

October 2014

**Metodología para el cálculo de variables hidrológicas. Proyecto SYWAG (System of Water Accounting in Guadalquivir River Basin)**

Authors: Perales, J.M., Borrego, M.M. & Berbel, J.

Language: Español

Working Paper. Departamento de Economía Agraria.  
Universidad de Córdoba, 2014



## Contenido

1. Resumen.....	4
2. Introducción y objetivos.....	6
3. Materiales y métodos .....	7
3.1. Estimación de la dotación de regadíos y retornos de agricultura.....	7
3.1.1. Información de partida.....	7
3.1.2. Análisis 'cluster' de las UAs de la Demarcación .....	9
3.1.3. Estimación de la dotación a regadíos y volumen de retornos referidos a 2008.....	9
3.1.4. Corrección de los valores de dotación y retorno de regadíos por superficie .....	10
3.2. Extracción de agua del suelo por la agricultura y actividad forestal.....	12
3.2.1. Materiales e información de partida.....	12
3.2.2. Metodología .....	13
3.3. Estimación de las pérdidas por evaporación desde embalses.....	14
3.3.1. Materiales e información de partida.....	14
3.3.2. Metodología .....	14
3.4. Estimación de las pérdidas por evaporación desde ríos .....	15
3.4.1. Materiales e información de partida.....	15
3.4.2. Metodología .....	15
3.5. Estimación de las emisiones originadas por la industria de saneamiento.....	16
3.5.1. Materiales e información de partida.....	16
3.5.3. Metodología .....	18
4. Resultados .....	20
4.1. Estimación de la dotación de regadíos y retornos de agricultura.....	20
4.2. Extracción de agua del suelo por la agricultura y actividad forestal.....	23
4.3. Estimación de las pérdidas por evaporación desde embalses.....	25
4.4. Estimación de las pérdidas por evaporación desde ríos .....	26

4.5. Estimación de las emisiones originadas por la industria de saneamiento.....	27
5. Conclusiones.....	29
6. Anexo.....	31
6.1. Estimación de la dotación de regadíos y retornos de agricultura.....	31
6.2. Estimación de las pérdidas por evaporación desde embalses.....	35
6.3. Estimación de las pérdidas por evaporación desde ríos.....	42
6.4. Estimación de las emisiones originadas por la industria de saneamiento.....	44
6. Referencias.....	48

Tabla 1. Superficie regada y fuente de información regadío. Fuente: Arguelles, Berbel y Gutierrez (2012) y elaboración propia.....	8
Tabla 2. Evolución de la superficie regada 2004-2012 (estimación propia).....	8
Tabla 3. Curvas de llenado de los embalses.....	14
Tabla 4. Concentración DBO5 en escorrentía urbana. Fuente: USEPA (1983).....	17
Tabla 5. HU sintético adimensional del US Bureau of Reclamation.....	19
Tabla 6. Concentración DBO5 en aguas residuales antes y después de tratamiento.....	20
Tabla 7. Conglomerados de Unidades de Agregación definidos.....	21
Tabla 8. Dotación de regadío ajustada por superficie.....	21
Tabla 9. Origen de los recursos hídricos destinados a regadío.....	22
Tabla 10. Retornos de regadío ajustados por superficie.....	22
Tabla 11. Eficiencia global de la cuenca estimada.....	22
Tabla 12. Volúmenes de retornos imputables a CHG y agricultura.....	23
Tabla 13. Extracción de agua del suelo por la agricultura de regadío.....	24
Tabla 14. Extracción de agua del suelo por la agricultura de secano.....	24
Tabla 15. Extracción de agua del suelo por el sector forestal.....	25
Tabla 16. Volumen evaporado desde los embalses.....	26
Tabla 17. Características de la red fluvial y superficie evaporante.....	27
Tabla 18. Volumen evaporado desde la red fluvial.....	27
Tabla 19. Coeficiente de escorrentía núcleo urbano de Córdoba.....	27
Tabla 20. Hidrograma de escorrentía urbana Córdoba 2006-2007.....	28
Tabla 21. Emisiones de DBO5 imputables a la industria de saneamiento.....	29
Tabla 22. Resultados análisis cluster con 5 conglomerados.....	31
Tabla 23. Resultados análisis cluster con 4 conglomerados.....	32
Tabla 24. Resultados análisis cluster con 3 conglomerados.....	33
Tabla 25. Evolución de la superficie de los conglomerados definidos.....	34
Tabla 26. Dotación bruta de regadío referida a la superficie de 2008.....	34
Tabla 27. Retornos de regadío referidos a la superficie de 2008.....	34
Tabla 28. Evaporación diaria media mensual 2004 (mm/día).....	35
Tabla 29. Evaporación diaria media mensual 2005 (mm/día).....	35
Tabla 30. Evaporación diaria media mensual 2006 (mm/día).....	35
Tabla 31. Evaporación diaria media mensual 2007 (mm/día).....	36

Tabla 32. Evaporación diaria media mensual 2008 (mm/día).....	36
Tabla 33. Evaporación diaria media mensual 2009 (mm/día).....	36
Tabla 34. Evaporación diaria media mensual 2010 (mm/día).....	37
Tabla 35. Volumen embalsado y ratio ponderado 2004.....	37
Tabla 36. Volumen embalsado y ratio ponderado 2005.....	37
Tabla 37. Volumen embalsado y ratio ponderado 2006.....	38
Tabla 38. Volumen embalsado y ratio ponderado 2007.....	38
Tabla 39. Volumen embalsado y ratio ponderado 2008.....	38
Tabla 40. Volumen embalsado y ratio ponderado 2009.....	39
Tabla 41. Volumen embalsado y ratio ponderado 2010.....	39
Tabla 42. Volumen evaporado desde embalses 2004.....	39
Tabla 43. Volumen evaporado desde embalses 2005.....	40
Tabla 44. Volumen evaporado desde embalses 2006.....	40
Tabla 45. Volumen evaporado desde embalses 2007.....	40
Tabla 46. Volumen evaporado desde embalses 2008.....	41
Tabla 47. Volumen evaporado desde embalses 2009.....	41
Tabla 48. Volumen evaporado desde embalses 2010.....	41
Tabla 49. Volumen evaporado desde embalses 2011.....	42
Tabla 50. Volumen evaporado desde embalses 2012.....	42
Tabla 51. Tramos de la red fluvial escogidos como muestra .....	43
Tabla 52. Volumen evaporado desde la red fluvial (2004-2007) .....	44
Tabla 53. Volumen evaporado desde la red fluvial (2008-2011) .....	44
Tabla 54. Hidrograma Unitario Sintético definido para la cuenca urbana de Córdoba.....	45
Tabla 55. Volúmenes de escorrentía urbana y emisiones de DBO5 (2004).....	45
Tabla 56. Volúmenes de escorrentía urbana y emisiones de DBO5 (2005).....	46
Tabla 57. Volúmenes de escorrentía urbana y emisiones de DBO5 (2006).....	46
Tabla 58. Volúmenes de escorrentía urbana y emisiones de DBO5 (2007).....	46
Tabla 59. Volúmenes de escorrentía urbana y emisiones de DBO5 (2008).....	47
Tabla 60. Volúmenes de escorrentía urbana y emisiones de DBO5 (2009).....	47
Tabla 61. Volúmenes de escorrentía urbana y emisiones de DBO5 (2010).....	47
Tabla 62. Volúmenes de escorrentía urbana y emisiones de DBO5 (2011).....	48
Tabla 63. Volúmenes de escorrentía urbana y emisiones de DBO5 (2012).....	48
Ilustración 1. Coeficientes de escorrentía según fuentes.....	17
Ilustración 2. Consumo y retornos de agua por el regadío del Guadalquivir .....	23
Ilustración 3. Mapa usos del suelo en la CHG .....	24
Ilustración 4. Red fluvial de orden superior y puntos de muestreo de anchura de cauce.....	26

## 1. Resumen

En este trabajo se han estimado los valores de un conjunto de variables hidrológicas requeridas en las tablas del sistema de información SEEA-W (UNSD, 2012) para la Cuenca del río Guadalquivir. Las variables evaluadas han sido: a) la dotación y b) retorno de regadíos, c) extracción de agua del suelo por la agricultura (secano y regadío) y actividad forestal, d) pérdidas por evaporación desde embalses y e) red fluvial y f) emisiones de DBO5 atribuibles a la industria de saneamiento (según criterio del SEEA-W). La serie de estudio comprende el intervalo 2003/04-2011/12, que contiene años de severa sequía meteorológica y otros de abundante precipitación.

Se han consultado diversas fuentes entre las que cabe mencionar el Plan Hidrológico del Guadalquivir (PHG) e información y datos hidrológicos aportados por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, (CHG) como los resultados del modelo SIMPA o cartografía relevante. La red foronómica del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) y la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM) han sido otras fuentes de información utilizadas para abordar determinadas estimaciones. Se han consultado diversos artículos científicos y otro tipo de documentos durante la elaboración de este trabajo.

En función de la variable considerada en cada momento y la información recabada se ha propuesto una metodología o adaptado otras existentes para cálculo de estas variables, descrita puntualmente en su sección correspondiente.

Los resultados consisten en series de valores (uno para cada año) de cada variable que serán trasladados a las tablas del proyecto SYWAG. El impacto de la sequía en la dotación a agricultura de regadío supone una reducción aproximada del 50%, según lo establecido en el protocolo de sequía. La estimación de retornos de agricultura de regadío de acuerdo a una eficiencia global de las unidades de agregación, seleccionada según intervalos de su dotación bruta, proporciona unos resultados que reflejan la existencia de riego deficitario en gran parte de la cuenca. La magnitud del resto de resultados pone de relieve la importancia de su estimación al tratarse de volúmenes significativos que son sustraídos de los recursos hídricos, o bien son emisiones que se incorporan al medio ambiente. Se ha incluido un anejo con resultados intermedios e información que se ha juzgado oportuna mostrar en el documento.



## 2. Introducción y objetivos

La cuenca hidrográfica del río Guadalquivir es un territorio del sur de la Península Ibérica de una extensión de 57,527 km<sup>2</sup>, con el Guadalquivir como río principal. Según el padrón del Instituto Nacional de Estadística (INE) referido al año 2005, la población residente en la cuenca asciende a 4,107,598 habitantes.

La precipitación media de la cuenca se sitúa en 573 mm con una alta variabilidad espacial como consecuencia principalmente de la heterogeneidad de la orografía. La precipitación medio oscila entre un máximo de 980 mm y un mínimo de 260. Se trata de una cuenca de marcado carácter mediterráneo con la presencia de un periodo estival caracterizado por la ausencia general de precipitaciones.

La variabilidad interanual es también muy acusada en esta cuenca en la que existe registro de numerosos años con una precipitación significativamente inferior o superior a la media, siendo más frecuentes los primeros. Los periodos de sequía a menudo consisten en varios años agrupados con escasez de precipitación, lo que supone todo un desafío para la gestión de los recursos hídricos.

La media aritmética de las aportaciones anuales a embalses está evaluada en 5,754 hm<sup>3</sup> de acuerdo a las series anuales que abarcan el periodo 1980/81-2005/06, no obstante, la mencionada variabilidad interanual queda patente observando los extremos de esta serie con un mínimo de 372 hm<sup>3</sup> y un máximo de 15,180 hm<sup>3</sup>.

La demanda consuntiva que aparece consignada en el Plan Hidrológico del Guadalquivir se cuantifica en 4,007.73 hm<sup>3</sup>, donde destacan los 436.41 hm<sup>3</sup> destinados al abastecimiento y sobresale especialmente la agricultura de regadío con un volumen de 3,504.06 hm<sup>3</sup>, existiendo leves diferencias en las estimaciones realizadas para el año 2015 tras la puesta en práctica de las medidas de ahorro. Estas cifras ponen de manifiesto la importancia del regadío en la utilización de los recursos hídricos de la cuenca y el lugar prominente que la agricultura de regadío debe ocupar en este proyecto.

Respecto a la agricultura de regadío cabe mencionar que su superficie ha experimentado un incremento notable en las últimas dos décadas, fundamentalmente a consecuencia de la puesta en riego de olivar que hasta entonces estaba concebido casi exclusivamente como cultivo de secano. La superficie regada en la actualidad supera ampliamente las 840,000 has y las previsiones del PHG para el horizonte de 2015 la sitúan en torno a las 880,000. En una cuenca con recursos limitados como ésta el incremento de superficie conlleva ineludiblemente una disminución de la dotación unitaria, lo que define otra de las señas de este territorio y es el predominio del riego deficitario.

El objetivo principal de este trabajo consiste en realizar una serie de estimaciones hidrológicas dentro del contexto del proyecto SYWAG, que pretende elaborar las cuentas según el método SEEAW. Las variables consideradas en este estudio son:

- Volumen de agua destinado a la agricultura de regadío en cada campaña y cálculo de los retornos.

- Extracción de agua del suelo por las actividades económicas agricultura de secano, agricultura de regadío y forestal.
- Pérdidas de agua por evaporación desde los embalses incluidos en la demarcación.
- Pérdidas de agua por evaporación desde la red fluvial.
- Emisiones de DBO5 imputables a la industria de saneamiento.

El periodo seleccionado se extiende desde el año 2003/04 hasta 2011/12. Se trata de una serie de años especialmente interesante porque reflejan las características climáticas antes citadas. Los años comprendidos entre 2005 y 2009 estuvieron marcados por la escasez de precipitaciones, en especial el año hidrológico 2004/05 donde se registraron de media únicamente 255 mm, lo que supuso un descenso sustancial de las aportaciones a los embalses. Por otro lado los años 2009/10 y 2010/11 fueron años muy húmedos, destacando el primero de ellos donde se alcanzó una precipitación media en la cuenca de 948 mm.

La elección de esta serie permite definir los siguientes objetivos secundarios:

- Analizar la influencia de la sequía padecida durante los años 2005-2009 en la dotación a la agricultura de regadío.
- Analizar la influencia de la modernización de regadíos.

## **3. Materiales y métodos**

### **3.1. Estimación de la dotación de regadíos y retornos de agricultura**

#### **3.1.1. Información de partida**

La preponderancia del regadío en la utilización de los recursos de la cuenca, como así se ha establecido en el anterior punto, denota la importancia que tiene el conocimiento con la mayor exactitud posible del volumen que cada campaña se destina al uso agrícola y en especial en un proyecto como es SEEAW. Desafortunadamente los datos que se publican no cubren la totalidad de la superficie regada, de modo que se debe recurrir a estimaciones para conocer este volumen de manera aproximada. A continuación se exponen las fuentes empleadas y el método que se ha elaborado para realizar esta estimación.

La principal fuente de información utilizada es el inventario de regadíos de 2008 (CAP, 2011) elaborado por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG) y Empresa Pública Desarrollo Agrario y Pesquero (DAP). Consiste en una base de datos que abarca 1604 registros o Unidades de Agregación (UA), conteniendo una detallada información de cada una, destacando el consumo bruto y neto, superficie regable y regada, superficie de cada cultivo presente, eficiencia actual y prevista, origen del agua de riego, etc. Este recurso ha resultado de gran utilidad y ha sido uno de los principales elementos para la estimación de las variables de este apartado.

Otro aspecto fundamental es la evolución de la superficie regada a lo largo del periodo de estudio. Esta información se ha obtenido a partir de varios informes. El primero de ellos es el trabajo llevado a cabo por la Sociedad Estatal Aguas de la Cuenca del Guadalquivir



(AQUAVIR) y DAP para el año hidrológico 2003/2004 (AQUAVIR, 2005), en el que mediante el análisis de imágenes satélite estimaron la superficie de la cuenca dedicada a cultivos en regadío. Otros documentos de interés han sido las encuestas realizadas por AQUAVIR en los años 2005, 2007 y 2010 así como las previsiones futuras. En el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir (RD 355/2013) también figura un valor de superficie regada así como una predicción para el horizonte de 2015. Sin embargo, entre la información que proporciona el Inventario de Regadíos, el PHG, el informe de regadíos y las encuestas de AQUAVIR existen ciertas discrepancias como se ponen de manifiesto en las tablas que se muestran a continuación.

Año	Superficie(Ha)	Notas
1950	114,229	Inventario AQUAVIR 2010 encuesta de campo
1958	168,017	Idem
1963	266,329	Memoria de CHG de 1963
1980	429,656	Inventario AQUAVIR 2010 encuesta de campo
1992	443,024	Plan Hidrológico de 1998
2002	648,570	ICRA 2002. Junta de Andalucía.
2004	714,015	Estudio AQUAVIR y DAP 2005
2005	829,943	Inventario AQUAVIR 2010 encuesta de campo
2008	846,796	Idem
2010	845,000	Idem
2021	(879,088)	Plan Hidrológico de Cuenca 2015-2021 (avance)

Tabla 1. Superficie regada y fuente de información regadío. Fuente: Arguelles, Berbel y Gutierrez (2012) y elaboración propia

Poniendo toda esta información en conjunto se ha considerado que la evolución de la superficie más probable es la siguiente. En los años en los que no se disponen datos se ha llevado a cabo una interpolación lineal entre aquéllos en los que sí hay valores de esta variable. En los primeros años de la serie se advierten incrementos de superficie muy bruscos que se deben en parte a cambios metodológicos en la estimación de esta superficie, según afirmaron técnicos de la CHG.

Año	Superficie regada (has)
2004	714,015
2005	829,943
2006	833,981
2007	838,018
2008	846,796
2009	851,409
2010	856,022
2011	860,635
2012	865,248

Tabla 2. Evolución de la superficie regada 2004-2012 (estimación propia)

Para la estimación del volumen de agua de riego se dispone de los archivos históricos de las campañas de regadío proporcionada por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG). Se trata de una base de datos en la se recogen los volúmenes brutos asignados a grandes zonas regables de la demarcación para cada campaña de riego. Dependiendo del año la superficie abarcada en estos documentos oscila entre 150,000 y 165,000 ha aproximadamente.

Por último se ha tenido en cuenta las consideraciones de la Instrucción de Planificación Hidrológica (RD 907/2007) para la estimación de retornos. La metodología seguida para la estimación de la dotación de regadíos se detalla a continuación.

### **3.1.2. Análisis 'cluster' de las UAs de la Demarcación**

En primer lugar se llevó a cabo un análisis por el método de agregación en cluster de las UAs a partir de las entradas del Inventario de Regadíos. Este estudio permite agrupar en conjuntos elementos que presenten similitudes de sus variables evaluadas de acuerdo a algún criterio. Como se explicará más adelante el objetivo de este análisis radica en ponderar el primer resultado de volumen de riego, referido a la superficie de 2008, en función de la evolución de la superficie de cada uno de los grandes grupos de cultivos en riego.

Las variables escogidas son la dotación bruta unitaria ( $m^3/ha$ ), superficie regada, porcentaje de superficie regada mediante gravedad, aspersión y sistema localizado, porcentaje de superficie dedicada a cereal, girasol, hortícolas, algodón, maíz, cítricos, olivar y arroz. La conformación de clusters se ha efectuado mediante un procedimiento jerárquico utilizando el método de Ward a través de la evaluación del cuadrado de la distancia euclídea. Este método permite al usuario decidir el número de soluciones o conjuntos deseados.

### **3.1.3. Estimación de la dotación a regadíos y volumen de retornos referidos a 2008**

A partir de la información de la base de datos histórica de regadíos se comprueba en cada campaña las UAs del Inventario de Regadíos para las cuales hay información de la dotación asignada. El volumen bruto teórico (recogido en el inventario de regadíos) de estas UAs se suma para conocer el volumen que se les sería concedido en un año medio. Con estos dos valores, el que figura en los históricos de riego y el que deriva de las UAs pertenecientes a las grandes zonas regables en el inventario de regadíos, se obtiene un índice. Dicho índice se aplica al resto de UAs del inventario obteniendo de este modo una estimación del volumen bruto asignado en una determinada campaña de riego. Se parte de la premisa de que la fracción de riego concedida en un año determinado dividido entre el volumen que le correspondería en el resto de UAs mantiene el mismo valor que el global de las grandes zonas regables, cifra que sí se conoce.

Es necesario mencionar que el inventario de regadíos incluye información del origen de agua de cada parcela, de donde se ha extraído ponderando por superficie el porcentaje de cada uno de los orígenes (superficial no regulado, superficial regulado, subterránea y reutilizada) de agua en las parcelas contenidas en cada UA. Esta información sirve para estimar los volúmenes asignados y su procedencia. Para este primer cálculo el volumen de agua reutilizada se considera que se mantiene inalterado por el índice de las zonas regables, es decir, no se ve afectado por este valor. El índice obtenido de los datos en las grandes zonas regables se aplica realmente a los volúmenes resultantes de la resta del volumen bruto teórico que le correspondería a la UA menos el volumen de agua reutilizada que recibe, de modo que el volumen bruto concedido a dicha UA sería la suma del agua reutilizada y este término. A continuación, para estimar los volúmenes según procedencia (excepto de agua reutilizada, estimada anteriormente) el valor hallado con el índice de zonas regables se multiplica por el porcentaje correspondiente a cada uno de los orígenes, previamente corregido al no considerar ahora el agua reutilizada.

La dotación de riego para la denominada “zona arrocera” es un valor que aparece en los históricos de riego y no es necesario aplicar el método descrito previamente. Para estimar el volumen distribuido a cada UA se pondera el volumen total de la zona arrocera por la dotación bruta que figura en el inventario de regadíos. El volumen por procedencia se halla igualmente multiplicando el volumen por el porcentaje correspondiente a cada origen.

En el inventario de regadíos aparece para cada UA un campo que corresponde con el volumen bruto en el momento de la elaboración de la base de datos, y otro volumen previsto para el año 2015. En caso de que en una UA este segundo volumen sea inferior al primero denota que se llevarán a cabo obras de modernización de regadíos. Se ha asumido que la modernización se inicia en 2008 (por lo tanto el volumen bruto actual corresponde a 2007) y finalizarán en 2015, por lo que para campañas entre estos dos años se ha interpolado linealmente el valor de volumen bruto.

Una vez estimadas las dotaciones brutas y dotaciones brutas unitarias de cada UA del inventario de regadíos se estiman los retornos producidos por el regadío. En primer lugar la IPH propone que se determinen mediante la diferencia entre el volumen bruto y neto, es decir, aplicando el coeficiente de eficiencia global de la cuenca. Esta opción fue descartada tras mantener una reunión con técnicos de la CHG y juzgar como excesivos estas cifras de retornos según su experiencia y conocimiento de la cuenca.

La IPH establece la siguiente alternativa para la estimación de estos retornos

*<<A falta de otros datos, se considerarán los siguientes retornos:*

*a) Dotaciones brutas anuales de riego inferiores a 6.000 metros cúbicos por hectárea: 0-5 por 100 de la demanda bruta.*

*b) Dotaciones brutas anuales de riego entre 6.000 y 7.000 metros cúbicos por hectárea: 5-10 por 100 de la demanda bruta.*

*c) Dotaciones brutas anuales de riego entre 7.000 y 8.000 metros cúbicos por hectárea: 10-20 por 100 de la demanda bruta.*

*d) Dotaciones brutas anuales de riego superiores a 8.000 metros cúbicos por hectárea: 20 por 100 de la demanda bruta.>>*

Éste fue finalmente el criterio sugerido por los técnicos de la CHG y el que se aplicó, tomando como coeficientes el punto medio del intervalo que propone la IPH. El consumo neto se calcularía como la diferencia entre el consumo bruto y los retornos. Conviene precisar que con esta metodología de cálculo de retornos el valor de eficiencia global de la cuenca se incrementa sensiblemente, pudiendo alcanzar en ocasiones el 93%.

### **3.1.4. Corrección de los valores de dotación y retorno de regadíos por superficie**

Con la metodología anterior se hallan los valores de volumen de regadío y retornos referida a la superficie de regadío existente en la campaña de 2008 (al estar trabajando con el inventario de regadíos, el cual fue elaborado para esa fecha). No obstante las estimaciones de estas variables deben reflejar el cambio que ha sufrido la superficie regada en la Demarcación durante el periodo de estudio, el cual no es en absoluto desdeñable, nos centramos en aumento de

superficie y mejora de eficiencia, el cambio de cultivos no ha sido posible incluirlo en el modelo aunque al disponer del valor medido de dotaciones servidas al 30% de la cuenca, entendemos que el error cometido es asumible para el resto de la cuenca no medida directamente.

Partiendo del análisis cluster llevado a cabo con las UAs del inventario se consigue una agrupación de estos elementos en conglomerados. Al conocer qué UAs pertenecen a cada conglomerado se halla la superficie que cada conjunto presenta en el año 2008. El interés de este estudio radica en predecir la evolución superficial de cada conglomerado, lo que en última instancia sirve para ponderar el volumen de regadío y retornos.

El aumento de superficie regada en la cuenca se ha asumido que se debe únicamente a la puesta en riego de olivar tradicional. Esta simplificación servirá para estimar la superficie de cada cluster. Conociendo en cada conglomerado o cluster la fracción de su superficie que constituye el olivar tradicional, el cambio de superficie registrado en la cuenca se reparte entre cada conglomerado de UAs en función de estos coeficientes. En este punto se realiza la simplificación de que estas fracciones de superficie de olivar tradicional permanece constante a lo largo de toda la serie.

El volumen de agua de regadíos y retornos referidos a la superficie 2008 hallados con el método expuesto en el punto anterior se completa especificando por conglomerados, es decir, sumando el volumen bruto estimado y retornos de las UAs adscritas a cada cluster. Estos valores se multiplican por un factor definido como la superficie de un determinado cluster dividido por la superficie de dicho cluster en el año 2008. Es decir, si en un determinado año la superficie del cluster es menor que en 2008 el consumo bruto y retornos del conglomerado se reducirán, aumentando en caso de que el conglomerado presente mayor superficie que en el año de referencia.

En un proyecto de estas características se debe ser escrupuloso en las estimaciones para no atribuir incorrectamente un uso de agua a las actividades económicas. Los retornos antes estimados comprenden tanto el volumen por parte de la Confederación, o retornos en alta, y los retornos imputables a la actividad agrícola propiamente dicha. Por ello se ha intentado repartir estos volúmenes de acuerdo al siguiente criterio: el volumen retornado durante la conducción corresponde a la actividad denominada “captación, tratamiento y distribución de agua”, mientras que los retornos generados durante la distribución y aplicación en parcela son asignados a la agricultura.

La información de la que se dispone para esta estimación son los coeficientes de eficiencia de cada UA. Aunque estos coeficientes no se han usado para el cálculo de retornos sí que van a ser útiles para este apartado. En primer lugar se parte de los valores de volumen bruto de cada UA estimadas mediante el procedimiento referido previamente. A continuación se definen dos índices, el primero es el coeficiente de eficiencia en conducción y el segundo un coeficiente de eficiencia que agrupa las eficiencias tanto de distribución como de aplicación en parcela. En cada UA del inventario de regadíos se calcula con estos índices el volumen retornado en conducción y en distribución y aplicación, y una vez se efectúa para todas las UA se suman obteniendo el volumen de retornos totales en conducción y distribución y aplicación que se generarían con esta estimación con coeficientes de eficiencia. Finalmente se observa qué proporción de retornos corresponde a la conducción (imputable a la actividad económica nº 36 según SEEAW) y cuál a distribución y aplicación en parcela, atribuyéndola a agricultura.

Se ha de puntualizar que los valores de eficiencia en el inventario de regadíos particularizando por conducción, distribución y aplicación sólo están disponibles hasta el año 2007 o en UAs que no han sido sometidas a modernización. Para UAs que sí muestran una reducción del consumo bruto en el año 2015 se estima la eficiencia global de la UA interpolando linealmente entre el consumo bruto actual (observado en el año 2007) y el previsto para 2015. Como el consumo neto que figura en el inventario permanece constante se halla la eficiencia global de la UA para el año de estudio con estos valores. Para hacer una estimación de la evolución de las eficiencias en conducción y distribución y aplicación en superficies modernizadas se ha recurrido a la siguiente simplificación:

En un año determinado la eficiencia global de una UA es

$$(EfCond2007 + X) \cdot (EfDistyApli2007 + Y) = EfGlobalUA \quad (1)$$

Esto indica que en un año entre 2008 y 2015 la eficiencia global de una UA se puede expresar como la eficiencia en la conducción que mostraba dicha UA en el año 2007 más un término que representa la mejora respecto de ese año en conducción, multiplicado todo ello por otro término que denota la eficiencia conjunta en la distribución y aplicación en parcela más la mejora respecto a 2007 que ha experimentado conjuntamente en distribución y aplicación. La estimación de las eficiencias se completa mediante una nueva simplificación que consiste en asumir la siguiente relación

$$\frac{X}{Y} = \frac{Vol. Retornos Conducción 2007}{Vol. Retornos Dist y Aplicación 2007} \quad (2)$$

Es decir, la relación entre los retornos estimados con los coeficientes de eficiencia para el año 2007 en la conducción dividido entre los retornos en la distribución y aplicación para ese mismo año se emplea para estimar la modernización en la UA con respecto al año 2007 (previo a la modernización), lo que significa que se pondrá más énfasis en la modernización de aquellos elementos que se encuentren en peor estado. Sustituyendo esta relación en la ecuación nº 1 se obtiene una ecuación de segundo grado. Resolviéndola se halla la eficiencia para el año en análisis y se procede del modo indicado anteriormente.

## 3.2. Extracción de agua del suelo por la agricultura y actividad forestal

### 3.2.1. Materiales e información de partida

El manual de SEEAW presenta la siguiente definición de esta variable: "*La extracción de agua del suelo incluye agua usada en la agricultura de secano que se computa como la cantidad de precipitación que cae en campos de cultivo. El exceso de agua, es decir, la parte no absorbida por los cultivos, se registra como flujo de retorno al medio ambiente desde los cultivos de secano*".

Se ha considerado que esta definición puede distorsionar el análisis al incluir como retornos tanto la escorrentía de lluvia como los retornos del agua de riego. Además esta información se ha juzgado redundante al tener que presentar unos valores muy similares en la tabla de balance de recursos hídricos (la superficie forestal y agrícola conforman casi la totalidad de la superficie de la demarcación si obviamos la superficie urbana, por lo que la escorrentía superficial más la recarga de acuíferos de la cuenca constituirían los retornos de estas dos actividades). En

consecuencia se ha tomado la decisión de adaptar esta definición y **estimar la extracción de agua del suelo como el volumen de agua de lluvia que es evapotranspirada por los cultivos, tanto de secano como de regadío, y por la vegetación de la zona forestal.**

La principal información de la que se dispone son las series ráster de resultados hidrológicos a escala mensual del modelo SIMPA (Simulación Precipitación-Aportación). Este modelo es la herramienta con la que las demarcaciones hidrológicas españolas evalúan los recursos hídricos disponibles. A modo de breve reseña SIMPA es un modelo de tipo conceptual y distribuido, que simula caudales medios mensuales en régimen natural en cualquier punto de la red hidrográfica de una cuenca. El tamaño de celda con el que opera es de  $1\text{km}^2$ . A partir de las precipitaciones, las evapotranspiraciones potenciales y los parámetros hidrológicos, el modelo obtiene los mapas de los distintos almacenamientos, humedad en el suelo y volumen de acuífero, y de las variables de salida del ciclo hidrológico, evapotranspiración y escorrentía superficial y subterránea. Por último mencionar que el modelo se basa en las ecuaciones para el cálculo de flujos y almacenamiento de agua en celdas planteado por Témez (1977).

Desde la CHG se nos facilitaron diversos archivos de información geográfica de interés. El primero de ellos es la cartografía del inventario de regadíos con la localización de cada una de las UAs. A este archivo vectorial hay que añadir la capa poligonal con los límites de la demarcación y la capa de cultivos, que abarca toda la superficie agraria útil de la cuenca, tanto secano como regadío. Con estos archivos más la capa de núcleos urbanos se puede generar las capas de superficie forestal y cultivos en secano (referenciada a 2008, ya que el inventario de regadíos data de esa fecha).

### 3.2.2. Metodología

Los resultados de SIMPA presentan limitaciones en las estimaciones de la evapotranspiración, especialmente para agricultura, que quizá desaconsejen su utilización en este proyecto. Por ejemplo, el coeficiente de cultivo que multiplica a la evapotranspiración potencial es invariable en el tiempo, de modo que no considera la fenología de los cultivos. Por otro lado, al tratarse de un modelo en régimen natural tampoco tiene en cuenta los aportes de riego que causan una modificación en el balance de agua. Para la zona de regadíos sería factible estimar el volumen de lluvia evapotranspirado por los cultivos ya que se dispone de una base de datos con información muy completa. Sin embargo, como los datos de SIMPA son imprescindibles para completar otros aspectos de este proyecto, como la tabla de balance de recursos hídricos, y por coherencia entre unas estimaciones y otras se ha preferido ceñirse a la información que proporciona el modelo hidrológico.

Una vez tomadas estas decisiones, el procedimiento de cálculo sería el siguiente: 1º) a partir de los mapas de evapotranspiración real mensual que ofrece SIMPA se ha generado un mapa de evapotranspiración real del año hidrológico en estudio, sumando los valores de los doce meses que presenta cada celda; 2º) con este nuevo "raster" se integran los valores de evapotranspiración real anual de las celdas contenidas en cada uno de los polígonos que componen las capas de información geográfica vectorial, que representan la superficie forestal, agrícola en secano y agrícola en regadío; 3º) El valor para la actividad forestal es definitivo al asumir que la superficie forestal se mantiene constante a lo largo del período de estudio; 4º) tanto para la agricultura de secano como para el regadío hay que ponderar estos valores con un

coeficiente que consiste en el cociente de la superficie de estas zonas en el año de estudio y la superficie que presentaba en 2008.

### 3.3. Estimación de las pérdidas por evaporación desde embalses

#### 3.3.1. Materiales e información de partida

El cálculo de esta variable se ha llevado a cabo mediante extrapolación de la información publicada en la red foronómica del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA). En este portal se puede acceder a los datos de la red evaporimétrica, que constan de un conjunto de tanques y/o piches evaporímetro, donde se puede consultar los valores medios mensuales diarios de evaporación de los embalses. No obstante el número de estaciones de esta red no es muy extenso y la serie acaba con el año hidrológico 2009-2010. Las estaciones que presentan datos al inicio del periodo de estudio son las ubicadas en los embalses de Bembézar, Huesna, Iznájar, Puebla de Cazalla y embalse de Yeguas. Existen tres estaciones más en los embalses de Sierra Boyera, Puente Nuevo y San Rafael de Navallana, pero las series comienzan a partir del año hidrológico 2008/2009 en uno de los casos y en los otros dos en 2009/2010. Por tanto se ha preferido descartar los datos de estas tres estaciones, ya que presentan un año hidrológico o en el mejor de los casos dos, y tomar la información de las otras cinco estaciones. En la red foronómica se puede consultar además el volumen embalsado a principio y final de mes en cada uno de los embalses de la red.

La CHG ha proporcionado los informes hidrológicos de los años abarcados en este proyecto, los cuales contienen la evolución mensual de los recursos embalsados en la cuenca.

El PHG contiene las curvas de llenado de estos embalses, que como se describirá en breve se utilizan para estimar la superficie de lámina libre de los embalses.

Bembézar	Volumen (hm <sup>3</sup> )	0.1	0.7	2	9	25.9	45.8	75.6	117.3	172.5	342.1
	Superficie (has)	11.8	33.6	50.2	107	202.4	304.2	446.2	601.5	777.8	1229.9
Huesna	Volumen (hm <sup>3</sup> )	0	1	6	10	15	35	50	71	98	135
	Superficie (has)	0	22	66	94	125	266	351	476	301	739
Iznájar	Volumen (hm <sup>3</sup> )	0	61	410	981	-	-	-	-	-	-
	Superficie (has)	0	870	1710	2670	-	-	-	-	-	-
P. Cazalla	Volumen (hm <sup>3</sup> )	0	10	20	30	40	50	60	70	80	-
	Superficie (has)	1.3	107	155	199	235	267	296	322	365	-
Yeguas	Volumen (hm <sup>3</sup> )	0	116	230.32	-	-	-	-	-	-	-
	Superficie (has)	0	632	948	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 3. Curvas de llenado de los embalses

#### 3.3.2. Metodología

Se han propuesto dos procedimientos de cálculo distinto dependiendo de la existencia o no de datos, es decir, uno para el periodo 2004-2010 y otro para los años 2011-2012. En el primero de ellos las estimaciones se realizan mes a mes del modo que se especifica a continuación.

Para un determinado mes y embalse de los que se disponen datos, se halla el valor medio embalsado en dicho mes como el promedio entre el valor embalsado registrado en el anuario al inicio y fin del mes. Posteriormente se estima la superficie de lámina de agua del embalse interpolando linealmente en las curvas de los embalses, y se multiplica por la altura de lámina de agua evaporada media mensual diaria que proporciona su correspondiente estación. De estos datos se extrae el ratio “volumen evaporado entre volumen embalsado”. Este procedimiento se repite para los otros cuatro embalses hallando cinco ratios por mes para el año en estudio. Finalmente se obtiene un ratio ponderando los otros cinco en función del volumen embalsado de cada uno. El índice ponderado se aplica al volumen embalsado total de la cuenca en ese mes que recoge el informe hidrológico del año en cuestión, obteniendo el volumen evaporado desde los embalses en cierto mes.

En los dos últimos años la evaporación se ha estimado a partir de los resultados generados previamente. Con los valores de volumen embalsado en la cuenca en un mes la evaporación se ha predicho mediante la definición de curvas de regresión donde la variable independiente es precisamente el volumen embalsado total en la cuenca para dicho mes, mientras que la variable dependiente es el volumen evaporado total en la cuenca o bien el ratio “volumen evaporado entre volumen embalsado”, escogiendo el que muestre un mejor ajuste. Las series de datos constan de 7 datos por mes.

### **3.4. Estimación de las pérdidas por evaporación desde ríos**

#### **3.4.1. Materiales e información de partida**

Al igual que la variable anterior, esta información es requerida en la tabla en la que se completa el balance anual de recursos hídricos. La información con la que se cuenta no es muy abundante. La CHG proporcionó una capa vectorial con los tramos de río de la Demarcación, clasificados según la jerarquía. Este concepto denota la entidad del tramo de río, siendo menor cuando toma el valor “1” y siendo máxima cuando adopta el valor “6”. Se cuenta también con las estaciones de la red evaporimétrica instalada en algunos embalses de la cuenca. Se han tomado los mismos valores de evaporación empleados para estimar la evaporación desde embalses.

#### **3.4.2. Metodología**

La metodología de cálculo consiste en estimar una superficie de lámina de agua en los cauces de ríos y multiplicarlo por un valor medio en la cuenca de altura de agua evaporada, obtenido de la red evaporimétrica ya mencionada. En consecuencia en el primer paso se estima la superficie de la red de desagüe. La capa de la red de desagüe recoge la longitud de los tramos, por lo que faltaría información de anchuras de lámina libre. Esto se ha subsanado seleccionando una muestra aleatoria de tramos de cada jerarquía y midiendo esta magnitud sobre imágenes satélite con la herramienta Google Earth. Con esta muestra se halla un valor medio de anchura de lámina para cada jerarquía. Generalmente, las jerarquías de tramos comprendidas entre 1 y 3 suelen tratarse de ramblas, arroyos y ríos estacionales que en verano no presentan caudal, por lo que se han descartado en este cálculo ya que los mayores valores de pérdidas por evaporación ocurren precisamente durante el estío.



El valor de anchura de lámina de agua obtenido se mantiene constante para hacer los cálculos durante todo el periodo de estudio. Este hecho no se ajusta a la realidad pero se trata de la única información a la que se ha podido acceder. La fecha de las imágenes que ofrecía Google Earth fue junio de 2011. Se considera que los valores obtenidos son conservadores en primer lugar porque se elimina superficie evaporante al suprimir los tramos estacionales, y segundo, porque la superficie de lámina de agua corresponde a la de un mes de verano, cuando tiene su valor más bajo. Si la anchura de lámina se hubiese obtenido en otra época del año la evaporación probablemente se habría sobreestimado, al producirse las mayores pérdidas por evaporación en los meses de verano.

### 3.5. Estimación de las emisiones originadas por la industria de saneamiento

#### 3.5.1. Materiales e información de partida

La industria de saneamiento es la responsable de la recogida de las aguas de lluvia que precipitan sobre las áreas urbanas. El exceso de esta agua se convierte en escorrentía que a menudo puede generar problemas de contaminación en los recursos hídricos al arrastrar numerosas sustancias como hidrocarburos, cianuros, metales y compuestos orgánicos medibles en términos de DBO o DQO.

El manual de SEEAW define la escorrentía urbana como "*la porción de la precipitación caída en zonas urbanas que no se evapora naturalmente ni es absorbida por los suelos, sino que fluye sobre la superficie de los suelos o bien subterráneamente, o bien por conductos, o es transportada mediante tuberías hacia un cauce definido de aguas superficiales o una instalación construida para facilitar la filtración.*" Al ser la industria de saneamiento la que recibe este exceso de agua, según el criterio de SEEAW las emisiones de contaminantes que proceden de la escorrentía urbana son imputables a esta industria.

Esta emisión es una variable de difícil estimación ya que hay mucha incertidumbre asociada a los cálculos. Es complicado hacer una caracterización de las aguas de escorrentía urbana, especialmente porque la concentración de las sustancias varía sensiblemente a lo largo de un chubasco, mostrando su máximo valor en los primeros instantes del evento y reduciéndose a medida que continúa la lluvia, dando lugar a una curva de concentración que depende de múltiples factores, como por ejemplo la intensidad de lluvia. Dadas estas dificultades se ha optado por caracterizar este tipo de escorrentía de acuerdo a un valor medio de concentración del contaminante y asumir que permanece constante durante todo el chubasco y es el mismo para todos los eventos de precipitación.

La U.S. Environmental Protection Agency (EPA) llevó a cabo un ambicioso proyecto de estudio de las aguas de escorrentía urbana en varias localizaciones de EEUU, que se denominó "Nationwide Urban Runoff Project" y que abordaba múltiples aspectos de la escorrentía urbana, y que finalmente acabó plasmándose en un completo informe en 1983. Este documento presenta unas tablas con las concentraciones medias de los eventos estudiados para unas sustancias "estándar".

En este trabajo el parámetro considerado es DBO<sub>5</sub>, para el que el informe de la EPA aconseja los siguientes valores

Pollutant	Residential		Mixed		Commercial	
	Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
BOD (mg/L)	10.0	0.41	7.8	0.52	9.3	0.31

Tabla 4. Concentración DBO5 en escorrentía urbana. Fuente: USEPA (1983)

Se ha seleccionado el valor medio que presenta la escorrentía urbana en zonas residenciales en este estudio (10 mg/L) para caracterizar estas aguas en las zonas urbanas de la cuenca del río Guadalquivir.

El otro estudio sobre el que en buena medida se ha apoyado este trabajo para este apartado es la publicación del U.S. Bureau of Reclamation titulada Flood Hydrology Manual (Cudworth, 1989), en el que propone un método de estimar la respuesta de una cuenca urbana a un hietograma de lluvia efectiva mediante la aplicación de un hidrograma unitario (HU) sintético, que es función del tiempo de retraso de tal cuenca y de la duración y volumen unitarios.

En esta sección se han utilizado también los datos de la estación meteorológica del aeropuerto de Córdoba, perteneciente a la red de estaciones principales de AEMET, y los ráster de precipitación que proporciona SIMPA. Estos datos están disponibles en la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM).

El Plan General de Ordenación Urbana de la ciudad de Zaragoza incluye un anejo donde se puede consultar los valores que diversas fuentes proponen para la determinación de coeficientes de escorrentía de áreas urbanas en función de su tipología. Estos valores se muestran en la siguiente tabla

COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA.							
TIPO DE ÁREA	S.I.H.	INSTRUCCIÓN	URALITA	A.S.C.E.	C.H.N.	OTROS	LARGA DURACION
LLUVIAS DE ...							
Población densa						0,75 a 0,95	
Casoo urbano con edificación muy densa			0,70 a 0,90				
Barrio antiguo con edificación densa			0,65 a 0,90				
Barrio moderno con muchos edificios			0,50 a 0,70				
Zona residencial densa						0,60 a 0,75	
Manzana cerrada	0,60 a 0,70	0,57 a 0,66				0,80	
Zona residencial de edificios aislados							
Zona residencial media						0,40 a 0,60	
Bloque aislado	0,40 a 0,50	0,43 a 0,52				0,40 a 0,60	
Zona residencial unifamiliar en extraradio			0,25 a 0,50			0,30 a 0,50	
Unifamiliar en hilera	0,30 a 0,40	0,31 a 0,41				0,40	
Unifamiliar aislada	0,20 a 0,30	0,24 a 0,33				0,40	
Alrededores de zonas residenciales						0,25 a 0,40	
<b>RESIDENCIAL</b>						0,50 a 0,70	
Barios periféricos							
Zona suburbana poco poblada			0,10 a 0,30				
Zona rural			0,05 a 0,25		0,50	0,10 a 0,25	
Viviendas/Ha							
0 a 5						0,10 a 0,25	0,50 a 0,60
5 a 10						0,25 a 0,35	0,60 a 0,80
10 a 25						0,30 a 0,50	0,80 a 0,90
25 a 50						0,40 a 0,70	1,00
50 a 100						0,65 a 0,80	1,00
100 a 150						0,75 a 1,00	1,00
> 150						0,70 a 1,00	1,00
<b>COMERCIAL</b>				0,70 a 0,95		0,70 a 0,95	1,00
Centrica				0,50 a 0,70		0,50 a 0,85	1,00
Periférica	0,60 a 0,70				0,70	0,60 a 0,90	
Intensiva	0,45 a 0,55				0,70	0,50 a 0,80	
Extensiva				0,50 a 0,80	0,70	0,50 a 0,80	1,00
<b>INDUSTRIAL</b>				0,50 a 0,80	0,70	0,50 a 0,80	1,00
Ligera				0,60 a 0,90	0,70	0,60 a 0,90	1,00
Pesada					0,80		
En ciudad			0,60 a 0,85				
De edificios aislados			0,25 a 0,60				
Deportiva				0,20 a 0,35		0,20 a 0,35	0,20 a 0,35
Parques y jardines				0,20 a 0,35		0,05 a 0,25	0,10 a 0,25
Cementerios				0,20 a 0,35		0,10 a 0,25	
Estaciones de ferrocarril						0,20 a 0,40	

Ilustración 1. Coeficientes de escorrentía según fuentes

Se contactó con un técnico de la E.D.A.R. de la Golondrina, en las cercanías de Córdoba, quien nos proporcionó una serie de datos acerca de la planta de tratamiento, como fueron el caudal medio de aguas residuales cuyo valor es 92,876.25 m<sup>3</sup>/día, y el caudal punta que admite la depuradora, siendo 10,000 m<sup>3</sup>/h.

### 3.5.3. Metodología

El procedimiento de cálculo incluye la estimación de dos volúmenes: el volumen de agua de escorrentía tratado por el sistema de saneamiento (que contiene una menor concentración de contaminantes) y el que se vierte directamente sin tratamiento (que presenta una mayor concentración). Conociendo el valor de concentración del contaminante en las aguas sin tratar y aplicando un porcentaje de reducción de la concentración en las aguas tratadas se consigue la estimación de los contaminantes aportados por la industria de saneamiento.

Como realizar estos cálculos para todos los núcleos urbanos es una tarea inviable la aplicación de esta metodología se ha limitado al área urbana de la ciudad de Córdoba, asumiendo un sistema unitario de recogida de aguas residuales y pluviales (muy común en la cuenca), y los resultados se han extrapolado al resto de áreas urbanas.

Con la salida que proporciona la aplicación del HU (una serie de caudales) y teniendo en cuenta las características del aliviadero de entrada y caudal medio de aguas residuales tratado por la E.D.A.R. de La Golondrina (el cual se toma como un caudal base) se estima el volumen de escorrentía urbana que es aceptado por la planta y que será sometida a un proceso de depuración, o que por el contrario es desviado por el bypass de la E.D.A.R. y no recibe tratamiento alguno. Las situaciones en las que la escorrentía urbana es derivada por el bypass ocurren cuando el caudal de escorrentía urbana más el caudal base de aguas residuales superan el caudal máximo que admite la E.D.A.R.

Primeramente se obtiene el hietograma de lluvia efectiva a partir de los datos meteorológicos y un coeficiente de escorrentía que se considera inalterable en el tiempo. Dicho coeficiente se determina discretizando y examinando el área urbana en polígonos mediante el análisis de imágenes satélite y asignándole un valor en función de la naturaleza de la superficie de cada polígono, extraídos de las fuentes citadas anteriormente. El valor elegido se encuentra dentro de los intervalos sugeridos pero teniendo en cuenta la presencia de una mayor o menor superficie de zonas verdes en los polígonos. Estos valores se ponderan de acuerdo a la superficie de cada polígono, hallando así un coeficiente de escorrentía general para el área urbana de Córdoba.

El principal parámetro del HU es el *tiempo de retraso* (o *tiempo lag*) definido como el lapso entre la mitad de la duración unitaria de la lluvia en exceso y el tiempo cuando ya pasó el 50% del escurrimiento directo por la salida de la cuenca. La expresión propuesta por Cudworth es

$$T_l = C_t \cdot \left( \frac{L \cdot L_{cg}}{\sqrt{S}} \right)^{0.33} = 14.435 \cdot n \cdot \left( \frac{L \cdot L_{cg}}{\sqrt{S}} \right)^{0.33} \quad (3)$$

$T_l$  es una variable medida en horas, mientras que  $C_t$  es 14.435 veces el coeficiente de rugosidad de Manning ( $n$ ).  $L$  es la longitud del cauce principal expresada en km,  $L_{cg}$  es la longitud sobre el colector principal desde la salida de la cuenca hasta el punto más cercano a su centro de gravedad, en km y  $S$  es la pendiente en promedio de  $L$  en m/m. El coeficiente de Manning es función del gasto y generalmente decrece con éste.

Otro factor importante en el modelo es la duración unitaria ( $D$ ) del HU sintético, que debe definirse de modo que permita captar el valor máximo de caudal que se genera. Por ello se define como  $T_l$  redondeando hacia el valor menor de los siguientes: 5, 10, 15 ó 30 minutos, y 1, 2, 3 ó 6 horas.

El HU unitario sintético se encuentra tabulado con valores adimensionales, siendo las abscisas de tiempo  $t^*$  definido como

$$t^* = \frac{100 \cdot t}{(T_l + 0.5 \cdot D)} \quad (4)$$

donde  $t$  es igual a la duración unitaria ( $D$ ) del HU. El gasto adimensional se expresa como

$$q^* = \frac{Q \cdot (T_l + 0.5 \cdot D)}{V_u} \quad (5)$$

siendo  $Q$  el caudal o gasto en  $m^3/s$  a la salida de la cuenca  $V_u$  el volumen unitario de escurrimiento directo generado por la cuenca de área  $A$  en  $km^2$  debido a un centímetro de exceso de lluvia, en  $m^3/s$ , estimado como

$$V_u = 0.11574 \cdot A \quad (6)$$

Hallando los valores de tiempo adimensional  $t^*$  se interpola en el HU unitario sintético tabulado del US Bureau of Reclamation, obteniendo  $q^*$ , de donde se despeja el gasto  $Q$  del HU sintético de nuestra cuenca. El HU sintético adimensional aparece en la tabla nº 6

$t^*$ (%)	$q^*$	$t^*$ (%)	$q^*$	$t^*$ (%)	$q^*$	$t^*$ (%)	$q^*$
5	0.64	65	17.32	150	7.22	340	1.28
10	1.56	70	19.27	160	6.27	360	1.11
15	2.52	75	19.74	170	5.55	380	0.97
20	3.57	80	20	180	4.92	400	0.84
25	4.36	85	19.74	190	4.39	425	0.69
30	5.8	90	19.27	200	3.93	450	0.58
35	6.95	95	17.72	220	3.24	475	0.49
40	8.38	100	16.12	240	2.67	500	0.41
45	9.87	110	13.08	260	2.3	525	0.34
50	11.52	120	11.31	280	1.98	550	0.29
55	13.19	130	9.63	300	1.71	575	0.24
60	15.18	140	8.27	320	1.79	600	0.21

Tabla 5. HU sintético adimensional del US Bureau of Reclamation

Los valores de los parámetros  $S$  y  $L$  se han extraído mediante un modelo digital de elevaciones y la capa de superficie urbana. En cambio  $L_{cg}$  se ha fijado probando valores y observando con cuál de ellos el modelo ofrecía unos caudales punta similares a los valores de entrada a la planta en eventos intensos facilitados por uno de los técnicos de la E.D.A.R., que los estimaba en torno a 15-20  $m^3/s$ .

Con los resultados del HU sintético hallamos las fracciones del volumen que recibe tratamiento y el que se vierte directamente al cauce respecto del total del volumen de escurrimiento urbano generado. La manera de extrapolar los resultados obtenidos en el núcleo urbano de Córdoba es mantener los valores de estas fracciones en toda la superficie urbana de la cuenca, de modo que obteniendo el volumen de exceso de precipitación en la totalidad del área urbana de la demarcación y aplicando estos coeficientes se obtendría una estimación del volumen de escurrimiento urbano tratado y no tratado.

El siguiente paso consiste en estimar el volumen de precipitación caído sobre la superficie urbana de la cuenca. Este cálculo se ha llevado a cabo procesando los mapas raster de precipitación de SIMPA y la capa poligonal de núcleos urbanos en la cuenca. El volumen de precipitación se multiplica por el coeficiente de escorrentía que se determinó para el área de Córdoba, haciendo la asunción de que la ciudad de Córdoba es representativa de la superficie urbana de la cuenca.

Se debe fijar el valor de concentración de  $\text{DBO}_5$  con el que las aguas de escorrentía urbana abandonan la planta de tratamiento y son vertidas al cauce. En medios acuáticos naturales a menudo es correcto asumir que las sustancias contaminantes (en este caso el parámetro  $\text{DBO}_5$ ) siguen una cinética de degradación de orden uno, lo que permite describir la evolución de la concentración en el tiempo como

$$\frac{dc}{dt} = -k \cdot c; \quad c = c_0 \cdot e^{-k \cdot (t-t_0)} \quad (7)$$

siendo  $k$  la constante cinemática de la reacción que depende de la sustancia y la temperatura, y  $c_0$  y  $t_0$  respectivamente la concentración y tiempo inicial. Esta última ecuación denota que la fracción de concentración respecto a la inicial que queda transcurrido un determinado tiempo para una misma sustancia y condiciones es igual independientemente de la concentración inicial. Aunque las ecuaciones previas sólo se aplican para entornos acuáticos naturales y no en estaciones depuradoras convencionales, se ha realizado la simplificación de que el parámetro  $\text{DBO}_5$  sufre el mismo porcentaje de reducción respecto a la concentración inicial con la que llega a una planta depuradora tanto en aguas residuales como en las aguas de escorrentía urbana.

Esta información se obtiene del portal del INE, donde aparecen recogidos los valores de concentración de contaminantes estándar en las aguas residuales por comunidad autónoma antes y después del tratamiento. Ponderando según la población que cada comunidad autónoma posee en la cuenca se elabora la siguiente tabla

GUADALQUIVIR		
DBO5 (mg/L)		
2004	228.06	16.75
2005	234.91	17.64
2006	236.75	19.42
2007	252.67	15.94
2008	250.19	16.42
2009	235.32	13.31

Tabla 6. Concentración  $\text{DBO}_5$  en aguas residuales antes y después de tratamiento

## 4. Resultados

### 4.1. Estimación de la dotación de regadíos y retornos de agricultura

El análisis cluster de la cuenca permite agrupar las UAs del inventario de regadíos en un número de conglomerados variable, en este caso se han fijado soluciones para 3, 4 y 5 clusters. En las tablas nº 23 a 25 se aprecia una variación entre clusters más evidente cuando se realiza

una división en tres conglomerados, así que se ha tomado esta partición de la superficie de riego para continuar el análisis. El segundo de los conjuntos está dominado por el cultivo del olivar tradicional y consta de 401,345.1 has, y destaca la elevada superficie a la que se le aplica riego localizado. El tercer conglomerado es más reducido y corresponde con la zona arroceras, extendiéndose en 37,725.29 has en donde prevalece el método de aplicación superficial. El primer grupo de UAs obtenido es el de mayores dimensiones (407,726.28 has) y no se observa la preponderancia de ningún cultivo, estando bien representados los cultivos de cereal, hortícolas y olivar tradicional. Este último cluster se ha denominado “vegas y campiñas”.

Nótese que los porcentajes de superficie de los cultivos que aparecen en las tablas son la media aritmética de los porcentajes en cada UA de la superficie del cultivo respecto al área que ocupa dicha UA, razón por la que varía ligeramente con los datos relativos a la superficie de olivar tradicional que se presentan en la siguiente tabla, obtenidos del examen de las UAs que pertenece a cada conglomerado.

	C1 (vegas y campiñas)	C2 (olivar)	C3 (arrozal)
<b>Superficie (has)</b>	407,726.30	401,345.10	37,725.30
<b>Prop. Olivar clase</b>	15.82	80.88	0.00
<b>Superficie Olivar trad.(has)</b>	64,498.61	324,622.75	0.00
<b>Prop. sobre total (%)</b>	<b>16.58</b>	<b>83.42</b>	<b>0.00</b>

Tabla 7. Conglomerados de Unidades de Agregación definidos

Como ya se indicó en el apartado de metodología, asumiendo que el incremento de superficie regada deriva únicamente de la puesta en regadío de olivar tradicional, con los resultados anteriores se deduce la evolución de la superficie de los cluster que refleja la tabla nº 26. Los consumos referidos a la superficie de 2008 se pueden consultar en la tabla nº 27. Utilizando los resultados de estas dos últimas series de resultados se ha generado la serie de dotación bruta de la agricultura de regadío, como se comprueba en la tabla 9.

	Consumos ajustados por superficie			Consumo bruto total (hm <sup>3</sup> )
	Cons. bruto C1 (hm <sup>3</sup> )	Cons. bruto C2 (hm <sup>3</sup> )	Cons. bruto C3(hm <sup>3</sup> )	
<b>2004</b>	1,610.34	477.37	552.08	<b>2,639.78</b>
<b>2005</b>	2,177.76	830.23	533.08	<b>3,541.08</b>
<b>2006</b>	997.11	397.16	368.34	<b>1,762.61</b>
<b>2007</b>	973.51	385.32	327.08	<b>1,685.91</b>
<b>2008</b>	964.78	385.81	410.72	<b>1,761.32</b>
<b>2009</b>	1,413.97	568.31	539.03	<b>2,521.31</b>
<b>2010</b>	1,366.38	552.22	708.79	<b>2,627.40</b>
<b>2011</b>	1,466.83	604.12	508.59	<b>2,579.53</b>
<b>2012</b>	1,936.41	800.43	479.15	<b>3,215.99</b>

Tabla 8. Dotación de regadío ajustada por superficie

El volumen de recursos desglosado según su procedencia se muestra en la siguiente tabla

	Superficial No Regulado (hm <sup>3</sup> )	Superficial Regulado (hm <sup>3</sup> )	Subterráneo (hm <sup>3</sup> )	Reutilizado (hm <sup>3</sup> )	Cons. bruto total (hm <sup>3</sup> )
<b>2004</b>	238.60	1,830.49	557.54	13.15	2,639.78
<b>2005</b>	345.86	2,338.87	840.07	16.28	3,541.08
<b>2006</b>	162.10	1,188.83	395.30	16.38	1,762.61
<b>2007</b>	157.33	1,128.26	383.83	16.49	1,685.91
<b>2008</b>	158.05	1,196.21	390.44	16.61	1,761.32
<b>2009</b>	230.61	1,697.83	576.26	16.62	2,521.31
<b>2010</b>	227.38	1,808.73	574.66	16.62	2,627.40
<b>2011</b>	239.75	1,712.19	610.97	16.63	2,579.53
<b>2012</b>	312.11	2,082.26	804.99	16.63	3,215.99

Tabla 9. Origen de los recursos hídricos destinados a regadío

Los retornos de regadío para la superficie de 2008 figuran en la tabla nº 28, a partir de la cual se han obtenido los retornos ajustados por superficie, como se presenta a continuación

	Retornos ajustados por superficie			Retornos regadío (hm <sup>3</sup> )
	Retornos C1 (hm <sup>3</sup> )	Retornos C2 (hm <sup>3</sup> )	Retornos C3(hm <sup>3</sup> )	
<b>2004</b>	70.9	11.9	110.4	<b>193.2</b>
<b>2005</b>	186.5	20.8	106.6	<b>314.0</b>
<b>2006</b>	25.0	9.9	73.0	<b>107.9</b>
<b>2007</b>	24.4	9.6	62.6	<b>96.6</b>
<b>2008</b>	24.2	9.6	82.1	<b>116.0</b>
<b>2009</b>	45.3	14.2	107.8	<b>167.3</b>
<b>2010</b>	40.5	13.8	141.8	<b>196.1</b>
<b>2011</b>	62.4	15.1	101.7	<b>179.2</b>
<b>2012</b>	110.8	20.0	95.8	<b>226.7</b>

Tabla 10. Retornos de regadío ajustados por superficie

Hallados los retornos el consumo neto de los regadíos se estima sustrayendo estos volúmenes al consumo bruto previamente obtenido, con lo que se puede estimar una eficiencia global de la cuenca como se comprueba a continuación. Obsérvese el aumento de la misma los años de sequía.

	Consumo bruto total (hm <sup>3</sup> )	Retornos regadío (hm <sup>3</sup> )	Consumo neto total (hm <sup>3</sup> )	Eficiencias estimadas
<b>2004</b>	2,639.78	193.22	2,446.56	0.93
<b>2005</b>	3,541.08	313.98	3,227.10	0.91
<b>2006</b>	1,762.61	107.92	1,654.69	0.94
<b>2007</b>	1,685.91	96.60	1,589.32	0.94
<b>2008</b>	1,761.32	115.98	1,645.34	0.93
<b>2009</b>	2,521.31	167.30	2,354.01	0.93
<b>2010</b>	2,627.40	196.07	2,431.32	0.93
<b>2011</b>	2,579.53	179.19	2,400.34	0.93
<b>2012</b>	3,215.99	226.66	2,989.33	0.93

Tabla 11. Eficiencia global de la cuenca estimada

Siguiendo el procedimiento mencionado en el punto anterior para discernir entre retornos imputables a la industria de captación y distribución y la agricultura se ha elaborado la siguiente tabla con los resultados

	Retornos regadío (hm <sup>3</sup> )	Coef Ponderación Alta (CHG)	Coef Ponderación Baja	Retornos regadío CHG (hm <sup>3</sup> )	Retornos agricultura de regadío (hm <sup>3</sup> )
<b>2004</b>	193.2	0.4149	0.5851	<b>80.17</b>	<b>113.06</b>
<b>2005</b>	314.0	0.3972	0.6028	<b>124.71</b>	<b>189.27</b>
<b>2006</b>	107.9	0.4207	0.5793	<b>45.40</b>	<b>62.52</b>
<b>2007</b>	96.6	0.4107	0.5893	<b>39.67</b>	<b>56.92</b>
<b>2008</b>	116.0	0.4199	0.5801	<b>48.70</b>	<b>67.28</b>
<b>2009</b>	167.3	0.4004	0.5996	<b>66.99</b>	<b>100.31</b>
<b>2010</b>	196.1	0.4115	0.5885	<b>80.68</b>	<b>115.39</b>
<b>2011</b>	179.2	0.3680	0.6320	<b>65.94</b>	<b>113.25</b>
<b>2012</b>	226.7	0.3374	0.6626	<b>76.48</b>	<b>150.19</b>

Tabla 12. Volúmenes de retornos imputables a CHG y agricultura

La ilustración siguiente muestra los valores de consumo de agua de lluvia (Green water), agua de riego (Blue water) y retornos estimados para el regadío (2004-2012).

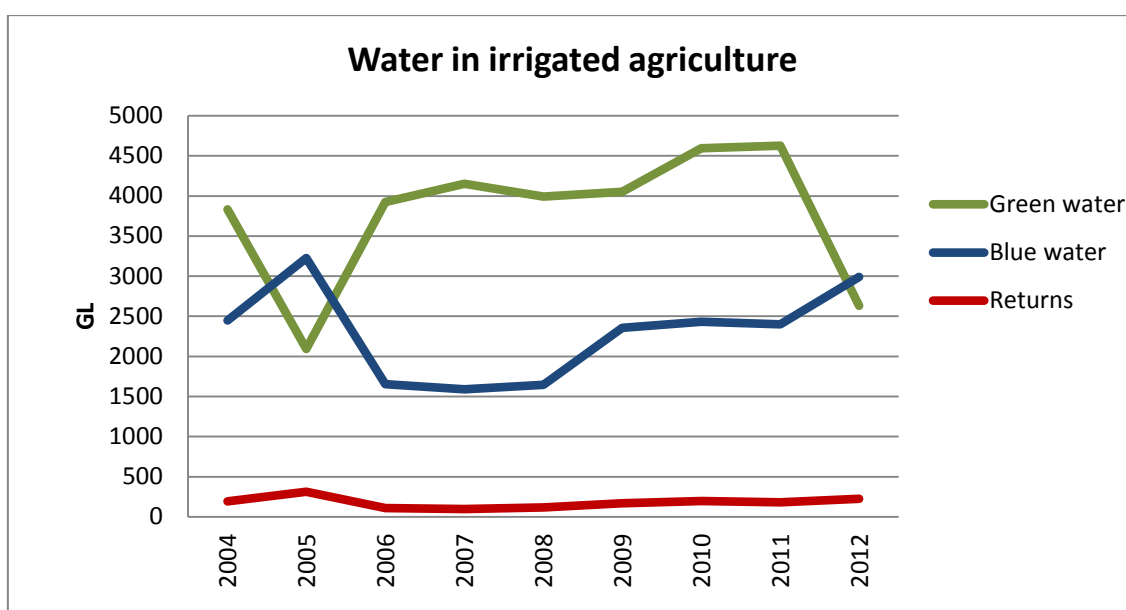


Ilustración 2. Consumo y retornos de agua por el regadío del Guadalquivir

## 4.2. Extracción de agua del suelo por la agricultura y actividad forestal

En la siguiente figura se pueden apreciar las regiones de la cuenca declaradas como superficie forestal, agrícola en secano y agrícola en regadío. Como ya se expuso previamente se considera que la superficie forestal permanece constante y que la agricultura de regadío y secano sí sufrirán cambios en su extensión, siendo necesario modificar los resultados de la integración de la evapotranspiración real de las celdas que constituyen estas dos áreas.



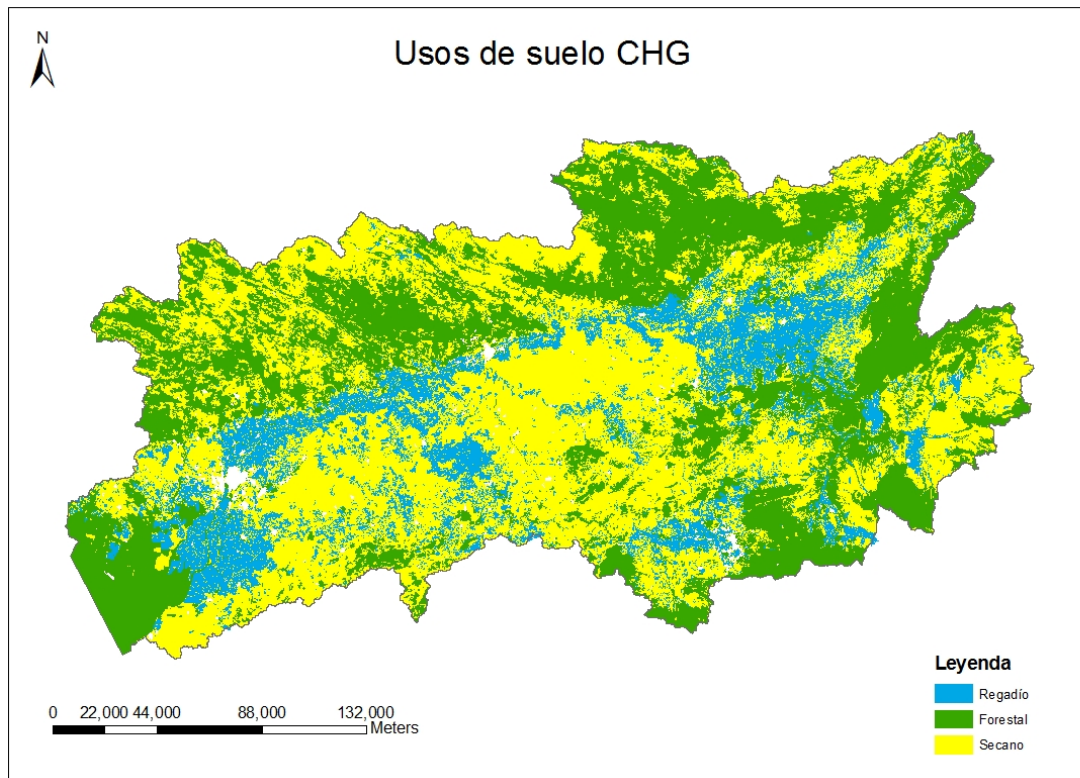


Ilustración 3. Mapa usos del suelo en la CHG

<b>Soil Water Agricultura de regadío</b>				
	Sup Regadío (has)	Etr referencia 2008 (hm <sup>3</sup> )	Etr corregida (hm <sup>3</sup> )	Etr corregida media (mm)
2004	714,015	4,545.35	<b>3,832.62</b>	<b>536.77</b>
2005	829,943	2,133.33	<b>2,090.88</b>	<b>251.93</b>
2006	833,981	3,982.82	<b>3,922.54</b>	<b>470.34</b>
2007	838,018	4,195.88	<b>4,152.38</b>	<b>495.50</b>
2008	846,796.70	3,990.11	<b>3,990.11</b>	<b>471.20</b>
2009	851,409.74	4,029.91	<b>4,051.86</b>	<b>475.90</b>
2010	856,022.79	4,543.32	<b>4,592.82</b>	<b>536.53</b>
2011	860,635.83	4,551.19	<b>4,625.57</b>	<b>537.46</b>
2012	865,248.87	2,575.11	<b>2,631.22</b>	<b>304.10</b>

Tabla 13. Extracción de agua del suelo por la agricultura de regadío

<b>Soil Water Agricultura de secano</b>				
	Sup Secano (has)	Etr referencia 2008 (hm <sup>3</sup> )	Etr corregida (hm <sup>3</sup> )	Etr corregida media (mm)
2004	2,855,306.97	13,876.28	<b>14,589.01</b>	<b>510.94</b>
2005	2,739,378.97	7,353.57	<b>7,396.03</b>	<b>269.99</b>
2006	2,735,341.30	12,775.14	<b>12,835.42</b>	<b>469.24</b>
2007	2,731,303.64	13,334.49	<b>13,377.99</b>	<b>489.80</b>
2008	2,722,525.27	12,627.23	<b>12,627.23</b>	<b>463.81</b>
2009	2,717,912.23	12,628.83	<b>12,606.88</b>	<b>463.84</b>
2010	2,713,299.18	13,873.31	<b>13,823.81</b>	<b>509.48</b>
2011	2,708,686.14	13,809.04	<b>13,734.66</b>	<b>507.06</b>
2012	2,704,073.10	8,856.36	<b>8,800.25</b>	<b>325.44</b>

Tabla 14. Extracción de agua del suelo por la agricultura de secano

	Soil Water Forestal		
	Sup Forestal (has)	Etr (hm <sup>3</sup> )	Etr media (mm)
2004	2,131,790	<b>10,559.82</b>	<b>495.35</b>
2005	2,131,790	<b>5,901.43</b>	<b>276.83</b>
2006	2,131,790	<b>9,795.58</b>	<b>459.50</b>
2007	2,131,790	<b>10,409.53</b>	<b>488.30</b>
2008	2,131,790	<b>9,758.70</b>	<b>457.77</b>
2009	2,131,790	<b>9,542.11</b>	<b>447.61</b>
2010	2,131,790	<b>10,741.24</b>	<b>503.86</b>
2011	2,131,790	<b>10,463.89</b>	<b>490.85</b>
2012	2,131,790	<b>7,153.01</b>	<b>335.54</b>

Tabla 15. Extracción de agua del suelo por el sector forestal

### 4.3. Estimación de las pérdidas por evaporación desde embalses

En esta sección se presenta primero las curvas de regresión determinadas para los años hidrológicos 2010/11-2011/12, mientras que la tabla 17 contiene los resultados de toda la serie. En el anejo se incluyen un conjunto de tablas donde para cada año se muestran en primer lugar la evaporación diaria medida en las estaciones evaporímetricas, el volumen almacenado en cada uno de los embalses y el ratio ponderado “volumen evaporado entre volumen embalsado”. En segundo lugar se han elaborado unas tablas, también recogidas en el anexo, con el volumen medio mensual almacenado en la cuenca, tomado de los informes hidrológicos anuales y la estimación del volumen evaporado como resultado de aplicar a estos volúmenes el ratio ponderado hallado.

- *Octubre*  $Vol. evap. (hm^3) = 5.254 + 0.002148 \cdot x; R^2 = 0.7676$
- *Noviembre*  $Ratio = 0.004512 \cdot exp(-0.0002001 \cdot x); R^2 = 0.4828$
- *Diciembre*  $Vol. evap. (hm^3) = 1.789 + 0.0007867 \cdot x; R^2 = 0.6138$
- *Enero*  $Vol. evap. (hm^3) = 1.49 + 0.0009469 \cdot x; R^2 = 0.6726$
- *Febrero*  $Vol. evap. (hm^3) = 2.609 + 0.001098 \cdot x; R^2 = 0.4584$
- *Marzo*  $Ratio = 0.00518 - 4.648 \cdot 10^{-7} \cdot x; R^2 = 0.8493$
- *Abril*  $Vol. evap. (hm^3) = 5.076 + 0.003065 \cdot x; R^2 = 0.6521$
- *Mayo*  $Vol. evap. (hm^3) = 8.155 + 0.004672 \cdot x; R^2 = 0.6791$
- *Junio*  $Vol. evap. (hm^3) = 17.44 + 0.00428 \cdot x; R^2 = 0.8464$
- *Julio*  $Vol. evap. (hm^3) = 15.19 + 0.007375 \cdot x; R^2 = 0.9284$
- *Agosto*  $Vol. evap. (hm^3) = 12.53 + 0.006826 \cdot x; R^2 = 0.9355$
- *Septiembre*  $Vol. evap. (hm^3) = 4.926 + 0.005263 \cdot x; R^2 = 0.9504$

En 10 de los meses la variable dependiente es el volumen mensual evaporado, mientras que para los meses de noviembre y marzo se conseguía un mejor ajuste con el ratio. Excepto en el mes de noviembre en el que se empleó una ecuación exponencial, en el resto de casos la curva definida es una recta. Los ajustes en los meses de noviembre y febrero son los que han obtenido un coeficiente de determinación más bajo, por el contrario en los meses de verano se han alcanzado unos coeficientes superiores a 0.9. Esto es de especial relevancia ya que se trata del

periodo en el cual tiene lugar la mayor parte de la evaporación anual. En el anexo se han incluido unas tablas con las estimaciones de la evaporación empleando estas ecuaciones. La serie de evaporación hallada es la siguiente

	Vol. Inicial mes (hm <sup>3</sup> )	Vol. Evaporado (hm <sup>3</sup> )
2004	4,160	<b>261.2</b>
2005	4,837	<b>254.3</b>
2006	2,603	<b>187.4</b>
2007	1,940	<b>175.8</b>
2008	2,309	<b>189.0</b>
2009	2,166	<b>213.6</b>
2010	2,563	<b>339.2</b>
2011	6,106	<b>344.7</b>
2012	6,083	<b>317.3</b>

Tabla 16. Volumen evaporado desde los embalses

#### 4.4. Estimación de las pérdidas por evaporación desde ríos

Los tramos de ríos considerados en este cálculo son los de orden 4 o superior. En el anejo se incluye una tabla que contiene los tramos seleccionados que conforman la muestra para la estimación de la anchura media de la lámina de agua para las distintas jerarquías. En la figura se representan estos mismos tramos.

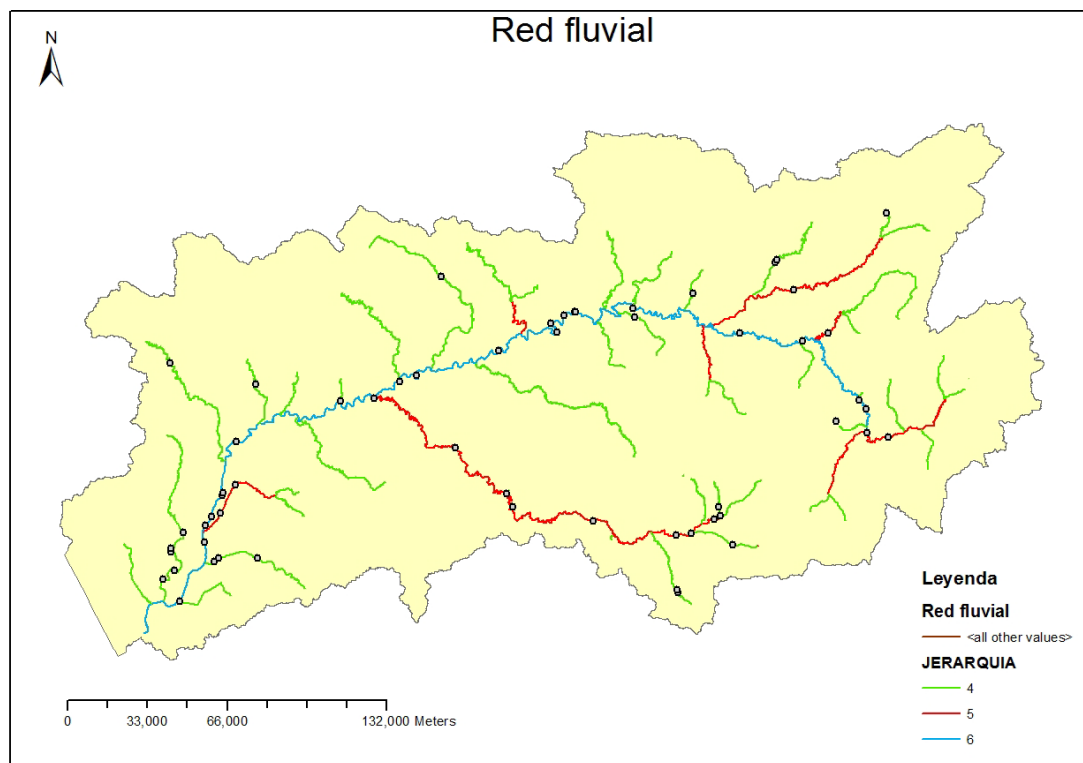


Ilustración 4. Red fluvial de orden superior y puntos de muestreo de anchura de cauce

Las anchuras medias halladas con esta muestra son A (J4)=15.6 m, A (J5)=16.4m, A (J6)=88.8 m, para jerarquías 4, 5 y 6 respectivamente. La capa de la red de desagüe proporciona la información acerca de la longitud total de tramos por jerarquía, de donde se estima la superficie evaporante de la red fluvial.

Jerarquía	Anchura (m)	Long CHG (km)	Área (ha)
4	15.6	1,692.7	2,640.6
5	16.4	673.9	1,105.2
6	88.8	594.6	5,279.9
		Total	<b>9,025.7</b>

Tabla 17. Características de la red fluvial y superficie evaporante

Tomando un valor promedio de la altura evaporada media mensual de las estaciones de los embalses se estima el volumen evaporado a la atmósfera desde los ríos. No se dispone de información para el año 2012, de modo que se ha tomado la media de los años anteriores, resultando ser **132.5 hm<sup>3</sup>**. Los resultados de la serie se presentan en la tabla nº 19.

Año hidrológico	Vol. Evaporado (hm <sup>3</sup> )
2004	124.6
2005	145.0
2006	131.7
2007	123.3
2008	130.5
2009	136.8
2010	136.3
2011	131.7
2012	132.5

Tabla 18. Volumen evaporado desde la red fluvial

#### 4.5. Estimación de las emisiones originadas por la industria de saneamiento

El coeficiente fijado para cada uno de los polígonos en los que se ha dividido el área urbana de la ciudad de Córdoba y el coeficiente global ponderado se muestran en la tabla

Polígonos	Superficie (km <sup>2</sup> )	Coef. Esc.
Zona residencial media	5.92	0.50
Barrio antiguo edif. Densa	2.62	0.70
Casco urbano edif. Muy densa	5.52	0.80
Barrio moderno	5.84	0.50
Industrial ligero	1.57	0.60
Total sup./Coef.esc. Global	21.47	<b>0.61</b>

Tabla 19. Coeficiente de escorrentía núcleo urbano de Córdoba

El parámetro  $L$ , longitud del cauce principal es de 5.7 km, presentando un desnivel entre 278 y 94.6 m. Con estos valores la pendiente  $S$  es igual a 0.0322 m/m. Se ha seleccionado un coeficiente de rugosidad de Manning  $n=0.03$ , valor comprendido en el intervalo que figura en la bibliografía, derivado de las cuencas urbanas estudiadas. Tras varias pruebas se ha fijado un valor de  $L_{cg}=6.6$  km. Los demás parámetros del modelo serían

$$C_t = 14.435 \cdot n = 0.43305$$

$$T_l = C_t \cdot \left( \frac{L \cdot L_{cg}}{\sqrt{S}} \right) = 0.43305 \cdot 209.7281^{0.33} = 2.53 \text{ h} \cong 151.65 \text{ min}$$

$$D = \frac{151.65}{5.5} = 27.57 \text{ min} \cong 30 \text{ min}$$

$$T_l + 0.5 D = 166.65 \text{ min} = 2.775 \text{ h}$$

$$V_u = 0.11574 \cdot A = 2.6647 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} / \text{día}$$

El gasto  $Q$  del HU se determina como

$$Q = \frac{q^* \cdot V_u}{(T_l + 0.5 \cdot D)} = 0.96026 \cdot q^*$$

Los incrementos de tiempo adimensional se establecen de acuerdo a la expresión

$$t^* = \frac{100 \cdot t}{(T_l + 0.5D)} = 18.0018 \%$$

En el anexo se puede consultar el HU sintético elaborado con esta metodología. A modo de ejemplo, la siguiente figura presenta la serie de caudales de escorrentía urbana generada con el modelo para el año hidrológico 2006-2007.

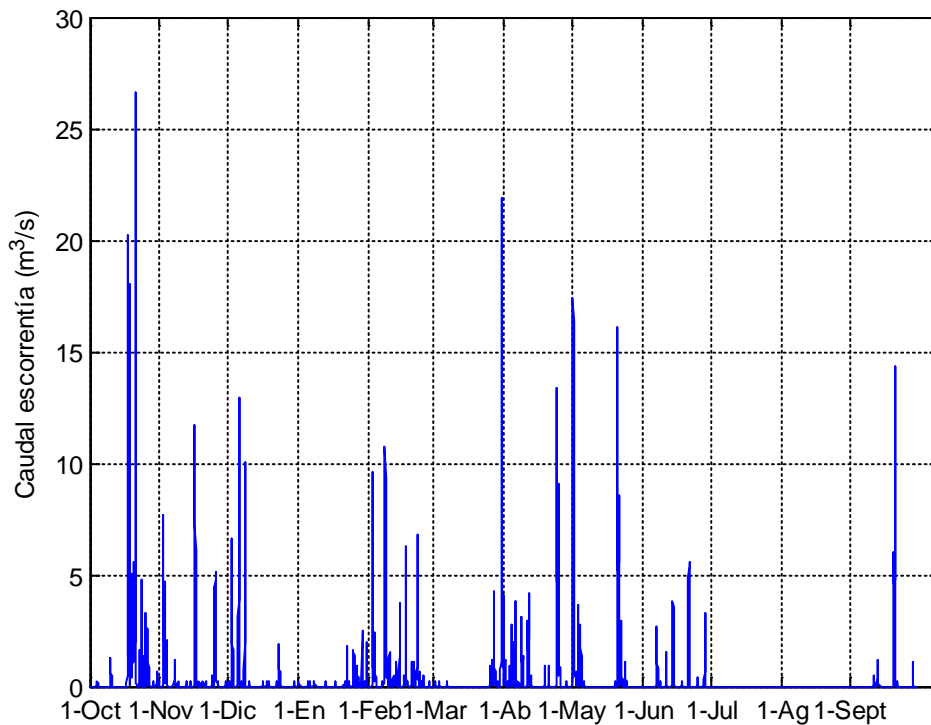


Tabla 20. Hidrograma de escorrentía urbana Córdoba 2006-2007

Tomando como superficie urbana de la cuenca 1004.62 km<sup>2</sup> de acuerdo a la capa de núcleos urbanos y extrapolando las fracciones de caudal tratado y no tratado se hallan los resultados siguientes para el periodo de estudio.

	Prec. Media Urbana CHG (mm)	Emisiones DBO5 (Tn)
2004	695.3	2284
2005	275.1	943.1
2006	509.4	1765.9
2007	570.7	1738
2008	529.8	1971.5
2009	447	1253.3
2010	864.6	3053
2011	690.5	2656
2012	279.8	945.6

Tabla 21. Emisiones de DBO5 imputables a la industria de saneamiento

## 5. Conclusiones

En este trabajo se han desarrollado e implementado un conjunto de metodologías para realizar el cálculo de variables hidrológicas y completar el proyecto SYWAG, que pretende adoptar la metodología de SEEA-W en la cuenca del Guadalquivir. La cuenta de activos, recogida en la tabla A1.9, será elaborada por el socio colaborador de este proyecto, EVREN, apoyándose en los resultados generados en este trabajo.

La variable más relevante por el volumen de recursos regulados que requiere es la dotación anual a regadíos. En particular destaca la reducción que sufre el volumen destinado a regadíos durante los años de sequía, alcanzando su punto más bajo en la campaña 2006/07 con un volumen bruto total estimado de 1,686 hm<sup>3</sup> y un volumen de recursos superficiales regulados brutos de 1,128 hm<sup>3</sup>, aproximadamente la mitad del volumen contemplado en el PHG, según corresponde con el protocolo de sequía en vigor.

Llama la atención en cambio el volumen asignado al regadío en las campañas 2004/05 y 2011/12, marcados por una intensa sequía meteorológica. En ambos casos la demanda agrícola se consiguió satisfacer plenamente (3,541 y 3,216 hm<sup>3</sup> respectivamente) gracias al volumen almacenado de los años inmediatamente anteriores, que resultaron ser húmedos y generaron unas abundantes aportaciones a los embalses.

La estimación de retornos de agricultura de regadío es un tema delicado que afecta indirectamente a la cuantificación de los recursos de la cuenca. Este cálculo se ha abordado empleando la metodología propuesta por la IPH y consiste en aplicar un coeficiente de eficiencia global a cada unidad de agregación que varía según su dotación bruta. Este método ofrece un resultado más acorde a las características de la cuenca (particularmente la presencia de riego deficitario en casi la totalidad de UAs de la demarcación) que el resultado que se deduciría de la diferencia entre consumo bruto y neto aplicando el coeficiente de eficiencia global de la cuenca. La distinción entre retornos generados en conducción (atribuidos a la CHG) y en

distribución y aplicación (retornos en baja) se realiza para mantener una coherencia con las consideraciones que se han juzgado oportunas durante el análisis económico.

Algunas variables como son la extracción de agua del suelo por la agricultura de secano y actividad forestal se requieren en la SEEA-W aunque no se han venido recogiendo en los Planes de Cuenca por no ser gestionables por el Organismo de Cuenca, aunque evidentemente son un valor clave para la prevención de sequías. Como carácter muy diferenciado de la cuenca del Guadalquivir se debe destacar la elevada fracción que supone el volumen de agua procedente de la lluvia consumido por los cultivos de regadío frente al consumo total, superior al 50%. Es una señal inequívoca de la predominancia del riego deficitario y la existencia de un alto porcentaje de cultivo leñoso en regadío.

Las estimaciones de los volúmenes perdidos por evaporación desde embalses y red fluvial se han llevado a cabo con una información de partida a priori insuficiente, no obstante los valores hallados dan una idea del orden de magnitud de estas pérdidas. Se trata de una disminución de los recursos hídricos nada desdeñable (en torno a 130 hm<sup>3</sup> para red fluvial y 250 hm<sup>3</sup> en embalses) y que tiene una considerable importancia económica y que deben tenerse en cuenta en la planificación hidrológica.

Se ha propuesto un método de estimación de las emisiones atribuibles (según metodología SEEA-W) a la industria de saneamiento en base a unas características medias de la escorrentía urbana y una metodología existente para hallar hidrogramas de escorrentía en cuencas urbanas. Los resultados aquí generados serán útiles para completar la cuenta de emisiones.

## 6. Anexo

### 6.1. Estimación de la dotación de regadíos y retornos de agricultura

Informe (5 conglomerados)														
Ward Method	dotación	riego_sup	riego_asp	riego_loc	sup_reg	cereal	girasol	horticola	algodon	maiz	citricos	olivar	arroz	
<b>1</b>	Media	3569.75	70.24	6.56	23.20	647.38	14.04	1.09	26.52	6.06	4.52	0.92	20.12	0.00
	N	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00
	Dev. típ.	939.89	39.31	17.65	33.08	2530.87	21.53	4.57	31.21	15.50	11.13	4.52	29.02	0.06
	Suma	1649222.58	32450.07	3030.59	10719.34	299087.41	6487.66	501.67	12250.68	2797.56	2086.61	425.67	9297.39	1.61
<b>2</b>	Media	1790.69	0.77	0.90	98.33	503.57	0.77	0.06	1.06	0.11	0.04	0.50	81.18	0.00
	N	797.00	797.00	797.00	797.00	797.00	797.00	797.00	797.00	797.00	797.00	797.00	797.00	797.00
	Dev. típ.	604.25	3.24	3.80	5.03	729.07	3.11	0.49	3.65	0.88	0.39	2.71	35.65	0.08
	Suma	1427180.69	611.54	719.36	78369.10	401345.10	611.89	45.20	841.15	84.36	34.22	396.16	64699.64	2.22
<b>3</b>	Media	2996.93	8.78	57.37	33.44	352.76	38.53	10.16	6.12	5.82	2.25	1.57	15.87	0.05
	N	244.00	244.00	244.00	244.00	244.00	244.00	244.00	244.00	244.00	244.00	244.00	244.00	244.00
	Dev. típ.	666.69	23.15	31.23	27.67	494.00	25.68	16.94	11.28	10.12	5.40	5.50	22.42	0.84
	Suma	731251.59	2142.77	13998.55	8160.05	86074.39	9402.19	2478.20	1494.46	1419.13	549.87	382.80	3871.52	13.08
<b>4</b>	Media	4682.20	8.41	8.05	83.54	389.04	3.75	1.95	6.02	1.86	1.88	59.46	10.20	0.05
	N	58.00	58.00	58.00	58.00	58.00	58.00	58.00	58.00	58.00	58.00	58.00	58.00	58.00
	Dev. típ.	650.04	20.35	14.99	23.62	630.91	8.69	4.69	13.25	4.44	4.79	26.36	17.39	0.37
	Suma	271567.76	487.99	466.77	4845.23	22564.48	217.74	113.26	349.36	107.99	108.78	3448.62	591.41	2.85
<b>5</b>	Media	9787.02	94.55	4.45	1.00	1077.87	0.61	0.42	0.66	1.89	0.19	0.20	0.00	89.85
	N	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
	Dev. típ.	984.74	14.11	11.53	4.25	1392.85	2.23	1.79	3.92	5.14	1.10	1.16	0.00	16.30
	Suma	342545.65	3309.38	155.74	34.88	37725.29	21.44	14.72	23.19	66.17	6.50	7.03	0.00	3144.73
<b>Total</b>	Media	2770.53	24.44	11.51	63.99	530.57	10.49	1.98	9.37	2.80	1.75	2.92	49.16	1.98
	N	1596.00	1596.00	1596.00	1596.00	1596.00	1596.00	1596.00	1596.00	1596.00	1596.00	1596.00	1596.00	1596.00
	Dev. típ.	1557.83	39.94	25.36	42.20	1491.91	20.42	7.94	20.92	9.74	6.70	12.64	44.71	13.38
	Suma	4421768.25	39001.75	18371.01	102128.60	846796.67	16740.91	3153.06	14958.84	4475.20	2785.98	4660.28	78459.97	3164.50

Tabla 22. Resultados análisis cluster con 5 conglomerados



Informe (4 conglomerados)														
Ward Method	dotación	riego_sup	riego_asp	riego_loc	sup_reg	cereal	girasol	horticola	algodon	maiz	citricos	olivar	arroz	
<b>1</b>	Media	3693.83	63.34	6.73	29.93	618.56	12.89	1.18	24.23	5.59	4.22	7.45	19.02	0.01
	N	520.00	520.00	520.00	520.00	520.00	520.00	520.00	520.00	520.00	520.00	520.00	520.00	520.00
	Desv. típ.	976.70	42.40	17.37	37.35	2395.79	20.75	4.59	30.43	14.75	10.64	20.85	28.12	0.14
	Suma	1920790.33	32938.07	3497.36	15564.57	321651.89	6705.40	614.93	12600.04	2905.55	2195.39	3874.29	9888.80	4.46
<b>2</b>	Media	1790.69	0.77	0.90	98.33	503.57	0.77	0.06	1.06	0.11	0.04	0.50	81.18	0.00
	N	797.00	797.00	797.00	797.00	797.00	797.00	797.00	797.00	797.00	797.00	797.00	797.00	797.00
	Desv. típ.	604.25	3.24	3.80	5.03	729.07	3.11	0.49	3.65	0.88	0.39	2.71	35.65	0.08
	Suma	1427180.69	611.54	719.36	78369.10	401345.10	611.89	45.20	841.15	84.36	34.22	396.16	64699.64	2.22
<b>3</b>	Media	2996.93	8.78	57.37	33.44	352.76	38.53	10.16	6.12	5.82	2.25	1.57	15.87	0.05
	N	244.00	244.00	244.00	244.00	244.00	244.00	244.00	244.00	244.00	244.00	244.00	244.00	244.00
	Desv. típ.	666.69	23.15	31.23	27.67	494.00	25.68	16.94	11.28	10.12	5.40	5.50	22.42	0.84
	Suma	731251.59	2142.77	13998.55	8160.05	86074.39	9402.19	2478.20	1494.46	1419.13	549.87	382.80	3871.52	13.08
<b>4</b>	Media	9787.02	94.55	4.45	1.00	1077.87	0.61	0.42	0.66	1.89	0.19	0.20	0.00	89.85
	N	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
	Desv. típ.	984.74	14.11	11.53	4.25	1392.85	2.23	1.79	3.92	5.14	1.10	1.16	0.00	16.30
	Suma	342545.65	3309.38	155.74	34.88	37725.29	21.44	14.72	23.19	66.17	6.50	7.03	0.00	3144.73
<b>Total</b>	Media	2770.53	24.44	11.51	63.99	530.57	10.49	1.98	9.37	2.80	1.75	2.92	49.16	1.98
	N	1596.00	1596.00	1596.00	1596.00	1596.00	1596.00	1596.00	1596.00	1596.00	1596.00	1596.00	1596.00	1596.00
	Desv. típ.	1557.83	39.94	25.36	42.20	1491.91	20.42	7.94	20.92	9.74	6.70	12.64	44.71	13.38
	Suma	4421768.25	39001.75	18371.01	102128.60	846796.67	16740.91	3153.06	14958.84	4475.20	2785.98	4660.28	78459.97	3164.50

Tabla 23. Resultados análisis cluster con 4 conglomerados

Informe (3 conglomerados)														
Ward Method	dotacion	riego_sup	riego_asp	riego_loc	sup_reg	cereal	girasol	horticola	algodon	maiz	citricos	olivar	arroz	
<b>1</b>	Media	3471.26	45.92	22.90	31.05	533.67	21.08	4.05	18.45	5.66	3.59	5.57	18.01	0.02
	N	764.00	764.00	764.00	764.00	764.00	764.00	764.00	764.00	764.00	764.00	764.00	764.00	764.00
	Desv. tıp.	946.65	45.18	32.77	34.57	1999.34	25.42	11.10	27.24	13.44	9.34	17.69	26.46	0.49
	Suma	2652041.92	35080.84	17495.91	23724.62	407726.28	16107.58	3093.13	14094.50	4324.68	2745.26	4257.09	13760.32	17.54
<b>2</b>	Media	1790.69	0.77	0.90	98.33	503.57	0.77	0.06	1.06	0.11	0.04	0.50	81.18	0.00
	N	797.00	797.00	797.00	797.00	797.00	797.00	797.00	797.00	797.00	797.00	797.00	797.00	797.00
	Desv. tıp.	604.25	3.24	3.80	5.03	729.07	3.11	0.49	3.65	0.88	0.39	2.71	35.65	0.08
	Suma	1427180.69	611.54	719.36	78369.10	401345.10	611.89	45.20	841.15	84.36	34.22	396.16	64699.64	2.22
<b>3</b>	Media	9787.02	94.55	4.45	1.00	1077.87	0.61	0.42	0.66	1.89	0.19	0.20	0.00	89.85
	N	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
	Desv. tıp.	984.74	14.11	11.53	4.25	1392.85	2.23	1.79	3.92	5.14	1.10	1.16	0.00	16.30
	Suma	342545.65	3309.38	155.74	34.88	37725.29	21.44	14.72	23.19	66.17	6.50	7.03	0.00	3144.73
<b>Total</b>	Media	2770.53	24.44	11.51	63.99	530.57	10.49	1.98	9.37	2.80	1.75	2.92	49.16	1.98
	N	1596.00	1596.00	1596.00	1596.00	1596.00	1596.00	1596.00	1596.00	1596.00	1596.00	1596.00	1596.00	1596.00
	Desv. tıp.	1557.83	39.94	25.36	42.20	1491.91	20.42	7.94	20.92	9.74	6.70	12.64	44.71	13.38
	Suma	4421768.25	39001.75	18371.01	102128.60	846796.67	16740.91	3153.06	14958.84	4475.20	2785.98	4660.28	78459.97	3164.50

Tabla 24. Resultados análisis cluster con 3 conglomerados

	<b>Sup. Riego CHG (has)</b>	<b>Incremento (has)</b>	<b>Sup. C1 (has)</b>	<b>Sup. C2 (has)</b>	<b>Sup. C3 (has)</b>
<b>2004</b>	714,015	-115,928	385,717	290,572	37,725
<b>2005</b>	829,943	-4,038	404,933	387,285	37,725
<b>2006</b>	833,981	-4,038	405,602	390,653	37,725
<b>2007</b>	838,018	-8,778	406,271	394,022	37,725
<b>2008</b>	846,796.70	0	407,726	401,345	37,725
<b>2009</b>	851,409.74	4,613.04	408,491	405,194	37,725
<b>2010</b>	856,022.79	4,613.04	409,256	409,042	37,725
<b>2011</b>	860,635.83	4,613.04	410,020	412,890	37,725
<b>2012</b>	865,248.87	4,613.04	410,785	416,739	37,725

Tabla 25. Evolución de la superficie de los conglomerados definidos

	<b>Consumo bruto C1 (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Consumo bruto C2 (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Consumo bruto C3(hm<sup>3</sup>)</b>
<b>2004</b>	1,702.22	659.35	552.08
<b>2005</b>	2,192.79	860.38	533.08
<b>2006</b>	1,002.33	408.03	368.34
<b>2007</b>	977.00	392.48	327.08
<b>2008</b>	964.78	385.81	410.72
<b>2009</b>	1,411.33	562.91	539.03
<b>2010</b>	1,361.27	541.83	708.79
<b>2011</b>	1,458.62	587.22	508.59
<b>2012</b>	1,921.99	770.87	479.15

Tabla 26. Dotación bruta de regadío referida a la superficie de 2008

	<b>Retornos C1 (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Retornos C2 (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Retornos C3(hm<sup>3</sup>)</b>
<b>2004</b>	75	16	110
<b>2005</b>	188	22	107
<b>2006</b>	25	10	73
<b>2007</b>	24	10	63
<b>2008</b>	24	10	82
<b>2009</b>	45	14	108
<b>2010</b>	40	14	142
<b>2011</b>	62	15	102
<b>2012</b>	110	19	96

Tabla 27. Retornos de regadío referidos a la superficie de 2008

## 6.2. Estimación de las pérdidas por evaporación desde embalses

	Bembézar	Huesna	Iznájar	P. Cazalla	Yeguas
Octubre	1.8	1.6	1.85	2	6
Noviembre	1.2	2	1.3	1.5	1.1
Diciembre	0.9	1.2	1	1.15	0.6
Enero	0.9	1.1	1.1	1	0.8
Febrero	1.3	1.3	1.6	1.75	1.4
Marzo	2.2	1.9	2.2	2.25	2.3
Abril	3.5	3	3.15	3.7	3.7
Mayo	3.8	2.8	3.15	3.55	3.9
Junio	8	5.6	6.5	6.95	8.4
Julio	9.1	7.4	8.15	7.65	9.3
Agosto	7.6	7	8.1	7.3	8.7
Septiembre	5.6	5.1	5.6	5.65	5.7

Tabla 28. Evaporación diaria media mensual 2004 (mm/día)

	Bembézar	Huesna	Iznájar	P. Cazalla	Yeguas
Octubre	3	2.9	3.45	3.8	3.1
Noviembre	1.4	1.8	2	2.25	1.5
Diciembre	1	1.6	1.15	1.4	1.1
Enero	1.2	1.7	1.55	1.6	1.1
Febrero	2.4	2.4	2.2	2.35	1.9
Marzo	2.6	2.2	2.65	2.9	2.6
Abril	4.7	4.2	5.1	4.7	4.8
Mayo	6.1	5.4	6.45	6.05	6.5
Junio	7.7	7.5	7.85	7.35	8.6
Julio	8.8	8.2	7.95	7.05	9.3
Agosto	7.7	7.9	7.15	7.35	8.7
Septiembre	5.7	5.5	5.15	5.05	6.1

Tabla 29. Evaporación diaria media mensual 2005 (mm/día)

	Bembézar	Huesna	Iznájar	P. Cazalla	Yeguas
Octubre	2.5	2.6	3	3.2	2.9
Noviembre	1.4	1.7	1.7	2.25	1.6
Diciembre	1.2	1.3	1.15	0.95	1.2
Enero	1.1	1.2	1.05	0.85	0.9
Febrero	1.2	1.6	1.6	1.3	1.1
Marzo	2.2	2.1	2.5	2.3	2.2
Abril	3.3	3.3	4.15	3.1	3.8
Mayo	5.4	5.7	5.8	4.2	5.9
Junio	6.9	7.4	6.55	5.15	7.3
Julio	9.2	10.4	8	7.6	9.6
Agosto	7.5	8.1	6.7	6.6	8.3
Septiembre	5.1	5.5	5.3	5.25	5.8

Tabla 30. Evaporación diaria media mensual 2006 (mm/día)

	Bembézar	Huesna	Iznájar	P. Cazalla	Yeguas
Octubre	3	3	3.25	3.3	3.2
Noviembre	1.1	1.3	1.45	1.85	1.4
Diciembre	0.8	1.2	0.95	1.2	0.9
Enero	0.9	1.1	1.65	1.25	0.8
Febrero	1	1.1	1.3	1.2	1
Marzo	2.9	3.1	3.05	3.2	3.3
Abril	2.5	2.3	2.45	2.35	3.1
Mayo	4.9	3.7	5.05	4.1	5.2
Junio	6.7	5.3	6.5	5.2	6.7
Julio	9.7	8.9	8	7.45	9.4
Agosto	7.4	7.3	6.8	6.3	8.3
Septiembre	4.5	4.8	4.4	4.4	4.8

Tabla 31. Evaporación diaria media mensual 2007 (mm/día)

	Bembézar	Huesna	Iznájar	P. Cazalla	Yeguas
Octubre	2.8	4.5	2.8	3.05	4.8
Noviembre	1.8	3.6	2	2.25	3.2
Diciembre	0.8	2	1.2	1.25	2.1
Enero	1	1.6	1	1.1	1.1
Febrero	1.4	3	2.05	1.7	1
Marzo	3	3.8	2.9	2.85	1.9
Abril	3.6	4.6	3.45	3.95	2.6
Mayo	3.5	3.2	3.8	3.15	3.4
Junio	7.6	7.5	6.9	6.6	3.8
Julio	9.5	9.1	7.3	7.45	6.7
Agosto	9	9.3	7.8	6.7	7.7
Septiembre	4.5	4.6	4.3	3.5	3.9

Tabla 32. Evaporación diaria media mensual 2008 (mm/día)

	Bembézar	Huesna	Iznájar	P. Cazalla	Yeguas
Octubre	2.7	3	2.55	-	2.3
Noviembre	1.5	2.2	1.4	-	1.2
Diciembre	0.7	1.2	0.75	-	0.5
Enero	0.9	1.1	0.75	-	0.6
Febrero	1.5	1.9	1.55	-	1.2
Marzo	2.3	3.5	2.8	-	2.2
Abril	3.4	3.6	3.7	-	3.3
Mayo	6.2	6.1	6.05	-	5.8
Junio	7.6	6.9	7.9	-	7
Julio	10.2	9.7	8.5	-	8.6
Agosto	8.3	9.2	7.4	-	7.9
Septiembre	5.1	6	4.9	-	4.8

Tabla 33. Evaporación diaria media mensual 2009 (mm/día)

	Bembézar	Huesna	Iznájar	P. Cazalla	Yeguas
Octubre	3.6	4.2	4	4.6	3.1
Noviembre	2.1	2.7	2.45	2.5	1.5
Diciembre	1	1.3	0.9	0.95	0.7
Enero	0.9	1.3	1.05	1.1	0.7
Febrero	1.3	1.3	1.55	1.4	0.9
Marzo	1.8	2.1	2.25	2	1.7
Abril	3.7	3.6	3.9	4	3.5
Mayo	5.5	4.9	5.7	2.7	5.1
Junio	7.4	5.1	6.85	4.5	5.9
Julio	9.8	8.7	10	9.8	8.6
Agosto	8.9	8.2	8.2	9	7.6
Septiembre	5.7	5.7	6	6.4	5.2

Tabla 34. Evaporación diaria media mensual 2010 (mm/día)

	Volumen embalsado 2004 (hm <sup>3</sup> )					Ratio medio pond. Evap./Vol. Emb.
	Bembézar	Huesna	Iznájar	P. Cazalla	Yeguas	
Octubre	293.97	123.04	650.4	41.25	166.06	<b>0.00291</b>
Noviembre	305.02	121.75	671.81	42.6	196.97	<b>0.00148</b>
Diciembre	290.53	115.8	706.56	46.77	217.78	<b>0.00105</b>
Enero	297.66	118.35	737.58	47.91	214.22	<b>0.00111</b>
Febrero	321.51	126.21	783.87	50.64	230.32	<b>0.00146</b>
Marzo	337.71	121.3	842.94	55.59	219.99	<b>0.00234</b>
Abril	341.99	117.13	895.76	58.23	220.36	<b>0.00337</b>
Mayo	339.91	119.19	945.88	59.64	226.91	<b>0.00351</b>
Junio	314.71	113.38	903.27	57.85	211.32	<b>0.00712</b>
Julio	286.56	108.82	832.75	53.76	191.33	<b>0.00898</b>
Agosto	265.91	104.17	769.29	49.75	182.98	<b>0.00863</b>
Septiembre	257.55	100.12	748	46.33	181.67	<b>0.00588</b>

Tabla 35. Volumen embalsado y ratio ponderado 2004

	Volumen embalsado 2005 (hm <sup>3</sup> )					Ratio medio pond. Evap./Vol. Emb.
	Bembézar	Huesna	Iznájar	P. Cazalla	Yeguas	
Octubre	273.61	100.43	757.42	45.72	183.23	<b>0.00353</b>
Noviembre	279.39	89.41	773.84	45.67	183.56	<b>0.00187</b>
Diciembre	282.64	87.05	797.27	45.84	184.97	<b>0.00125</b>
Enero	283.83	84.22	813.91	45.77	184.97	<b>0.00153</b>
Febrero	284.16	81.45	818.37	45.97	177.12	<b>0.00226</b>
Marzo	284.71	78.7	824.42	46.56	177.68	<b>0.00284</b>
Abril	280.79	75.62	766.04	45.08	166.76	<b>0.00529</b>
Mayo	258.16	73.4	664.56	41.46	148.85	<b>0.00746</b>
Junio	232.24	70.49	555.65	37.11	126.48	<b>0.00982</b>
Julio	209.54	66.93	445.59	32.54	101.59	<b>0.01162</b>
Agosto	188.65	63.42	345.38	28.74	89.48	<b>0.01148</b>
Septiembre	186.27	60.34	330.47	27.97	88.79	<b>0.00806</b>

Tabla 36. Volumen embalsado y ratio ponderado 2005

	<b>Volumen embalsado 2006 (hm<sup>3</sup>)</b>					<b>Ratio medio pond. Evap./Vol. Emb.</b>
	Bembézar	Huesna	Iznájar	P. Cazalla	Yeguas	
Octubre	181.4	58.47	341.62	27.83	88.4	<b>0.00430</b>
Noviembre	180.26	56.22	356.49	27.58	88.14	<b>0.00239</b>
Diciembre	179	54.83	374.27	27.43	88.82	<b>0.00174</b>
Enero	180.25	55.14	393.87	27.54	90.22	<b>0.00153</b>
Febrero	179.56	55.55	413.56	27.81	94.52	<b>0.00193</b>
Marzo	192.95	69.55	439.31	28.8	113.57	<b>0.00331</b>
Abril	193.77	69.13	445.8	28.94	111.1	<b>0.00514</b>
Mayo	186.9	66.7	423.88	28.82	96.28	<b>0.00809</b>
Junio	175.82	63.69	373.66	24.94	76.69	<b>0.00974</b>
Julio	165.57	59.93	313.29	21.56	54.94	<b>0.01367</b>
Agosto	154.71	56.68	271	18.76	43.21	<b>0.01180</b>
Septiembre	150.45	55.46	260.38	19.09	40.68	<b>0.00852</b>

Tabla 37. Volumen embalsado y ratio ponderado 2006

	<b>Volumen embalsado 2007 (hm<sup>3</sup>)</b>					<b>Ratio medio pond. Evap./Vol. Emb.</b>
	Bembézar	Huesna	Iznájar	P. Cazalla	Yeguas	
Octubre	219.36	76.64	263.69	19.24	44.28	<b>0.00483</b>
Noviembre	265.75	97.17	276.81	20.07	47.56	<b>0.00178</b>
Diciembre	289.55	106.63	288.9	20.27	53.46	<b>0.00129</b>
Enero	292.5	107.64	299.47	21.21	54.56	<b>0.00171</b>
Febrero	308.27	111.81	312.7	22.97	66.96	<b>0.00146</b>
Marzo	308.01	112.49	318.44	23.47	68.82	<b>0.00414</b>
Abril	311.52	113.6	327.89	23.89	74.66	<b>0.00330</b>
Mayo	313.44	115.51	338.35	24.28	84.5	<b>0.00651</b>
Junio	299.96	113.52	301.51	23.53	68.97	<b>0.00850</b>
Julio	279.67	110.39	239.97	20.53	47.27	<b>0.01257</b>
Agosto	252.87	107.76	200.09	18.68	36.73	<b>0.01065</b>
Septiembre	245.01	105.85	199.6	19.57	36.63	<b>0.00652</b>

Tabla 38. Volumen embalsado y ratio ponderado 2007

	<b>Volumen embalsado 2008 (hm<sup>3</sup>)</b>					<b>Ratio medio pond. Evap./Vol. Emb.</b>
	Bembézar	Huesna	Iznájar	P. Cazalla	Yeguas	
Octubre	239.81	104.83	212.81	18.52	36.41	<b>0.00469</b>
Noviembre	237.32	105.07	221.76	18.69	37.77	<b>0.00319</b>
Diciembre	236.94	104.03	229.72	18.48	38.02	<b>0.00181</b>
Enero	238.9	104.77	242.15	18.96	40.52	<b>0.00157</b>
Febrero	240.15	103.63	250.42	18.99	41.76	<b>0.00241</b>
Marzo	237.8	103.26	255.35	18.87	42.34	<b>0.00423</b>
Abril	262.96	119.49	266.81	22.88	80.19	<b>0.00508</b>
Mayo	258.78	120.14	274.86	23.42	79	<b>0.00516</b>
Junio	231.8	118.2	230.27	23.01	57.3	<b>0.01012</b>
Julio	205.28	115.14	185.11	20.2	40.82	<b>0.01313</b>
Agosto	189.77	111.76	155.22	18.19	32.17	<b>0.01382</b>
Septiembre	183.65	109.87	151.55	17.84	29.03	<b>0.00699</b>

Tabla 39. Volumen embalsado y ratio ponderado 2008

	<b>Volumen embalsado 2009 (hm<sup>3</sup>)</b>					<b>Ratio medio pond. Evap./Vol. Emb.</b>
	Bembézar	Huesna	Iznájar	P. Cazalla	Yeguas	
Octubre	180.7	110.49	161.67	18.09	29.19	<b>0.00416</b>
Noviembre	179.86	109.35	180.32	21.43	33.01	<b>0.00228</b>
Diciembre	180.31	108.71	205.15	25.11	40.7	<b>0.00116</b>
Enero	184.52	109.87	240.37	30.24	51.05	<b>0.00119</b>
Febrero	213.86	116.06	320.95	41.37	91.37	<b>0.00193</b>
Marzo	214.29	116.91	387.46	44.47	100.72	<b>0.00349</b>
Abril	207.24	116.08	414.69	45.47	102.84	<b>0.00441</b>
Mayo	186.01	114.07	396.02	36.75	88.99	<b>0.00792</b>
Junio	167.63	111.35	358.06	31.75	82.94	<b>0.00984</b>
Julio	154.08	107.92	309.76	30	76.64	<b>0.01255</b>
Agosto	140.66	104.43	266.36	27.11	71.09	<b>0.01131</b>
Septiembre	131.05	101.37	259.74	25.6	66.31	<b>0.00703</b>

Tabla 40. Volumen embalsado y ratio ponderado 2009

	<b>Volumen embalsado 2010 (hm<sup>3</sup>)</b>					<b>Ratio medio pond. Evap./Vol. Emb.</b>
	Bembézar	Huesna	Iznájar	P. Cazalla	Yeguas	
Octubre	125.22	100.51	269.94	25.17	63.66	<b>0.00585</b>
Noviembre	120.32	98.51	277.87	24.65	63.53	<b>0.00332</b>
Diciembre	243.77	128.88	394.27	50.86	202.14	<b>0.00128</b>
Enero	294.06	118.57	649.95	64.61	228.7	<b>0.00112</b>
Febrero	313.84	121.22	909.33	67.31	228.7	<b>0.00132</b>
Marzo	333.7	130.15	927.43	67.64	224.72	<b>0.00214</b>
Abril	339.91	133.15	974.02	59.59	208.25	<b>0.00381</b>
Mayo	339.91	133.69	978.66	60.55	209.42	<b>0.00555</b>
Junio	331.95	133.88	966.77	60.6	209.63	<b>0.00658</b>
Julio	309.27	131.79	914.6	58.53	199.91	<b>0.01021</b>
Agosto	295.56	130.03	851.59	52.33	187.64	<b>0.00905</b>
Septiembre	286.87	127.57	788.19	47.63	186.38	<b>0.00625</b>

Tabla 41. Volumen embalsado y ratio ponderado 2010

	<b>Vol. Emb. CHG 2004 (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Ratio pond. Evap./Vol. Emb.</b>	<b>Vol. Evap. 2004 (hm<sup>3</sup>)</b>
Octubre	4305	0.00291	12.5
Noviembre	4675	0.00148	6.9
Diciembre	5025	0.00105	5.3
Enero	5185	0.00111	5.8
Febrero	5400	0.00146	7.9
Marzo	5690	0.00234	13.3
Abril	5900	0.00337	19.9
Mayo	6120	0.00351	21.5
Junio	6095	0.00712	43.4
Julio	5680	0.00898	51.0
Agosto	5205	0.00863	44.9
Septiembre	4918.5	0.00588	28.9
<b>Total</b>			<b>261.2</b>

Tabla 42. Volumen evaporado desde embalses 2004



	Vol. Emb. CHG 2005 (hm <sup>3</sup> )	Ratio pond. Evap./Vol. Emb.	Vol. Evap. 2005 (hm <sup>3</sup> )
Octubre	4868.5	0.00353	17.2
Noviembre	4900	0.00187	9.2
Diciembre	4900	0.00125	6.1
Enero	4890	0.00153	7.5
Febrero	4840	0.00226	10.9
Marzo	4800	0.00284	13.6
Abril	4665	0.00529	24.7
Mayo	4322.5	0.00746	32.3
Junio	3897.5	0.00982	38.3
Julio	3410	0.01162	39.6
Agosto	2920	0.01148	33.5
Septiembre	2651.5	0.00806	21.4
<b>Total</b>			<b>254.3</b>

Tabla 43. Volumen evaporado desde embalses 2005

	Vol. Emb. CHG 2006 (hm <sup>3</sup> )	Ratio pond. Evap./Vol. Emb.	Vol. Evap. 2006 (hm <sup>3</sup> )
Octubre	2601.5	0.00430	11.2
Noviembre	2600	0.00239	6.2
Diciembre	2625	0.00174	4.6
Enero	2690	0.00153	4.1
Febrero	2750	0.00193	5.3
Marzo	2945	0.00331	9.8
Abril	3135	0.00514	16.1
Mayo	3075	0.00809	24.9
Junio	2850	0.00974	27.8
Julio	2525	0.01367	34.5
Agosto	2200	0.01180	26.0
Septiembre	1995	0.00852	17.0
<b>Total</b>			<b>187.4</b>

Tabla 44. Volumen evaporado desde embalses 2006

	Vol. Emb. CHG 2007 (hm <sup>3</sup> )	Ratio pond. Evap./Vol. Emb.	Vol. Evap. 2007 (hm <sup>3</sup> )
Octubre	2110	0.00483	10.2
Noviembre	2430	0.00178	4.3
Diciembre	2650	0.00129	3.4
Enero	2740	0.00171	4.7
Febrero	2880	0.00146	4.2
Marzo	3000	0.00414	12.4
Abril	3080	0.00330	10.2
Mayo	3230	0.00651	21.0
Junio	3175	0.00850	27.0
Julio	2865	0.01257	36.0
Agosto	2540	0.01065	27.1
Septiembre	2354.5	0.00652	15.4
<b>Total</b>			<b>175.8</b>

Tabla 45. Volumen evaporado desde embalses 2007

	Vol. Emb. CHG 2008 (hm <sup>3</sup> )	Ratio pond. Evap./Vol. Emb.	Vol. Evap. 2008 (hm <sup>3</sup> )
Octubre	2314.5	0.00469	10.9
Noviembre	2340	0.00319	7.5
Diciembre	2370	0.00181	4.3
Enero	2415	0.00157	3.8
Febrero	2475	0.00241	6.0
Marzo	2480	0.00423	10.5
Abril	2780	0.00508	14.1
Mayo	3140	0.00516	16.2
Junio	3060	0.01012	31.0
Julio	2740	0.01313	36.0
Agosto	2410	0.01382	33.3
Septiembre	2223	0.00699	15.5
<b>Total</b>			<b>189.0</b>

Tabla 46. Volumen evaporado desde embalses 2008

	Vol. Emb. CHG 2009 (hm <sup>3</sup> )	Ratio pond. Evap./Vol. Emb.	Vol. Evap. 2009 (hm <sup>3</sup> )
Octubre	2173	0.00416	9.0
Noviembre	2230	0.00228	5.1
Diciembre	2380	0.00116	2.8
Enero	2640	0.00119	3.1
Febrero	3195	0.00193	6.2
Marzo	3750	0.00349	13.1
Abril	3945	0.00441	17.4
Mayo	3880	0.00792	30.7
Junio	3605	0.00984	35.5
Julio	3215	0.01255	40.4
Agosto	2830	0.01131	32.0
Septiembre	2611.5	0.00703	18.3
<b>Total</b>			<b>213.6</b>

Tabla 47. Volumen evaporado desde embalses 2009

	Vol. Emb. CHG 2010 (hm <sup>3</sup> )	Ratio pond. Evap./Vol. Emb.	Vol. Evap. 2010 (hm <sup>3</sup> )
Octubre	2561.5	0.00585	15.0
Noviembre	2555	0.00332	8.5
Diciembre	3650	0.00128	4.7
Enero	5285	0.00112	5.9
Febrero	6340	0.00132	8.4
Marzo	6955	0.00214	14.9
Abril	7105	0.00381	27.0
Mayo	7180	0.00555	39.8
Junio	7125	0.00658	46.8
Julio	6870	0.01021	70.1
Agosto	6520	0.00905	59.0
Septiembre	6228	0.00625	38.9
<b>Total</b>			<b>339.2</b>

Tabla 48. Volumen evaporado desde embalses 2010

	Vol. Emb. CHG 2011 (hm <sup>3</sup> )	Ratio pond. Evap./Vol. Emb.	Vol. Evap. 2011 (hm <sup>3</sup> )
Octubre	6078	-	20.0
Noviembre	6115	0.0013	8.1
Diciembre	6565	-	7.0
Enero	6800	-	7.9
Febrero	6825	-	10.1
Marzo	7025	0.0019	13.5
Abril	7125	-	26.9
Mayo	7275	-	42.1
Junio	7250	-	48.5
Julio	6925	-	66.3
Agosto	6500	-	56.9
Septiembre	6191.5	-	37.5
<b>Total</b>			<b>344.7</b>

Tabla 49. Volumen evaporado desde embalses 2011

	Vol. Emb. CHG 2012 (hm <sup>3</sup> )	Ratio pond. Evap./Vol. Emb.	Vol. Evap. 2012 (hm <sup>3</sup> )
Octubre	6041.5	-	19.9
Noviembre	6075	0.0013	8.1
Diciembre	6150	-	6.6
Enero	6185	-	7.3
Febrero	6200	-	9.4
Marzo	6090	0.0023	14.3
Abril	5990.5	-	23.4
Mayo	5981	-	36.1
Junio	5981	-	43.0
Julio	5981	-	59.3
Agosto	5981	-	53.4
Septiembre	5981	-	36.4
<b>Total</b>			<b>317.3</b>

Tabla 50. Volumen evaporado desde embalses 2012

### 6.3. Estimación de las pérdidas por evaporación desde ríos

Código tramo	Nombre	Jerarquía	Longitud	Anchura (m)
1930	Brazo de la Torre	4	711.2	11.3
3786	Río Guadiato	4	4345.9	15
2640	Arroyo Salado de Arjona	4	3246.4	7.67
4488	-	4	421.2	17.94
5875	Río Guadalén	4	588.7	36.5
6972	Río del Rumblar	4	1885.0	15.7
7860	Rivera de Huelva	4	848.9	21.9
8798	Río Viar	4	555.8	25
12019	Brazo de la Torre	4	0.1	20.5
12249	Río de la Colomera	4	2836.6	4.7
12680	Canal de Desague del Río Guadiamar	4	34.0	14.3
14271	Arroyo Salado	4	353.4	33
14385	Río Cacín	4	1075.3	6
14457	Río Genil	4	3102.5	5.5
14972	Arroyo Salado	4	556.2	5.5
14975	Arroyo Salado	4	1753.0	9.4
15018	Brazo de la Torre	4	1066.0	20.3
15055	Brazo de la Torre	4	4590.3	20.6
15091	Río Cacín	4	33.3	5.5
2180	Río Genil	5	143.2	35.4
2523	Río Cubillas	5	2886.6	10
2811	Río Guadalimar	5	1497.4	10.3
7281	Río Guadalquivir	5	55.4	10
9578	Río Guadiana Menor	5	57.2	5.8
9653	Río Guadiana Menor	5	264.6	7
11860	Río Genil	5	549.4	15
12227	Río Genil	5	727.7	27
12734	Río Guadaira	5	16748.9	19.5
13459	Río Genil	5	60.6	15.5
13482	Río Guadaira	5	220.0	16
13592	Río Genil	5	1890.2	22.1
13650	Río Genil	5	3814.7	19.7
1779	Río Guadalquivir	6	1290.3	59.5
2008	Río Guadalquivir	6	1013.1	201
2123	Río Guadalquivir	6	44.6	33
2268	Río Guadalquivir	6	2539.8	53
3367	Río Guadalquivir	6	72.8	33
6030	Río Guadalquivir	6	371.1	17
6386	Río Guadalquivir	6	41.7	116
6942	Río Guadalquivir	6	99.9	20.7
7221	Río Guadalquivir	6	1188.3	55.6
8547	Río Guadalquivir	6	688.9	71
8603	Río Guadalquivir	6	229.1	49
8771	Río Guadalquivir	6	206.2	50.7
9798	Río Guadiana Menor	6	1653.4	8
10056	Río Guadalquivir	6	1318.9	73
10092	Río Guadiana Menor	6	563.3	9.7
12942	Río Guadalquivir	6	228.3	155
13002	Río Guadalquivir	6	3642.1	193
13198	Río Guadalquivir	6	1586.9	151
13410	Río Guadalquivir	6	1541.0	192
14098	Río Guadalquivir	6	2488.2	234

Tabla 51. Tramos de la red fluvial escogidos como muestra

	2004		2005		2006		2007	
	Evap media mes (mm)	Vol evap (hm <sup>3</sup> )	Evap media mes (mm)	Vol evap (hm <sup>3</sup> )	Evap media mes (mm)	Vol evap (hm <sup>3</sup> )	Evap media mes (mm)	Vol evap (hm <sup>3</sup> )
Octubre	82.2	7.4	100.8	9.1	88.0	7.9	97.7	8.8
Noviembre	42.6	3.8	53.7	4.8	51.9	4.7	42.6	3.8
Diciembre	30.1	2.7	38.8	3.5	36.0	3.2	31.3	2.8
Enero	30.4	2.7	44.3	4.0	31.6	2.9	35.3	3.2
Febrero	42.6	3.8	63.0	5.7	38.1	3.4	31.4	2.8
Marzo	67.3	6.1	80.3	7.2	70.1	6.3	96.4	8.7
Abril	102.3	9.2	141.0	12.7	105.9	9.6	76.2	6.9
Mayo	106.6	9.6	189.1	17.1	167.4	15.1	142.3	12.8
Junio	212.7	19.2	234.0	21.1	199.8	18.0	182.4	16.5
Julio	257.9	23.3	256.1	23.1	277.8	25.1	269.4	24.3
Agosto	239.9	21.7	240.6	21.7	230.6	20.8	223.8	20.2
Septiembre	165.9	15.0	165.0	14.9	161.7	14.6	137.4	12.4
<b>Total</b>		<b>124.6</b>		<b>145.0</b>		<b>131.7</b>		<b>123.3</b>

Tabla 52. Volumen evaporado desde la red fluvial (2004-2007)

	2008		2009		2010		2011	
	Evap media mes (mm)	Vol evap (hm <sup>3</sup> )	Evap media mes (mm)	Vol evap (hm <sup>3</sup> )	Evap media mes (mm)	Vol evap (hm <sup>3</sup> )	Evap media mes (mm)	Vol evap (hm <sup>3</sup> )
Octubre	111.3	10.0	81.8	7.4	120.9	10.9	93.9	8.5
Noviembre	77.1	7.0	47.3	4.3	67.5	6.1	43.8	4.0
Diciembre	45.6	4.1	24.4	2.2	30.1	2.7	39.7	3.6
Enero	36.0	3.2	26.0	2.3	31.3	2.8	32.2	2.9
Febrero	53.1	4.8	43.1	3.9	36.1	3.3	45.9	4.1
Marzo	89.6	8.1	83.7	7.6	61.1	5.5	78.1	7.1
Abril	109.2	9.9	105.0	9.5	112.2	10.1	119.4	10.8
Mayo	105.7	9.5	187.2	16.9	148.2	13.4	133.3	12.0
Junio	194.4	17.5	220.5	19.9	178.5	16.1	212.4	19.2
Julio	248.3	22.4	286.8	25.9	290.8	26.2	263.5	23.8
Agosto	251.1	22.7	254.2	22.9	259.8	23.4	235.0	21.2
Septiembre	124.8	11.3	156.0	14.1	174.0	15.7	161.4	14.6
<b>Total</b>		<b>130.5</b>		<b>136.8</b>		<b>136.3</b>		<b>131.7</b>

Tabla 53. Volumen evaporado desde la red fluvial (2008-2011)

#### 6.4. Estimación de las emisiones originadas por la industria de saneamiento

Tiempo (min)	Tiempo % de (T <sub>1</sub> +0.5D)	q* ad	Q del HU (m <sup>3</sup> /s)
30	18.0	3.2	3.0
60	36.0	7.2	6.9
90	54.0	12.9	12.3
120	72.0	19.5	18.7
150	90.0	19.3	18.5
180	108.0	13.7	13.1
210	126.0	10.3	9.9
240	144.0	7.8	7.5
270	162.0	6.1	5.9
300	180.0	4.9	4.7
330	198.0	4.0	3.9
360	216.0	3.4	3.2
390	234.0	2.8	2.7
420	252.0	2.4	2.3
450	270.0	2.1	2.1
480	288.0	1.9	1.8
510	306.0	1.6	1.6
540	324.0	1.4	1.4
570	342.0	1.3	1.2
600	360.0	1.1	1.1
630	378.0	1.0	0.9
660	396.0	0.9	0.8
690	414.0	0.8	0.7
720	432.0	0.7	0.6
750	450.1	0.6	0.6
780	468.1	0.5	0.5
810	486.1	0.5	0.4
840	504.1	0.4	0.4
870	522.1	0.3	0.3
900	540.1	0.3	0.3
930	558.1	0.3	0.3
960	576.1	0.2	0.2
990	594.1	0.2	0.2

Tabla 54. Hidrograma Unitario Sintético definido para la cuenca urbana de Córdoba

Prec. Córdoba 2004 (mm)	753.8		
Coef. Esc.	0.6		
Vol. escorrentía (hm <sup>3</sup> )	10.6		
Vol. no tratado (hm <sup>3</sup> )	5.3		
<b>Fración no tratada</b>	<b>0.5</b>		
Prec. Urb. media CHG 2004 (mm)	695.3		
Vol. Prec. urbana (hm <sup>3</sup> )	698.5		
Vol. Esc. urbana CHG	425.4	Conc. DBO5 (mg/L)	DBO5 (Tn)
Vol. Esc. no tratada CHG	212.8	10.0	2127.8
Vol. Esc. tratada CHG	212.6	0.7	156.2
			<b>2284.0</b>

Tabla 55. Volúmenes de escorrentía urbana y emisiones de DBO5 (2004)

Prec. Córdoba 2005 (mm)	359.8		
Coef. Esc	0.6		
Vol. escorrentía (hm <sup>3</sup> )	5.0		
Vol. no tratado (hm <sup>3</sup> )	2.6		
<b>Fracción no tratada</b>	<b>0.525</b>		
Prec. Urb. Media CHG 2005 (mm)	275.1		
Vol. Prec. urbana (hm <sup>3</sup> )	276.4		
Vol. esc. urbana CHG	168.3	Conc DBO5 (mg/L)	DBO5 (Tn)
Vol. Esc. no tratada CHG	88.3	10.0	883.0
Vol. Esc. tratada CHG	80.0	0.8	60.1
			<b>943.1</b>

Tabla 56. Volúmenes de escorrentía urbana y emisiones de DBO5 (2005)

Prec. Córdoba 2006 (mm)	607.0		
Coef. Esc.	0.6		
Vol. escorrentía (hm <sup>3</sup> )	8.5		
Vol. no tratado (hm <sup>3</sup> )	4.5		
<b>Fracción no tratada</b>	<b>0.528</b>		
Prec. Urb. Media CHG 2006 (mm)	509.4		
Vol. Prec. urbana (hm <sup>3</sup> )	511.7		
Vol. esc. urbana CHG	311.6	Conc. DBO5 (mg/L)	DBO5 (Tn)
Vol. Esc. no tratada CHG	164.5	10.0	1645.2
Vol. Esc. tratada CHG	147.1	0.8	120.7
			<b>1765.9</b>

Tabla 57. Volúmenes de escorrentía urbana y emisiones de DBO5 (2006)

Prec. Córdoba 2007 (mm)	607.0		
Coef. Esc.	0.6		
Vol. escorrentía (hm <sup>3</sup> )	8.3		
Vol. no tratado (hm <sup>3</sup> )	3.8		
<b>Fracción no tratada</b>	<b>0.464</b>		
Prec. Urb. Media CHG 2007 (mm)	570.7		
Vol. Prec. urbana (hm <sup>3</sup> )	573.3		
Vol. esc. urbana CHG	349.1	Conc. DBO5 (mg/L)	DBO5 (Tn)
Vol. Esc. no tratada CHG	162.0	10.0	1619.9
Vol. Esc. tratada CHG	187.2	0.6	118.1
			<b>1738.0</b>

Tabla 58. Volúmenes de escorrentía urbana y emisiones de DBO5 (2007)

Prec. Córdoba 2008 (mm)	623.8		
Coef. Esc.	0.6		
Vol. escorrentía (hm <sup>3</sup> )	8.7		
Vol. no tratado (hm <sup>3</sup> )	5.1		
<b>Fración no tratada</b>	<b>0.581</b>		
Prec. Urb. Media CHG 2008 (mm)	529.8		
Vol. Prec. urbana (hm <sup>3</sup> )	532.2		
Vol. esc. urbana CHG	324.1	Conc. DBO5 (mg/L)	DBO5 (Tn)
Vol. Esc. no tratada CHG	188.2	10.0	1882.3
Vol. Esc. tratada CHG	135.9	0.7	89.2
			<b>1971.5</b>

Tabla 59. Volúmenes de escorrentía urbana y emisiones de DBO5 (2008)

Prec. Córdoba 2009 (mm)	526.8		
Coef. Esc.	0.6		
Vol. escorrentía (hm <sup>3</sup> )	7.4		
Vol. no tratado (hm <sup>3</sup> )	3.1		
<b>Fración no tratada</b>	<b>0.426</b>		
Prec. Urb. Media CHG 2009 (mm)	447.0		
Vol. Prec. urbana (hm <sup>3</sup> )	449.1		
Vol. esc. urbana CHG	273.5	Conc. DBO5 (mg/L)	DBO5 (Tn)
Vol. Esc. no tratada CHG	116.5	10.0	1164.5
Vol. Esc. tratada CHG	157.0	0.6	88.8
			<b>1253.3</b>

Tabla 60. Volúmenes de escorrentía urbana y emisiones de DBO5 (2009)

Prec. Córdoba 2010 (mm)	1059.3		
Coef. Esc.	0.6		
Vol. escorrentía (hm <sup>3</sup> )	14.9		
Vol. no tratado (hm <sup>3</sup> )	8.1		
<b>Fración no tratada</b>	<b>0.546</b>		
Prec. Urb. Media CHG 2010 (mm)	864.6		
Vol. Prec. urbana (hm <sup>3</sup> )	868.6		
Vol. esc. urbana CHG	529.0	Conc. DBO5 (mg/L)	DBO5 (Tn)
Vol. Esc. no tratada CHG	288.6	10.0	2886.4
Vol. Esc. tratada CHG	240.3	0.7	166.6
			<b>3053.0</b>

Tabla 61. Volúmenes de escorrentía urbana y emisiones de DBO5 (2010)



Prec. Córdoba 2011 (mm)	879.5		
Coef. Esc.	0.6		
Vol. escorrentía (hm <sup>3</sup> )	12.3		
Vol. no tratado (hm <sup>3</sup> )	7.4		
<b>Fracción no tratada</b>	<b>0.601</b>		
Prec. Urb. Media CHG 2011 (mm)	690.5		
Vol. Prec. urbana (hm <sup>3</sup> )	693.7		
Vol. esc. urbana CHG	422.4	Conc. DBO5 (mg/L)	DBO5 (Tn)
Vol. Esc. no tratada CHG	253.9	10.0	2539.1
Vol. Esc. tratada CHG	168.5	0.7	116.8
			<b>2656.0</b>

Tabla 62. Volúmenes de escorrentía urbana y emisiones de DBO5 (2011)

Prec Córdoba 2012 (mm)	399.4		
Coef. Esc.	0.6		
Vol. escorrentía (hm <sup>3</sup> )	5.6		
Vol. no tratado (hm <sup>3</sup> )	2.9		
<b>Fracción no tratada</b>	<b>0.519</b>		
Prec. Urb. Media CHG 2012 (mm)	279.8		
Vol. Prec. urbana (hm <sup>3</sup> )	281.0		
Vol. esc. urbana CHG	171.2	Conc. DBO5 (mg/L)	DBO5 (Tn)
Vol. Esc. no tratada CHG	88.9	10.0	888.6
Vol. Esc. tratada CHG	82.3	0.7	57.0
			<b>945.6</b>

Tabla 63. Volúmenes de escorrentía urbana y emisiones de DBO5 (2012)

## 6. Referencias

Argüelles A., Berbel, J., & Gutiérrez-Martín, C. (2012). La evolución de la Cuenca del Guadalquivir (España). *Revista de Obras Públicas: Organo profesional de los ingenieros de caminos, canales y puertos*, (3537), 51-64.

AQUAVIR, S. D. L. C. D. (2005). Superficie de los cultivos de regadío y sus necesidades de riego, en la Demarcación de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. CHG, Sevilla.

Berbel, J.; Pedraza, V., Giannoccaro, G. (2013). The trajectory towards basin closure of a European river: Guadalquivir. *International Journal of River Basin Management*, 1-32, DOI:10.1080/15715124.2013.768625

BOE (2007). Real Decreto 907/2007, de 6 de Julio, por el que se aprueba el Reglamento de Planificación Hidrológica.

BOE (2013). Real Decreto 355/2013, de 17 de mayo, por el que se aprueba el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir.

CAP – Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía (2011). Inventario de regadíos 2008 y su evolución en la última década. Disponible en: <http://www.cap.junta-andalucia.es>

Cudworth, A. G. (1989). Flood hydrology manual. US Dept. of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver Office.

Gómez-Limón Rodríguez, J. A., Arriaza Balmón, M., & Villanueva Rodríguez, A. (2012). Tipología de las zonas regables de la demarcación hidrográfica del Guadalquivir. Congreso Nacional de Riegos. Asociación Española de Riegos y Drenajes (AERYD). Albacete, 12-14 de junio, 2012.

Instituto Nacional de Estadística (INE): <http://www.ine.es/>

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA):  
<http://www.magrama.gob.es/es/>

Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM):  
<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam>

Simón, J. L., Martínez-Gil, F. J., Soriano, M. A., Arlegui, L. E., & Caballero, J. (2007). Plan General de Ordenación Urbana.  
Disponible en <https://www.zaragoza.es/ciudad/urbanismo/planeamiento/pgouz/memoria.htm>

Témez, J. R. (1977). Modelo matemático de transformación "precipitación-aportación". Asociación de Investigación Industrial Eléctrica.

U.S. Environmental Protection Agency (1983). Results of the Nationwide Urban Runoff Program Volume I-Final Report. Water Planning Division, U.S. Environmental Protection Agency, NTIS Accession Number PB84-185552, Washington, D.C.

Villalobos, F. J., & Mateos, L. Orgaz, F. y Fereres, E. (2002). Fitotecnia. Bases y tecnologías de la producción agrícola. Editorial Mundi-Prensa. Madrid.

UNSD (United Nations Statistics Division), 2012. SEEA Water; System of Environmental-Economic Accounting for Water, ST/ESA/SER.F/100, New York

Wu, I. P. (1988). Linearized water application function for drip irrigation schedules. Transactions of the ASAE (USA).