River, b) the surfaces



of the recharge zones of the rivers and aquifers, c) the slope of the terrain parallel to the middle and lower Segre, d) longitudinal section close to the water partition line between the internal basins of Catalonia and the Segre-Ebro basin.

In the territorial framework, separated by counties, the uses of agricultural land, vegetable production and its recovery are included.

In order to estimate the effects that the new irrigated land could cause, we resorted to public data on the analyses of surface and groundwater carried out by CHEbro in the lower Segre basin, since they could presumably have been affected by irrigation, agricultural and livestock activities carried out in the area since the mid-nineteenth century.

Analytical results from 13 surface water monitoring stations (over 37 years) and 80 groundwater monitoring points (over 17 years) are used.

The historical series are formed, of the basic parameters (conductivity, pH) and, in addition, at least of the 8 main ions, 4 secondary, 11 heavy metals, and three pfs families. The historical series are treated with the hydro geochemical software LHA.

The amounts of fertilizer used in the area during the last five years and the amounts of Phytosanitary products, for more than ten years are estimated. The compatibility between these changes in land use and the biodiversity of flora and fauna is valued.

Regarding the geographical landscape, in an area of wide spaces, such as the Catalan Western Central Depression, based on the observations made during the different vegetative periods of the year, the modification suffered by the landscape is assessed.

The search for correlations between the aforementioned activities and the analytical results of the water, in terms of the presence of unwanted substances, is used as a basic tool.

The importance of applying the ISO 14046 standard on water.

## **Índice del volúmenes I y II**

<b>PRIMERA PARTE: Fundamentos</b>	1
<b>1.Introducción.</b>	3
1. 1. Justificación de la investigación.	5
1.2. Alcance de la investigación.	11
1.3. Objetivos.	12
1.4. Estructura de la investigación.	13
1.4.1 Complemento de la estructura de la investigación.	13
1.5. Planteamiento de hipótesis.	15
<b>2. Bases teóricas y estado del arte.</b>	17
2.1. Introducción.	19
2.2. Fundamentos de la Geografía en general.	20
2.3. Tradiciones y corrientes en geografía.	
Tradición regional.	25
• Diferenciación regional.	25
• Paisajismo.	25
• Ordenación territorial.	25
• Tradición ambiental. Determinismo ambiental.	26
• Posibilismo.	26
• Ecologismo.	26
• Tradición espacial.	26
• Análisis localizacional.	26
• Organización espacial.	26
• Tradición humanística.	27
• Radicalismo.	27
• Estructuralismo.	27
• Las especialidades geográficas.	27
• La transferencia de data en tiempo.	27
<b>2.4. Campos de la Geografía rural</b>	27
• Evolución de la Geografía Rural.	28
• Primera etapa en el estudio de la Geografía Rural.	28
• Segunda etapa en el estudio de la Geografía Rural.	28
• Tercera etapa en el estudio de la Geografía Rural.	29
• Cuarta etapa en el estudio de la Geografía Rural.	29
• Quinta etapa en el estudio de la Geografía Rural.	29
• Sexta etapa en el estudio de la Geografía Rural.	30
• Séptima etapa en el estudio de la Geografía Rural.	31

•	<b>2.5. Estudios agrarios y de la ciencia del suelo.</b>	
	31	
2.5.1.	Edafología.	31
○	"Zonalidad"	31
•	La región natural, para Luis de Hoyos Sainz	31
•	Los "tipos de suelos" de Dantín Cereceda, Eduardo Hernández Pacheco.	32
•	Suelos rojos arenosos, producto de la descomposición.	32
•	Suelos rojos arcillosos, procedentes de la decalcificación de las rocas y la posterior rubefacción de los compuestos férrico.	32
•	Suelos esteparios salinos.	33
•	La introducción de la Ciencia del Suelo en España.	33
•	La perspectiva geográfica en la Ciencia del Suelo según Emilio Huguet del Villar.	33
•	Sus conceptos clave, como "factor geográfico", "valor ecético" "loco conexión", de la Geobotánica.	33
•	Características del factor geográfico de la Península.	34
•	La división de la península en Iberia húmeda e Iberia seca. Primeros intentos de sistemática de suelos. Geo-edafología.	34
•	De la geo-edafología a la geografía.	34
•	Los primeros mapas de suelos en los Estados Unidos el primero de ellos, publicado en 1841.	35
•	Instituto Español de Edafología, Ecología y Fisiología Vegetal 1942.	35
•	La cartografía de suelos en Cataluña, entre los años 1914 y 1923 "Instituto de Edafología y Fisiología Vegetal".	35
•	"Study of the soils of the Ebro valley". Cuatro provincias catalanas.	35
•	En la década de los 80, se vuelve a plantear en Cataluña "Sistema de Información edafológica y Agronómica de España".	35
•	Creación del Instituto Geológico de Cataluña.	36
•	Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña (ICGC).	36
•	El mapa de suelos de Cataluña, a escala 1: 25.000, instrumento diseñado por el Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña (ICGC).	36
•	"Guía metodológica para la redacción de los proyectos de cartografía de suelos a escala 1: 25.000".	36
2.5.2.	Componentes físicos de los suelos.	36
•	La figura del "complejo arcilloso húmico.	37
•	Los conceptos fundamentales: Absorción, Adsorción de los suelos.	38
•	El proceso del Intercambio de iones.	39
•	pH y reacción del suelo.	40
2.5.3.	El nitrógeno en la nutrición vegetal.	41

2.5.4. La función del fósforo en la planta.	42
2.5.5 La función del potasio en la planta.	44
2.5.6. Todos los seres vivos necesitan nutrirse.	47
En el proceso de nutrición de las plantas se distinguen las siguientes fases:	47
a) absorción y transporté de agua y iones minerales desde la raíz al xilema.	47
b) transporte del agua y iones minerales por el xilema	
c) intercambio de gases en las hojas.	
d) proceso de fotosíntesis	
e) transporte de materia orgánica por el floema.	
f) respiración celular.	
g) excreción de los productos de desecho del metabolismo.	47
<b>2.6. La función clorofílica</b>	<b>48</b>
• La glucosa y el almidón son los primeros compuestos que se obtienen de la función clorofílica.	48
• Picos de absorción en el espectro visible.	48
• La fase luminosa o reacción La fase luminosa o reacción.	48
• La fase oscura La fase oscura.	48
• ATP adenosín trifosfato y NADPH.	48
• Las reacciones de la fase oscuras son la fijación del carbono y el Ciclo de Calvin.	48
• La radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol.	50
• La radiación fotosintéticamente activa (RFA).	51
• Factores que influyen en la fotosíntesis:	51
Concentración de CO <sub>2</sub> .	
Humedad.	
Temperatura.	
Intensidad luminosa.	
Tipo de luz.	
<b>2.7. Marco de la problemática general de las zonas de regadío.</b>	<b>54</b>
• Significado y valor de los secanos españoles.	54
• FEOGA anualmente a España.	54
• Justificación del agua para la agricultura.	55
• La historiografía del regadío en España.	55
• A principios del siglo XX Joaquín Costa.	56
• El derecho consuetudinario.	56
• El Informe del Banco Mundial, el realizado en abril de 1963, a petición del Ministerio de Agricultura, por el Stanford Research Institute.	56
• El Plan de Desarrollo Económico y Social 1964-1967.	57
• El Informe conjunto del Banco Mundial y de la F.A.O.sobre la agricultura.	57
• La fuerte expansión del regadío en España.	57

<ul style="list-style-type: none"> <li>• En el marco actual, una gestión sostenible de nuestros regadíos deberá basarse en (MAPA):</li> <li>• Gestión inteligente.</li> <li>• Gestión sostenible.</li> <li>• Uso eficiente del agua.</li> <li>• Racionalización del consumo de agua para riego.</li> <li>• Mejora ambiental de las zonas de regadío.</li> <li>• Riego por aspersión, generalidad.</li> <li>• Riego localizado, generalidad.</li> </ul>	58 57
<b>2.8. Los sistemas de regadío agrícola. Durante los años 1955 a1964.</b>	<b>59</b>
2.8.1 Sistema de riego en el mundo:	60
Sistema por inundación o de gravedad.	
Por aspersión.	61
Por goteo o riego localizado.	
Características del riego localizado.	61
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ventajas de los sistemas de riego presurizados.</li> <li>• Desventajas de los sistemas de riego presurizados.</li> <li>• Impacto ambiental que pueden producir los regadíos.</li> <li>• Saturación y salinización.</li> <li>• Impactos sociales.</li> </ul>	62 63 63 64 65
2.8.2. El regadío en España y Cataluña.	65
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparación entre cataluña y las comarcas que se incluyen en el estudio.</li> </ul>	68
<b>3. Bases metodológicas.</b>	<b>71</b>
3.1 El ámbito del estudio: delimitaciones.	73
3.2. Materiales:	74
Equipos para trabajos de gabinete:	74
Para las salidas de campo.	75
3.3. Métodos.	75
3.3.1. Métodos específicos:	76
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fase 1ª DT1. Evolución del conocimiento geográfico.</li> <li>• Edición de mapas: formatos ESRI Shapefile (.shp).</li> </ul>	76
3.3.2. Fase 2ª DT2. El marco territorial.	79
Operaciones que componen el diagrama de trabajo DT2.	80
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fase 3ª DT3. Tipificación de las aguas por puntos de control.</li> </ul>	83
Operaciones que componen el diagrama de trabajo DT3.	84
4. El software LHA.	86
Alcance de las operaciones que se realizan en el DT3.	86

• Fase 4ª DT4 quimismo de las masas de aguas y presiones sobre territorio.	87
• Fase 5ª DT5 aguas superficiales.	89
Operaciones que compone el diagrama de trabajo DT5.	90
• Fase 6ª DT6. Aguas subterráneas.	91
• Operaciones que componen el diagrama de trabajo DT6	91
• Fase 7ª DT7. Edición de mapas.	93
• 3.4. Salidas de campo.	94
<b>4. El marco territorial.</b>	<b>95</b>
4.1 Delimitación y características de la zona estudiada.	
• El relieve: aspectos generales: Evolución historia geológica.	97
• Consideraciones particulares de la Depresión Central.	100
• Configuración general del territorio.	101
• Los materiales de la depresión.	104
• La red fluvial.	107
• Características básicas de la hidrología superficial.	107
4.2 El subsuelo: Algunas consideraciones sobre las perforaciones del IGME.	115
• Piezómetro de Massoteres.	116
• Piezómetro de Bellpuig.	118
4.3. La Noguera: visión de síntesis.	123
• El relieve.	123
• Las aguas.	124
• El clima.	126
• El sector agroganadero.	126
• Los cultivos.	127
• La ganadería.	129
• Los resultados económicos comarcales.	129
4.4 La Segarra: visión de síntesis.	131
• La morfología de relieve.	131
• Las aguas.	133
• El clima.	135
• El sector agroganadero.	136
• Los cultivos.	136
• La ganadería.	137
• Los resultados económicos comarcales.	138
4.5 L'Urgell: visión de síntesis.	139
• El marco físico.	139
• Las subcuencas.	141
• La cuenca del rio Ondara.	141
• La cuenca de la Ribera del Sió.	141

• El clima.	143
• Sector agroganadero.	145
• Los cultivos.	145
• La ganadería.	146
• Los resultados económicos comarcales.	146
4.6 Comarca del Pla d’Urgell: visión de síntesis.	149
• El relieve.	149
• Las aguas.	150
• El clima.	151
• El sector agroganadero.	152
• Los cultivos.	152
• La ganadería.	154
• Los resultados económicos comarcales.	154
4.7. La comarca del Segrià: visión de síntesis.	155
• El marco físico.	155
• Las aguas.	156
• El clima.	157
• El sector agroganadero.	158
• La agricultura.	158
• La ganadería.	159
• Los resultados económicos comarcales.	160
4.8.a) Comentario sobre la producción agraria en las cinco comarcas.	161
b) Comentario sobre resultados económicos en las cinco comarca.	164
<b>SEGUNDA PARTE: Resultados</b>	167
<b>5. El quimismo de las masas de agua y las presiones sobre el territorio</b>	169
5.1. Marco general. La protección y la gestión del agua (del Parlamento Europeo).	177
• Las Confederaciones hidrográficas.	177
• La Confederación Hidrográfica del Ebro.	177
5.1.1. Redes de control del Segre-Ebro.	179
5.1.2. Estaciones de control de la red CEMAS en la cuenca del Segre-Ebro.	179
5.2. Consideraciones metodológicas. Un apunte sobre proceso utilizado para la caracterización de las masas de aguas.	181
5.2.1. Diagrama del proceso operatorio parte DT3.	182
5.2.2 Series históricas consideradas en el perfil del rio Segre medio y bajo.	183



<b>5.3. Los diagramas hidroquímicos como herramienta clave.</b>	184
5.3.1. El diagrama Piper.	184
5.3.2. Diagrama poligonal Stiff.	186
5.3.3. Diagrama Schöeller.	188
5.3.4. Diagrama Wilcox.	189
5.3.5. Diagrama Riverside.	190
<b>5.3.6. Quimismo de las aguas superficiales.</b>	191
<b>5.4. El quimismo de las aguas subterráneas. Puntos de control considerados.</b>	194
<b>5.5. Clasificación de las aguas subterráneas en cada punto de control.</b>	196
<b>5.6. Los puntos de control de referencia (PCR).</b>	200
a) Piezometría en los PCR.	201
b) Conductividad eléctrica en los PCR.	202
c) pH en los PCR.	203
d) Anión nitrato valores en los PCR.	204
e) Anión sulfato en los PCR.	205
f) Anión cloruro en los PCR.	206
g) Anión bicarbonato en los PCR.	207
h) Cation calcio en los PCR.	208
i) Cation magnesio en los PCR.	209
j) Cation potasio en los PCR.	210
k) Cation sodio en los PCR.	211
<b>5.7. Los Puntos Control de Referencia con índice base 100 Gualter (IB100G).</b>	212
5.7.1. Aguas superficiales y subterráneas con Stiff y PCR IB100G.	213
<b>5.8. Las presiones sobre el territorio. Caracterización general.</b>	214
5.8.1. Los ecosistemas naturales y su modificación por el hombre.	214
5.8.2. Efectos de las obras públicas, en construcción de mejoras rurales.	215
a) Para el suelo.	216
b) Para el agua.	216
c) Para la flora.	216
d) Para la fauna.	216
5.8.3. Efectos de los regadíos.	219
5.8.4. Efectos de la utilización de agroquímicos en los suelos.	217
5.8.5. Efectos de la ganadería estabulada.	218
5.8.6. Presiones específicas de las obras públicas: canales.	220

a) Canales de Urgell (1862).	222
b) Canal Segarra-Garrigues (2009).	222
5.8.7. Presiones específicas: usos del suelo y vías de comunicación.	223
5.8.8. Presiones por extracción de agua subterránea.	224
5.8.9. Presión por construcción de estaciones depuradoras aguas residuales.	225
5.8.10. Presión de la agricultura por la ocupación de suelos.	227
5.8.11. Presiones derivadas del uso de agroquímicos, nutrientes y PFS.	227
a) Fertilizantes consumidos.	228
b) Productos fitosanitarios (Pfs) utilizados.	229
5.8.12. Presión que ejerce la ganadería en general.	231
5.8.13. Presión que ejerce la ganadería de explotaciones porcinas estabuladas.	232
5.9.14. Presión que ejerce la ganadería de explotaciones avícolas estabuladas.	233
5.9.15. Presión que ejerce la ganadería estabulada (según los censos conjuntos de porcino y aviar).	234
5.8.16. Presión derivada de los purines y estiércoles de la ganadería estabulada.	235
a) Presión por los purines.	235
b) Presión por el estiércol de avicultura (gallinaza).	237
5.8.17. Estimación del conjunto de presiones en la zona.	238
a) Presiones relacionadas con los Canales de Urgell.	240
b) Presiones relacionadas con el Canal Segarra-Garrigues.	245
c1) Zonas previstas originalmente para ser puestas en regadío con las aguas de ACS.	246
c2) Interferencias de las ZEPA, con el proyecto de regadío de CSG. Mapa desplegable 56, 1:220.000.	247
c3) Balsas de almacenaje y distribución del agua que quedan dentro de las ZEPA.	248
c4) Explotaciones de porcino que quedan dentro de las ZEPA.	249
c5) Explotaciones de avicultura que quedan dentro de las ZEPA.	249

d) Concesiones posteriores a parte de las tierras clasificadas como Zepa para que puedan ser regadas.	250
<b>6. Las aguas superficiales: análisis a partir de los puntos de control.</b>	<b>251</b>
6.1. Marco general.	255
6.2. Aspectos metodológicos.	254
Diagrama operatorio DT5.	255
<b>6.3. Primera parte: perfil del Segre medio y bajo.</b>	<b>257</b>
(Gualter, Boix, N. Pallaresa, Camarasa, Balaguer, Vilanova de la Barca, N. Ribagorçana, Lleida, Torres de Segre y Seròs).	
6.3.1 Conjunto de Segre medio y bajo, incluyendo los afluentes mayores.	257
6.3.2. Punto de control 114: Gualter (Segre medio).	261
6.3.3. Punto de control 2113: confluencia del río Boix con el Segre medio.	263
6.3.4. Punto de control 169: confluencia del río Noguera Pallaresa con el Segre medio.	265
6.3.5. Punto de control 810: Camarasa (Segre medio).	266
6.3.6. Punto de control 96: Balaguer (Segre bajo).	269
6.3.7. Punto de control 207: Vilanova de la Barca (Segre bajo).	273
6.3.8. Punto de control 627: confluencia del Noguera Ribagorçana con Segre bajo.	277
6.3.9. Punto de control 24: Lleida (Segre bajo).	279
6.3.10. Punto de control 219: Torres de Segre (Segre bajo).	281
6.3.11. Punto de control 25: Seròs (Segre bajo).	286
<b>6.4. Afluentes del Segre por su margen izquierdo, y derivación para el Canal Principal d'Urgell.</b>	<b>292</b>
6.4.1. Punto de Control 3005 (confluencia del río Llobregós con el Segre medio).	293
6.4.2. Punto de control 1304: confluencia del río Sió con el Segre bajo.	294
6.4.3. Punto de control 1119: confluencia de los ríos Corb y Ondara con el Segre.	297
<b>7. Las aguas subterráneas: análisis por áreas hidrológicas.</b>	<b>303</b>
7.1. Introducción al análisis de las aguas subterráneas.	305
Delimitación de las zonas a estudiar (Características generales de las cinco áreas).	306
7.2. Introducción a las áreas de estudio. Diagrama DT6.	308
• Área de estudio 1. Aluvial Segre bajo norte.	309

• Área de estudio 2. Aluvial del Segre bajo sur.	309
• Área de estudio 3. Aluvial d'Urgell.	309
• Área de estudio 4. Calizas de Tàrrega norte.	309
• Área de estudio 5. Calizas de Tàrrega sur.	309
<b>7.3. Área 1ª Aluvial del Segre bajo.</b>	<b>311</b>
Área 1ª del estudio. Análisis detallado. (PCR: 15, 16, 17, 18 y 19).	311
7.3.1. Punto de control 27: Ponts (Aluvial Segre medio).	312
7.3.2. Punto de control 62: Balaguer (Área 1ª).	313
7.3.3. Punto de control 5: Tèrmens. (Área 1ª)..	314
7.3.4. Punto de control 64: Vilanova de la Barca. (Área 1ª).	315
7.3.5. Punto de control 34: Torralameu. (Área 1ª Noguera Ribagorçana).	316
<b>7.4. Comentario/discusión del área 1ª. (Aluvial del Segre norte).</b>	<b>317</b>
7.4.1 Sustancias en el agua.	317
a) Nitratos.	317
b) Iones principales.	318
c/ Iones menores.	319
7.4.2. Correlaciones entre presiones y las sustancias en el agua.	323
a) Correlación con la presión de las extracciones de aguas subterráneas.	324
b) Correlación con la presión de los censos ganaderos.	326
<b>7.5. Área 2ª. Aluvial del Segre bajo sur.</b>	<b>316</b>
7.5.1. Punto de control 6: Lleida (Área 2ª).	333
7.5.2. Punto de control 59: Torres de Segre (Área 2ª).	334
7.5.3. Punto de control 53: Aitona (Área 2ª).	335
7.5.4. Punto de control 55: Massalcoreig (Área 2ª).	336
7.5.5. Punto de control 54: La Granja d'Escarp (Área 2ª).	337
<b>7.6. Comentario/Discusión del área 2ª.</b>	<b>338</b>
7.6.1. Sobre las sustancias en el agua.	338
a) Nitratos.	338
b) Iones principales.	340
7.6.2. Correlaciones entre presiones y las sustancias en el agua.	343
a) Presión de las extracciones aguas subterránea.	343
b) Correlación con la presión de los censos ganaderos porcino y aviar.	345

c) Conclusiones sobre las correlaciones.	346
<b>7.7. Ficha de área 3ª - Aluvial de Urgell.</b>	<b>349</b>
Área 3ª. Análisis detallado. (PCR: 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 y 32).	349
7.7.1. Punto de control 3: Bellvís (Área 3ª).	350
7.7.2. Punto de control 5: Bellvís (Área 3ª).	351
7.7.3. Punto de control 7: Mollerussa (Área 3ª).	352
7.7.4. Punto de control 8: Vila-sana (Área 3ª).	353
7.7.5. Punto de control 9: Golmés (Área 3ª).	354
7.7.6. Punto de control 10: Vilanova de Bellpuig (Área 3ª).	355
7.7.7. Punto de control 13: Castellnou de Seana (Área 3ª).	356
7.7.8. Punto de control 22: Anglesola (Área 3ª).	357
<b>7.8. Comentario/Discusión del área 3ª.</b>	<b>358</b>
7.8.1 Sustancias encontradas en las aguas.	358
a.1) PCR con una tendencia creciente al aumento de nitratos (NO <sub>3</sub> ).	358
a.2) PCR nitratos continúan en aumento.	359
b.1) Variación del contenido de iones en el agua.	359
b.2) Datos de los PCR situados en el Área Aluvial de Urgell.	360
c.) Distribución de los iones principales.	361
d.) Iones menores.	362
7.8.2. Correlaciones entre presiones y las sustancias en el agua.	364
a) Correlación entre la extracción de agua subterránea y el IB100G.	365
b) Correlación entre censos ganaderos porcino y aviar y el IB100G.	367
<b>7.9. Área 4ª. Calizas de Tàrrega norte.</b>	<b>372</b>
a) Breve descripción geológica.	372
b) Derechos consolidados para la extracción de aguas subterráneas.	373
7.9.1. División de la Segarra en las áreas 4ª y 5ª.	373
<b>7.10. Área de estudio 4ª. Análisis detallado</b>	
(PCR: 28, 72, 73, 78, 86, 84, 92, 94, 97).	376
7.10.1. Punto de control 28: Ivorra (Área 4ª).	377
7.10.2. Punto de control 72: Plans de Sió (Área 4ª).	378
7.10.3. Punto de control 73: Torreflor (Área 4ª).	379
7.10.4. Punto de control 78: Guissona (Área 4ª).	380

7.10.5. Punto de control 86: Les Oluges (Área 4ª).	381
7.10.6. Punto de control 84: Sant Guim de la Plana (Área 4ª).	382
7.10.7. Punto de control 92: Sant Guim de la Plana (Área 4ª).	383
7.10.8. Punto de control 94: Sant Guim de Freixenet (Área 4ª).	384
7.10.9. Punto de control 97: Plans de Sió (Área 4ª).	385
<b>7.11. Discusión/comentario.</b>	<b>386</b>
7.11.1. Sobre las sustancias encontradas en el agua.	386
a) Nitratos.	386
b) Iones principales.	389
c) Iones principales apilados.	390
d) Iones menores.	390
7.11.2. Correlaciones entre presiones y las sustancias en el agua.	393
a) Con la presión que ejerce la extracción de agua subterránea.	393
b) Con la presión que ejercen los censos ganaderos.	395
<b>7.12. Área 5: Calizas de Tàrrega Sur.</b>	<b>398</b>
a) Breve descripción geológica.	398
b) Extracciones de aguas subterráneas.	399
c) Área de estudio 5ª. Análisis detallado (PCR: 17, 18, 40, 41 y 46).	401
7.12.1. Punto de control 40: Montornés de Segarra (Área 5ª).	402
7.12.2. Punto de control 41: Montoliu de Segarra (Área 5ª).	403
7.12.3. Punto de control 46: Ribera de Ondara (Área 5ª).	404
7.12.4. Punto de control 17: Verdú (Área 5ª).	405
7.12.5. Punto de control 18: Verdú (Área 5ª).	406
<b>7.13. Comentario/discusión.</b>	<b>407</b>
7.13.1. Sustancias contenidas en el agua.	407
a) Nitratos.	407
b) Iones principales.	408
c) Iones secundarios o menores.	410
7.13.2. Correlaciones entre presiones y las sustancias en el agua.	411
a) La presión de las extracciones de las aguas subterráneas.	411
b) Con la presión de los censos ganaderos.	412
<b>7.14. Comparaciones entre las cinco zonas de estudio.</b>	<b>415</b>

7.14.1. Iones principales.	416
a) Comparación de los iones principales.	417
7.14.2 Relación entre el oxígeno disuelto y la materia orgánica.	419
7.14.3. Iones menores.	420
<b>7.15. Uso de fertilizantes.</b>	<b>422</b>
7.15.1. Almacenamiento de sustancias en las masas de aguas subterráneas.	427
<b>7.16. Metales pesados y Pfs en las aguas subterráneas.</b>	<b>429</b>
<b>7.17. Pfs presentes en las aguas subterráneas.</b>	<b>433</b>
<b>7.18. Correlaciones entre las extracciones de aguas y los contenidos de iones y sustancias en las masas subterráneas.</b>	<b>437</b>
<b>TERCERA PARTE: recapitulación</b>	<b>441</b>
<b>8. Discusión y conclusiones.</b>	<b>445</b>
8.1. Consideraciones generales.	
8.2. El Segre, río mediterráneo con agua de calidad y fuente de riqueza.	445
8.3. La naturaleza de las aguas superficiales.	447
8.4. La influencia de la pluviometría.	449
8.5. Régimen de utilización del agua.	450
8.6. Productos peligrosos encontrados en las aguas, sedimentos y biota.	45
8.7. Los efectos de las actividades antrópicas en las aguas subterráneas.	452
8.8. Piezometría y aptitud de las aguas para riego.	455
8.9. Nitratos encontrados en las aguas (NO <sub>3</sub> ).	455
8.10. Iones principales. Con valores significativos en las aguas.	456
8.11. Iones menores.	457
8.12. Sobre los efectos de las presiones sobre el territorio.	457
a) Primera presión.	457
b) Segunda presión.	457
c) Tercera presión.	458
d) Cuarta presión.	458

e) Quinta presión.	459
f) Sexta presión.	460
8.13. Resultados medidos en el Segre bajo, posiblemente debido al modelo agroganadero existente en la zona.	461
8.14. Metales pesados.	461
8.15. Correlación general entre los volúmenes de agua subterráneas extraídos y el conjunto de los índices considerados.	462
8.16. Sobre el cambio de usos del suelo en la Segarra.	463
8.17. Zonas de especial protección para las aves (ZEPAS).	463
8.18. Proyecto de regadío con aguas del Canal Segarra-Garrigues.	463
8.19. Espacios declarados como ZEPA y concesiones para el riego.	464
8.20. En la estación de control de Torres de Segre, se analizan además de la matriz agua, las matrices de sedimentos y biota.	465
8.21. Las actividades en las comarcas: resultados económicos.	466
<b>8.22. Epilogo.</b>	<b>467</b>
8.23. Propuestas de seguimiento de la investigación.	470
<b>8.24. Apunte final.</b>	<b>471</b>
<b>Bibliografía consultada.</b>	<b>475</b>
Libros.	477
Capítulos de libro.	484
Estudios e informes.	485
Artículos.	488
Tesis.	492
Trabajos de final de carrera.	491
Legislación.	494
Mapas.	497
Recursos informáticos.	498
<b>Anexo I</b>	<b>499</b>
<b>Identificación de los puntos de control de la CHEbro sobre las aguas superficiales y subterráneas sobre las que se ha basado la investigación</b>	
Identificación en las aguas superficiales.	499



Identificación en las aguas subterráneas.

503

## **Volumen II**

### **Mapas realizados**

Ochenta y seis mapas: Cuatro desplegables A4 múltiple, ochenta y tres en formato A3

Grupo a. Descripción de la zona estudiada (0 al 10)

Grupo b. Quimismo de las aguas (11 al 31)

Grupo c. Usos del suelo agrícola e infraestructuras hidráulicas (32, 33 al 33.13)

Grupo c2. Presiones sobre las aguas subterráneas (34 a 38 A)

Grupo d. Presiones de la agricultura (49 a 41)

Grupo e. Presiones de la ganadería (42 a 54))

Grupo f. Canal Segarra-Garrigues (55 a 63)

Grupo g. Zonas paisajísticas (64 y 65)

Grupo i. Resultados económicos en las comarcas (66 a 68)