GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE FOMENTO
MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE
CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

INFORME TÉCNICO
para

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente
Secretaría de Estado de Medio Ambiente
Dirección General del Agua

ESTUDIO DE LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS RECURSOS HÍDRICOS Y LAS MASAS DE AGUA

EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ESTADO ECOLÓGICO DE LAS MASAS DE AGUA

INFORME

TOMO ÚNICO

Clave CEDEX: 44-407-1-001

Madrid, junio de 2012

Centro de Estudios Hidrográficos

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE FOMENTO
MINISTERIO DE AGRICULTURA ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE
CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

INFORME TÉCNICO

para

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

Secretaría de Estado de Medio Ambiente

Dirección General del Agua

ESTUDIO DE LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS RECURSOS HÍDRICOS Y LAS MASAS DE AGUA

EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ESTADO ECOLÓGICO DE LAS MASAS DE AGUA

INFORME

TOMO ÚNICO

Clave CEDEX: 44-407-1-001

Madrid, junio de 2012

Centro de Estudios Hidrográficos

GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE FOMENTO

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

TÍTULO:

ESTUDIO DE LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS RECURSOS HÍDRICOS Y LAS MASAS DE AGUA

EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ESTADO ECOLÓGICO DE LAS MASAS DE AGUA

INFORME

CLIENTE:

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente
Secretaría de Estado de Medio Ambiente
Dirección General del Agua

EL PRESENTE INFORME CONSTITUYE UN DOCUMENTO OFICIAL DE ESTE TRABAJO Y, DE ACUERDO CON LAS NORMAS GENERALES DEL ORGANISMO, SU ENTREGA SUPONE EL CUMPLIMIENTO DE LAS ACTUACIONES TÉCNICAS DEL MISMO REFERENTES A LA MATERIA OBJETO DEL INFORME.

VALIDEZ OFICIAL

VISTO EL CONTENIDO DEL INFORME Y SIENDO ACORDE CON LAS CLÁUSULAS DEL CONVENIO DE COLABORACIÓN CORRESPONDIENTE, SE PROPONE AUTORIZAR SU EMISIÓN.

EL DIRECTOR DEL CENTRO DE ESTUDIOS HIDROGRÁFICOS

Fdo. Federico Estrada Lorenzo

AUTORIZA LA EMISIÓN DEL INFORME:

Madrid, a de junio de 2012

EL DIRECTOR DEL CEDEX

MINISTERIO DE FOMENTO
Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas
CEDEX

Fdo. Mariano Navas Gutiérrez

SOLO SON INFORMES OFICIALES DEL CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS (CEDEX) LOS REFRENDADOS POR SU DIRECCIÓN

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL I
ÍNDICE DE FIGURAS III
ÍNDICE DE TABLAS VII
RESUMEN EJECUTIVO IX
1. ANTECEDENTES Y OBJETO DEL ESTUDIO 1
2. CUENCA DE ESTUDIO PILOTO: JÚCAR 3
2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CUENCA 3
2.2 DISTRIBUCIÓN DE LAS REDES DE ESTACIONES 4
3. METODOLOGÍA GENERAL DE TRABAJO 5
3.1 ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA GENERAL DEL TRABAJO 5
3.2 VARIABLES SELECCIONADAS Y CRITERIOS 6
4. ATLAS DE TAXONES (FAMILIAS) DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN LA CUENCA DEL JÚCAR 8
4.1 METODOLOGÍA DE ELABORACIÓN 8
4.2 ATLAS DE DISTRIBUCIÓN 8
5. ÓPTIMOS ECOLÓGICOS DE LAS FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS 9
5.1 INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA ESTADÍSTICA DESARROLLADA: EL ÓPTIMO ROBUSTO 9
5.2 METODOLOGÍA EMPLEADA 11
5.2.1 Método de la Media Ponderada 12
5.2.2 Método del Óptimo Robusto 12
5.3 PROCESO DE COMPARACIÓN ENTRE LOS MÉTODOS PARA ESTIMAR EL ÓPTIMO ECOLÓGICO, LOS RANGOS ÓPTIMOS Y LOS RANGOS DE TOLERANCIA 13
5.4 RESULTADOS 16
5.5 OBTENCIÓN DE LOS ÓPTIMOS ECOLÓGICOS POR VARIABLES MEDIANTE EL MÉTODO RO 22
5.5.1 Alcalinidad 22
5.5.2 Altitud 22
5.5.3 Amonio 23
5.5.4 Anchura media del cauce 23
5.5.5 Área de la cuenca 23
5.5.6 Caudal 23
5.5.7 Conductividad 23
5.5.8 DBO5 24
5.5.9 Días con caudal = 0 24
5.5.10 Distancia a la divisoria de aguas 24
5.5.11 Fosfatos 24
5.5.12 Sólidos en suspensión 25

5.5.13 Nitratos 25
5.5.14 Oxígeno disuelto 25
5.5.15 pH 26
5.5.16 Profundidad media del cauce 26
5.5.17 Sulfatos 26
5.5.18 Temperatura del agua 26
5.6 DISCUSIONES Y CONCLUSIONES 27
6. ESTUDIO DE LAS DIFERENCIAS ENTRE LOS ÓPTIMOS ECOLOGICOS EN FUNCIÓN DE LA RESOLUCIÓN TAXONÓMICA UTILIZADA 30
6.1 OBJETIVOS DEL ANÁLISIS 30
6.2 METODOLOGÍA 30
6.3 RESULTADOS 31
6.4 DISCUSIONES Y CONCLUSIONES 45
7. MODELO DE TRANSFERENCIA DE TEMPERATURAS AIRE/AGUA 47
7.1 INTRODUCCIÓN 47
7.2 DESARROLLO METODOLÓGICO 48
7.3 ESCALA TEMPORAL DE MODELIZACIÓN 55
7.3.1 Escala mensual 55
7.3.2 Escala diaria 67
7.4 RÉGIMEN TÉRMICO PARA LOS TIPOS ECOLÓGICOS 74
7.5 RECOMENDACIONES 90
8. MODELO DE DISTRIBUCIÓN DE TAXONES EN LOS ESCENARIOS FUTUROS 92
8.1 INTRODUCCIÓN 92
8.2 REVISIÓN DE LOS MODELOS Y MÉTODOS EXISTENTES PARA ESTIMAR LA DISTRIBUCIÓN DE LOS ORGANISMOS EN LOS ESCENARIOS FUTUROS. ANÁLISIS DE APLICABILIDAD 94
8.2.1 Clasificación de los modelos 94
8.2.2 Análisis y discusión sobre los modelos propuestos 98
8.3 CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL MÉTODO MÁS ADECUADO 102
8.3.1 GLMs (Modelos Lineales Generalizados) 103
8.3.2 ENFA (Ecological Niche Factor Analysis) 105
8.4 CONCLUSIONES 108
9. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS TIPOLOGÍAS 110
9.1 INTRODUCCIÓN 110
9.2 METODOLOGÍA 111
9.2.1 Selección de las masas de agua 111
9.2.2 Selección de variables ambientales 114
9.3 PREDICCIÓN DE LAS VARIABLES EN ESCENARIOS CLIMÁTICOS FUTUROS 115
9.4 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INCUMPLIMIENTO DE LAS MASAS CON LOS RANGOS DE LAS VARIABLES DE LAS TIPOLOGÍAS 116
9.5 CONCLUSIONES 122

10. CONCLUSIONES FINALES 124
10.1 ÓPTIMOS ECOLÓGICOS DE LAS FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS 124
10.2 ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA RESOLUCIÓN TAXONÓMICA NECESARIA PARA UNA DETECCIÓN DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO 125
10.3 MODELO DE TRANSFERENCIA DE TEMPERATURAS AIRE/AGUA 126
10.4 REVISIÓN Y CRITERIOS DE SELECCIÓN DE MODELOS PREDICTIVOS DE DISTRIBUCIÓN DE TAXONES EN ESCENARIOS FUTUROS 127
10.5 EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS TIPOLOGÍAS 128
11. RECOMENDACIONES 130
12. AGRADECIMIENTOS 133
13. EQUIPO DE TRABAJO 133
14. BIBLIOGRAFÍA 134
15. GLOSARIO DE TÉRMINOS 140

ANEXOS en CD adjunto:

ANEXO I. Estaciones biológicas y de aforos seleccionadas en el estudio.

ANEXO II. Atlas de taxones (familias) de macroinvertebrados bentónicos en la cuenca del Júcar.

ANEXO III. Óptimos ecológicos de taxones (familias) de macroinvertebrados bentónicos en la cuenca del Júcar para cada variable.

ANEXO IV. Gráficas del modelo a escala diaria.

ANEXO V. p-valores obtenidos con el test de Friedman para las masas de agua de la cuenca del Júcar, clasificadas por tipologías, para las predicciones 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 en el escenario A2.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de las tipologías de ríos en el ámbito de la cuenca del Júcar 3
Figura 2. Distribución de las estaciones de la red biológica y de aforos en la cuenca del Júcar 4
Figura 3. Esquema general del trabajo y factores/información a considerar 5
Figura 4. Atlas de distribución de la familia *Ephemerellidae* en la cuenca del Júcar. 8
Figura 5. Representación gráfica del significado ecológico de los términos óptimo ecológico, rango óptimo y rango de tolerancia. 11
Figura 6. Definición y representación gráfica de las cuatro zonas diferenciadas en las que se clasifican los individuos de cada familia de macroinvertebrados según el método de la media ponderada (izquierda) o del óptimo robusto (derecha). 14
Figura 7. Representación gráfica del óptimo ecológico, rango óptimo y rango de tolerancia para la variable temperatura del agua, aplicando los métodos WA (izquierda) y RO (derecha) con la familia *Rhagionidae* en la Cuenca del Júcar. 16
Figura 8. Óptimo ecológico, rango óptimo y rango de tolerancia para la variable temperatura del agua aplicando los métodos WA (a) y RO (b) con 47 familias en la Cuenca del Júcar 17

Figura 9. Resultados de la aplicación del método del Óptimo Robusto. Se representa para cada familia seleccionada en el estudio el porcentaje de individuos que han experimentado algún cambio como resultado de la simulación de los diferentes incrementos de temperatura del agua (0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 ºC). Las familias que se consideran mejores indicadoras (9) son aquellas cuyos porcentajes de individuos con cambios son mayores del 75%. 18
Figura 10. Comparación entre el porcentaje de individuos con cambios de las familias mejor indicadoras, resultante de la aplicación de los métodos WA y RO para incrementos de temperatura del agua de 0.5 ºC (a), 1.0 ºC (b), 1.5 ºC (c) y 2.0 ºC (d). Los círculos señalan aquellas familias identificadas como potenciales indicadoras del calentamiento global utilizando el método RO pero no cuando se utiliza el método WA. La línea negra correspondiente al valor 75% del eje de ordenadas marca el umbral del porcentaje de individuos con cambio que una familia debe sobrepasar para constituir un buen indicador. 19
Figura 11. Estimas del óptimo ecológico, rango óptimo y rango de tolerancia para la temperatura del agua (sin incrementos) mediante los métodos WA (izquierda de cada subfigura) y RO (derecha de cada subfigura) para el grupo de familias descritas como indicadoras de calentamiento en al menos uno de los incrementos de temperatura simulados. 21
Figura 12. Óptimos ecológicos de los taxones de efemerópteros a diferente nivel taxonómico (familia y género) para la variable altitud (los taxones pertenecientes a la misma familia se representan con el mismo color). 42
Figura 13. Óptimos ecológicos de los taxones de efemerópteros a diferente nivel taxonómico (familia y género) para la variable temperatura del agua (los taxones pertenecientes a la misma familia se representan con el mismo color). 42
Figura 14. Óptimos ecológicos de los taxones de efemerópteros a diferente nivel taxonómico (familia y género) para la variable CE a 25 ºC (los taxones pertenecientes a la misma familia se representan con el mismo color). 43
Figura 15. Óptimos ecológicos de los taxones de efemerópteros a diferente nivel taxonómico (familia y género) para la variable pH a 25 ºC (los taxones pertenecientes a la misma familia se representan con el mismo color). 43
Figura 16. Óptimos ecológicos de los taxones de efemerópteros a diferente nivel taxonómico (familia y género) para la variable caudal (los taxones pertenecientes a la misma familia se representan con el mismo color). 44
Figura 17. Óptimos ecológicos de los taxones de efemerópteros a diferente nivel taxonómico (familia y género) para la variable distancia a la divisoria de aguas (los taxones pertenecientes a la misma familia se representan con el mismo color). 44
Figura 18. Óptimos ecológicos de los taxones de efemerópteros a diferente nivel taxonómico (familia y género) para la variable distancia a la divisoria de aguas (los taxones pertenecientes a la misma familia se representan con el mismo color). 45
Figura 19. Mapa de las estaciones SAICA y AEMET de la Península Ibérica 54

Figura 20. Regresión mensual de la temperatura del are sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 1 56
Figura 21. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 2 56
Figura 22. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 4 57
Figura 23. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 6 57
Figura 24. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 7 58
Figura 25. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 9 58
Figura 26. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 10 59
Figura 27. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 12 59
Figura 28. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 14 60
Figura 29. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 15 60
Figura 30. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 16 61
Figura 31. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 17 61
Figura 32. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 18 62
Figura 33. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 21 62
Figura 34. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 26 63
Figura 35. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 28 63
Figura 36. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 29 64
Figura 37. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 31 64
Figura 38. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 32 65

Figura 39. Componente anual o estacional y componente no estacional o residual de la temperatura del agua 68
Figura 40. Componentes de los residuos de la temperatura del aire 70
Figura 41. Relación de la componente residual de la temperatura del aire con la del agua 70
Figura 42. Obtención de la predicción de la temperatura del agua 71
Figura 43. Gráficas de validación para la estación SAICA 810..... 72
Figura 44. Error cuadrático medio y coeficiente de regresión para los años en los que se predice la temperatura del agua en la estación SAICA 810 74
Figura 45. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 1 “Ríos de llanuras silíceas del Tajo y Guadiana”..... 75
Figura 46. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 2 “Ríos de la depresión del Guadalquivir” 76
Figura 47. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 4 “Ríos mineralizados de la Meseta Norte” 76
Figura 48. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 6 “Ríos silíceos del piedemonte de Sierra Morena” 77
Figura 49. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 7 “Ríos mineralizados mediterráneos de baja altitud”..... 77
Figura 50. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 9 “Ríos mineralizados de la baja montaña mediterránea”..... 78
Figura 51. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 10 “Ríos mediterráneos con influencia cárstica” 79
Figura 52. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 12 “Ríos de montaña mediterránea calcárea”..... 80
Figura 53. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 14 “Ejes mediterráneos de baja altitud”..... 80
Figura 54. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 15 “Ejes mediterráneo-continentales poco mineralizados” 81
Figura 55. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 16 “Ejes mediterráneo-continentales mineralizados” 82
Figura 56. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 17 “Grandes ejes en ambiente mediterráneo”..... 83
Figura 57. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA, del primer grupo, que se encuentran en las masas de agua de la tipología 17 “Grandes ejes en ambiente mediterráneo”. 84
Figura 58. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA, del segundo grupo, que se encuentran en las masas de agua de la tipología 17 “Grandes ejes en ambiente mediterráneo”. 84
Figura 59. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 18 “Ríos costeros mediterráneos” 85

Figura 60. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 21 “Ríos cántabro-atlánticos silíceos” 86
Figura 61. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 26 “Ríos de montaña húmeda calcárea” 86
Figura 62. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 28 “Ejes fluviales principales cántabro-atlánticos silíceos” 87
Figura 63. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 29 “Ejes fluviales principales cántabro-atlánticos calcáreos”.....88
Figura 64. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 31 “Pequeños ejes cántabro-atlánticos silíceos”.....89
Figura 65. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 32 “Pequeños ejes cántabro-atlánticos calcáreos” 89
Figura 66. Esquema del estudio del efecto del cambio climático en las comunidades de macroinvertebrados en los ecosistemas fluviales mediante modelos predictivos. 93
Figura 67. Clasificación de los modelos de distribución de especies (adaptado de Elith et al., 2006).....95
Figura 68. AUC aplicando distintos modelos de distribución para 6 regiones diferentes del mundo (Elith et. al., 2006).....99
Figura 69. Se muestra un ejemplo representativo de la variación en los mapas obtenidos de distribución de dos especies vegetales aplicando tres tipos diferentes de modelos: BIOCLIM, GAM y GARP. Se indican los valores obtenidos con la curva AUC (tomado de Elith et al., 2006).....100
Figura 70. Interpretación geométrica del ENFA (según Hirzel et. al., 2002) 107
Figura 71. Mapa de hábitat idóneo de *Capra ibex* en los Alpes suizos, aplicando el modelo ENFA (tomado de Hirzel et al., 2002). La escala de la derecha muestra la disponibilidad de hábitat. El mapa con cuadrículas negras de la zona inferior derecha representa la distribución real de la especie, y el pequeño de la zona inferior izquierda la superficie de ocupación modelizada. 108
Figura 72. Sustitución de uno de los puntos que define una masa de agua 114
Figura 73. Porcentaje de masas de agua cuya temperatura media anual incumple el rango definido para su tipo 119
Figura 74. Porcentaje de masas de agua cuya amplitud térmica anual incumple el rango definido para su tipo 119
Figura 75. Porcentaje de masas de agua cuyo caudal medio anual incumple el rango definido para su tipo 120
Figura 76. Porcentaje de masas de agua que incumplen, para cada una de las tipologías 122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables generales utilizadas en el estudio 7
Tabla 2. Pruebas de normalidad: test Kolmogorov-Smirnov.....34

Tabla 3. Kruskal-Wallis y ANOVA de un factor (variables normales) 35
Tabla 4. Familia Heptageniidae. Comparaciones múltiples post hoc para las medias observadas (Bonferroni) y pruebas no paramétricas: U de Mann-Whitney. 37
Tabla 5. Familia Baetidae. Pruebas no paramétricas, U de Mann-Whitney 39
Tabla 6. Familia Leptophlebiidae. Pruebas no paramétricas, U de Mann-Whitney 41
Tabla 7. Estaciones SAICA (temperatura del agua) y AEMET (temperatura del aire) seleccionadas. 51
Tabla 8. Número de registros diarios de temperaturas en las estaciones seleccionadas 54
Tabla 9. Número total de parejas SAICA-AEMET empleadas en el cálculo de las regresiones mensuales de temperaturas en cada uno de los tipos ecológicos de ríos en los que había registros. 55
Tabla 11. Regresiones lineales a escala mensual de temperaturas en cada una de las tipologías de ríos en los que había registros de datos. 66
Tabla 12. Clasificación por tipologías de las masas de agua de la cuenca del Júcar de la categoría río. 112
Tabla 13. Pruebas de normalidad: Test de Shapiro- Wilk 116
Tabla 14. Número de masas y porcentaje de masas que no cumplen los rangos para las variables "*Temperatura media anual*", "*Amplitud térmica media*" y "*Caudal medio anual*" establecidos para cada una de las tipologías 118

RESUMEN EJECUTIVO

ANTECEDENTES

1. El 23 de abril de 2007 la Dirección General del Agua y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, suscribieron un Acuerdo de encomienda de gestión para el estudio de los impactos del cambio climático en los recursos hídricos y las masas de agua. Entre los trabajos a realizar, la Actuación 4 comprende el estudio del "*Efecto del cambio climático en el estado ecológico de las masas de agua*". Este documento es una síntesis del trabajo que se ha realizado.

2. Según las conclusiones del informe de la Encomienda de gestión para la actuación "Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural", se pronostica una reducción generalizada de la precipitación conforme avanza el siglo XXI, y la evolución de la temperatura proyectada a lo largo de este siglo muestra tendencias crecientes. Es previsible, por tanto, que en los próximos años el cambio climático pueda afectar al ciclo integral del agua y, en consecuencia, al estado ecológico de los ecosistemas acuáticos.

3. La Directiva Marco del Agua (DMA) (2000/60/CE) establece el objetivo de que todas las masas de agua continentales superficiales alcancen y mantengan un buen estado ecológico. Hasta la fecha, no son muy numerosos los estudios relativos al efecto del cambio climático en el estado ecológico de los ecosistemas acuáticos, especialmente desde el punto de vista de la respuesta de las comunidades biológicas. Hay por tanto una necesidad de elaborar herramientas y metodologías que nos permitan estudiar y analizar esos efectos del cambio climático sobre el estado ecológico de las masas de agua.

OBJETO DEL ESTUDIO Y ALCANCE

4. El objetivo de este trabajo es analizar los efectos del cambio climático en el estado ecológico de las masas de agua. Inicialmente estaba previsto realizar el estudio con la información generada en las redes de control del estado ecológico de las masas de agua de todas las cuencas españolas, pero finalmente la Comisión de Seguimiento de la encomienda de gestión decidió limitar el trabajo únicamente a los ríos de la cuenca hidrográfica del Júcar, como cuenca piloto, al no estar disponible la información necesaria para todo el territorio nacional.

5. Se han realizado en concreto una serie de tareas que sirven como base para poder llevar a cabo los trabajos de simulación de la respuesta de las comunidades biológicas en los diferentes escenarios de cambio climático y, por tanto, los efectos en el estado ecológico, analizando la sensibilidad de los sistemas actuales de indicadores ante los efectos del cambio climático .

6. La red hidrográfica del ámbito del Júcar comprende 9 de las 32 tipologías ecológicas definidas para el territorio peninsular español de acuerdo con la Directiva Marco del Agua.

La base de datos, proporcionada por la Confederación Hidrográfica del Júcar, contiene información de variables físicas, químicas y biológicas entre 1999 y 2006. Esta información, si bien su componente biológica sólo es relativa a los macroinvertebrados bentónicos, ha permitido llevar a cabo de forma piloto un ensayo y desarrollo de la metodología que se propone para su aplicación en todo el territorio nacional.

7. Para poder predecir los posibles impactos del cambio climático en los ecosistemas acuáticos se requiere estimar e interpretar el óptimo ecológico y los rangos óptimo y de tolerancia de los taxones biológicos respecto a las variables ambientales. Para ello, se han elaborado en un GIS una serie de atlas de distribución de las familias de los macroinvertebrados bentónicos fluviales con una base de datos de variables ambientales asociada, lo que ha permitido obtener los óptimos ecológicos, rangos óptimo y de tolerancia de dichas familias para las diferentes variables ambientales (físico-químicas, hidrológicas y fisiográficas) y la diferencia de los óptimos ecológicos con respecto a la resolución taxonómica.

8. La distribución de los macroinvertebrados bentónicos depende, entre otras variables, de la temperatura del agua, siendo ésta una de las variables presumiblemente más afectada por el cambio climático. Para poder estudiar este efecto y relacionarlo posteriormente con el posible impacto en la comunidad biológica, ha sido necesario elaborar una metodología que permitiese transferir los efectos de los cambios en la temperatura del aire (escenarios futuros climáticos) a la temperatura del agua. Se han desarrollado dos posibles modelos de transferencia de temperatura aire/agua: un modelo a escala mensual y otro a escala diaria.

9. Los modelos de distribución de especies constituyen herramientas para relacionar la distribución actual de las especies con las variables ambientales con las que se relacionan. Este informe recoge la revisión y valoración de algunos modelos y métodos existentes para estimar la distribución futura de los macroinvertebrados bentónicos en dichos escenarios.

10. Por último, el alcance de este informe abarca además el análisis de la posible repercusión del impacto del cambio climático en las variables que caracterizan las tipologías en las que se clasifican las masas de agua. Se desarrolla una metodología que permite evaluar el número de masas de agua susceptibles de ver modificada su asignación a una tipología y detectar aquellas tipologías más sensibles a los posibles efectos del cambio climático.

METODOLOGÍA

11. En la figura 1 se muestra un esquema de la metodología general que se ha establecido para estudiar el efecto del cambio climático en el estado ecológico de las masas de agua:

    Se ha partido de la información existente en las bases de datos de la Confederación Hidrográfica del Júcar (red biológica), del CEDEX y de la Agencia Estatal de Meteorología, junto con los datos hidrológicos de las redes foronómicas y los obtenidos mediante el modelo SIMPA para los cursos de agua en régimen natural en el caso de los ríos regulados.

Estos datos han permitido obtener los óptimos ecológicos de los taxones de los indicadores biológicos seleccionados para cada una de las variables de interés, así como seleccionar aquellos taxones más sensibles o mejores indicadores del cambio climático y las métricas que mejor detecten o cuantifiquen esa respuesta.

En base a los datos obtenidos y disponibles, se propone una metodología basada en modelos de envolvente climática para la predicción de la respuesta de las comunidades biológicas en los escenarios futuros de cambio climático. Finalmente, el análisis de las variables más afectadas por el cambio climático ha facilitado la detección de las tipologías y masas de agua más vulnerables o sensibles a sus efectos.

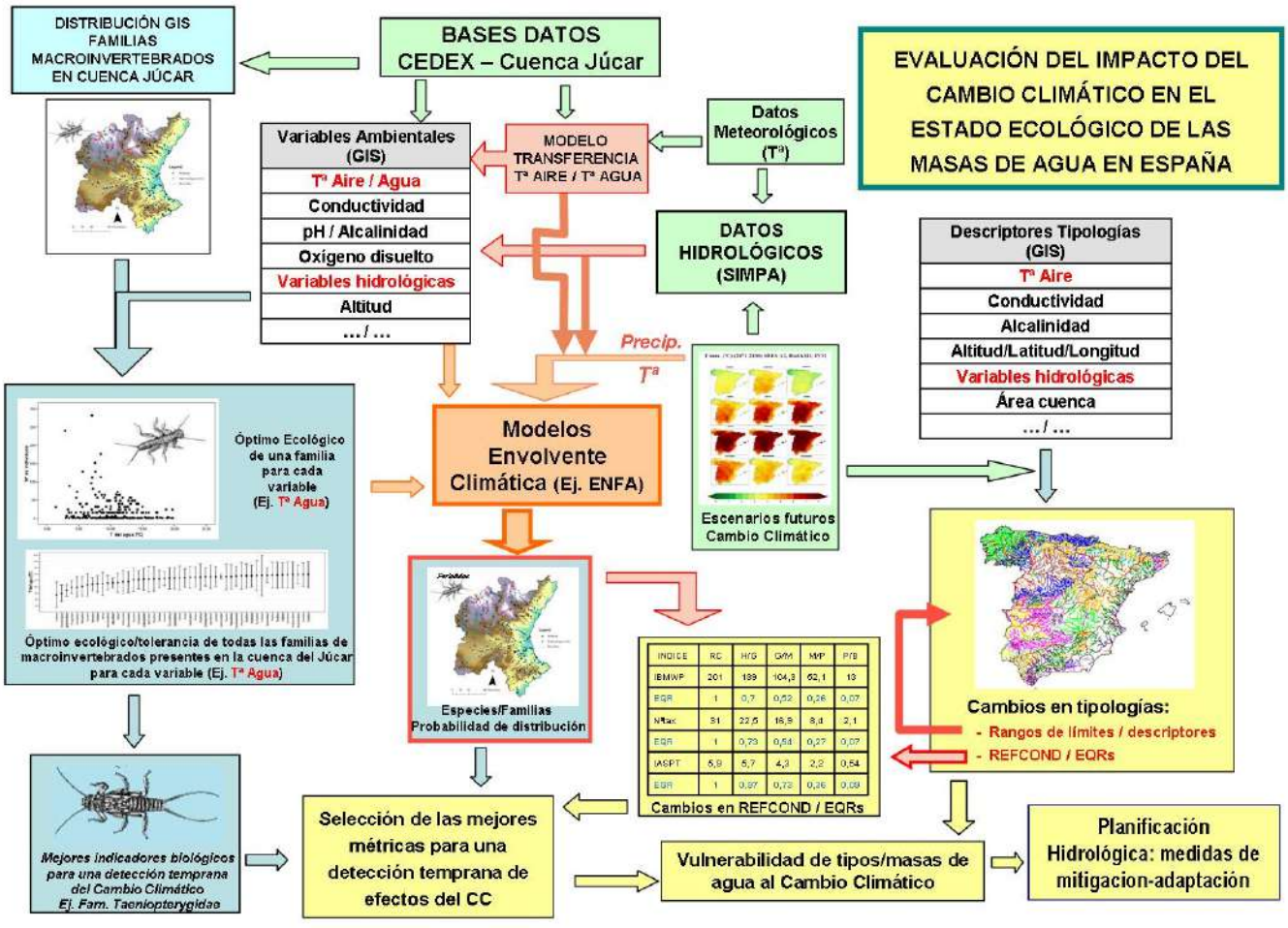


Figura 1. Metodología general del trabajo

MINISTERIO DE FOMENTO
MINISTERIO DE AGRICULTURA ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

12. La base de datos biológica, proporcionada por la Confederación Hidrográfica del Júcar, se compone de 310 estaciones de muestreo con información sobre variables físicas, químicas y biológicas entre 1999 y 2006. De todas ellas, se han seleccionado 73 con datos de presencia y de abundancia totales de macroinvertebrados bentónicos. Con respecto a las estaciones de aforo, de las 445 distribuidas en la cuenca, se han seleccionado 56, en las que se dispone de datos continuos diarios de caudal entre 1985 y 2006 (figura 2).

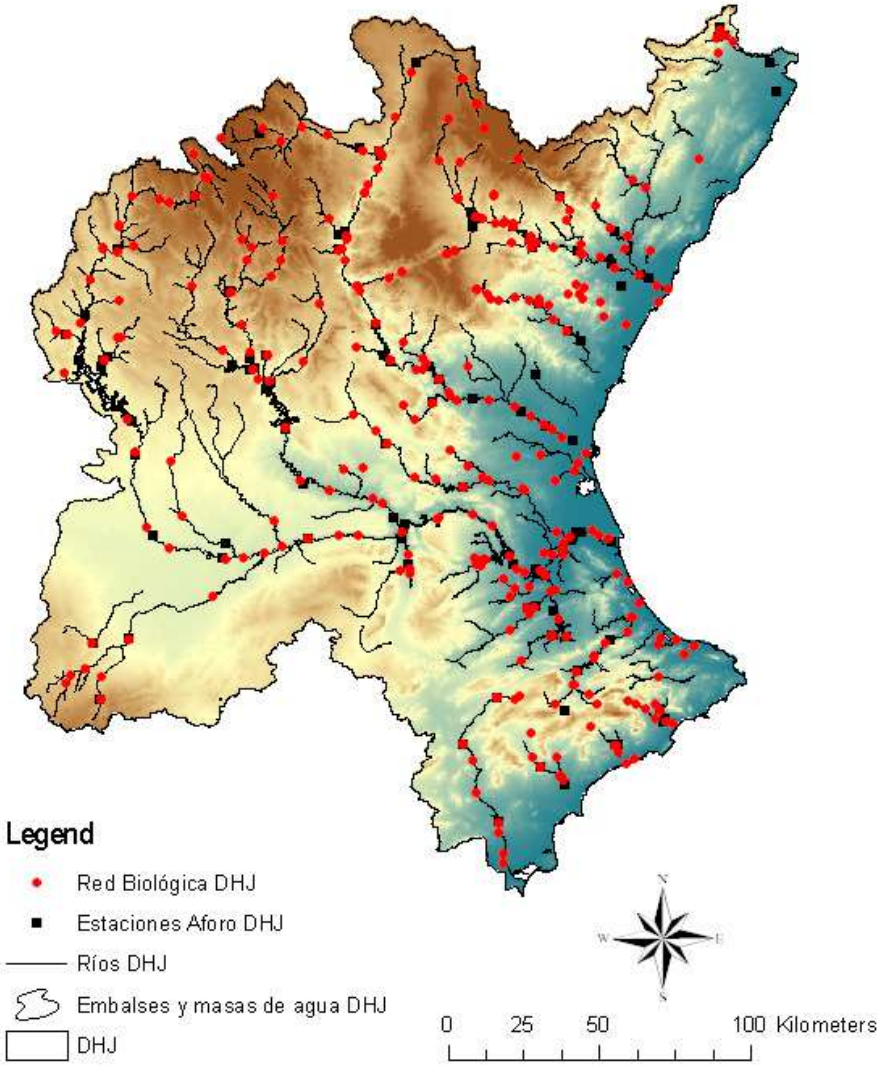


Figura 2. Distribución de las estaciones de la red biológica y de aforos en la demarcación hidrográfica del Júcar

13. Para estimar el óptimo ecológico y los rangos óptimos y de tolerancia se han comparado dos métodos: método de la media ponderada (WA), que es el método clásico, y método del óptimo robusto (RO), analizando la sensibilidad de las familias de macroinvertebrados como indicadores frente al efecto del cambio climático. Para ello, aplicando ambos métodos, se ha observado la respuesta de las familias frente a incrementos simulados de temperatura del agua de 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 ºC. Además, el método RO se ha aplicado para la obtención de los óptimos ecológicos para un grupo de variables con el fin de analizar su idoneidad para estudiar el valor indicador de las familias frente a posibles efectos relacionados con el cambio climático: alcalinidad, altitud, amonio, anchura media del cauce, área de la cuenca, caudal, conductividad, DBO_5, días con caudal cero, distancia a la divisoria de aguas, fosfatos, sólidos en suspensión, nitratos, oxígeno disuelto, pH, profundidad media del cauce, sulfatos y temperatura del agua.

14. Se han comparado los óptimos ecológicos estimados para dos niveles diferentes de resolución taxonómica (familia y género) en datos obtenidos para tres familias de efemerópteros (*Heptageniidae*, *Baetidae* y *Leptopholebiidae)*, incluyendo varios géneros cada una, y escogiendo como variables la temperatura, conductividad, pH, caudal, altitud, media del número de días con caudal cero y distancia a la divisoria de aguas.

15. Para poder obtener la temperatura del agua en los escenarios futuros de cambio climático, se han desarrollado dos modelos de transferencia aire/agua: a escala mensual (mediante técnica de regresión lineal) y a escala diaria (mediante modelo estocástico). Para poder construir y validar los modelos, se han tomado los datos de temperatura del agua de la red SAICA (Sistema Automático de Información de Calidad de las Aguas) y los de la temperatura del aire, de las estaciones meteorológicas de la AEMET (Agencia Española de Meteorología). De todas las estaciones SAICA y AEMET se han seleccionado aquellas que cumplían una serie de requisitos: de las estaciones SAICA, aquellas que se encontrasen a más de 30 km aguas abajo de cualquier infraestructura o presión que ejerza algún tipo de contaminación térmica y de las estaciones AEMET, aquellas que se ubicasen a menos de 20 km de las correspondientes estaciones SAICA y con una diferencia de altitud entre ambas siempre inferior a 250 m.

16. Para poder elegir el modelo de distribución de especies más adecuado para cuantificar la influencia del cambio climático en las comunidades biológicas, se ha procedido a la revisión de los principales modelos existentes. Fundamentalmente, se ha tomado como fuente principal el trabajo “Novels methods improve prediction of species distributions from occurrence data” (Elith et. al., 2006), aunque también se han revisado otras publicaciones.

17. Para poder evaluar los posibles efectos del cambio climático en las masas de agua respecto a su mantenimiento en los rangos de las variables representativas de los tipos de ríos, en primer lugar se han seleccionado aquellas variables más sensibles al cambio climático (temperatura media anual, amplitud térmica media y caudal medio anual). Se han obtenido las predicciones de dichas variables para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 con el modelo climático ECHAM4, y aplicando como análisis de varianza el método no paramétrico Friedman se ha comprobado qué masas de agua no cumplirían los rangos de las variables de las tipologías en las que se clasificaron.

RESULTADOS

Óptimos ecológicos para las familias de macroinvertebrados bentónicos

18. En el Anexo II se representan los atlas de distribución de todas las familias de macroinvertebrados bentónicos encontradas en los muestreos de la cuenca del Júcar durante el periodo 1999-2006.

19. Para estimar el óptimo ecológico y los rangos óptimos y de tolerancia con los dos métodos seleccionados (RO y WA) se han clasificado los individuos de cada familia en función de su localización en las zonas establecidas con cada método (figura 3).

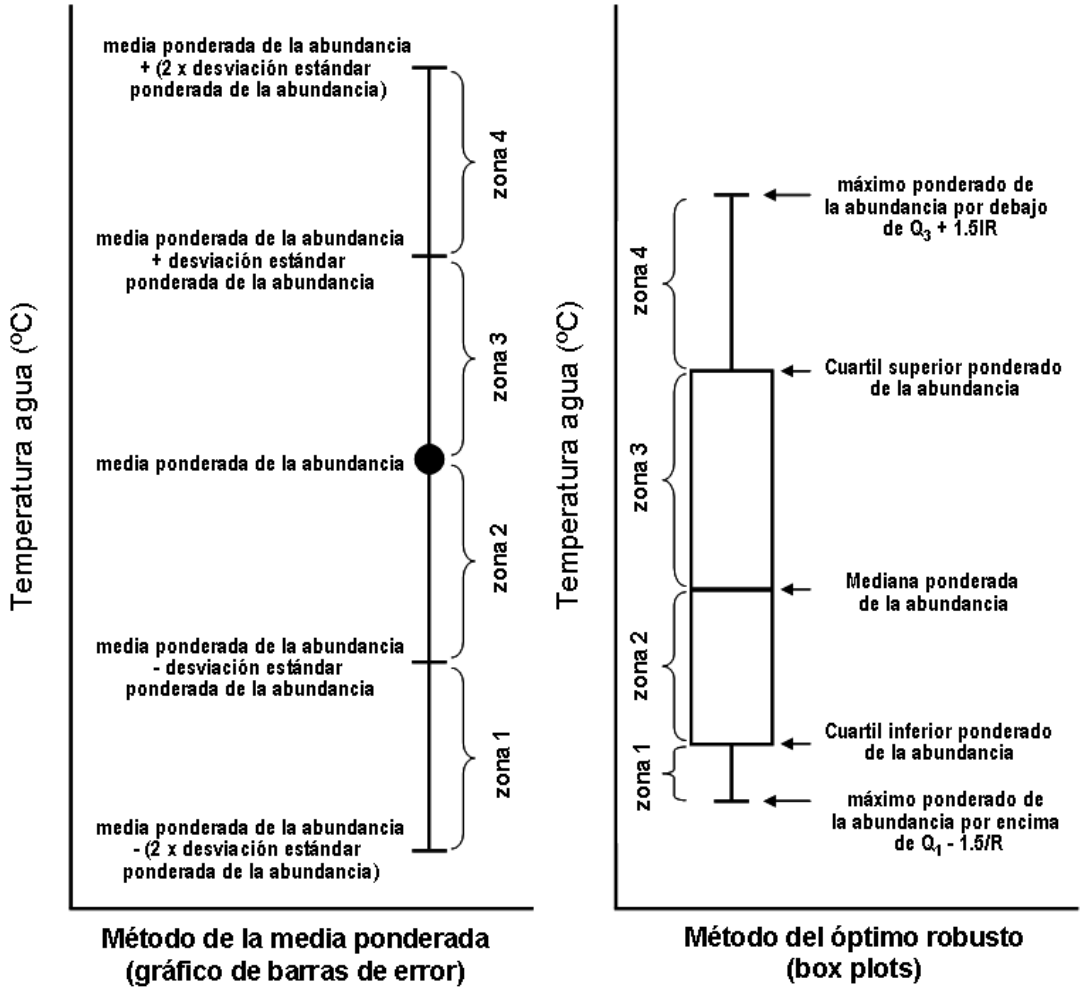


Figura 3. Definición y representación gráfica de las cuatro zonas diferenciadas en las que se clasifican los individuos de cada familia de macroinvertebrados según el método de la media ponderada (izquierda) o del óptimo robusto (derecha).

20. Aplicando el método RO se ha obtenido el porcentaje de individuos que cambian su clasificación de una zona a otra cuando se simulan incrementos de la temperatura del agua de 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 ºC. Las familias que se consideran mejores indicadoras son aquéllas cuyos porcentajes de individuos de cambio son mayores del 75 %. Cuanto mayor es el incremento de temperatura, mayor es el porcentaje de individuos afectados por el calentamiento (figura 4).

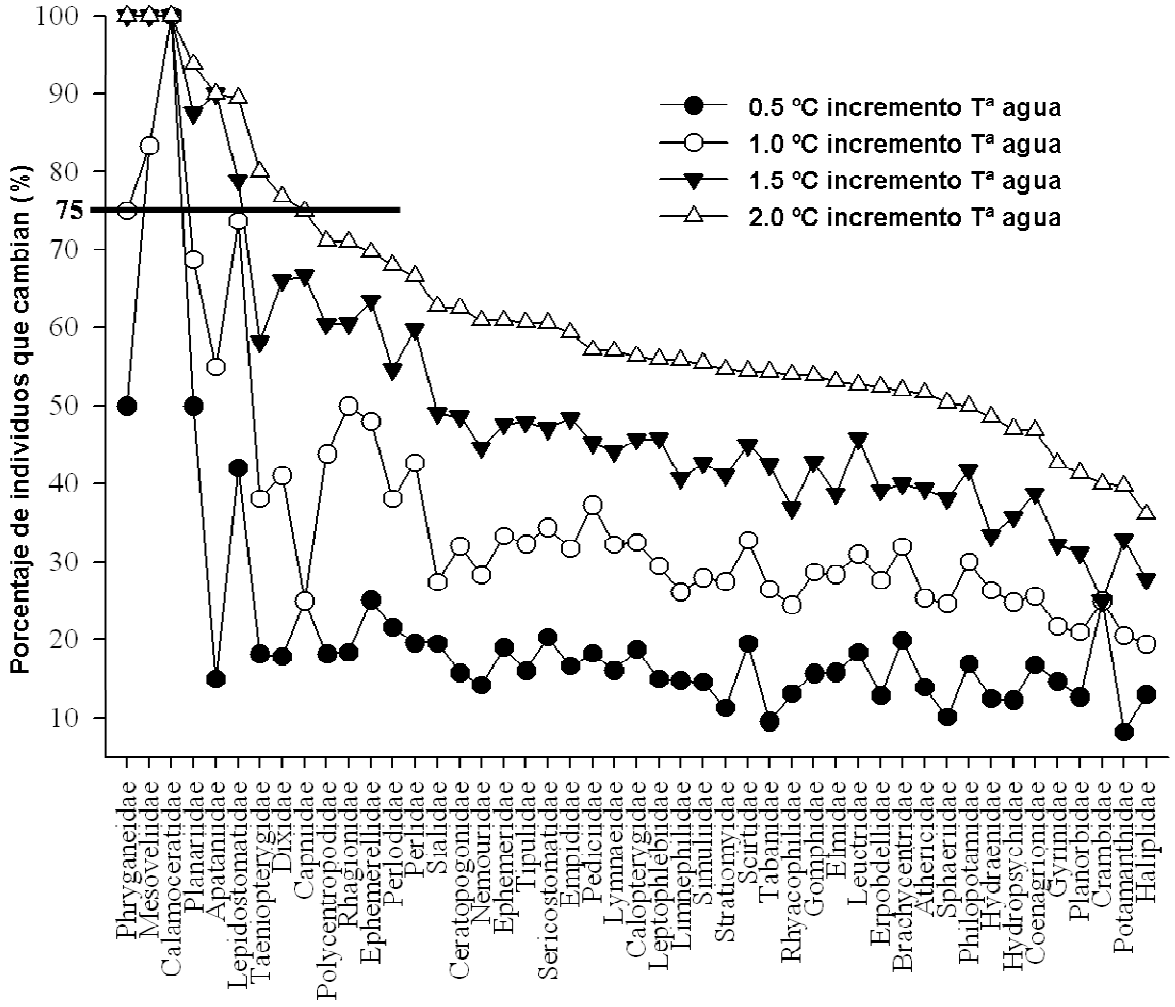


Figura 4. Resultados de la aplicación del método del Óptimo Robusto. Se representa para cada familia seleccionada en el estudio el porcentaje de individuos que han experimentado algún cambio como resultado de la simulación de los diferentes incrementos de temperatura del agua (0,5, 1,0, 1,5 y 2,0 ºC).

21. Para las nueve familias que se han considerado mejores indicadoras del cambio térmico, se han comparado los porcentajes de individuos que cambian su clasificación de zona, debido al calentamiento, aplicando los dos métodos (WA y RO) observándose diferencias notables al comparar el porcentaje de individuos afectados. El método RO discrimina con mayor resolución los mejores indicadores de cambios en la temperatura (figura 5).

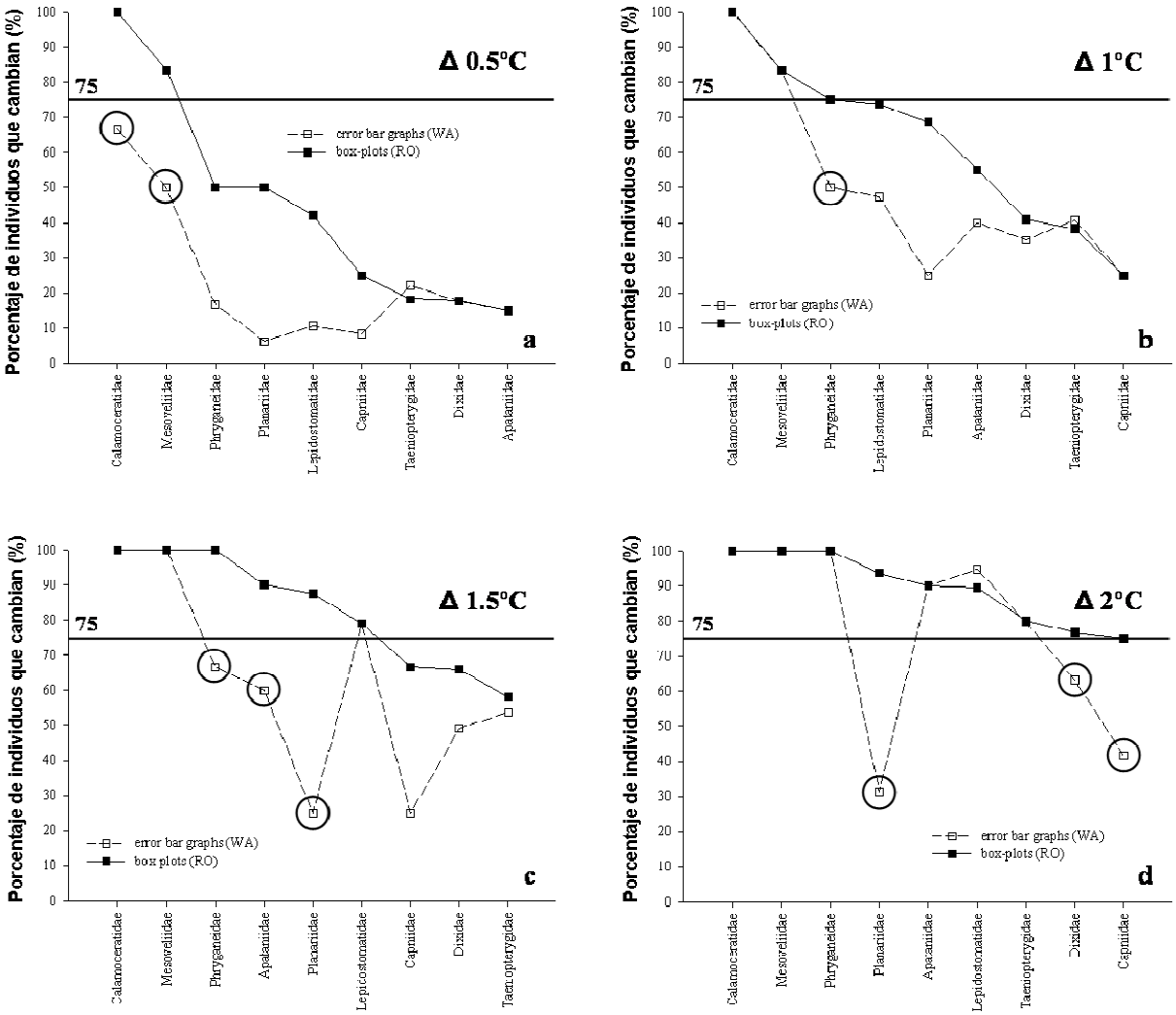


Figura 5. Comparación entre el porcentaje de individuos con cambios de las familias mejor indicadoras, resultante de la aplicación de los métodos WA y RO para incrementos de temperatura del agua de 0,5 (a), 1,0 (b), 1,5 (c) y 2,0 ºC (d). Los círculos señalan aquellas familias identificadas como potenciales indicadoras del calentamiento global utilizando el método RO pero no cuando se utiliza el método WA. La línea negra correspondiente al valor 75% del eje de ordenadas marca el umbral del porcentaje de individuos con cambio que una familia debe sobrepasar para constituir un buen indicador.

22. Para la obtención de óptimos ecológicos y rangos óptimo y de tolerancia, el método RO se muestra más eficaz y más robusto que el método WA puesto que no le afecta ni la presencia de valores extremos ni una distribución de los datos asimétrica. La figura 6 muestra las estimas realizadas de estos parámetros mediante los métodos WA (izquierda de cada subfigura) y RO (derecha de cada subfigura) para el grupo de nueve familias

descritas como indicadoras de calentamiento en al menos uno de los incrementos de temperatura simulados.

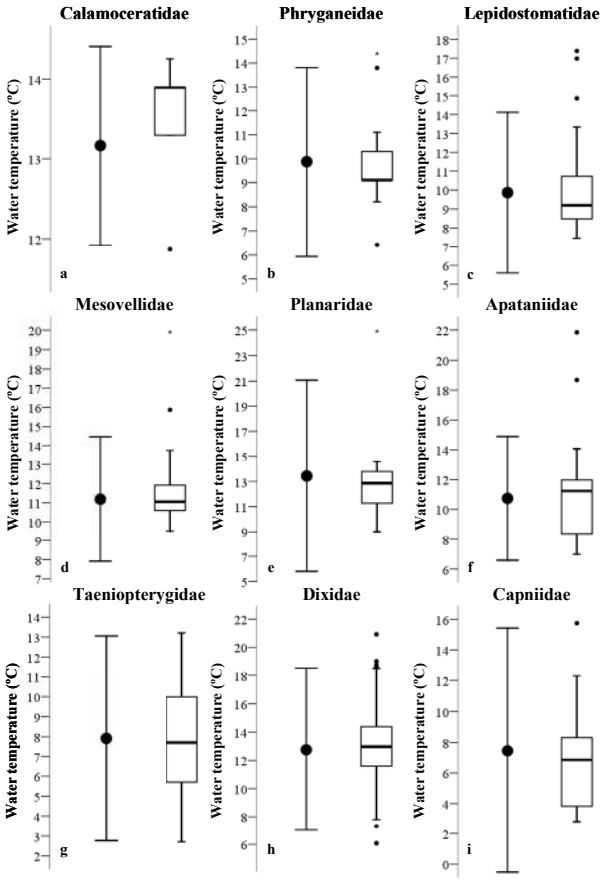


Figura 6. Estimas del óptimo ecológico, rango óptimo y rango de tolerancia para la temperatura del agua (sin incrementos) mediante los métodos WA (izquierda de cada subfigura) y RO (derecha de cada subfigura) para el grupo de familias descritas como indicadoras de calentamiento en al menos uno de los incrementos de temperatura simulados.

23. En el anexo III se muestran los óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para las variables analizadas. Se prescinde del pH y sulfatos ya que no reflejan diferencias significativas entre las familias (mostrando rangos similares prácticamente para todas las familias). También se excluyen las variables DBO_5, orden del río, área de la cuenca y sólidos en suspensión por ser parámetros no incluidos en la valoración del estado ecológico y además no estar influenciadas claramente por la temperatura ni la precipitación. Por último, las variables amonio, nitratos, fosfatos y conductividad tampoco se tienen en cuenta por la dificultad de modelización al estar afectadas por otro tipo de presiones.

24. Se han comparado los óptimos ecológicos considerando como nivel taxonómico la familia y el género tomando como ejemplo representativo un grupo de familias de efemerópteros. Algunos géneros tienen óptimos ecológicos significativamente más restrictivos que los de

sus familias respectivas para determinadas variables como son la amplitud y temperatura, y por otro lado, hay variables en las que las diferencias de óptimos entre familias o géneros son más patentes, y otras en las que no se aprecian estas diferencias. Con respecto a la altitud, para la familia *Heptageniidae*, son buenos indicadores el género *Epeorus* y *Rhithrogena* para alta montaña y alta-media montaña respectivamente. Para tramos bajos, son buenos indicadores los géneros *Cloeon (*familia *Baetidae),* y *Thraulus* y *Choroterpes* (familia *Leptophlebiidae)*. Con respecto a la temperatura, para valores bajos es buen indicador el *Epeorus* con respecto a su familia; para valores más altos, los géneros *Paraleptophlebia* y *Choroterpes* (familia *Leptophlebiidae),* y *Cloeon* y *Procloeon* (familia *Baetidae)*. Es predecible que en diferentes escenarios de cambio climático con variaciones en las variables más relacionadas con la precipitación (régimen de caudales) y temperatura, la influencia del cambio climático se aprecie antes en un seguimiento de determinados géneros seleccionados que en un control basado en una resolución taxonómica a nivel de sus familias respectivas. La recomendación de la resolución taxonómica más adecuada para detectar los posibles efectos del cambio climático no es algo que se pueda establecer de forma general, ya que dependerá de los diferentes grupos biológicos, objetivos concretos del trabajo, y finalmente, de la relación coste-beneficio en las redes de seguimiento.

Modelos de transferencia de temperatura aire/agua

25. Se ha obtenido, a escala mensual y para todo el territorio nacional, una ecuación de la regresión lineal para cada una de las tipologías en donde se tenían datos de temperatura aire/agua. Todas las ecuaciones tienen un coeficiente de regresión superior a 0.8, salvo para la tipología 14.

Tipología de río	Regresión lineal	Coeficiente de correlación (R^2)
1	$T^a_{agua} = 0.8416 \cdot T^a_{aire} + 4.2125$	0.9093
2	$T^a_{agua} = 0.8548 \cdot T^a_{aire} + 1.8408$	0.9672
4	$T^a_{agua} = 0.6702 \cdot T^a_{aire} + 4.6794$	0.9216
6	$T^a_{agua} = 0.5816 \cdot T^a_{aire} + 6.3596$	0.8670
7	$T^a_{agua} = 0.7549 \cdot T^a_{aire} + 3.117$	0.9748
9	$T^a_{agua} = 0.898 \cdot T^a_{aire} + 2.7849$	0.9455
10	$T^a_{agua} = 1.0087 \cdot T^a_{aire} + 0.1063$	0.9720
12	$T^a_{agua} = 0.7258 \cdot T^a_{aire} + 3.2657$	0.8639
14	$T^a_{agua} = 0.5352 \cdot T^a_{aire} + 9.2289$	0.6467
15	$T^a_{agua} = 0.8536 \cdot T^a_{aire} + 3.0706$	0.8954
16	$T^a_{agua} = 0.847 \cdot T^a_{aire} + 3.8489$	0.9271
17	$T^a_{agua} = 0.8708 \cdot T^a_{aire} + 3.1076$	0.9015
18	$T^a_{agua} = 0.9301 \cdot T^a_{aire} + 1.1256$	0.9489

21	$T^{a}_{agua} = 0.9092 \cdot T^{a}_{aire} + 2.51$	0.8321
26	$T^{a}_{agua} = 0.825 \cdot T^{a}_{aire} + 2.5196$	0.9620
28	$T^{a}_{agua} = 0.8928 \cdot T^{a}_{aire} + 1.9513$	0.9185
29	$T^{a}_{agua} = 0.8872 \cdot T^{a}_{aire} + 2.5792$	0.8436
31	$T^{a}_{agua} = 0.8169 \cdot T^{a}_{aire} + 3.6198$	0.9564
32	$T^{a}_{agua} = 0.9513 \cdot T^{a}_{aire} + 1.961$	0.9445

Tabla 1. Regresiones lineales a escala mensual de temperaturas aire/agua en cada uno de las tipologías de ríos en los que se dispone de un registro de datos.

26. El modelo estocástico a escala diaria separa la temperatura (tanto la del aire como la del agua) en dos componentes: una componente anual o estacional (también llamada densidad de temperatura) y una componente residual o no estacional. Las gráficas obtenidas de los componentes estacionales vienen recogidas en el anexo IV.

27. Calibrado el modelo, se ha validado para el resto de años en los que se tienen datos. Las validaciones vienen recogidas en el anexo IV. En la siguiente figura se muestran como ejemplo las gráficas de validación para la estación SAICA 810. Los datos punteados son los datos reales de temperatura del agua medidos en los distintos años de validación y la línea continua es la predicción para cada año de validación.

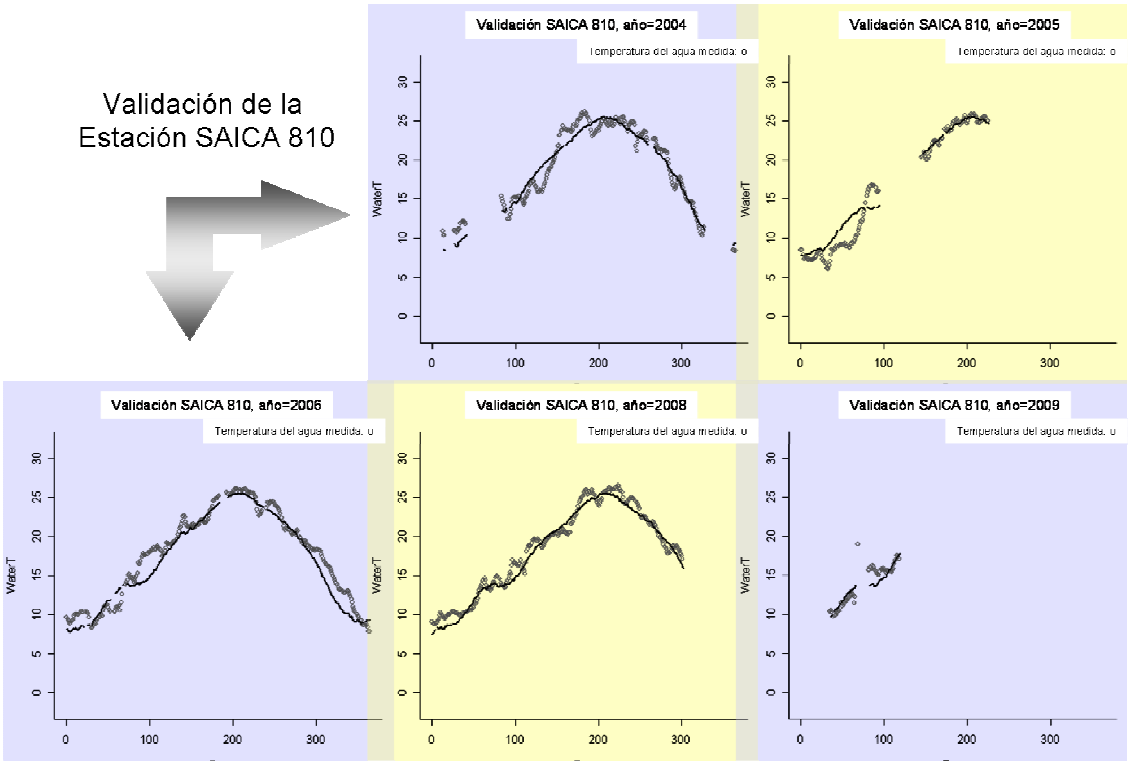


Figura 7. Gráficas de validación para la estación SAICA 810

28. Para evaluar las predicciones tanto del año de calibración como del año de validación se ha utilizado el error cuadrático medio, ECM y el coeficiente de regresión, R^2. En el anexo IV se recopilan las gráficas con los valores.

29. Se han elaborado curvas de las medias y medianas de temperatura del agua para cada tipología. En algunas tipologías estaciones con datos disponibles son escasas, o incluso una sola, por lo que la representatividad es baja (tipos 2, 4, 6, 7, 18, 21, 26 y 31). Otras de ellas tienen 2 ó 4 estaciones por lo que la representatividad se debe tomar con cierta prudencia (tipos 1, 9, 10, 14, 28 y 29). En las tipologías 3, 5, 8, 11, 13, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 27 y 30 no existen pares de estaciones SAICA-AEMET que cumplan los requisitos cuando se seleccionaron las estaciones, por lo que no es posible realizar ninguna predicción ni obtener curvas térmicas.

Modelos predictivos de distribución de taxones

30. Para la elección del modelo predictivo, tras analizar la aplicabilidad y las ventajas e inconvenientes de los modelos más utilizados, se propone aplicar 2 de los modelos para poder analizar las posibles similitudes y diferencias, adoptando el criterio del Principio de Parsimonia, es decir, seleccionar la hipótesis más sencilla entre varias hipótesis concurrentes.

31. El planteamiento del trabajo (figura 8) parte de las predicciones de la temperatura del aire y de las precipitaciones en los distintos escenarios futuros de cambio climático realizadas por la AEMET, a partir de los cuales, y mediante el modelo SIMPA y los modelos de transferencia de temperatura aire-agua, se obtienen las predicciones de caudal natural y de la temperatura del agua en los diferentes escenarios de cambio climático. Además de estas dos variables, se pueden obtener más variables ambientales que afecten a las comunidades de macroinvertebrados bentónicos. Una vez obtenido el conjunto de variables ambientales determinantes y predictoras, para estimar la influencia del cambio climático sobre la distribución futura de las comunidades biológicas, se aplicaría el modelo predictivo de distribución de especies seleccionado, teniendo en cuenta los óptimos ecológicos y rangos de tolerancia de los organismos obtenidos previamente.

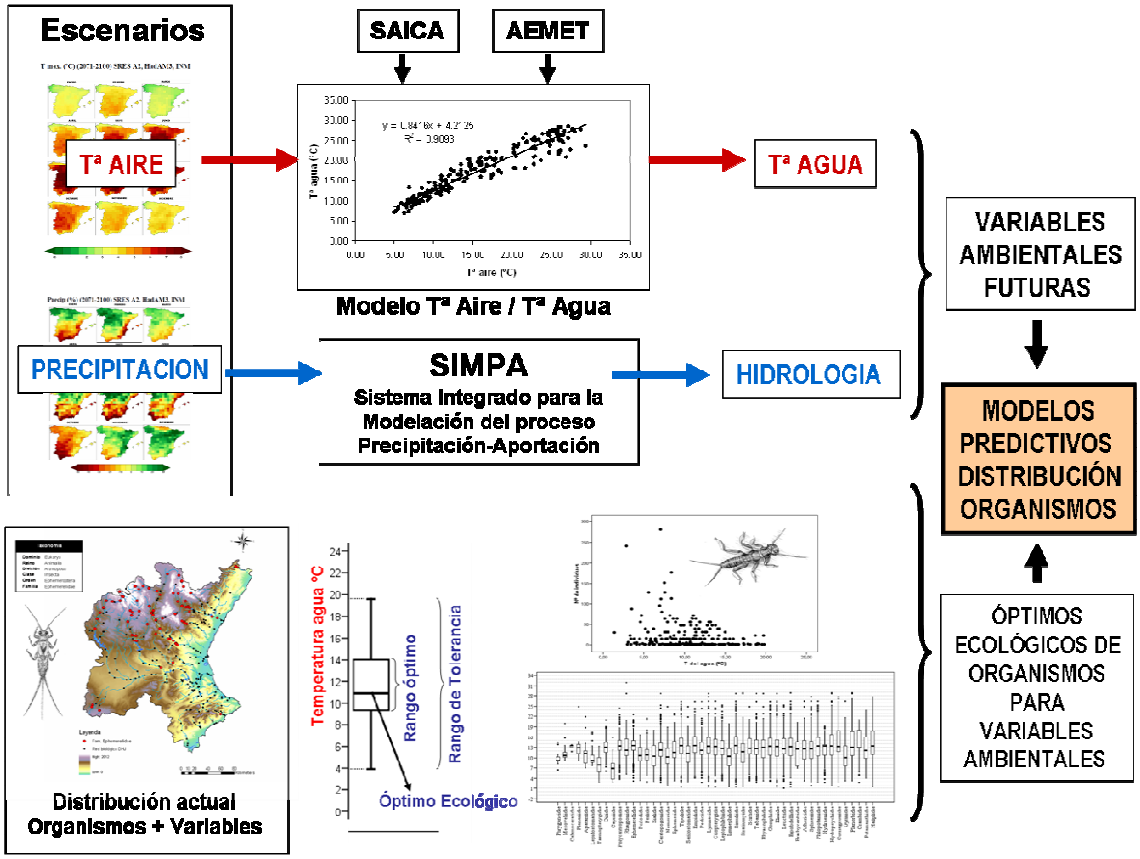


Figura 8. Esquema del estudio del efecto del cambio climático en las comunidades de macroinvertebrados en los ecosistemas fluviales mediante modelos predictivos.

32. Para una primera aproximación, en base al análisis y discusión sobre los posibles modelos a utilizar y en función de los datos disponibles, debido a su simplicidad y facilidad de implementación, se recomienda aplicar como método más representativo los GLMs (Modelos Lineales Generalizados). Son modelos de fácil aplicación, proporcionan mejores resultados que los métodos de solo presencia (los GLMs usan datos de presencia/ausencia) y además pueden aplicarse mediante el software informático R (R Development Core Team, 2011).

33. Se propone la utilización conjunta de modelos GLMs con un modelo ENFA (Ecological Niche Factor Analysis), ya que puede proporcionar una información más clara para analizar la incertidumbre en las predicciones cuando solo se dispone de datos de presencia (mayoría de las redes de seguimiento en España). Además, dentro de los modelos que utilizan solo datos de presencia, el ENFA muestra un comportamiento óptimo, existiendo ya algunos trabajos que comparan el ENFA y los GLMs, donde se enfatiza el papel que puede desempeñar este modelo como punto de partida para categorizar la disponibilidad de hábitats previo a la aplicación de los GLMs.

Efecto del cambio climático en las tipologías

34. Se han obtenido, para los tres periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 porcentajes muy elevados (superiores al 50 %) de masas de agua que no cumplirían los valores de los rangos de alguna de las variables que definen cada una de las tipologías.

			Temperatura media anual		Amplitud térmica anual		Caudal medio anual	
Tipología	Nº total masas	Periodo	Nº masas	% masas	Nº masas	% masas	Nº masas	% masas
TIPO 5	19	2011-2040	19	100	12	63.16	14	73.68
		2041-2070	19	100	8	42.11	13	68.42
		2071-2100	19	100	18	94.74	13	68.42
TIPO 9	112	2011-2040	104	92.86	86	76.79	56	50
		2041-2070	111	99.11	50	44.64	56	50
		2071-2100	112	100	38	33.93	61	54.46
TIPO 10	5	2011-2040	5	100	5	100	4	80
		2041-2070	5	100	0	0	4	80
		2071-2100	5	100	2	40	5	100
TIPO 12	56	2011-2040	50	89.29	28	50	35	62.5
		2041-2070	55	98.21	39	69.64	36	64.29
		2071-2100	56	100	50	89.29	36	64.29
TIPO 13	15	2011-2040	10	66.67	13	86.67	7	46.67
		2041-2070	13	86.67	13	86.67	8	53.33
		2071-2100	15	100	11	73.33	8	53.33
TIPO 14	7	2011-2040	7	100	4	57.14	7	100
		2041-2070	7	100	2	28.57	7	100
		2071-2100	7	100	0	0	7	100
TIPO 16	15	2011-2040	15	100	6	40	15	100
		2041-2070	15	100	6	40	15	100
		2071-2100	15	100	14	93.33	15	100
TIPO 17	12	2011-2040	12	100	12	100	12	100
		2041-2070	12	100	12	100	12	100
		2071-2100	12	100	9	75	12	100
TIPO 18	28	2011-2040	28	100	7	25	17	60.71
		2041-2070	28	100	10	35.71	18	64.29
		2071-2100	28	100	24	85.71	17	60.71

Tabla 2. Número y porcentaje de masas de agua que no cumplirían los rangos establecidos para las variables "Temperatura media anual", "Amplitud térmica media" y "Caudal medio anual" establecidos para cada una de las tipologías

35. El mayor porcentaje de masas de agua que incumplirían los rangos se obtiene para la variable temperatura media anual, tanto para los tres periodos como para todas las tipologías. En el caso de la amplitud térmica media anual, hay diferencia entre tipologías y entre periodos dentro de una misma tipología. Sin embargo, el caso del caudal es similar, pero menos acusado, que el de la temperatura media anual (en general el porcentaje de masas de agua que incumplirían es elevado, independientemente de la tipología y del periodo).

RECOMENDACIONES

36. El primer objetivo es la aplicación de la metodología propuesta en todo el territorio nacional. Además, la evaluación de los efectos del cambio climático sobre el estado ecológico de las masas de agua, en este caso de la categoría ríos, se debe realizar mediante un conjunto de indicadores biológicos que incluyan no sólo la fauna bentónica, sino también otros grupos como el fitobentos, los macrófitos, así como la fauna ictiológica.

37. Se recomienda mantener actualizada la base de datos que recoge la información obtenida por las redes de seguimiento biológicas de todas las cuencas, y para todos los elementos de calidad, así como elaborar los atlas de distribución de los taxones identificados, con la información ambiental asociada. Sobre esta información, se aplicaría la metodología del Óptimo Robusto para definir los óptimos ecológicos y rangos de tolerancia de los taxones para las variables ambientales.

38. Respecto a las predicciones de la temperatura del agua para cada masa de agua en los escenarios y proyecciones futuras, pueden utilizarse las curvas obtenidas para cada tipología mediante los modelos de transferencia de temperaturas aire-agua. Además, deberían asignarse los valores de caudal para dichas masas proporcionados por la evaluación de los recursos hídricos en régimen natural.

39. Mediante la aplicación del análisis de los óptimos ecológicos frente a simulaciones de incrementos sucesivos de temperaturas del agua, se detectarían aquellas familias o taxones existentes en el territorio nacional con rangos más restrictivos frente a cambios graduales en la temperatura del agua, obteniéndose el valor indicador de las mismas. Esta metodología permite seleccionar aquellas variables ambientales y los taxones más sensibles a las mismas en los que enfocar el mayor esfuerzo de seguimiento a partir de los datos obtenidos en las redes de control biológico, funcionando como sensores tempranos de posibles efectos o tendencias provocados por el cambio climático.

40. Como variables independientes o predictoras, además de la temperatura del agua y los caudales mensuales estimados en cada punto de la red biológica, se recomienda considerar la posibilidad de incorporar otras variables.

41. Una vez obtenidas las predicciones de los mapas de distribución de los macroinvertebrados bentónicos para los horizontes propuestos (2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100), se podría

calcular el estado ecológico en el futuro y estimar los posibles efectos del cambio climático sobre el mismo, determinándose si se debe proceder a una redefinición de las condiciones de referencia para cada tipología de la masa de agua o revisar los valores de EQR (Cociente de Calidad Ambiental = valores observados / valores de referencia) y límites entre clases de estado ecológico.

42. Se recomienda analizar el riesgo de no cumplir en los escenarios futuros con los límites establecidos para las variables de la tipología a la que pertenecen las masas de agua del territorio nacional, información de gran interés además para futuros trabajos encaminados a revisar la caracterización ecológica actual y las variables y rangos que la definen.

43. La aplicación de la metodología general propuesta, se recomienda que se realice con los dos escenarios de emisiones utilizados en la evaluación de los recursos hídricos, A2 y B2, así como con el resto de modelos seleccionados por AEMET para los tres periodos temporales considerados en el siglo XXI: 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100. En la aplicación para todo el territorio nacional se trabajaría con la última regionalización disponible (la actual corresponde al 3er informe de evaluación del IPCC).

44. Finalmente, sería deseable abordar en el futuro el desarrollo y aplicación de este tipo de metodologías a otras categorías de masas de agua como son los lagos y aguas de transición, además de los embalses y otras masas de agua artificiales o muy modificadas.

1. ANTECEDENTES Y OBJETO DEL ESTUDIO

Es previsible que en los próximos años el cambio climático afecte intensamente a los recursos hídricos, debido a la alteración del régimen habitual de las precipitaciones y al incremento de las temperaturas. Ello aconseja integrar la consideración del cambio climático en la política sectorial del agua, con el fin de planificar y poner en práctica las medidas de adaptación y mitigación que resulten pertinentes.

Con el fin de realizar el estudio y evaluación de los impactos y adaptación al cambio climático en el sector de los recursos hídricos en España, con vistas a integrar la adaptación al cambio climático en las políticas sectoriales en materia de aguas a corto, medio y largo plazo, el 23 de abril de 2007 la Dirección General del Agua y el Centro de Estudios y Experimentación del Obras Públicas (CEDEX), suscribieron un Acuerdo de encomienda de gestión para el estudio de los impactos del cambio climático en los recursos hídricos y las masas de agua. Entre los trabajos a realizar, la actuación 4 comprendía el estudio del "*Efecto del cambio climático en el estado ecológico de las masas de agua*".

El objetivo de estos trabajos incluía las siguientes actuaciones:

- Simulación de la respuesta de las distintas comunidades biológicas específicas de cada tipo en los diferentes escenarios de cambio climático.

- Análisis de la sensibilidad de los sistemas actuales de indicadores biológicos y sus diferentes métricas ante los efectos del cambio climático.

- Propuesta de sistemas de indicadores de estado ecológico más adecuados por su sensibilidad al cambio climático para cada tipología.

- Redefinición de las condiciones de referencia de cada tipo ecológico y reajuste de los valores del EQR de cada indicador en los distintos escenarios de cambio climático.

Inicialmente estaba previsto realizar el estudio con la información generada en las redes de control de estado ecológico de las masas de agua de todas las cuencas españolas. Al no estar disponible aún dicha información por parte de la Dirección General del Agua, la Comisión de Seguimiento de la Encomienda de Gestión, conforme a lo establecido en su cláusula 7, acordó acotar el alcance de los trabajos de la Ficha 4, refiriéndolos únicamente a los ríos de la cuenca del Júcar, de la que se disponía de información detallada de varios años obtenida por la Confederación Hidrográfica del Júcar. Esta información, si bien en su componente biológica sólo es relativa a un grupo de organismos acuáticos - los macroinvertebrados bentónicos-, sí ha permitido llevar a cabo de forma piloto un ensayo y descripción de la metodología que se propone para su aplicación en todo el territorio nacional.

El presente documento recoge el resultado de los trabajos que ha sido posible realizar en la Ficha 4 con la información disponible hasta la fecha. En concreto, se han desarrollado las siguientes tareas:

- Recopilación de la información de base relativa a variables ambientales, limnológicas y datos biológicos generados en las redes de seguimiento de la cuenca del Júcar, en la

red de aforos y en la red de estaciones meteorológicas de la AEMET (Anexo I). Procesamiento y análisis previo de la información.

- Elaboración de los atlas de distribución de los taxones de macroinvertebrados bentónicos fluviales a nivel de familia en la cuenca del Júcar (Anexo II).

- Obtención de los óptimos ecológicos de las familias de macroinvertebrados bentónicos fluviales para diferentes variables ambientales (físico-químicas, hidrológicas y fisiográficas) (Anexo III). Propuesta metodológica estadística para la obtención de los óptimos y rangos de tolerancia de los taxones.

- Propuesta metodológica de selección de organismos indicadores biológicos como sensores tempranos de posibles efectos en relación con variables de cambio climático.

- Estudio preliminar de las diferencias entre los óptimos ecológicos obtenidos para un grupo de variables altamente sensibles al cambio climático en función de la resolución taxonómica utilizada.

- Desarrollo de dos modelos estocásticos de transferencia de temperatura del aire a temperatura del agua. Obtención de ecuaciones lineales para predecir temperatura de agua a partir de la temperatura del aire a escala mensual y obtención de curvas de transferencia para las diferentes tipologías fluviales a escala diaria y mensual (el Anexo IV recoge las gráficas del modelo a escala diaria).

- Revisión de los modelos y métodos existentes para estimar la distribución de organismos en escenarios futuros. Análisis de su aplicabilidad, ventajas e inconvenientes, en base a los objetivos del trabajo, y criterios para la selección del método más adecuado. Descripción detallada de la metodología propuesta.

- Estudio de los efectos del cambio climático en las variables que definen la caracterización ecológica de los tipos de masa de agua de la categoría ríos. Análisis de la sensibilidad y distribución de los diferentes tipos en los escenarios futuros de cambio climático. Análisis de la vulnerabilidad de las masas de agua dentro de cada tipología (el Anexo V recoge los p-valores obtenidos con el test de Friedman para las masas de agua de la cuenca del Júcar, clasificadas por tipologías, para las predicciones 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 en el escenario A2).

Estos trabajos constituyen la base para poder llevar a cabo los trabajos de simulación de la respuesta de las distintas comunidades biológicas específicas de cada tipo, en los diferentes escenarios de cambio climático, y por tanto, de los efectos del cambio climático en el estado ecológico.

2. CUENCA DE ESTUDIO PILOTO: JÚCAR

2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CUENCA

La cuenca de estudio comprende el ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar, con una superficie total aproximada de 43.000 km^2 que abarca 9 cuencas hidrográficas: Cenia, Mijares, Palancia, Turia, Júcar, Serpis, Marina Alta, Marina Baja y Vinalopó. Presenta un clima típicamente mediterráneo, con una gran variabilidad en la precipitación, tanto temporal como espacial, lo que se refleja en una hidrología igualmente muy variable.

Fisiográficamente abarca desde las zonas montañosas correspondientes al Sistema Ibérico, áreas enclavadas en la meseta continental de La Mancha, hasta las llanuras costeras del Mediterráneo que constituyen la plataforma aluvial de las cuencas. Es en esta última zona donde se localiza más del 80% de la población y la principal zona de demanda de recursos hídricos para usos agrícolas (hasta el 80% de la demanda) en la cuenca. El 50% de la cuenca lo constituyen zonas forestales y áreas naturales o seminaturales.

La red hidrográfica del ámbito del Júcar comprende 9 de las 32 tipologías ecológicas definidas para el territorio peninsular español (figura 1) de acuerdo con la Directiva Marco del Agua, todas ellas de carácter mediterráneo, tanto en las zonas de montaña como en los ambientes y tramos más cercanos a la costa.

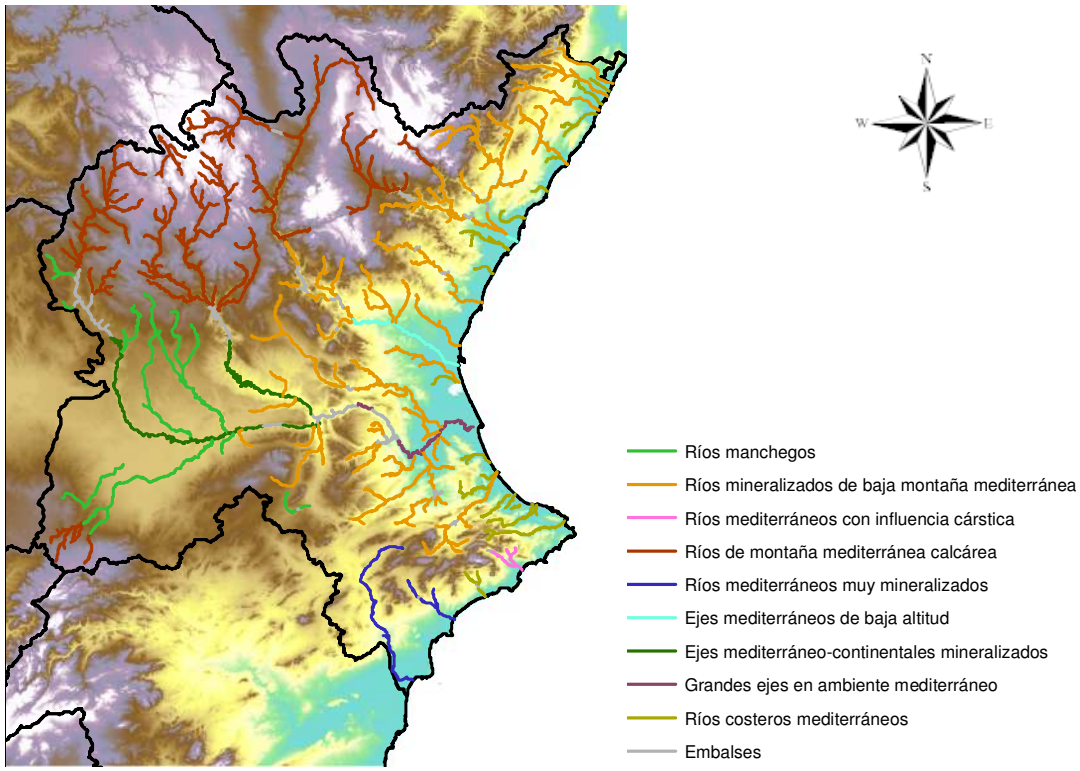


Figura 1. Distribución de las tipologías de ríos en el ámbito de la cuenca del Júcar

2.2 DISTRIBUCIÓN DE LAS REDES DE ESTACIONES

La base de datos utilizada (proporcionada por la Confederación Hidrográfica del Júcar) se compone de 310 estaciones de muestreo (figura 2), presentando una distribución aleatoria por toda la cuenca, con información sobre variables físicas, químicas y biológicas obtenidas entre 1999 y 2006. De estas 310 estaciones (Anexo I), 73 presentan datos de presencia y de abundancias totales de macroinvertebrados bentónicos, tanto de familias como de géneros, y en algunos casos de especies.

De un total de 445 estaciones de aforo presentes en la cuenca del Júcar, se han seleccionado 56 (figura 2; Anexo I) en las que se dispone de una serie continua de datos diarios de caudal entre los años 1985 y 2006, lo que ha permitido calcular las variables hidrológicas que definen el régimen de caudales.

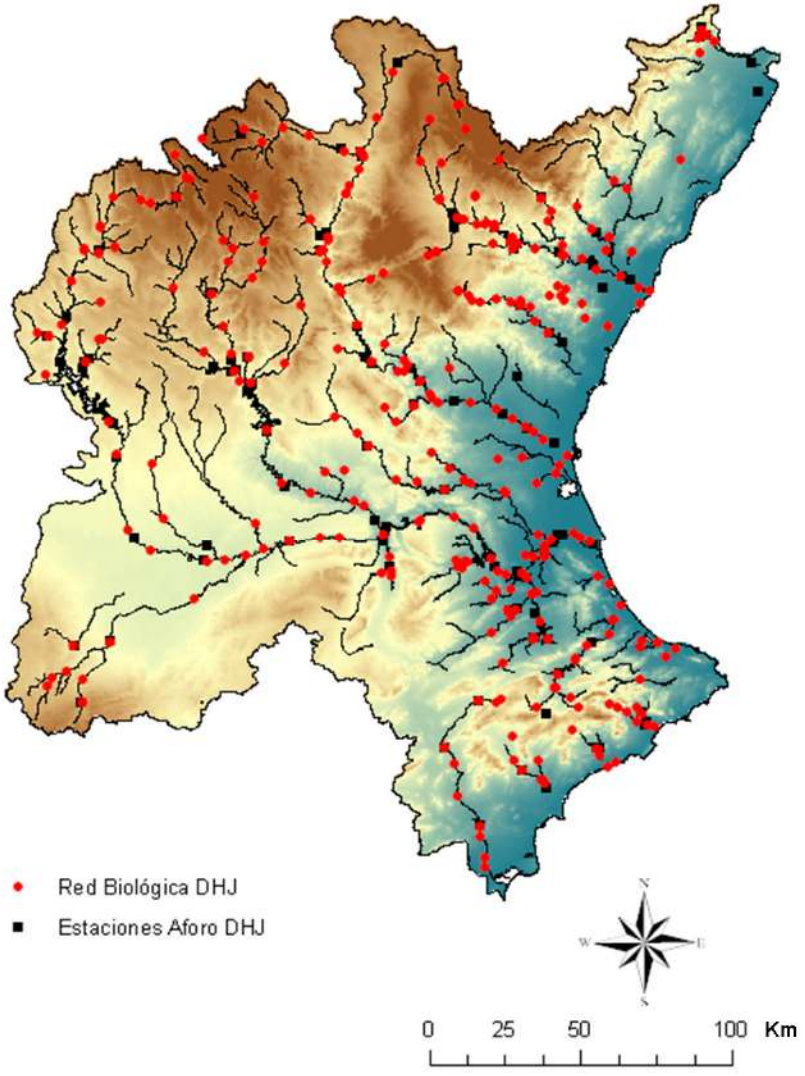


Figura 2. Distribución de las estaciones de la red biológica y de aforos en la cuenca del Júcar

3. METODOLOGÍA GENERAL DE TRABAJO

3.1 ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA GENERAL DEL TRABAJO

La figura 3 muestra un esquema de la metodología general que se ha establecido para estudiar el efecto del cambio climático en el estado ecológico de las masas de agua. Se ha partido de la información existente en las bases de datos de la Confederación Hidrográfica del Júcar (red biológica), del CEDEX y de la Agencia Estatal de Meteorología, junto con los datos hidrológicos de las redes foronómicas y los obtenidos mediante el modelo SIMPA para los cursos de agua en régimen natural en el caso de los ríos regulados. Estos datos han permitido obtener los óptimos ecológicos de los taxones de los indicadores biológicos seleccionados para cada una de las variables de interés, así como seleccionar aquellos taxones más sensibles o mejores indicadores del cambio climático y las métricas que mejor detecten o cuantifiquen esa respuesta. En base a los datos obtenidos y disponibles, se propone una metodología basada en modelos de envolvente climática para la predicción de la respuesta de las comunidades biológicas en los escenarios futuros de cambio climático. Finalmente, el análisis de las variables más afectadas por el cambio climático ha facilitado la detección de las tipologías y masas de agua más vulnerables o sensibles a sus efectos.

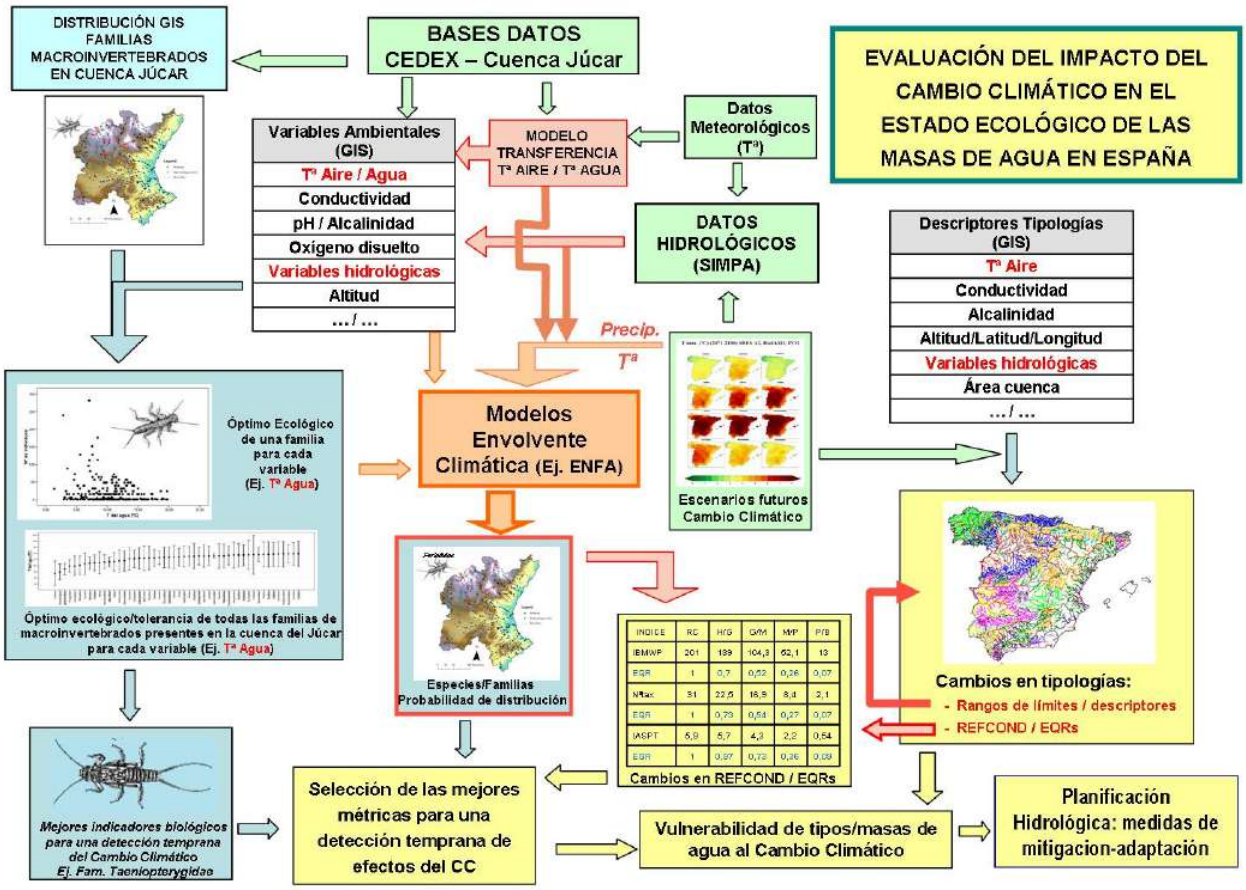


Figura 3. Esquema general del trabajo y factores/información a considerar

3.2 VARIABLES SELECCIONADAS Y CRITERIOS

De entre todas las variables físicas y químicas de las que se ha dispuesto de datos, se han seleccionado, bajo criterio de experto, aquellas que *a priori,* bien podrían ser más susceptibles de verse afectadas por cambios en la temperatura o en la precipitación (variables indicadoras de cambio climático), o bien puedan considerarse notablemente influyentes en la distribución de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos fluviales. Según estos criterios, han sido escogidas inicialmente un total de 14 variables físico-químicas que definen las condiciones ambientales de las estaciones biológicas en el momento de las campañas de muestreo de la comunidad de macroinvertebrados fluviales (tabla 1). Además, con el fin de facilitar en una fase posterior de este trabajo el análisis de los posibles efectos del cambio climático en la distribución geográfica de los tipos ecológicos de las masas de agua de los ríos, se han considerado 3 variables hidromorfológicas y 1 hidrológica, y se han calculado, mediante sistemas de información geográfica (SIG), 4 variables geográficas que se consideran susceptibles de definir las estaciones biológicas desde un punto de vista geográfico y geomorfológico (tabla 1). Algunas de estas variables ya fueron consideradas en la elaboración de las tipologías ecológicas.

Para todas las variables se ha llevado a cabo un análisis de los óptimos ecológicos y los rangos de tolerancia de las diferentes familias de macroinvertebrados bentónicos presentes en la cuenca del Júcar. En el Anexo III sólo se muestran los resultados de las variables más relevantes a priori, y que si bien no han sido utilizadas todas ellas en este trabajo, se han incluido sus resultados por el interés que pueden tener en futuros estudios. En este trabajo se considera el óptimo ecológico de una familia para una variable o factor ambiental (abiótico) como el rango de valores de esa variable en el que la familia se halla con mayor densidad y frecuencia, por lo que no se consideran otros factores de competencia y/o de interacción con otras familias o grupos biológicos.

Para la asignación de las estaciones de aforo más cercanas a las estaciones biológicas con el fin de utilizar los datos hidrológicos, se ha seguido la regla dada por Poff & Allan (1995). Según esta regla, los datos de una estación de aforo se pueden asignar a una estación biológica si ambas están a menos de 15 kilómetros, y además entre ellas no se localiza ninguna alteración o modificación hidrológica, tanto natural (afluentes) como artificial (embalses). Según este criterio adoptado, no ha sido posible hacer corresponder a todas las estaciones biológicas seleccionadas en el estudio una de aforos, obteniéndose únicamente un total de 61 estaciones de aforos con datos asignables a estaciones biológicas, todas ellas con al menos 20 años de registro continuo.

VARIABLE	DEFINICIÓN	UNIDAD
Información sobre la estación biológica		
RedBio	Estación red biológica DHJ	
X	Coordenada UTM-X	m
Y	Coordenada UTM-Y	m
LocRedBio	Localización estación red biológica	
Cauce	Nombre río	
TipoRíoDMA	Tipología de ríos DMA	
Información de la muestra		
Fecha_toma	Fecha toma de muestra	
Información biológica		
Nºindiv	Abundancia total	
Familia	Familia	
Género	Género	
Variables físico- químicas		
T_del_agua	Temperatura agua	ºC
CE_a_25_ºC	Conductividad eléctrica agua a 25ºC	µS/cm
pH_a_25_ºC	pH agua a 25ºC	
OD	Oxígeno disuelto	% satura.
Alcalinidad	Alcalinidad	mg CaCO3/l
Amonio	Amonio	mg NH4/l
Fosfatos	Fósforo total	mg P03/l
SolSuspen	Sólidos en suspensión	mg/l
Nitratos	Nitratos totales	mg NO3/l
Sulfatos	Sulfatos totales	mg SO4/l
DQO	Demanda química oxígeno	mg/l
Variables hidromorfológicas		
Anchura	Ancho río	m
Profundidad	Profundidad río	m
Caudal	Caudal instantáneo	m³/s
Variables geográficas		
Altitud	Altitud punto muestreo	msnm
ÁreaCuenca	Área cuenca punto muestreo	km²
DistDiv	Distancia divisoria punto muestreo	km
Variable hidrológica calculada		
DíasCaud 0	Número anual medio días caudal cero	días

Tabla 1. Variables generales utilizadas en el estudio

4. ATLAS DE TAXONES (FAMILIAS) DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN LA CUENCA DEL JÚCAR

4.1 METODOLOGÍA DE ELABORACIÓN

Los atlas de distribución son representaciones georreferenciadas de la distribución geográfica de las diferentes familias de macroinvertebrados bentónicos presentes en la cuenca del Júcar. Además, cada uno de ellos lleva asociada una base de datos con información de las estaciones biológicas en las que aparecen, así como de todas las variables físicas, químicas, geográficas, geomorfológicas e hidrológicas, o bien medidas durante los muestreos o bien calculadas posteriormente. Para la realización de estos atlas de distribución, se ha empleado el paquete informático ArcMap 9.3.1

4.2 ATLAS DE DISTRIBUCIÓN

En el Anexo II se representan los atlas de distribución de todas las familias de macroinvertebrados bentónicos encontradas en los muestreos de la Red Biológica del Júcar en el periodo 1999-2006. Estos atlas podrán ampliarse o mejorarse en el futuro con la incorporación de nuevas localidades o citas procedentes de la red de seguimiento del estado ecológico actualmente implantada en la cuenca o bien de otros trabajos o proyectos llevados a cabo en la cuenca por otras instituciones. La figura 4 muestra un ejemplo de mapa de distribución para la familia *Ephemerellidae*.

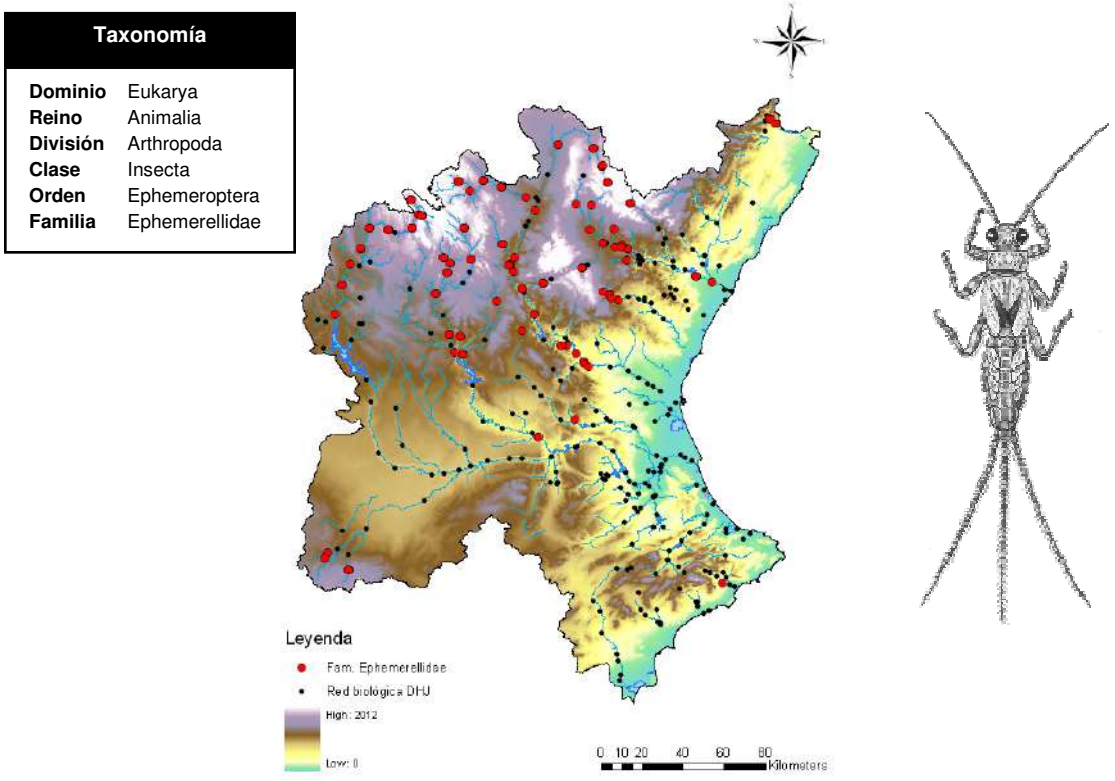


Figura 4. Atlas de distribución de la familia *Ephemerellidae* en la cuenca del Júcar.

5. ÓPTIMOS ECOLÓGICOS DE LAS FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS

5.1 INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA ESTADÍSTICA DESARROLLADA: EL ÓPTIMO ROBUSTO

Los conceptos de óptimo ecológico, rango óptimo y rango de tolerancia son utilizados frecuentemente en estudios ecológicos (Brodersen & Anderson, 2002; Sterken et al., 2008), resultando de gran utilidad para describir cómo una variable ambiental influye en la distribución geográfica de un organismo. En este trabajo se propone una nueva aplicación para estos conceptos relativa a la selección de indicadores biológicos de un posible calentamiento global en ambientes acuáticos lóticos. En este sentido, está ampliamente aceptada la necesidad de localizar y describir indicadores biológicos como sensores tempranos de cambios climáticos de cara a prevenir y mitigar parcialmente las posibles consecuencias de un calentamiento global en los ecosistemas (Hodkinson, 2005; Rivers-Moore, 2005; Milner, 2009). De hecho, las preferencias ambientales de los indicadores biológicos, es decir, su óptimo ecológico y sus rangos óptimo y de tolerancia, son la base utilizada en los modelos de envolvente climática para predecir distribuciones de organismos y comunidades en escenarios futuros de cambio climático. Todos los modelos de disponibilidad de hábitat están inherentemente relacionados con la definición de Hutchinson del nicho ecológico, y aquellos basados en las envolventes climáticas constituyen su aplicación geométrica directa (Hirzel & Arlettaz, 2003). Los impactos potenciales de las proyecciones de cambio climático sobre los taxones biológicos son evaluados a menudo utilizando modelos de envolvente climática para una única especie o taxón (Heikkinen et al., 2006). Los primeros tests realizados de la eficacia predictiva de estos modelos han sido hechos utilizando rangos de tolerancia de los taxones con datos recientes (Araújo et al., 2005). Por tanto, para predecir los posibles impactos del cambio climático en ecosistemas acuáticos de tipo lótico, es crucial estimar, representar e interpretar el óptimo ecológico y los rangos óptimo y de tolerancia de los taxones biológicos respecto a las variables ambientales mediante métodos simples de cálculo, lo que equivale a estimar, representar e interpretar los nichos realizados de los taxones en una dimensión. Es por ello esencial desarrollar nuevos y mejores métodos para estimar el óptimo ecológico y los rangos óptimo y de tolerancia, así como evaluar su exactitud y compararlos con los métodos tradicionales.

En esta fase del trabajo se propone un nuevo método para estimar el óptimo ecológico, el rango óptimo y el rango de tolerancia de un taxón respecto de una variable ambiental que determine o influya en su distribución geográfica. Este método se ha denominado *Método del Óptimo Robusto (RO)*, y su valor reside en su menor sensibilidad frente a valores extremos que el método clásico y más comúnmente utilizado de la media ponderada (WA). Las peculiaridades de este método han sido analizadas y discutidas en este trabajo como una parte más del desarrollo de una metodología para el estudio de los impactos del cambio climático en los ecosistemas acuáticos fluviales de España, cuyo fin es contribuir a la predicción climática y mitigación de las posibles consecuencias del mismo. Las estimas calculadas con este nuevo método se basan en la mediana y el rango intercuartílico en vez de en la media y en la desviación estándar. Se compara la eficacia de ambos métodos en la evaluación de los efectos potenciales de un escenario de cambio climático con incremento de temperatura sobre las comunidades de macroinvertebrados en la cuenca del Júcar. Para ello, se han utilizado taxones (familias) con un óptimo ecológico y un rango de tolerancia de temperatura del agua muy estrictos, es decir, taxones considerados potencialmente como buenos indicadores biológicos de un calentamiento global. Los resultados obtenidos sugieren que la presencia de

"outliers" o valores extremos dificulta una mejor identificación y definición de los indicadores biológicos potenciales, afectando más a las predicciones, cuando se utiliza el método de la media ponderada. El método propuesto del *óptimo robusto* ofrece estimas más reales y precisas.

Uno de los objetivos principales del análisis de los óptimos ecológicos es localizar aquellas familias o taxones que muestran rangos muy restrictivos frente a variables susceptibles de verse afectadas por los efectos del cambio climático a través de variaciones en la precipitación y la temperatura (variables que definen los escenarios futuros). De esta forma, se podrá seleccionar un grupo de taxones más sensibles en los que enfocar el mayor esfuerzo de seguimiento a partir de los datos obtenidos en las redes de control biológico, funcionando como sensores tempranos de posibles efectos o tendencias provocados por el cambio climático.

El nicho ecológico de una especie o taxón se define como un espacio multidimensional (*n* variables ambientales) en el que cada punto del mismo se corresponde con un estado del medio ambiente en el que dicha especie o taxón podría sobrevivir indefinidamente (Hutchinson, 1957). De forma similar, el óptimo ecológico podría definirse como una combinación óptima de variables ambientales que permite la existencia, el crecimiento y la reproducción de un taxón (Verbitsky & Verbitskaya, 2007). Cada variable ambiental que conforma el nicho ecológico o el óptimo ecológico puede ser representada sobre un eje y considerada como una dimensión de ese espacio multidimensional (Wetzel, 2001), de forma que para cada variable por separado, el óptimo ecológico representaría el valor de esa variable en el cual un taxón prospera mejor (Ter Braak & van Dam, 1989). En la naturaleza, el óptimo ecológico para una variable realmente no incluye un único punto o valor, sino también las oscilaciones naturales de dicha variable alrededor de este punto, constituyendo lo que se denomina el *rango óptimo*. Además, para cada variable existe un límite inferior y superior por debajo y encima de los cuales respectivamente el taxón no puede sobrevivir, representando los llamados *límites de tolerancia* que delimitan el *rango de tolerancia* o *amplitud ecológica* del taxón respecto a la variable. Cuanto más estrecho o reducido es el rango de tolerancia de una especie o taxón, mayor es su especialización o dependencia de la variable, y mayor su valor como indicador biológico para esa variable. La figura 5 representa gráficamente estos conceptos.

Existen dos aproximaciones básicas para estimar y representar los conceptos de óptimo ecológico y rango de tolerancia en una dimensión, basándose ambas en la consideración de que las relaciones entre la abundancia de los taxones y las variables ambientales son principalmente unimodales. La primera de ellas es denominada calibración de máxima probabilidad y utiliza curvas de respuesta Gaussiana logit para ajustar el modelo de regresión no-lineal entre la abundancia del taxón y la variable ambiental. El óptimo ecológico se define como el máximo de la curva ajustada y el rango de tolerancia o amplitud ecológica como el ancho de la curva o su proyección sobre el eje de abscisas (figura 5). La segunda aproximación se denomina *Media ponderada* y es un método probabilístico que consiste en el estudio de la distribución de los valores potenciales que puede presentar la variable en la zona de distribución de la población de un taxón. Su objetivo es definir el óptimo ecológico como el valor central de la distribución y la tolerancia como la dispersión medida con la desviación estándar. Se ha demostrado (Ter Braak, 1985) que las estimaciones de ambos métodos son similares si la distribución de la variable ambiental es uniforme a lo largo de todo el rango de presencia del taxón, o bien para distribuciones no uniformes de la variable ambiental, pero únicamente en el caso de especies o taxones raros con una amplitud ecológica muy estrecha. En otros casos, Ter Braak & Looman (1986) advierten sobre posibles sesgos o desviaciones con el método de la media ponderada. No obstante, ambos métodos muestran una gran sensibilidad frente a la

presencia de “outliers” o valores extremos, y asumen que la distribución de la variable ambiental es simétrica, lo que no siempre ocurre en la naturaleza.

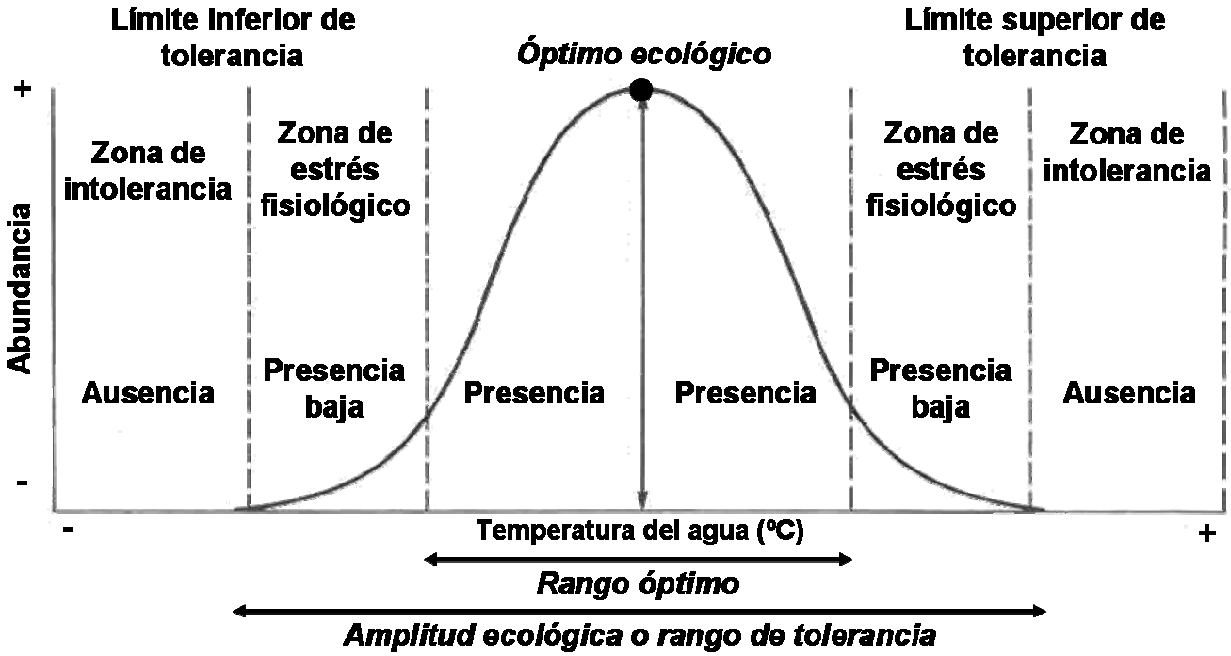


Figura 5. Representación gráfica del significado ecológico de los términos óptimo ecológico, rango óptimo y rango de tolerancia.

El método que se propone en este informe, denominado *Óptimo Robusto*, se demuestra que es más resistente que los dos métodos mencionados anteriormente frente a distribuciones no simétricas de variables ambientales, así como frente a valores extremos o “outliers”. Además, se demuestra que permite una mejor y más precisa selección de los mejores indicadores biológicos del grupo de los macroinvertebrados bentónicos para la variable temperatura del agua, ya que se obtienen resultados más precisos en la estima de los óptimos ecológicos, los rangos óptimos y los rangos de tolerancia. Estos resultados son cruciales para la evaluación más eficaz de los efectos de posibles cambios climáticos en las comunidades biológicas acuáticas, y por ende, del estado ecológico de las masas de agua fluviales, mediante la utilización de modelos predictivos de la distribución de las especies o taxones en los escenarios futuros de cambio climático.

5.2 METODOLOGÍA EMPLEADA

A continuación se describen las dos metodologías estadísticas que se comparan en este trabajo: el Método de la Media Ponderada (WA) y el del Óptimo Robusto (RO).

5.2.1 Método de la Media Ponderada

El Método de la Media Ponderada se utiliza comúnmente para calcular el óptimo ecológico y la tolerancia de los organismos frente a diferentes variables ambientales. La estima del óptimo ecológico de un taxón *j* con respecto a una variable ambiental *x*, es la media ponderada de la abundancia, M_j, expresada según la siguiente función:

[1] $$M_j = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_{ij} x_i}{\sum_{i=1}^{n} A_{ij}}, j = 1,\ldots,J,$$

Donde *J* es el número de taxones diferentes, *n* es el número de estaciones de muestreo, x_i es el valor observado de la variable ambiental en la estación de muestreo *i*, y A_{ij} es la abundancia del taxón *j* en la estación de muestreo *i*.

La estima de la tolerancia del taxón *j* respecto de la variable ambiental *x* es la desviación estándar de la abundancia ponderada, *tj*, que viene dada por:

[2] $$t_j = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_{ij}(x_i - M_j)^2}{\sum_{i=1}^{n} A_{ij}}, j = 1,\ldots,J.$$

No es fácil diferenciar si esta tolerancia se refiere al rango de tolerancia o al rango óptimo. Para responder a esta cuestión, sin pérdida de generalidad, se ha asumido que el rango óptimo del taxón *j*, con respecto a la variable *x*, es el intervalo

[3] $$(M_j - t_j, M_j + t_j), j = 1,\ldots,J,$$

y el rango de tolerancia es el intervalo

[4] $$(M_j - 2t_j, M_j + 2t_j), j = 1,\ldots,J.$$

Típicamente, las estimas de este método se representan gráficamente mediante barras de error.

5.2.2 Método del Óptimo Robusto

En este trabajo se propone el Método del Óptimo Robusto para estimar el óptimo ecológico, los rangos óptimos y los rangos de tolerancia de un taxón frente a variables ambientales. Para un taxón *j* y una variable ambiental concreta *x*, este método estima el óptimo ecológico como la mediana ponderada de la abundancia, que representa la mediana de la secuencia

[5] $$\underbrace{x_1,\ldots,x_1}_{A_{1j}},\underbrace{x_2,\ldots,x_2}_{A_{2j}},\ldots,\underbrace{x_n,\ldots,x_n}_{A_{nj}}.$$

La mediana ponderada de la abundancia es el valor x_k, tal que

[6] $$\frac{\sum_{xi<xk} A_{ij}}{\sum_i^n A_{ij}} \le \frac{1}{2} \quad \text{and} \quad \frac{\sum_{xi>xk} A_{ij}}{\sum_i^n A_{ij}} \ge \frac{1}{2}.$$

La estima del rango óptimo con este método es el rango intercuartílico ponderado de la abundancia, *IR*, dado por

[7] $IR = Q_3 - Q_1$,

donde Q_1 y Q_3 son los cuartiles mínimo y máximos de la secuencia [5], respectivamente.

Las estimas del óptimo ecológico y del rango óptimo se representan gráficamente por box-plots ponderados de la abundancia. El uso de box-plots permite diferenciar claramente entre el rango óptimo y el rango de tolerancia. Este método estima el rango de tolerancia como el rango delimitado por los "bigotes" superior e inferior de un box-plot ponderado de la abundancia. El extremo del "bigote" más bajo es el primer valor de la secuencia [5] mayor que $Q_1 - 1.5IR$, mientras que el extremo del "bigote" más alto es el primer valor de la secuencia [5] menor que $Q_3 + 1.5IR$.

5.3 PROCESO DE COMPARACIÓN ENTRE LOS MÉTODOS PARA ESTIMAR EL ÓPTIMO ECOLÓGICO, LOS RANGOS ÓPTIMOS Y LOS RANGOS DE TOLERANCIA

Los métodos descritos en el apartado anterior se han comparado para el caso de estudio de los posibles efectos del cambio climático sobre diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos presentes en la cuenca del Júcar, en función de su sensibilidad frente a cambios en la variable ambiental "temperatura del agua". Esta comparación se ha realizado en cuatro pasos:

<u>Primer paso</u>: *Cálculo con ambos métodos del óptimo ecológico, rangos óptimos y rangos de tolerancia de 47 familias de macroinvertebrados acuáticos para la variable temperatura del agua*. Los individuos de cada familia se clasificaron en una de las cuatro zonas de la barra de error (para el método de la media ponderada) y de los box-plots (para el método del óptimo robusto) tal y como muestra en la figura 6 en función de su localización. Las cuatro zonas se definieron de la siguiente manera:

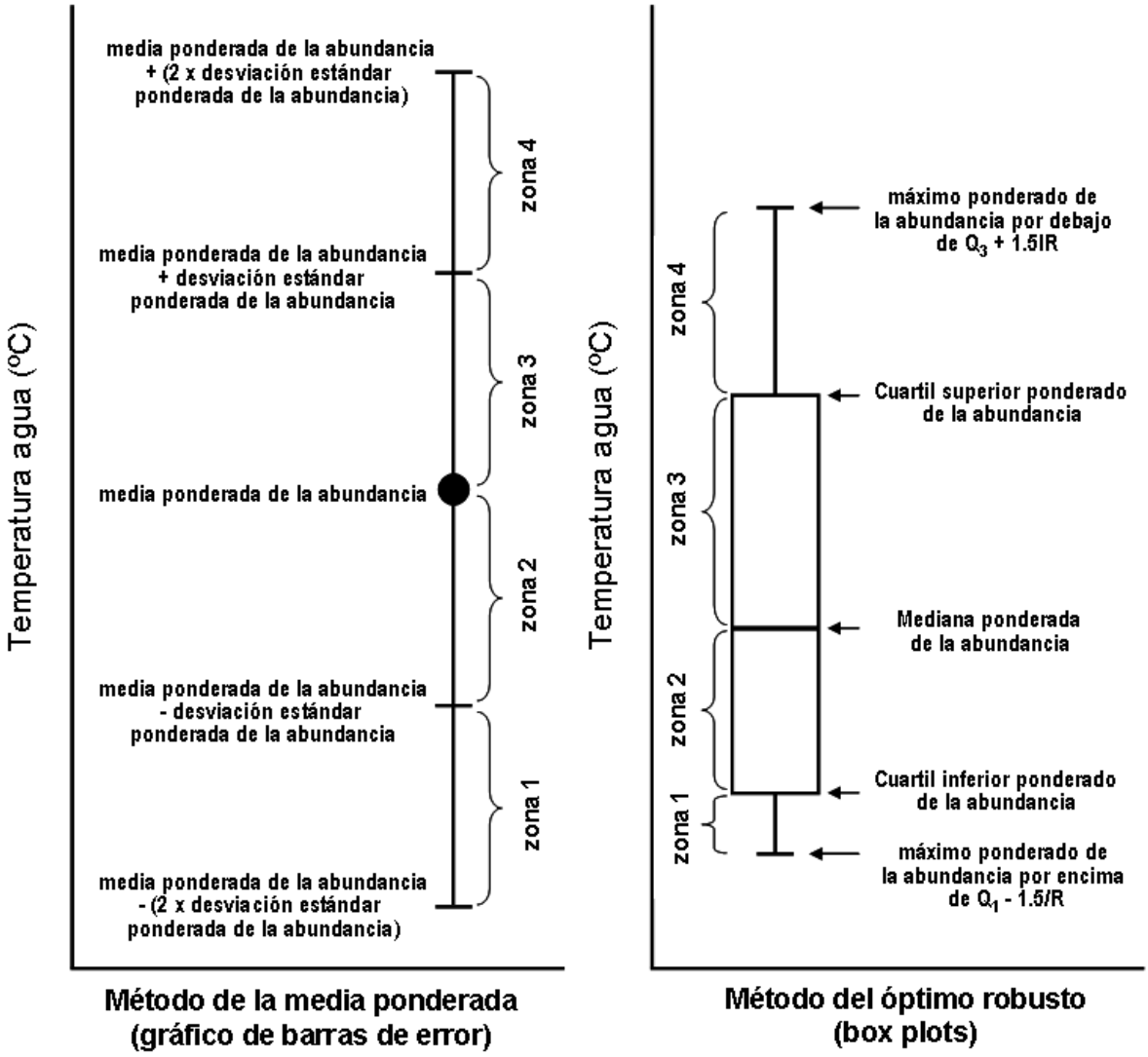


Figura 6. Definición y representación gráfica de las cuatro zonas diferenciadas en las que se clasifican los individuos de cada familia de macroinvertebrados según el método de la media ponderada (izquierda) o del óptimo robusto (derecha).

Zona 1: es la zona de estrés baja. Para el método del RO esta zona es el rango entre el mínimo ponderado de la abundancia por encima de $Q_1 - 1.5IR$ (el "bigote" menor del box-plot) y el cuartil inferior ponderado de la abundancia. Con el método del WA representa el rango entre la media ponderada de la abundancia menos el doble de la desviación estándar ponderada de la abundancia, y la media ponderada de la abundancia menos la desviación estándar ponderada de la abundancia.

Zona 2: es la mitad inferior del rango óptimo. Con el método del RO es el rango entre el cuartil inferior ponderado de la abundancia y la mediana ponderada de la abundancia (la mitad inferior de la caja del box-plot). Para el método del WA es el rango entre la media ponderada de la abundancia menos la desviación estándar ponderada de la abundancia y la media ponderada de la abundancia.

Zona 3: es la mitad superior del rango óptimo. Con el método del RO es el rango entre la mediana ponderada de la abundancia y el cuartil superior ponderado de la abundancia (la mitad superior de la caja del box-plot). Para el método del WA es el rango entre la media ponderada de la abundancia y la media ponderada de la abundancia más la desviación estándar ponderada de la abundancia.

Zona 4: es la zona de estrés alta. Para el método del RO esta zona es el rango entre el cuartil superior ponderado de la abundancia y el máximo ponderado de la abundancia por debajo de $Q_3 + 1.5IR$ (el "bigote" mayor del box-plot). El método del WA representa el rango entre la media ponderada de la abundancia más la desviación estándar ponderada de la abundancia y la media ponderada de la abundancia más dos veces la desviación estándar ponderada de la abundancia.

Segundo paso: *Simulación del efecto del calentamiento global sobre los macroinvertebrados acuáticos de acuerdo a posibles escenarios climáticos futuros generados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)*. Los datos registrados de temperatura del agua se han incrementado en 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 ºC. La clasificación realizada en el paso primero ha sido entonces repetida para cada uno de los incrementos de temperatura del agua y para cada familia de macroinvertebrados (cada incremento de temperatura ha sido tratado de forma independiente, es decir, se han generado 8 nuevas clasificaciones).

Tercer paso: *Evaluación del efecto del calentamiento sobre los macroinvertebrados*. La clasificación original de cada individuo realizada en el paso 1 ha sido comparada con la nueva clasificación en el paso 2 para cada incremento de temperatura y para cada familia. La comparación fue llevada a cabo mediante el conteo del número de individuos que cambiaban de zona en el box-plot o en la barra de error cuando la temperatura del agua aumentaba. Se calculó el porcentaje de individuos que cambiaron con respecto al número total de individuos en la familia. Los valores extremos ("outliers") no han sido tenidos en cuenta en ninguno de estos cálculos.

Cuarto paso: *Identificación de indicadores biológicos de calentamiento global en la Cuenca hidrográfica del Júcar*. Se ha considerado a una familia de macroinvertebrados como un buen indicador biológico de cambio climático cuando ha sido "seriamente afectada" por un incremento en la temperatura del agua. El criterio utilizado ha sido el hecho de que se predice que al menos el 75% de su población cambiará de zona en la clasificación del box-plot o en la barra de error debido al incremento de la temperatura. Las familias resultantes de esta selección con ambos métodos (WA y RO) para cualquiera de los incrementos efectuados son las escogidas para la comparación de los resultados.

Todos los cálculos, representaciones gráficas y análisis estadísticos se han realizado con el software SPSS 15.0 para Windows (Statistical Product and Services Solutions Inc., Chicago, Illinois, US).

5.4 RESULTADOS

Para explicar gráficamente el significado de la comparación de los resultados obtenidos con ambos métodos (WA y RO) en el cálculo del óptimo ecológico, rango óptimo y rango de tolerancia para la variable temperatura del agua, se ha escogido como ejemplo los resultados obtenidos para la familia *Rhagionidae* en la cuenca del Júcar, ilustrados en la figura 7.

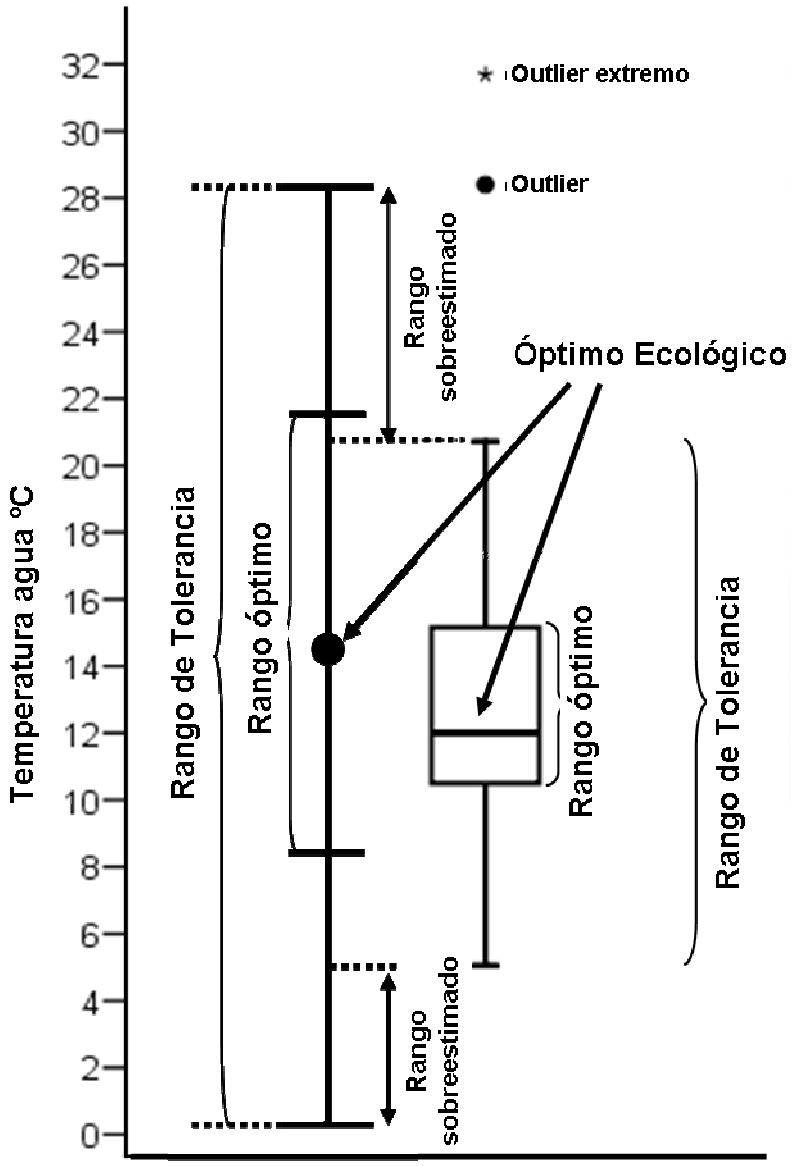


Figura 7. Representación gráfica del óptimo ecológico, rango óptimo y rango de tolerancia para la variable temperatura del agua, aplicando los métodos WA (izquierda) y RO (derecha) con la familia *Rhagionidae* en la Cuenca del Júcar.

La figura 8 representa los resultados obtenidos en el primer paso de la comparación de los dos métodos con la selección de 47 familias de macroinvertebrados con carácter estenotermo presentes en la Cuenca del Júcar. Se observa que las estimas obtenidas para cada familia difieren en general según el método utilizado; esto es especialmente notable en algunas familias como por ejemplo: *Phryganeidae, Mesoveliidae, Calamoceratidae, Planariidae, Lepidostomatidae, Capniidae* o *Rhagionidae*.

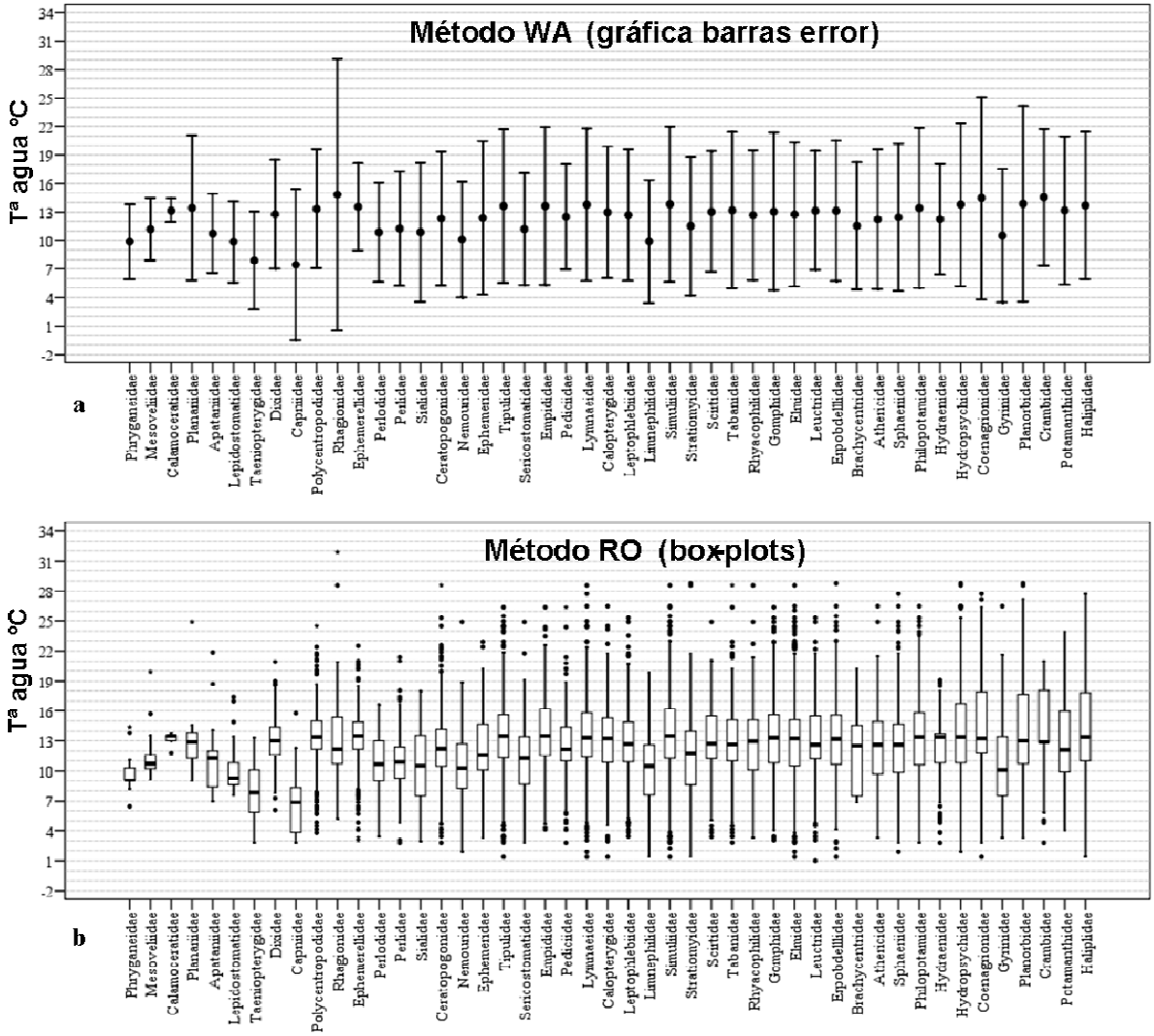


Figura 8. Óptimo ecológico, rango óptimo y rango de tolerancia para la variable temperatura del agua aplicando los métodos WA (a) y RO (b) con 47 familias en la Cuenca del Júcar.

Los resultados obtenidos de la simulación de los efectos del calentamiento y la selección de indicadores biológicos de estos efectos (2º al 4º paso del proceso de comparación) se resumen gráficamente en las figuras 9 y 10.

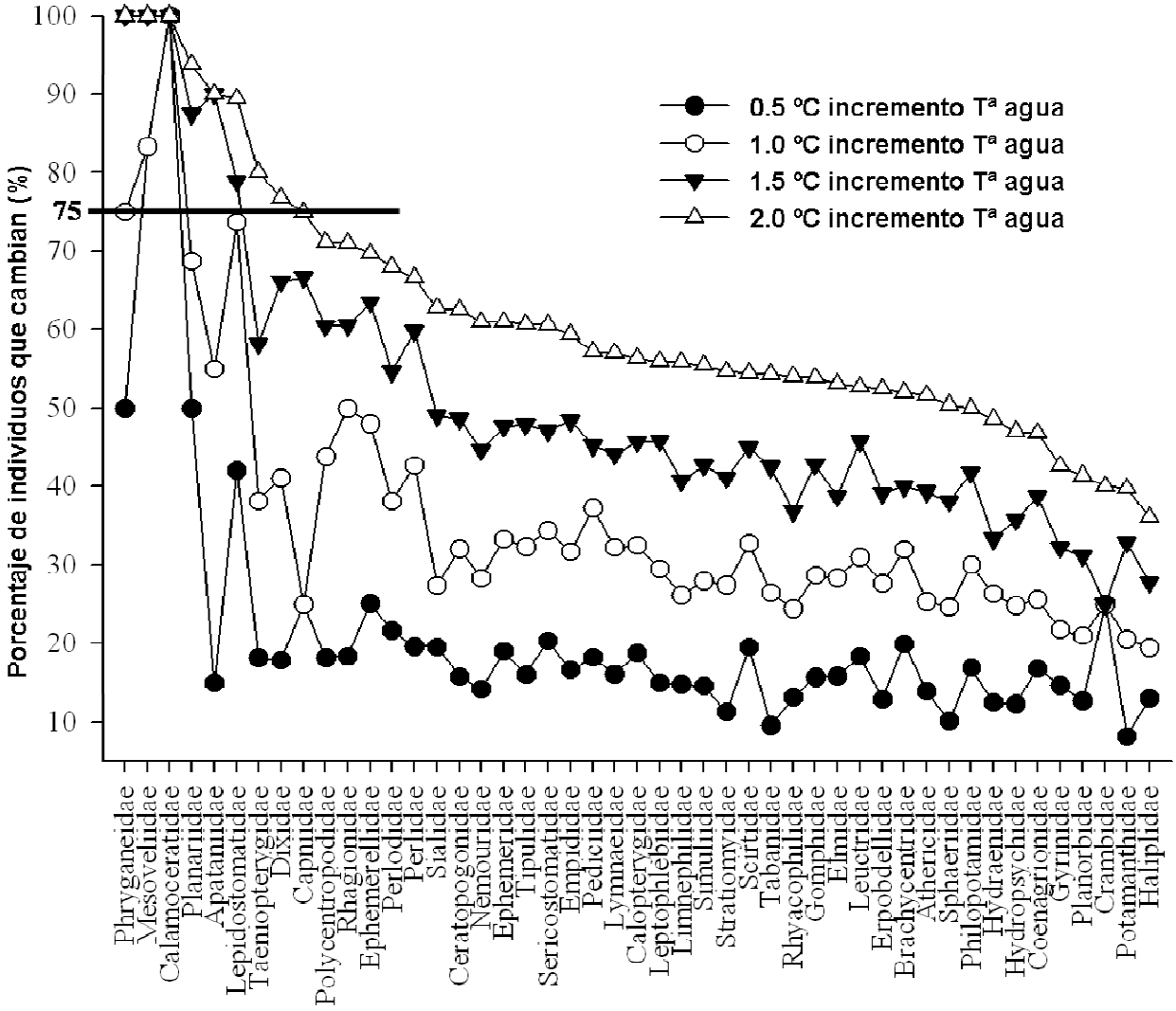


Figura 9. Resultados de la aplicación del método del Óptimo Robusto. Se representa para cada familia seleccionada en el estudio el porcentaje de individuos que han experimentado algún cambio como resultado de la simulación de los diferentes incrementos de temperatura del agua (0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 ºC). Las familias que se consideran mejores indicadoras (9) son aquellas cuyos porcentajes de individuos con cambios son mayores del 75%.

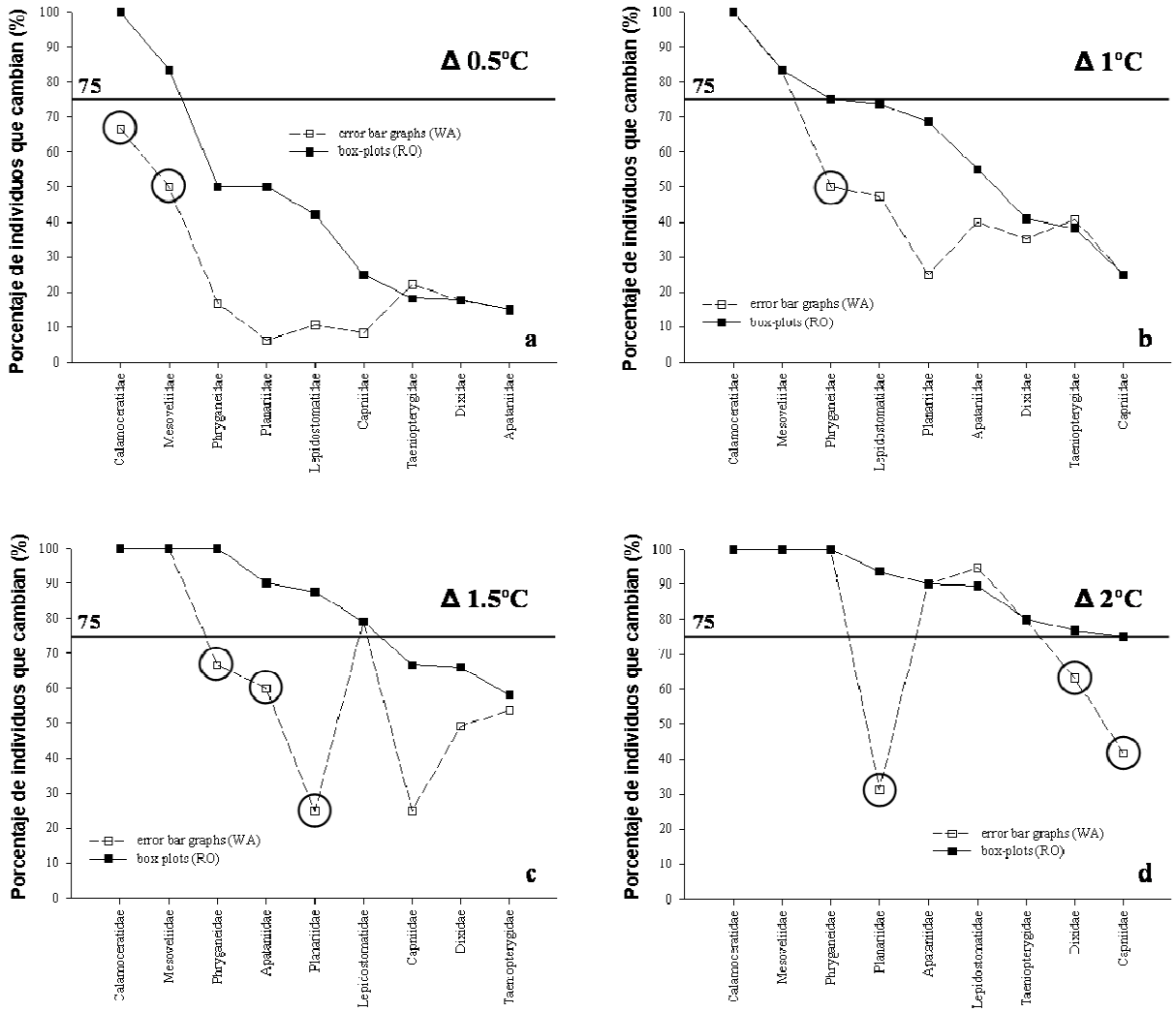


Figura 10. Comparación entre el porcentaje de individuos con cambios de las familias mejor indicadoras, resultante de la aplicación de los métodos WA y RO para incrementos de temperatura del agua de 0.5 ºC (a), 1.0 ºC (b), 1.5 ºC (c) y 2.0 ºC (d). Los círculos señalan aquellas familias identificadas como potenciales indicadoras del calentamiento global utilizando el método RO pero no cuando se utiliza el método WA. La línea negra correspondiente al valor 75% del eje de ordenadas marca el umbral del porcentaje de individuos con cambio que una familia debe sobrepasar para constituir un buen indicador.

La figura 9 muestra los resultados obtenidos de la aplicación del método RO con los datos de estudio. El porcentaje de individuos que cambia su clasificación de una zona a otra en los box-plots se representa para cada familia e incremento de temperatura del agua. El porcentaje se ha calculado con respecto al número total de individuos en cada familia y la temperatura del agua se ha incrementado en 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 ºC. Las familias consideradas como indicadores biológicos de calentamiento global con el método RO para al menos uno de los incrementos mencionados de temperatura, son las nueve primeras localizadas en el eje X de la figura 9.

Para continuar el proceso de comparación del estudio, solo se han tenido en cuenta estas nueve familias indicadoras.

El porcentaje de individuos que cambiaron su clasificación en los box-plots (método RO) y en las barras de error (método WA), como resultado del incremento de la temperatura del agua en 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 ºC, se muestra en la figura 10 para aquellas familias seleccionadas para el estudio comparativo. Para un incremento de temperatura de 0.5 ºC, las familias Calamoceratidae y Mesoveliidae se clasifican como indicadores biológicos de calentamiento tras aplicar el método RO. Cuando se utiliza el método WA no aparecen como familias indicadoras (ver figura 10.a). Las familias Phryganeidae, Planariidae y Lepidostomatidae no son consideradas como indicadores biológicos, pero el porcentaje de individuos afectados con la aplicación del método RO es notable (figura 10.a). Phryganeidae y Planariidae muestran un 50% de individuos afectados y Lepidostomatidae un 42.1%. Por el contrario, con el método WA, los porcentajes son muy inferiores, siendo un 16.6% para Phryganeidae, un 6.2% para Planariidae y un 10.5% para Lepidostomatidae. Para un incremento en la temperatura del agua de 1.0 ºC, las familias Calamoceratidae y Mesoveliidae son clasificadas como indicadoras biológicas de calentamiento utilizando ambos métodos. La familia Phryganeidae solo lo hace con el método RO (ver figura 10.b). A su vez, pueden observarse diferencias notables entre ambos métodos en los porcentajes de individuos afectados de las familias Lepidostomatidae, Planariidae y Apataniidae. Para Lepidostomatidae, el método WA predice que el 47.63% de la población estará afectada por este incremento de temperatura, en comparación con un 73.68% predicho por el método RO. Para Planariidae, estos porcentajes son del 25% y 68.75% respectivamente, y para Apataniidae del 40% con el método WA y del 55% con el método RO (figura 10.b). Para un incremento de temperatura de 1.5 ºC, las familias Calamoceratidae, Mesoveliidae y Lepidostomatidae se clasifican como indicadores biológicos de calentamiento con ambos métodos (RO y WA). Las familias Phryganeidae, Apataniidae y Planariidae son clasificadas como indicadoras únicamente con el método RO (ver figura 10.c). Se observan igualmente diferencias notables en las familias Capniidae y Dixidae cuando se comparan los porcentajes de individuos afectados con el método RO (66.66% y 66.07%, respectivamente) y con el método WA (25% y 49.12%, respectivamente). Para un incremento de temperatura de 2.0 ºC, las familias Calamoceratidae, Mesoveliidae, Phryganeidae, Apataniidae, Lepidostomatidae y Taeniopterygidae son clasificadas como indicadores biológicos de calentamiento con ambos métodos. Por el contrario, las familias Planariidae, Dixidae y Capniidae son clasificadas como tales únicamente con el método RO (ver figura 10.d).

Finalmente, para el grupo de familias descritas como indicadoras de calentamiento para al menos uno de los incrementos de temperatura, en la figura 11 se muestra el óptimo ecológico, rango óptimo y rango de tolerancia para la temperatura del agua sin incrementos estimados mediante los métodos WA y RO. Puede observarse cómo las estimas realizadas con el método RO son usualmente más estrechas que las obtenidas con el método WA, siendo algunas de estas últimas excesivamente amplias. Por ejemplo, la figura 11.i muestra como un valor extremo provoca la sobreestima del rango de tolerancia de Capniidae con el método WA. Esto es especialmente grave para valores bajos de temperatura, ya que no hay observaciones realizadas de individuos en temperaturas inferiores a 2.82 ºC y sin embargo el límite inferior de tolerancia que predice el método WA es -0.51 ºC, por debajo de la temperatura de congelación del agua.

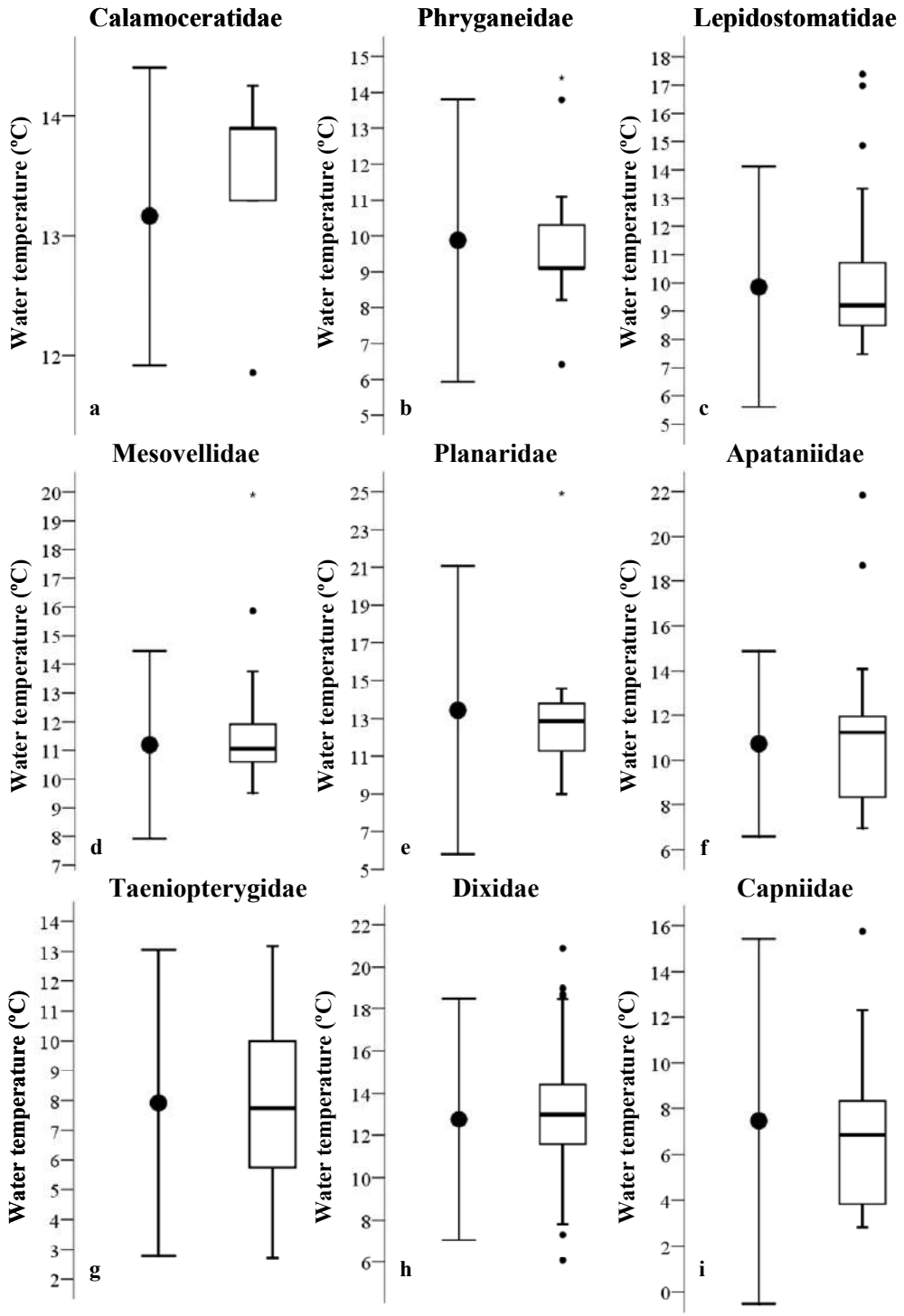


Figura 11. Estimas del óptimo ecológico, rango óptimo y rango de tolerancia para la temperatura del agua (sin incrementos) mediante los métodos WA (se muestra sólo el rango tolerancia) (izquierda de cada subfigura) y RO (derecha de cada subfigura) para el grupo de familias descritas como indicadoras de calentamiento en al menos uno de los incrementos de temperatura simulados.

5.5 OBTENCIÓN DE LOS ÓPTIMOS ECOLÓGICOS POR VARIABLES MEDIANTE EL MÉTODO RO

Para el cálculo de los óptimos ecológicos para cada una de las variables se ha empleado el método RO descrito en el apartado anterior. En el anexo III se muestran los óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados obtenidos en el estudio para las diferentes variables consideradas. En primer lugar, y para cada variable, se muestra una representación de la totalidad del rango de valores abarcado por todos los taxones. En segundo lugar, y con el fin de facilitar un mejor análisis exploratorio visual, se han reducido los límites del rango excluyendo de la representación gráfica los valores extremos ("outliers").

Se han apartado del análisis global aquellas familias que tienen pocos datos, y que además no presentan un valor indicador importante. En concreto, se han eliminado de forma definitiva *Curculionidae* (1 dato) y *Ptychopteridae* (1 dato), y al menos temporalmente *Dolichopodidae* (7 datos), *Haemopidae* (5 datos), *Helophoridae* (5 datos), *Potamonidae* (2 datos), *Sphaeromatidae* (2 datos) y *Valvatidae* (1 dato).

Uno de los objetivos principales del análisis de los óptimos ecológicos es localizar aquellas familias o taxones que muestran rangos muy restrictivos frente a variables susceptibles de verse afectadas por los efectos del cambio climático a través de variaciones en la precipitación y la temperatura (variables que definen los escenarios climáticos futuros). De esta forma, se podrá seleccionar un grupo de taxones más sensibles en los que enfocar el mayor esfuerzo de seguimiento a partir de los datos obtenidos en las redes de control biológico, funcionando como sensores tempranos de posibles efectos o tendencias provocados por el cambio climático.

A continuación se comentan los resultados obtenidos de los óptimos ecológicos para cada una de las variables (se indica la posible relación o sensibilidad frente a las dos variables consideradas en la elaboración de los futuros escenarios de cambio climático):

5.5.1 Alcalinidad

La mayoría de las familias (64%) presentan un óptimo comprendido entre 200 y 240 mg $CaCO_3$/l, observándose dos grupos con tendencias marcadas hacia valores más bajos (23%), entre 200 y 140 mg $CaCO_3$/l, y valores altos (13%) , entre 240 y 450 mg $CaCO_3$/l. La alcalinidad del agua es una variable que refleja la capacidad de tamponamiento o la resistencia a la variación del pH, siendo la fuente de alcalinidad más importante el gas carbónico (CO_2) en sus diferentes formas. El equilibrio del sistema carbónico-carbonatos depende de la presión y de la temperatura del agua. Se presupone una cierta dependencia frente a las variables precipitación y temperatura.

5.5.2 Altitud

Es una de las variables que muestra un marcado y constante gradiente de sus valores en relación con la distribución de las familias, si bien la tolerancia a rangos más amplios de altitud es superior en aquellas familias que viven a menores altitudes, siendo más restrictiva en los grupos que habitan en zonas de montaña por encima de los 800 m. Esta variable es presumible que contribuya a seleccionar aquellos grupos taxonómicos más sensibles frente a cambios en la temperatura por residir en zonas más frías de montaña o cabeceras de cuenca.

5.5.3 Amonio

Esta variable se encuentra probablemente muy condicionada por la actividad humana en las cuencas, por lo que es más difícil su utilización como indicadora de respuesta a variaciones en precipitación y temperatura. La mayoría de las familias localizan sus rangos principales de tolerancia en valores inferiores a 0.1 mg NH_4/l, aunque existe un pequeño grupo (10%) que muestra una mayor tolerancia con valores entre 0.1 y 0.4 mg NH_4/l, o incluso encontrándose sus óptimos en valores muy superiores a 1 mg NH_4/l.

5.5.4 Anchura media del cauce

Más del 50% de las familias se encuentran en cauces con una anchura media entre 2 y 5 m. Un pequeño grupo (9%) son familias propias de grandes ríos, con anchuras medias superiores a los 10 m, y un porcentaje similar habita generalmente en pequeños cursos de agua con anchuras medias inferiores a 1 m. Esta variable depende en gran medida de otras dos, el orden del río y el caudal, aunque también la geomorfología del valle fluvial condiciona la zona cubierta por el agua circulante.

5.5.5 Área de la cuenca

En torno al 20% de las familias se desarrollan exclusivamente en cuencas de pequeño tamaño, con áreas inferiores a 150 km^2. Un pequeño grupo (6%) lo hace casi exclusivamente en grandes cuencas con superficies mayores de 1000 km^2. La mayoría de las restantes familias reflejan una distribución progresiva desde pequeñas a grandes cuencas, algunas de ellas con rangos que abarcan la casi totalidad del gradiente de tamaños de cuenca existente. Es una variable independiente de la precipitación y la temperatura.

5.5.6 Caudal

Casi un 50% de las familias presentan su óptimo ecológico en ríos con caudales relativamente bajos, menores de 1 m^3/s, algunas de ellas (un 15%) con umbrales entre 0 y 0.2 m^3/s, lo que significa que una mayoría se encuentra en tramos cuyo caudal cabe que responda de forma más sensible ante variaciones en la precipitación en la cuenca. Aunque los valores de las medianas y los rangos intercuartílicos reflejan un gradiente continuo, en general se observa como una gran mayoría de los grupos muestran bastantes datos de presencia atípicos o extremos frente a valores muy elevados de caudal (superiores a 10 m^3/s). Esto podría reflejar una tolerancia en muchos grupos a la ocurrencia de sucesos extraordinarios de crecidas o caudales altos.

5.5.7 Conductividad

Si bien las gráficas revelan una elevada mineralización general en toda la cuenca, se observa un gradiente continuo desde grupos propios de aguas menos mineralizadas (un 15% con valores medios inferiores a 600 µS/cm) hasta familias con óptimos ecológicos que toleran valores superiores a 2000 µS/cm. La variabilidad en la amplitud de los rangos intercuartílicos es muy alta en general, siendo un porcentaje bajo (menos del 10%) de familias las que muestran rangos muy restrictivos sin valores atípicos o extremos fuera de estos rangos. La precipitación y la

temperatura son factores que pueden influir mucho en el lavado y solubilidad de los materiales de la cuenca y su escorrentía hacia los cauces fluviales, por lo que es de esperar que la conductividad sea susceptible de ser utilizada como posible indicadora de cambios como consecuencia de variaciones en estos dos factores.

5.5.8 DBO5

Los datos disponibles para el análisis de esta variable son menores que para la mayoría del resto de variables, además de ser valores discretos de unidades con una precisión de 0 decimales, no detectándose un gradiente claro en los valores obtenidos para la mayor parte de las familias. Únicamente, hay un pequeño grupo de 10 familias que muestran óptimos en un rango superior al resto de los grupos, con valores de la mediana superiores a 3 mg O_2/l, localizándose el rango del óptimo para más del 80% en valores iguales o inferiores a 2 mg O_2/l. Esta variable, en cualquier caso, tiene una dependencia muy alta de las entradas de materia orgánica procedentes de vertidos o fuentes puntuales o difusas de la cuenca, en comparación con la influencia de otras variables ambientales naturales.

5.5.9 Días con caudal = 0

En relación con esta variable, existe un porcentaje apreciable de familias (en torno al 20%) con tolerancia baja o nula (inferior a 10 días) a la ausencia de caudal circulante por el cauce fluvial. Por el contrario, un porcentaje similar (20% aprox.) muestra sus óptimos ecológicos en valores que superan los 40 días de caudal nulo, indicando una mayor adaptación a la temporalidad y los períodos de sequía. Entre ambos grupos hay un gradiente más o menos constante, lo que en su totalidad, convierte a esta variable en una buena indicadora de los efectos de fluctuaciones o cambios en la precipitación en escenarios climáticos futuros.

5.5.10 Distancia a la divisoria de aguas

Exceptuando el tramo medio y bajo del río Júcar y los tramos bajos de los ríos Mijares o Turia, la distancia a la divisoria de aguas es muy baja en la mayoría de las estaciones, ya que se trata de cuencas pequeñas con ríos y afluentes de poca longitud en comparación con otras cuencas de la Península Ibérica. No obstante, se observa un gran paralelismo en los resultados, tanto de las familias como del gradiente de valores, con los obtenidos para la variable “área de cuenca”, pudiéndose aplicar los mismos criterios que para dicha variable. Poco más de una decena de familias son características de tramos bajos de ríos con distancias a la divisoria, de la mayoría de las estaciones en las que aparecen, superiores a los 100 Km. Por el contrario, un pequeño grupo de familias (en torno al 15%) solo se localizan en las cabeceras de los cursos fluviales, muy cercanos a la divisoria de aguas de la cuenca (distancias inferiores a 50 Km.).

5.5.11 Fosfatos

Para esta variable, las medianas de los óptimos de las familias reflejan un gradiente muy poco marcado, con valores entre 0.05 y 0.25 mg PO_4/l en el 85% de las mismas. Sin embargo, la

dispersión de los valores atípicos o extremos es manifiesta en la mayoría de las familias, lo que puede interpretarse como una señal de la frecuencia de incrementos puntuales de la concentración de fosfatos en las aguas como consecuencia de vertidos u otras fuentes puntuales. Un pequeño grupo de familias (inferior al 10%), habitualmente presentes en aguas más contaminadas, muestra rangos en sus óptimos muy amplios con valores elevados del tercer cuartil (superiores a 1 mg PO_4/l). Por su gran dependencia de factores humanos y menor sensibilidad a las variables ambientales (precipitación y temperatura), esta variable no se considera *a priori* adecuada para los objetivos de este trabajo.

5.5.12 Sólidos en suspensión

Los sólidos en suspensión son una variable que no está muy influenciada por la temperatura ni por la precipitación por lo que se podría decir que no es un buen indicador para reflejar el efecto del cambio climático en las comunidades de macroinvertebrados. Incluso es una variable que está condicionada por la actividad humana. Aproximadamente, el 76% de las familias presentan su óptimo ecológico para una concentración de sólidos en suspensión entre 5 y 10 mg/l.

5.5.13 Nitratos

Al igual que con la variable Amonio, esta variable es previsible que esté condicionada por la actividad humana en las cuencas, en este caso no solo de fuentes puntuales sino también difusas por los usos del suelo. Su utilización como indicadora de respuesta a variaciones en precipitación y temperatura es por tanto también difícil de cuantificar al enmascararse los efectos de estas dos variables por la actividad humana. El 50% de las familias localizan sus rangos principales de tolerancia en valores inferiores a 5 mg NO_3/l, existiendo un pequeño grupo (10%) que muestra una mayor tolerancia con valores superiores a 20 mg NO_3/l. No obstante, por el interés que revierte esta variable de cara a otros problemas ambientales como la eutrofización de las aguas, sería recomendable realizar un análisis más detallado y a mayor escala geográfica de la evolución de esta variable en relación con las fuentes naturales y antrópicas, y la influencia de los posibles cambios en las aportaciones específicas en las cuencas.

5.5.14 Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto en el agua de los ríos depende de varios factores: la presión atmosférica, la temperatura del agua, la concentración de materia orgánica, la actividad fotosintética y la respiración. Todos ellos pueden influir notablemente en los valores obtenidos en una estación, condicionados además por la hora en la que se ha realizado la medida. Por todo ello, y a falta de una información más detallada, no se ha considerado prudente el utilizar los datos de esta variable para detectar influencias de posibles cambios en las variables precipitación y temperatura. prueba de ello, es que en la figura de los óptimos ecológicos determinadas familias propias de tramos altos de ríos con aguas muy oxigenadas no reflejan sus óptimos en esas zonas de concentración de oxígeno, y por el contrario, determinadas familias con capacidad de tolerar situaciones con déficit de oxígeno, aparecen con óptimos de elevadas concentraciones. La existencia de estaciones con aguas muy enriquecidas en las que se produce un crecimiento masivo de algas o vegetación acuática puede explicar alguno de estos casos, en los que las concentraciones de oxígeno disminuirían a valores muy bajos durante la noche.

5.5.15 pH

El predominio de litologías básicas o calcáreas en la cuenca del Júcar, con concentraciones altas de carbonatos en sus aguas, se ve reflejado en los valores de los óptimos en los que se desarrollan las familias de macroinvertebrados, todas ellas con los valores de sus medianas de pH superiores a 7.3, localizándose más del 75% de los casos con valores de las medianas entre 7.7 y 8.3. Un 25% de las familias localizan sus óptimos con pH superiores a 8.0. Al tratarse de aguas muy alcalinas, con una gran capacidad de tamponamiento, no cabe esperar que se produzcan grandes cambios en estas variables como consecuencia de los efectos de otras variables ambientales como la precipitación o la temperatura. El pH podría verse afectado ligeramente en todo caso, por la actividad fotosintética en algunas de las estaciones, pero sin considerarse relevante para los objetivos de este estudio.

5.5.16 Profundidad media del cauce

No se observa un gradiente muy marcado en los óptimos de la mayoría de las familias para esta variable, localizándose casi el 90% de ellas en valores entre 0.1 y 0.4 m de profundidad media. Un pequeño grupo (5%) son familias propias de tramos bajos de cursos fluviales, donde predominan las zonas potámicas con mayores profundidades. Al tratarse de una variable que puede presentar continuas fluctuaciones por la temporalidad de muchos de los ríos de la cuenca, la mayoría con carácter mediterráneo, el constituir un valor medio y no absoluto de un parámetro morfométrico, y debido al rango restringido de valores en el que se localizan la mayoría de los óptimos, no se considera por tanto una variable de interés para este trabajo.

5.5.17 Sulfatos

El origen de este ión se debe generalmente a los procesos de disolución de yesos ($CaSO_4$), y al tratarse de aguas generalmente alcalinas, no se localizan problemas en la cuenca de procesos de acidificación o vertidos importantes industriales. Se considera poco relevante esta variable para el objeto del estudio, ya que no cabe esperar ninguna influencia positiva o negativa sobre los macroinvertebrados como consecuencia de posibles fluctuaciones en los valores de esta variable. La mayoría de las familias muestran rangos de tolerancia muy amplios, y solo aquellas que son propias de cabeceras de cuencas, donde la mineralización es más baja, reflejan rangos menos amplios por las propias características químicas de las aguas en estos tramos.

5.5.18 Temperatura del agua

Es ésta probablemente una de las variables con mayor interés para este trabajo, ya que respondería de forma directa a posibles cambios en la temperatura del aire como consecuencia de un cambio climático. Actualmente no se dispone de ninguna herramienta que permita cuantificar de forma directa la influencia de las variaciones en la temperatura del aire sobre la del agua en los cursos fluviales. Son muchos los factores que influyen en este proceso: caudal, turbulencia del agua vs. superficie de intercambio térmico, sombreado del cauce vs. radiación solar directa, viento, profundidad vs. anchura del cauce, etc. En este sentido, se ha pretendido elaborar unos pequeños modelos que permita calcular de forma aproximada la relación entre la

temperatura del aire y la del agua en un tramo determinado de un río (ver Apartado 7 Modelos de transferencia de temperatura Aire/Agua).

El gradiente de los óptimos ecológicos de las familias de macroinvertebrados para esta variable es muy acusado, permitiendo clasificar de forma clara varios grupos en función de sus preferencias por aguas más frías o más cálidas, lo que facilitará la selección de los grupos más sensibles frente a fluctuaciones en la temperatura del agua provocadas por un posible cambio climático futuro.

5.6 DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

Se ha comprobado que el método del WA es más sensible a la distribución de los datos (Ter Braak & Looman, 1986), tal y como se refleja en el ejemplo de la figura 7 para el óptimo ecológico y los rangos óptimo y de tolerancia de la familia Rhagionidae. Además, en la figura 8.a puede observarse cómo los resultados no reflejan una situación real de las familias cuando existen valores extremos o cuando las distribuciones de los datos son asimétricas. Esto explica la diferencias en el óptimo ecológico y los rangos óptimo y de tolerancia para la temperatura del agua en diferentes familias dependiendo del método utilizado (figuras 8.a y 8.b).

Se han obtenido nueve familias clasificadas como indicadores biológicos para la temperatura del agua según el método RO (figura 9). Cuanto mayor es el incremento en la temperatura del agua, mayor es el porcentaje de individuos afectado por el calentamiento y mayor es el número de familias en situación de peligro o crítica. En términos generales, esta respuesta negativa frente a importantes incrementos de temperatura es habitual (Lehmkuhl, 1972; Hogg & Williams, 1996; Durance & Ormerod, 2007; Chessman, 2009). En el proceso de comparación de los métodos RO y WA, el primero de ellos ha demostrado ser más eficaz en todos los casos de incremento de temperatura (figura 10), lo que confirma la hipótesis de que el método del WA es menos eficaz en la detección de indicadores biológicos debido principalmente a dos problemas que afectan al método WA y no lo hacen con el método RO.

El primer problema que afecta al método del WA es que la presencia de valores extremos y la asimetría de las distribuciones aumentan la desviación estándar provocando una sobreestima de los rangos óptimo y de tolerancia en la mayoría de las familias (ver figura 11). De hecho, esta sobreestima explica por qué el método WA es menos eficiente que el método RO en la detección de indicadores biológicos. Además, bajo condiciones óptimas, cuando los rangos de tolerancia son calculados por el método WA únicamente representan al 95% de la población (la media más/menos dos veces la desviación estándar cubre el 95% de una población), mientras que con el método RO se considera el total de la población (100%). Por lo tanto, los rangos de tolerancia determinados por el método RO deberían ser mayores que los determinados por el método WA, pero no lo son cuando existen valores extremos o las distribuciones de datos son asimétricas (figura 11). El peso de los valores extremos y la distancia de estos a los “bigotes” de los box-plots (los límites del rango de tolerancia predichos con el método RO) afectan a la magnitud de la sobreestima del rango de tolerancia hecha con el método WA. Por ejemplo, en la familia Apataniidae (figura 11.f) la presencia de dos valores extremos superiores (a 18.72 ºC y 21.86 ºC) provoca una ligera sobreestima del rango de tolerancia debido al bajo peso de estos “outliers”: la abundancia (nº de individuos) de Apataniidae a 18.72 ºC es 1 y a 21.86 ºC es 2. Por el contrario, el caso de la familia Planariidae es totalmente diferente. La presencia de un valor extremo con un gran peso (40 individuos) a 24.9 ºC, muy por encima del límite superior

del rango de tolerancia predicho por el método RO, 14.58 ºC (figura 11.e), provoca una alta sobreestima (> 6º C). Por tanto, es evidente que un único valor extremo es capaz de perjudicar notablemente los resultados obtenidos con el método WA. Cuando no existen valores extremos, ambos métodos trabajan de forma similar, como es el caso de la familia Taeniopterygidae (figura 11.g), obteniéndose estimas similares en ambos casos. Además, el problema de la sobreestima plantea otro inconveniente. Mientras que los resultados obtenidos con el método RO advierten sobre aquellas familias potencialmente afectadas por un calentamiento (Ej.: Phryganeidae, Planariidae y Lepidostomatidae para incrementos de 0.5ºC, figura 11.a), el método WA no es capaz de hacerlo. Este sería el caso típico de aquellas familias que no resultan clasificadas como buenas indicadoras biológicas del calentamiento global afrente a incrementos bajos de temperatura del agua, pero que muestran diferencias notables entre el porcentaje de individuos afectados calculados con el método WA y los calculados con el método RO. Son familias que se clasificarían como indicadoras biológicas para incrementos mayores de temperatura con el método RO, pero no consideradas como tales por el método WA. En consecuencia, las diferencias en la cantidad de individuos afectados entre ambos métodos no son insignificantes y la información aportada por el método RO frente al método WA resulta más eficaz para la predicción de los posibles efectos del calentamiento global.

El segundo problema del método WA es el sesgo de la media ponderada por la abundancia. Valores extremos superiores e inferiores desplazan hacia arriba o abajo respectivamente la media ponderada de la abundancia ocasionando un sesgo y, en consecuencia, desplazando el óptimo ecológico. Por ejemplo, en la familia Lepidostomatidae (figura 11.c) la media ponderada de la abundancia está sesgada hacia arriba debido a los valores extremos superiores. Por el contrario, en la familia Taeniopterygidae, no sucede lo mismo al no existir valores extremos (figura 11.g).

Los problemas mencionados anteriormente, la sobreestima de los rangos óptimo y de tolerancia así como el sesgo en el óptimo ecológico, no suceden con el método del RO. Esto se explica por las propiedades robustas de la mediana ponderada por la abundancia y el rango intercuartílico ponderado por la abundancia (con un punto de ruptura del 50%), afectándole menos la presencia de outliers y la asimetría de las distribuciones frente al otro método del WA. Por tanto, con la presencia de outliers, las estimas del método RO proporcionan rangos de tolerancia más reales y reducidos, siendo este un aspecto de gran valor cuando el objetivo es localizar indicadores biológicos (Reed, 1998; Midgley et al., 2002; Meador et al., 2008; Penning et al., 2008a; Penning et al., 2008b).

Aunque el método RO es igual de simple de utilizar y representar gráficamente que el método WA, resulta de mayor robustez para representar el óptimo ecológico y los rangos óptimos y de tolerancia. También proporciona una representación más realista de la distribución de los datos que el método WA, probablemente porque este último depende de un factor estadístico, la desviación estándar. Bajo supuestos normales, el rango óptimo representado por el método RO engloba al 50% de la población, mientras que el método WA lo hace con el 68%. Por lo tanto, el significado biológico del rango óptimo encaja mejor con la representación utilizada con el método RO. Además, a diferencia de lo que sucede con las barras de error utilizadas para representar las estimas hechas con el método WA, en los box-plots hay una distinción clara entre el rango óptimo y el rango de tolerancia.

En conclusión, este estudio demuestra que hay diferencias notables entre los dos métodos analizados (WA y RO), y estas diferencias sugieren que la presencia de valores extremos y la asimetría de las distribuciones afecta notablemente al método WA además de a las

predicciones obtenidas con él, como ya ha sido objetado (Birks et al., 1990). El nuevo método RO se muestra como una alternativa robusta al método WA para solventar estos problemas. Por otro lado, la pérdida de eficiencia en la detección de indicadores biológicos potenciales ("taxones alerta") cuando se utiliza el método WA disminuye las probabilidades de alcanzar una mejor predicción de los posibles efectos del cambio climático en los ecosistemas acuáticos, afectando a la eficiencia en los programas de gestión, adaptación y mitigación.

Por consiguiente, el método RO es más recomendable para ser utilizado en la estima de las preferencias ambientales de los indicadores biológicos, factor de gran importancia para la predicción de los efectos del calentamiento global sobre los ecosistemas acuáticos de carácter lótico.

Para el cálculo de los óptimos ecológicos para cada una de las variables se ha empleado por tanto el método RO descrito. Tras analizar los resultados obtenidos (Anexo III), se recomienda prescindir de ciertas variables por los motivos que se exponen a continuación:

- *pH*: ya que no refleja valores indicadores marcados entre los diferentes taxones, mostrándose distribuidas prácticamente todas las familias en rangos similares, y resultando difícil apreciar diferencias notables entre los óptimos de cada una.
- *DBO_5*, *profundidad del río, anchura media del cauce* y *área de la cuenca*: son parámetros poco utilizados en la valoración del estado ecológico, además de que los datos de los que se disponen son insuficientes y no se considera que aporten información de interés.
- *Orden del río*: por igual motivo que los anteriores, siendo una variable cualitativa y no aportando información relevante.
- *Sulfatos*: muestra una relevancia menor como compuesto químico para la distribución de los taxones a nivel de familia, no habiéndose encontrado diferencias significativas entre ellos.
- *Amonio*, *nitratos*, *fosfatos* y *sólidos en suspensión*: son variables químicas difíciles de modelizar al estar probablemente sus valores muy determinados por diferentes factores o presiones existentes en las cuencas, enmascarando los posibles efectos debidos a las variables climáticas. No obstante, no se descarta la posibilidad de que en el futuro se reconsidere el análisis de estas variables químicas (nutrientes) si la información disponible de las cuencas es más detallada y completa.

Finalmente, las variables que se proponen como primera aproximación para el análisis son las siguientes: *alcalinidad total*, *altitud, caudal, conductividad, días con caudal = 0, distancia a la divisoria de aguas, oxígeno disuelto y temperatura del agua*.

6. ESTUDIO DE LAS DIFERENCIAS ENTRE LOS ÓPTIMOS ECOLOGICOS EN FUNCIÓN DE LA RESOLUCIÓN TAXONÓMICA UTILIZADA

6.1 OBJETIVOS DEL ANÁLISIS

Para conocer cómo influyen en la actualidad las variables climáticas sobre otras variables abióticas, y sobre la distribución, composición y estructura de las comunidades biológicas acuáticas a gran escala espaciotemporal, y poder predecir la magnitud de dichos efectos, es importante evaluar si la resolución taxonómica de los índices o métricas utilizados en las redes de seguimiento (familias de macroinvertebrados) es suficiente para detectar estos cambios climáticos y sus efectos sobre los ecosistemas fluviales.

Uno de los objetivos de este trabajo es estudiar bajo dos niveles de resolución taxonómica (familia y género) los óptimos ecológicos de algunos taxones de macroinvertebrados bentónicos fluviales en función de variables ambientales indicadoras *a priori* del cambio climático en una cuenca piloto (cuenca del Júcar), analizando estadísticamente las diferencias entre estos óptimos obtenidos en función de la resolución taxonómica empleada.

A continuación se muestran los resultados obtenidos de forma preliminar para un grupo de géneros pertenecientes a tres familias del Orden *Ephemeroptera.*

6.2 METODOLOGÍA

Se ha trabajado de forma preliminar con un grupo de taxones formado por los géneros de tres de las nueve familias del orden *Ephemeroptera: Heptageniidae, Baetidae y Leptophlebiidae*, ya que poseen suficientes géneros (4 cada una de ellas) para llevar a cabo el estudio de forma representativa.

Para establecer los óptimos ecológicos se han escogido las siguientes variables: temperatura (ºC), conductividad (µS/cm), pH, caudal (m^3/s), altitud (msnm), media del número anual de días de caudal cero y distancia a la divisoria (km). A pesar de que el pH fue descartado como variable de interés a nivel de familia en el apartado anterior, se ha incluido en este análisis al ser una variable típica de evaluación de la calidad química del agua, con el fin de comprobar si la respuesta a nivel de género ofrece resultados diferentes.

De acuerdo al método RO, como estimador del óptimo ecológico se ha elegido la mediana (ponderada con el logaritmo de las abundancias para considerar la cantidad de individuos y al mismo tiempo amortiguar la influencia de las abundancias extremas). Como rango de tolerancia se ha tomado el rango intercuartílico.

Para comparar los óptimos de las dos resoluciones taxonómicas (familia y género) se ha utilizado ANOVA (Análisis de varianza) de un factor con las variables que cumplían las hipótesis estadísticas del modelo, y para observar las diferencias dos a dos se ha utilizado el método de comparaciones múltiples de Bonferroni. Las comparaciones de los óptimos en el resto de las variables se han hecho con métodos no paramétricos, Kruskal Wallis y medianas, los contrastes dos a dos, con U de Mann Whitney.

6.3 RESULTADOS

En está sección se muestran los resultados obtenidos en las comparaciones de los óptimos ecológicos de dos resoluciones taxonómicas (familia y género).

En la tabla 2 se muestran los resultados de las pruebas de normalidad. Es imprescindible estudiar la normalidad, ya que si las variables no son normales no se puede usar el modelo ANOVA para comparar los óptimos. De entre todas las variables resultan normales en el global de la familia y todos los géneros la variable altitud en la familia *Heptageniidae* y la variable pH en la familia *Leptohlebiidae*.

A continuación, en la tabla 3, se muestran los resultados de las comparaciones de los óptimos a nivel de género y a nivel de familia y también entre los distintos géneros. A partir de estos resultados se puede deducir si hay alguna diferencia entre los géneros o entre cualquier género y la familia pero no es posible saber entre quiénes se producen dichas diferencias, por ello es necesario hacer las comparaciones múltiples dos a dos, y esto es lo que se muestra en la tablas 4, 5 y 6 para las distintas familias.

			Kolmogorov-Smirnov		
			Estadístico	gl	Sig.
T del agua (ºC)	**Baetidae**	**Global Fam.**	0.039	2098.240	0.000
		Baetis	0.044	1723.770	0.000
		Centroptilum	0.116	35.827	0.200
		Cloeon	0.091	84.777	0.078
		Procloeon	0.148	14.758	0.200
	Heptageniidae	**Global Fam.**	0.039	534.913	0.048
		Ecdyonurus	0.047	456.071	0.019
		Epeorus	0.224	13.094	0.070
		Heptagenia	0.141	32.564	0.098
		Rhithrogena	0.081	51.768	0.200
	Leptophlebiidae	**Global Fam.**	0.055	306.151	0.026
		Choroterpes	0.146	13.674	0.200
		Habrophlebia	0.110	49.599	0.182
		Paraleptophlebia	0.082	186.730	0.004
		Thraulus	0.135	18.365	0.200

			Kolmogorov-Smirnov		
			Estadístico	gl	Sig.
CE	**Baetidae**	**Global Fam.**	0.184	2094.639	0.000
		Baetis	0.168	1722.249	0.000
		Centroptilum	0.117	35.827	0.200
		Cloeon	0.232	84.777	0.000
		Procloeon	0.349	14.758	0.000
	Heptageniidae	**Global Fam.**	0.145	533.390	0.000
		Ecdyonurus	0.145	455.025	0.000
		Epeorus	0.221	13.094	0.080
		Heptagenia	0.211	32.564	0.001
		Rhithrogena	0.106	51.768	0.200
	Leptophlebiidae	**Global Fam.**	0.116	305.000	0.000
		Choroterpes	0.283	13.674	0.004
		Habrophlebia	0.221	49.599	0.000
		Paraleptophlebia	0.098	185.880	0.000
		Thraulus	0.343	18.365	0.000

			Kolmogorov-Smirnov		
			Estadístico	gl	Sig.
pH	**Baetidae**	**Global Fam.**	0.021	2087.084	0.036
		Baetis	0.027	1716.948	0.006
		Centroptilum	0.079	35.827	0.200
		Cloeon	0.095	84.777	0.058
		Procloeon	0.278	14.758	0.003
	Heptageniidae	**Global Fam.**	0.047	530.212	0.008
		Ecdyonurus	0.034	455.627	0.200
		Epeorus	0.100	13.094	0.200
		Heptagenia	0.128	32.564	0.191
		Rhithrogena	0.107	51.768	0.198
	Leptophlebiidae	**Global Fam.**	0.044	303.708	0.200
		Choroterpes	0.261	13.674	0.012
		Habrophlebia	0.081	49.599	0.200
		Paraleptophlebia	0.054	186.579	0.200
		Thraulus	0.153	18.365	0.200

			Kolmogorov-Smirnov		
			Estadístico	gl	Sig.
Caudal (m^3/s)	**Baetidae**	**Global Fam.**	0.298	2068.679	0.000
		Baetis	0.294	1704.197	0.000
		Centroptilum	0.244	34.014	0.000
		Cloeon	0.318	72.302	0.000
		Procloeon	0.312	14.457	0.000
	Heptageniidae	**Global Fam.**	0.239	533.214	0.000
		Ecdyonurus	0.226	454.372	0.000
		Epeorus	0.282	13.094	0.006
		Heptagenia	0.230	32.564	0.000
		Rhithrogena	0.114	51.768	0.092
	Leptophlebiidae	**Global Fam.**	0.305	296.645	0.000
		Choroterpes	0.198	13.674	0.150
		Habrophlebia	0.209	49.599	0.000
		Paraleptophlebia	0.290	182.046	0.000
		Thraulus	0.434	16.674	0.000

			Kolmogorov-Smirnov		
			Estadístico	gl	Sig.
Altitud (msnm)	**Baetidae**	**Global Fam.**	0.078	657.512	0.000
		Baetis	0.072	573.218	0.000
		Centroptilum	0.119	33.437	0.200
		Cloeon	0.142	71.257	0.001
		Procloeon	0.167	16.362	0.200
	Heptageniidae	**Global Fam.**	0.051	190.053	0.200
		Ecdyonurus	0.055	176.185	0.200
		Epeorus	0.292	5.547	0.147
		Heptagenia	0.104	31.008	0.200
		Rhithrogena	0.178	27.649	0.025
	Leptophlebiidae	**Global Fam.**	0.076	130.204	0.063
		Choroterpes	0.210	13.390	0.112
		Habrophlebia	0.157	35.374	0.027
		Paraleptophlebia	0.109	80.884	0.018
		Thraulus	0.184	8.927	0.200

			Kolmogorov-Smirnov		
			Estadístico	gl	Sig.
Número días caudal 0	**Baetidae**	**Global Fam.**	0.323	186.344	0.000
		Baetis	0.321	163.059	0.000
		Centroptilum	0.167	7.061	0.200
		Cloeon	0.309	10.367	0.006
		Procloeon	0.389	3.540	.
	Heptageniidae	**Global Fam.**	0.384	60.469	0.000
		Ecdyonurus	0.376	57.187	0.000
		Epeorus			
		Heptagenia			
		Rhithrogena			
	Leptophlebiidae	**Global Fam.**	0.384	23.394	0.000
		Choroterpes	0.418	1.531	.
		Habrophlebia	0.318	4.488	.
		Paraleptophlebia	0.382	14.268	0.000
		Thraulus	.	0.602	.

			Kolmogorov-Smirnov		
			Estadístico	gl	Sig.
Distancia divisoria (km)	**Baetidae**	**Global Fam.**	0.242	651.937	0.000
		Baetis	0.235	568.003	0.000
		Centroptilum	0.292	31.738	0.000
		Cloeon	0.245	71.257	0.000
		Procloeon	0.298	16.362	0.000
	Heptageniidae	**Global Fam.**	0.224	190.053	0.000
		Ecdyonurus	0.228	176.185	0.000
		Epeorus	0.312	5.547	0.092
		Heptagenia	0.298	31.008	0.000
		Rhithrogena	0.347	27.649	0.000
	Leptophlebiidae	**Global**	0.264	128.090	0.000
		Choroterpes	0.114	13.390	0.200
		Habrophlebia	0.125	35.374	0.175
		Paraleptophlebia	0.263	79.469	0.000
		Thraulus	0.346	8.927	0.003

Tabla 2. Pruebas de normalidad: test Kolmogorov-Smirnov

Global de la familia y todos los géneros		Kruskal-Wallis				Medianas		
		Estadístico	gl	Sig.		Estadístico	gl	Sig.
	Baetidae							
T del agua (ºC)		33.977	4	0.000		17.146	4	0.002
CE		13.014	4	0.011		11.084	4	0.026
pH		6.273	4	0.180		3.692	4	0.449
Caudal (m³/s)		83.789	4	0.000		39.291	4	0.000
Altitud (msnm)		9.818	4	0.044		7.247	4	0.123
Número días caudal 0		26.865	4	0.024		14.201	4	0.007
Distancia divisoria (km)		11.214	4	0.000		14.853	4	0.005
	Heptageniidae	Estadístico	gl	Sig.		Estadístico	gl	Sig.
T del agua (ºC)		16.029	4	0.003		11.096	4	0.026
CE		18.849	4	0.001		13.416	4	0.009
pH		3.886	4	0.422		3.340	4	0.503
Caudal (m³/s)		13.401	4	0.009		17.576	4	0.001
Altitud (msnm)	ANOVA							
Número días caudal 0		8.505	3	0.037		8.858	3	0.031
Distancia divisoria (km)		20.407	4	0.000		11.318	4	0.023
	Leptophlebiidae	Estadístico	gl	Sig.		Estadístico	gl	Sig.
T del agua (ºC)		51.019	4	0.000		29.540	4	0.000
CE		12.752	4	0.013		19.507	4	0.001
pH			4					
Caudal (m³/s)		27.814	4	0.000		12.451	4	0.014
Altitud (msnm)		12.026	4	0.017		5.812	4	0.214
Número días caudal 0		1.258	3	0.739		1.272	3	0.736
Distancia divisoria (km)		23.491	4	0.000		18.938	4	0.001

		ANOVA		
		F	gl	Sig.
Altitud (msnm)	Heptageniidae	8.56142504	4	1.1873E-06
pH	Leptophlebiidae	0.908591146	4	0.458516186

Tabla 3. Kruskal-Wallis y ANOVA de un factor (variables normales)

MINISTERIO DE FOMENTO
MINISTERIO DE AGRICULTURA ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

Tablas Familia Heptageniidae:

			U de Mann-Whitney Significación			
		Global Hepta.	***Ecdyonurus***	***Epeorus***	***Heptagenia***	***Rhithrogena***
T del agua (ºC)	**Global Hepta.**		0.935	0.000	0.572	0.831
	Ecdyonurus	0.935		0.000	0.582	0.855
	Epeorus	0.000	0.000		0.000	0.000
	Heptagenia	0.572	0.582	0.000		0.765
	Rhithrogena	0.831	0.855	0.000	0.765	

			U de Mann-Whitney Significación			
		Global Hepta.	***Ecdyonurus***	***Epeorus***	***Heptagenia***	***Rhithrogena***
CE	**Global Hepta.**		0.654	0.000	0.522	0.820
	Ecdyonurus	0.654		0.000	0.407	0.976
	Epeorus	0.000	0.000		0.000	0.001
	Heptagenia	0.522	0.407	0.000		0.614
	Rhithrogena	0.820	0.976	0.001	0.614	

pH	**No hay diferencias significativas**

			U de Mann-Whitney Significación			
		Global Hepta.	***Ecdyonurus***	***Epeorus***	***Heptagenia***	***Rhithrogena***
Caudal (m³/s)	**Global Hepta.**		0.918	0.013	0.241	0.030
	Ecdyonurus	0.918		0.013	0.228	0.023
	Epeorus	0.013	0.013		0.010	0.000
	Heptagenia	0.241	0.228	0.010		0.841
	Rhithrogena	0.030	0.023	0.000	0.841	

Altitud (msnm)	**Pruebas post hoc. Bonferroni**

			U de Mann-Whitney Significación			
		Global Hepta.	***Ecdyonurus***	***Epeorus***	***Heptagenia***	***Rhithrogena***
Número días caudal 0	**Global Hepta.**		0.899	XXX	0.054	0.034
	Ecdyonurus	0.899		XXX	0.048	0.030
	Epeorus	XXX	XXX		XXX	
	Heptagenia	0.054	0.048	XXX		1.000
	Rhithrogena	0.034	0.030	XXX	1.000	

			U de Mann-Whitney Significación			
		Global Hepta.	***Ecdyonurus***	***Epeorus***	***Heptagenia***	***Rhithrogena***
Distancia divisoria (km)	**Global Hepta.**		0.870	0.001	0.415	0.010
	Ecdyonurus	0.870		0.001	0.382	0.012
	Epeorus	0.001	0.001		0.000	0.003
	Heptagenia	0.415	0.382	0.000		0.007
	Rhithrogena	0.010	0.012	0.003	0.007	

			U de Mann-Whitney Significación			
		Global Hepta.	***Ecdyonurus***	***Epeorus***	***Heptagenia***	***Rhithrogena***
Altitud (msnm)	**Global Hepta.**		1.000	0.002	1.000	0.000
	Ecdyonurus	1.000		0.003	1.000	0.000
	Epeorus	0.002	0.003		0.006	1.000
	Heptagenia	1.000	1.000	0.006		0.007
	Rhithrogena	0.000	0.000	1.000	0.007	

Tabla 4. Familia Heptageniidae. Comparaciones múltiples post hoc para las medias observadas (Bonferroni) y pruebas no paramétricas: U de Mann-Whitney.

Tablas Familia Baetidae:

			U de Mann-Whitney Significación			
		Global Hepta.	***Ecdyonurus***	***Epeorus***	***Heptagenia***	***Rhithrogena***
T del agua (ºC)	**Global Baetidae**		0.292	0.943	0.000	0.006
	Baetis	0.292		0.793	0.000	0.008
	Centroptilum	0.943	0.793		0.008	0.010
	Cloeon	0.000	0.000	0.008		0.294
	Procloeon	0.006	0.008	0.010	0.294	

			U de Mann-Whitney Significación			
		Global Hepta.	***Ecdyonurus***	***Epeorus***	***Heptagenia***	***Rhithrogena***
CE	**Global Baetidae**		0.171	0.018	0.086	0.104
	Baetis	0.171		0.037	0.038	0.140
	Centroptilum	0.018	0.037		0.009	0.470
	Cloeon	0.086	0.038	0.009		0.027
	Procloeon	0.104	0.140	0.470	0.027	

pH	**No hay diferencias significativas**

			U de Mann-Whitney Significación			
		Global Hepta.	***Ecdyonurus***	***Epeorus***	***Heptagenia***	***Rhithrogena***
Caudal (m^3/s)	**Global Baetidae**		0.865	0.005	0.000	0.001
	Baetis	0.865		0.004	0.000	0.001
	Centroptilum	0.005	0.004		0.009	0.091
	Cloeon	0.000	0.000	0.009		0.759
	Procloeon	0.001	0.001	0.091	0.759	

			U de Mann-Whitney Significación			
		Global Hepta.	***Ecdyonurus***	***Epeorus***	***Heptagenia***	***Rhithrogena***
Altitud (msnm)	**Global Baetidae**		0.030	0.570	0.137	0.521
	Baetis	0.030		0.199	0.012	0.850
	Centroptilum	0.570	0.199		0.579	0.397
	Cloeon	0.137	0.012	0.579		0.142
	Procloeon	0.521	0.850	0.397	0.142	

		U de Mann-Whitney Significación			
		Global Hepta.	***Ecdyonurus***	***Epeorus***	***Heptagenia***	***Rhithrogena***
Número días caudal 0	**Global Baetidae**		0.855	0.132	0.010	0.136
	Baetis	0.855		0.145	0.009	0.123
	Centroptilum	0.132	0.145		0.604	0.896
	Cloeon	0.010	0.009	0.604		0.756
	Procloeon	0.136	0.123	0.896	0.756	

		U de Mann-Whitney Significación			
		Global Hepta.	***Ecdyonurus***	***Epeorus***	***Heptagenia***	***Rhithrogena***
Distancia divisoria (km)	**Global Baetidae**		0.937	0.048	0.000	0.141
	Baetis	0.937		0.043	0.000	0.122
	Centroptilum	0.048	0.043		0.312	0.870
	Cloeon	0.000	0.000	0.312		0.402
	Procloeon	0.141	0.122	0.870	0.402	

Tabla 5. Familia Baetidae. Pruebas no paramétricas, U de Mann-Whitney

Tablas Familia Leptophlebiidae:

		U de Mann-Whitney Significación			
	Global Hepta.	*Ecdyonurus*	*Epeorus*	*Heptagenia*	*Rhithrogena*
T del agua (ºC)	**Global Lepto.**		0.000	0.003	0.015	0.012
	Choroterpes	0.000		0.000	0.000	0.007
	Habrophlebia	0.003	0.000		0.000	0.442
	Paraleptophlebia	0.015	0.000	0.000		0.001
	Thraulus	0.012	0.007	0.442	0.001	

		U de Mann-Whitney Significación			
	Global Hepta.	*Ecdyonurus*	*Epeorus*	*Heptagenia*	*Rhithrogena*
CE	**Global Lepto.**		0.003	0.165	0.344	0.658
	Choroterpes	0.003		0.000	0.002	0.040
	Habrophlebia	0.165	0.000		0.412	0.172
	Paraleptophlebia	0.344	0.002	0.412		0.452
	Thraulus	0.658	0.040	0.172	0.452	

pH	**No hay diferencias significativas**

		U de Mann-Whitney Significación			
	Global Hepta.	*Ecdyonurus*	*Epeorus*	*Heptagenia*	*Rhithrogena*
Caudal (m^3/s)	**Global Lepto.**		0.005	0.039	0.718	0.000
	Choroterpes	0.005		0.002	0.003	0.001
	Habrophlebia	0.039	0.002		0.060	0.005
	Paraleptophlebia	0.718	0.003	0.060		0.000
	Thraulus	0.000	0.001	0.005	0.000	

		U de Mann-Whitney Significación			
	Global Hepta.	*Ecdyonurus*	*Epeorus*	*Heptagenia*	*Rhithrogena*
Altitud (msnm)	**Global Lepto.**		0.247	0.023	0.104	0.203
	Choroterpes	0.247		0.033	0.039	0.840
	Habrophlebia	0.023	0.033		0.208	0.032
	Paraleptophlebia	0.104	0.039	0.208		0.039
	Thraulus	0.203	0.840	0.032	0.039	

Número días caudal 0	**No hay diferencias significativas**

			U de Mann-Whitney Significación			
		Global Hepta.	*Ecdyonurus*	*Epeorus*	*Heptagenia*	*Rhithrogena*
Distancia divisoria (km)	Global Lepto.		0.000	0.043	0.204	0.507
	Choroterpes	0.000		0.000	0.000	0.001
	Habrophlebia	0.043	0.000		0.318	0.067
	Paraleptophlebia	0.204	0.000	0.318		0.150
	Thraulus	0.507	0.001	0.067	0.150	

Tabla 6. Familia Leptophlebiidae. Pruebas no paramétricas, U de Mann-Whitney

Familia Heptageniidae

Existen diferencias estadísticamente significativas entre:

- El género *Epeorus* y el global de la familia, y entre ese mismo género y el resto de géneros en las variables temperatura y conductividad.
- El género *Epeorus* y el global de la familia, y entre el género *Rhithrogena* y también el global de familia, en las variables caudal, altitud, nº de días de caudal 0 y distancia a la divisoria (con el género *Epeorus* no se analiza la variable nº de días de caudal 0 porque no hay datos suficientes). A su vez estos dos géneros son diferentes del resto de géneros y parecidos entre sí en la altitud.

Familia Baetidae

Existen diferencias estadísticamente significativas entre:

- El global de la familia y los géneros *Cloeon* y *Procloeon* en la variable temperatura.
- El global de la familia y los géneros *Centroptilum*, *Cloeon* y *Procloeon* en la variable caudal.
- El global de la familia y el género *Centroptilum* en la variable conductividad.
- En la variable altitud existe diferencia de amplitud entre el género *Cloeon* y el global de la familia.
- El global de la familia y el género *Cloeon* en la variables nº días caudal 0 y distancia a la divisoria. En esta última variable también existe una leve diferencia entre el género *Centroptilum* y el global de la familia.

Familia Leptophlebiidae

Existen diferencias estadísticamente significativas entre:

- El global de la familia y los géneros *Choroterpes, Paraleptoplebia* y *Thraulus* en la variable temperatura. Además los óptimos de estos dos últimos géneros son significativamente distintos a todos los géneros.
- El global de la familia y el género *Choroterpes* en las variables conductividad y distancia a la divisoria. Además, en esta última variable, el óptimo y la tolerancia de este género son distintos a los del resto.
- El global de la familia y los géneros *Choroterpes, Habrophlebia* y *Thraulus* en la variable caudal.

En las figuras 12 a 18 se representan los diagramas de cajas, en los que se pueden observar las diferencias enunciadas.

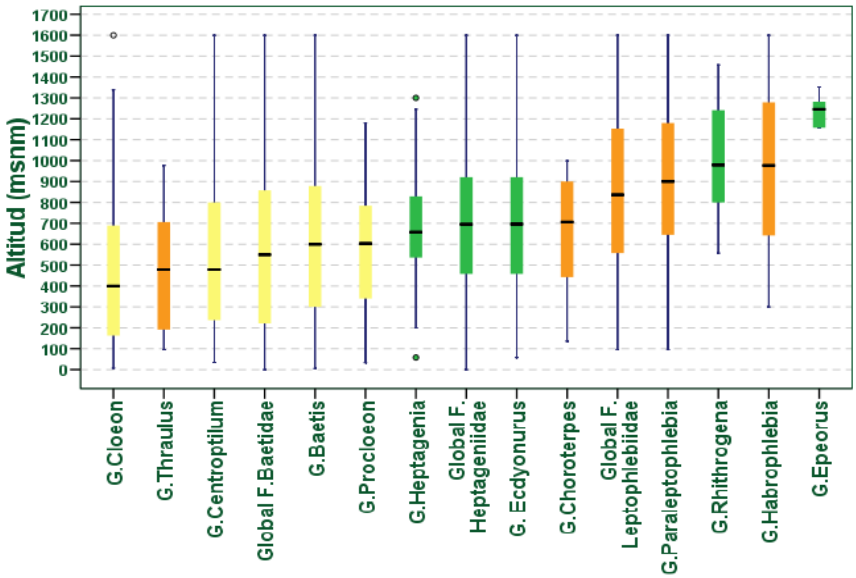


Figura 12. Óptimos ecológicos de los taxones de efemerópteros a diferente nivel taxonómico (familia y género) para la variable altitud (los taxones pertenecientes a la misma familia se representan con el mismo color).

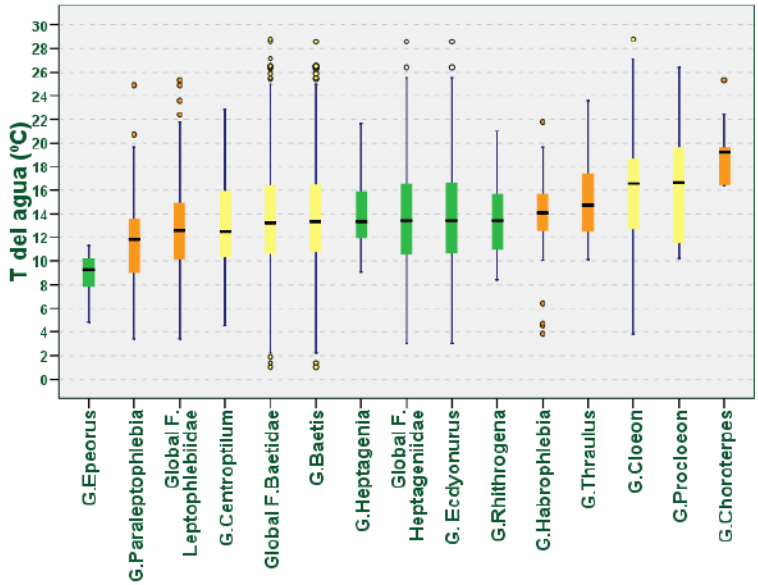


Figura 13. Óptimos ecológicos de los taxones de efemerópteros a diferente nivel taxonómico (familia y género) para la variable temperatura del agua (los taxones pertenecientes a la misma familia se representan con el mismo color).

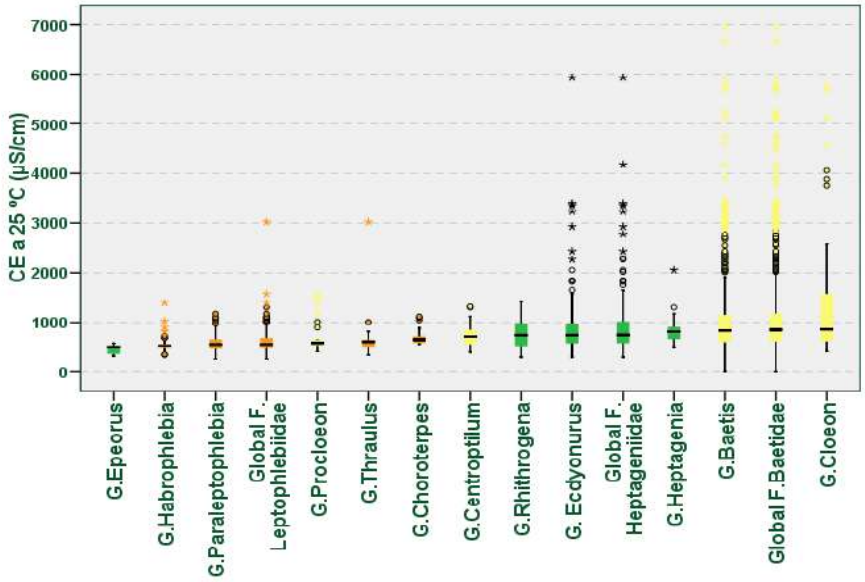


Figura 14. Óptimos ecológicos de los taxones de efemerópteros a diferente nivel taxonómico (familia y género) para la variable CE a 25 ºC (los taxones pertenecientes a la misma familia se representan con el mismo color).

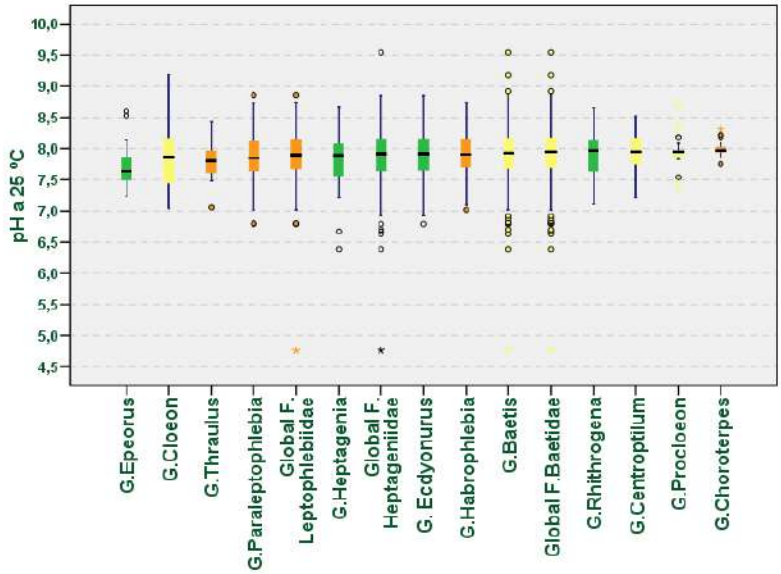


Figura 15. Óptimos ecológicos de los taxones de efemerópteros a diferente nivel taxonómico (familia y género) para la variable pH a 25 ºC (los taxones pertenecientes a la misma familia se representan con el mismo color).

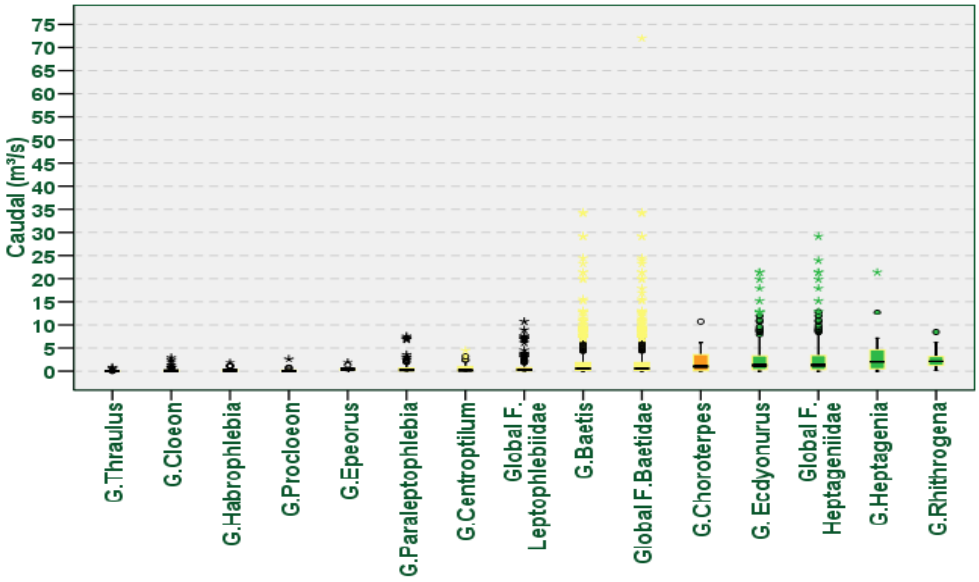


Figura 16. Óptimos ecológicos de los taxones de efemerópteros a diferente nivel taxonómico (familia y género) para la variable caudal (los taxones pertenecientes a la misma familia se representan con el mismo color).

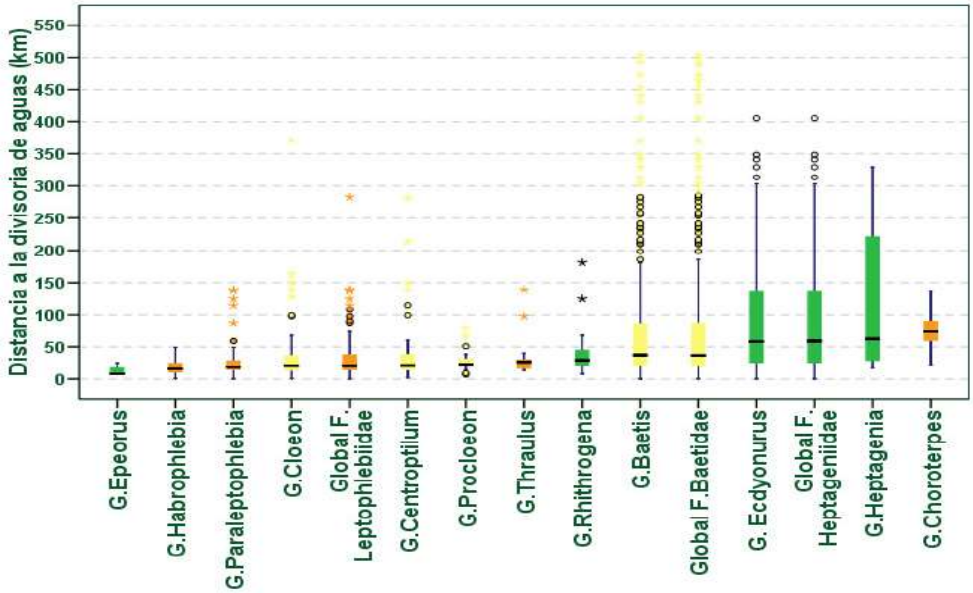


Figura 17. Óptimos ecológicos de los taxones de efemerópteros a diferente nivel taxonómico (familia y género) para la variable distancia a la divisoria de aguas (los taxones pertenecientes a la misma familia se representan con el mismo color).

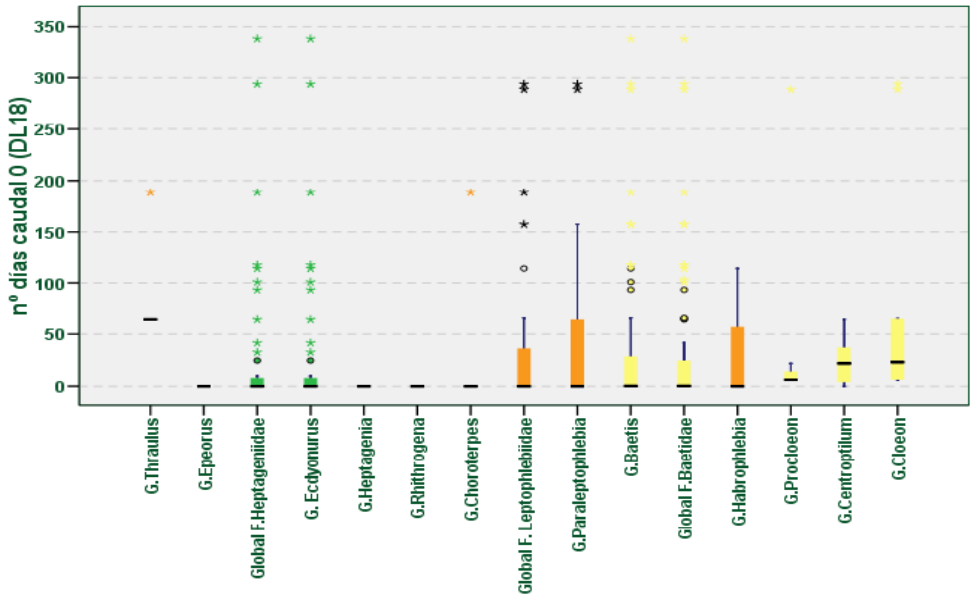


Figura 18. Óptimos ecológicos de los taxones de efemerópteros a diferente nivel taxonómico (familia y género) para la variable distancia a la divisoria de aguas (los taxones pertenecientes a la misma familia se representan con el mismo color).

6.4 DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

- Se han detectado a lo largo del estudio algunos géneros que tienen óptimos ecológicos significativamente más restrictivos que los de sus familias para determinadas variables, así como variables en las que las diferencias de óptimos entre familias o géneros son más patentes, y otras en las que no se aprecian estas diferencias.

- Respecto a la variable altitud, el género *Epeorus* es un buen indicador de tramos de alta montaña, mostrando un óptimo muy restrictivo. En la misma familia, el género *Rhithrogena* muestra un óptimo más amplio, también localizado en tramos de media-alta montaña y estadísticamente diferente al óptimo global de la familia. En tramos más bajos también se han hallado géneros indicadores buenos como Cloeon en Baetidae y descriptivamente en la familia Leptophlebiidae, *Thraulus* y *Choroterpes.*

- La variable temperatura, que cabe esperar esté relacionada *a priori* con la altitud del tramo, refleja también diferencias notables en la amplitud del rango del género *Epeorus* respecto a su familia, con un óptimo muy restrictivo de bajas temperaturas. Algo menos restrictivo es el género *Paraleptophlebia*. *Choroterpes,* por el contrario, muestra una clara predilección por temperaturas más altas que el rango global de su familia, siguiendo en menor medida esta tendencia los géneros *Cloeon* y *Procloeon*.

- En lo referente al caudal, la mayoría de los géneros de *Heptageniidae* muestran una baja tolerancia al nº de días con caudal 0.

- En la variable pH no se observan en ninguna de las tres familias diferencias significativas entre los óptimos a nivel de género y a nivel de familia.

- Es predecible que en diferentes escenarios de cambio climático con variaciones en las variables más relacionadas con la precipitación (régimen de caudales) y temperatura, algunas familias o géneros resulten perjudicados o beneficiados. Géneros como *Epeorus, Thraulus o Choroterpes* se muestran como buenos indicadores y sensores respecto a los demás géneros considerados en el estudio y respecto al global de sus familias. Es por tanto de esperar que la influencia del cambio climático se aprecie antes en un seguimiento de estos géneros que en un control basado en una resolución taxonómica a nivel de sus familias respectivas.

- Comprobar estas predicciones se presenta como un problema aún abierto en el que se está empezando a trabajar a escala de todas las cuencas hidrográficas y grupos biológicos. No obstante, y a raíz de los resultados mostrados en este trabajo, la recomendación de la resolución taxonómica más adecuada para detectar los posibles efectos del cambio climático no es algo que se pueda establecer de forma general, ya que dependerá de los diferentes grupos biológicos, objetivos concretos del trabajo, y finalmente, de la relación coste-beneficio en las redes de seguimiento.

7. MODELO DE TRANSFERENCIA DE TEMPERATURAS AIRE/AGUA

7.1 INTRODUCCIÓN

La temperatura del agua determina en gran medida tanto la estructura como la función en los ecosistemas lóticos. La mayor parte de las propiedades físicas y químicas en los sistemas corrientes, así como muchos de los procesos biológicos que se llevan a cabo en ellos, están controlados por la temperatura del agua. Por ejemplo, la temperatura del agua de un río determina las tasas de descomposición de la materia orgánica o la concentración de gases disueltos como el oxígeno. Diversos estudios enfocados a conocer los aspectos termobiológicos de los organismos que habitan los ecosistemas acuáticos continentales han demostrado que la temperatura del agua puede moderar varios aspectos de las comunidades biológicas en los ríos, incluyendo distribuciones geográficas, costumbres tróficas, reproducción e historiales de vida, migraciones, comportamiento general y capacidad de tolerancia a parásitos o a procesos de contaminación. Los efectos más fácilmente observables de la temperatura del agua sobre los organismos que se desarrollan en estos ecosistemas acuáticos incluyen la tasa de crecimiento, el metabolismo general, el desarrollo o la distribución. De hecho, la temperatura del agua en los ríos es probablemente el factor más importante que determina las características del ciclo vital de los macroinvertebrados bentónicos así como la presencia o ausencia de diferentes grupos tróficos de los mismos.

El cambio climático puede generar una importante alteración térmica a gran escala en la mayor parte de los ecosistemas acuáticos continentales. Actualmente, hay gran unanimidad en reconocer que existe un incremento generalizado en las temperaturas del aire y, al mismo tiempo, se admite también que gran parte de los cambios observados en los ecosistemas acuáticos continentales puedan están asociados a un incremento en las temperaturas del aire. De hecho, numerosos estudios han demostrado el impacto del cambio climático sobre la hidrología general o los recursos acuáticos. Los efectos ecológicos del cambio climático sobre las comunidades biológicas de macroinvertebrados bentónicos han sido también estudiados y definidos (Burgmer et al., 2007; Daufresne et al., 2007; Durance & Ormerod, 2007). El cambio climático podría modificar las condiciones térmicas de los ríos y, como consecuencia, los patrones de distribución de sus comunidades biológicas. Por lo tanto, un incremento en la temperatura de los ecosistemas acuáticos continentales podría provocar un cambio en el estado ecológico de las masas de agua que constituyen los mismos de acuerdo a los criterios de la Directiva Marco del Agua.

Para evaluar los posibles cambios en el estado ecológico de las masas de agua que definen los sistemas corrientes es fundamental poseer herramientas para modelizar la temperatura del agua. De hecho, la modelización de la temperatura del agua en ríos se considera esencial para valorar los posibles efectos del cambio climático en los sistemas lóticos. Existen diversos métodos y diversas aproximaciones para poder modelar la temperatura del agua en función de la del aire, clasificándose de forma general en dos grandes grupos: modelos físicos o deterministas y modelos estadísticos o estocásticos. Los modelos deterministas evalúan las relaciones entre las condiciones del lugar y las variables meteorológicas para luego comprobar sus influencias sobre la temperatura de las aguas; estos modelos tienen en cuenta numerosas variables meteorológicas como la temperatura del aire, la radiación solar o la velocidad del viento (Raphael 1962; Marcotte & Duong 1973; Morin et al., 1994) que se usan en complejas

ecuaciones que definen procesos de transferencia térmica entre la atmósfera y diversos compartimentos de la masa de agua que se esté estudiando. Las características físicas de la masa de agua también son importantes. Una ventaja de este tipo de modelos es que se pueden modificar sin dificultad las variables de entrada para estudiar los cambios que se van produciendo en el resultado. Una vez que se calibran, los modelos deterministas pueden ser aplicados con facilidad en diferentes sistemas siempre que se conozcan las características físicas de los mismos. La mayor de las desventajas de este tipo de modelos es que requieren una gran cantidad de datos para calibrarlos y la mayoría de esos datos, hoy por hoy no están disponibles en España; además, en su proceso de construcción se necesita mucho tiempo (Caissie et al., 1998).

Los modelos estocásticos se basan, en cambio, en funciones estadísticas; estos modelos requieren únicamente para su calibración series continuas de datos de temperatura del aire así como del agua. Para determinar la relación entre la temperatura del agua y la del aire a través de estos modelos, se puede incluso aplicar una regresión estadística clásica y simple. Los modelos estocásticos son más sencillos que los modelos deterministas y requieren una menor cantidad de datos para su calibración. Una gran ventaja de los modelos estocásticos es que se pueden aplicar en un área geográfica grande, en comparación con los deterministas, porque las estaciones de medición de las temperaturas del aire cubren regiones amplias y porque series largas y completas de las mismas, así como de otras variables meteorológicas, son más fáciles de obtener que la mayoría de las variables empleadas por los modelos deterministas. Sin embargo, es necesario resaltar que no es fácil aplicar un modelo estocástico desarrollado para una zona en concreto en otras zonas, ya que las condiciones pueden no ser exactamente las mismas. En cualquier caso, teniendo en cuenta que los modelos generales de circulación global (GCMs por sus siglas en inglés de Global Circulation Models) predicen las temperaturas del aire mejor que cualquier otra variable y que los modelos estocásticos se han usado frecuentemente para predecir la temperatura del agua en función de la del aire, es coherente utilizar dichos modelos para predecir la temperatura futura del agua bajo diferentes escenarios de cambio climático. Además, para poder evaluar los efectos del cambio climático en diferentes ecosistemas acuáticos continentales distribuidos geográficamente en grandes áreas, es preferible tratar de obtener relaciones sencillas entre variables climáticas.

Por lo tanto, para determinar las distribuciones futuras de las comunidades biológicas de macroinvertebrados bentónicos en los diferentes tipos de ríos en España, es imprescindible conocer la relación entre la temperatura del aire y la del agua. Para ello, se han construido varios modelos estadísticos para cada una de las tipologías de ríos definidas en España, de acuerdo con la Directiva Marco del Agua. De esta manera, y a modo de objetivo secundario, se pueden también evaluar e identificar posibles diferencias entre los regímenes térmicos de las diferentes tipologías.

7.2 DESARROLLO METODOLÓGICO

Los datos de temperatura del agua en los ríos españoles se han obtenido de la red SAICA (Sistema Automático de Información de la Calidad de las Aguas), mientras que los datos de la temperatura del aire se han obtenido de las estaciones meteorológicas de la AEMET (Agencia Estatal de Meteorología). Dependiendo de las series de datos, el abanico temporal que abarcan los mismos comprende un mínimo de un año y un máximo de trece, entre 1996 y 2009 (tabla 7). Todas las series de datos fueron estudiadas una a una de forma minuciosa mediante técnicas de estadística descriptiva para identificar “outliers” y otros registros sin sentido según criterios ecológicos (ver apartado A4-1 del Anexo IV, que muestra las gráficas de las

temperaturas de aire y agua medidas en las estaciones AEMET y SAICA, respectivamente). De entre todas las estaciones SAICA y AEMET se seleccionaron solamente aquéllas que cumplían una serie de requisitos muy estrictos. Las estaciones SAICA seleccionadas están localizadas a más de 30 km aguas abajo de cualquier infraestructura o presión que pueda ejercer algún tipo de polución térmica, como grandes presas o centrales de producción de energía. Las estaciones AEMET seleccionadas están localizadas a menos de 20 km de las correspondientes estaciones SAICA, y con una diferencia de altitud entre ambas siempre inferior a los 250 m. De esta manera se han formado parejas de estaciones SAICA-AEMET cuyos datos han servido para calibrar y validar los distintos modelos estadísticos usados en este trabajo para predecir la temperatura del agua en función de la del aire. Las estaciones AEMET proporcionan la temperatura del aire a partir de la cual se infiere la del agua, considerándose las temperaturas máxima y mínima diarias. Las estaciones SAICA de temperatura del agua, sin embargo, suministran datos cada 15 minutos. Para salvar las diferencias en lo relativo a la escala temporal, se ha procedido a utilizar un dato diario que en el caso de las estaciones SAICA proviene de la media de todos los registros diarios y en el caso de las AEMET de la semisuma de las temperaturas máxima y mínima del día. Finalmente, debemos mencionar que desafortunadamente las series de temperaturas no son completas y no todos los años tienen 365 (ó 366) registros (tabla 8). Toda esta información se ha tenido en cuenta a la hora de calibrar los diferentes modelos.

Código SAICA	Código AEMET	SAICA			AEMET			SAICA-AEMET	Río	Cuenca	Tipo DMA	Años con datos comunes
		UTM X (30)	UTM Y (30)	Altitud (m)	UTM X (30)	UTM Y (30)	Altitud (m)	distancia (km)				
101	01200-K	323329	4807131	66	313726	4804929	130	9.86	Sella	Norte	129	6
103	01252	248298	4817425	79	251774	4815695	85	3.82	Narcea	Norte	128	9
104	01128	421484	4798499	36	428436	4796446	140	7.22	Pas	Norte	129	4
105	01095-C	465522	4798978	38	463126	4796168	80	3.71	Asón	Norte	129	10
106	01131-I	415237	4801275	19	416112	4801833	70	1.03	Saja	Norte	132	6
107	01518-C	126334	4774013	406	126729	4773436	440	0.68	Miño	Norte	128	5
109	01726-E	45701	4673606	25	40481	4676606	80	6.26	Miño	Norte	121	10
111	01010-U	603149	4794546	15	606699	4792990	35	3.86	Bidasoa	Norte	129	8
112	01033-U	579168	4786859	63	581995	4787154	75	2.87	Oria	Norte	129	10
117	01078-I	500567	4788010	71	491695	4783425	208	10.14	Cadagua	Norte	129	9
118	01105-U	441914	4806326	14	444149	4803240	34	3.77	Miera	Norte	132	9
122	01340-A	164588	4815278	68	167740	4809019	300	6.98	Eo	Norte	128	10
126	01521-I	130293	4756743	354	132441	4753756	400	3.63	Neira	Norte	128	8
128	01723-X	44670	4685680	28	46349	4684220	50	2.25	Ea	Norte	131	6
129	01735	95735	4663896	609	109067	4667454	600	13.74	Limia	Norte	131	10
202	02172	386704	4609649	726	382499	4608258	720	4.45	Duero	Duero	116	8
203	02409-B	363760	4622690	698	359338	4619627	700	5.42	Pisuerga	Duero	115	8
204	02422	349406	4606353	676	352880	4612506	735	7.04	Duero	Duero	117	8
207	02883-O	253790	4551906	740	243004	4566866	816	18.61	Tormes	Duero	117	8
208	02401-B	371410	4656795	737	371021	4651957	760	4.86	Carrión	Duero	115	8
209	02048-A	540653	4595080	935	548403	4585255	1000	12.49	Duero	Duero	115	7
210	02345	426800	4680201	800	434786	4680850	831	8.02	Arlanzón	Duero	112	8
211	02117-D	437150	4613224	791	438161	4613023	790	1.02	Duero	Duero	116	8
214	02402	373350	4638950	713	374357	4645418	727	6.56	Carrión	Duero	115	5

219	02742-O	263608	4699462	810	270451	4702520	844	7.42	Órbigo	Duero	115	8
221	02305-I	457890	4656128	889	458362	4654361	940	1.86	Arlanza	Duero	115	8
226	02953-E	191059	4515810	655	193098	4515280	680	2.12	Águeda	Duero	115	7
228	02502	370175	4567050	771	368150	4557449	820	9.8	Eresma	Duero	104	3
229	02514-E	357250	4554200	789	349997	4553480	820	7.3	Adaja	Duero	104	7
306	03182-E	455446	4463735	536	457113	4462796	530	1.94	Manzanares	Tajo	115	6
307	03170	476319	4486546	599	475363	4485685	610	1.29	Henares	Tajo	116	6
309	03175	464365	4479085	575	461835	4481580	611	3.61	Henares	Tajo	116	6
310	03363	344864	4424368	366	354033	4430930	380	11.28	Tajo	Tajo	117	6
314	03286-C	411677	4427744	475	402621	4429073	500	9.32	Guadarrama	Tajo	115	6
327	03182-E	453944	4461089	559	457113	4462796	530	3.58	Jarama	Tajo	115	6
328	03129	456861	4471968	553	453857	4478387	582	7.08	Jarama	Tajo	115	5
401	04344-A	261640	4320526	257	266297	4324480	302	6.12	Zújar	Guadiana	117	6
402	04358-A	241775	4317228	235	249979	4316185	279	8.23	Guadiana	Guadiana	117	5
403	04407	223303	4310843	221	223501	4320650	339	9.89	Guadiana	Guadiana	117	5
404	04436-X	210526	4289566	330	204042	4286741	335	7	Bonhaval	Guadiana	101	3
406	04437-E	179352	4307051	189	188526	4298513	260	12.47	Guadajira	Guadiana	101	5
407	04437-E	178944	4307051	188	188526	4298513	260	12.47	Guadiana	Guadiana	101	5
413	04210-E	387940	4315615	531	387574	4306243	718	8.73	Guadiana	Guadiana	116	5
414	04300	328625	4287433	358	339839	4293402	358	12.68	Guadiana	Guadiana	101	5
425	04444-B	182822	4308370	180	186919	4312877	201	6.11	Guadiana	Guadiana	117	5
426	04452	172825	4313787	180	167814	4310877	185	5.79	Guadiana	Guadiana	117	5
427	04478-G	159145	4312969	170	151990	4311866	175	7.3	Guadiana	Guadiana	117	5
501	05651-O	294617	4174629	45	290602	4172015	65	9.03	Guadalquivir	Guadalquivir	117	6
503	05811-I	248403	4135336	23	247574	4136035	35	9.05	Guadaira	Guadalquivir	102	6
506	05402	341852	4186920	99	337169	4190239	91	5.78	Guadajoz	Guadalquivir	114	6
509	05856-I	193034	4121950	24	187978	4112235	20	10.93	El_Partido	Guadalquivir	102	1
514	05171-A	431633	4202871	258	436124	4199816	345	5.5	Guadalbullón	Guadalquivir	107	6
515	05281	432006	4209785	259	432117	4216955	343	7.2	Guadiel	Guadalquivir	106	5
520	05582-A	397843	4114608	455	396066	4113762	580	1.97	Genil	Guadalquivir	116	4
521	05802-A	268015	4123816	60	273932	273932	115	6.69	Guadaira	Guadalquivir	102	6
703	07145-D	637450	4233560	180	641543	4233258	265	4.1	Segura	Segura	114	6
705	07180-B	656890	4208580	63	660525	4209312	100	3.8	Segura	Segura	114	5
708	07231	670543	4207591	31	669203	4204923	50	3.02	Segura	Segura	114	6
801	08342-C	716980	4363396	75	720534	4367147	30	5.15	Turia	Júcar	118	7
802	08414-A	714072	4378038	60	717488	4374221	57	5.08	Turia	Júcar	114	7
803	08287	717302	4307930	172	719469	4302317	333	7.77	Albaida	Júcar	109	7
808	08326	729438	729438	5	732469	4342529	7	3.22	Júcar	Júcar	117	6
809	08136-A	562273	4414700	825	566739	4396676	880	18.66	Júcar	Júcar	112	2
810	08266-I	664125	4345800	414	664230	4348170	400	2.46	Júcar	Júcar	116	6
813	08381-B	647213	4435600	712	646722	4436034	740	0.69	Turia	Júcar	112	7
832	08325-X	723586	4340722	16	727027	4341412	12	3.84	Júcar	Júcar	117	4
903	09266-I	599216	4738603	394	598791	4739337	387	0.83	Arga	Ebro	115	13
907	09121	513217	513217	450	512151	4713716	479	5.35	Ebro	Ebro	115	12
908	09172	565473	4696462	338	575848	4697368	319	10.39	Ebro	Ebro	115	13
909	09434-N	673089	4615029	190	675528	4614996	198	2.43	Ebro	Ebro	117	6
910	09981-A	794555	4534331	14	794466	4524785	48	9.61	Ebro	Ebro	117	13
911	09072-X	508555	4725213	455	505758	4725738	458	2.88	Zadorra	Ebro	115	13
916	09872-I	762668	4642481	249	762982	4642659	243	0.36	Cinca	Ebro	115	12
918	09245-E	630055	4708510	421	634324	4709171	435	4.32	Aragón	Ebro	115	10
919	09499	681897	4622636	220	682094	4621641	225	1.02	Gállego	Ebro	115	13
920	09274-U	595794	4750185	410	595269	4752523	442	2.43	Arakil	Ebro	126	10
921	09183-A	586653	4692039	304	586891	4691543	306	0.58	Ega	Ebro	115	11

922	09037	466229	4731717	574	466184	4731062	598	0.65	Oca	Ebro	112	10
925	09145	523728	4703490	437	529042	4703402	437	5.32	Najerilla	Ebro	112	10
926	09911-F	766308	4612770	135	765808	4612524	178	0.56	Alcanadre	Ebro	109	6
928	09537	693377	4536062	640	693928	4540101	580	4.07	Martín	Ebro	112	9
929	09262	606729	4739442	398	611480	4741536	442	5.19	Elorz	Ebro	112	11
Abrera	10163-A	909890	4609888	72	905974	4610109	206	3.92	Llobregat	C.I.Catalanas	116	14
Antius	10149-D	895602	4639598	302	902446	4631483	250	11.6	Cardener	C.I.Catalanas	112	12
Balsareny	10110	905240	4644574	283	906523	4640103	290	4.55	Llobregat	C.I.Catalanas	112	10
Castelbell	10158-X	904717	4622105	164	903464	4616282	735	6.01	Llobregat	C.I.Catalanas	116	6
Gualba	10263	959948	4632447	112	957398	4630238	155	3.46	Tordera	C.I.Catalanas	109	9
Gurb	10336-B	937711	4662048	441	935370	4668692	503	7.05	Ter	C.I.Catalanas	115	10
Martorell	10164	911724	4603742	60	911835	4604004	50	6.69	Anoia	C.I.Catalanas	110	8
Montagut	10395	958984	4689301	246	958166	4688851	296	1.06	Fluviá	C.I.Catalanas	112	9
Montmeló	10208	938430	4613691	75	940951	4619820	154	6.62	Congost	C.I.Catalanas	109	7
Riera de Rubí	10230	917519	4599708	48	918375	4602833	115	5	Rubí	C.I.Catalanas	109	2
Sant Joan Despí	10076	922342	4590313	10	925195	925195	6	6.71	Llobregat	C.I.Catalanas	116	10
Solervicenç	10110	908087	4637614	258	906523	4640103	290	2.97	Llobregat	C.I.Catalanas	112	8
Tarragona	10042-X	855619	4564134	27	856472	4560821	48	3.44	Francolí	C.I.Catalanas	110	6

Tabla 7. Estaciones SAICA (temperatura del agua) y AEMET (temperatura del aire) seleccionadas.

SAICA	AEMET	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
101	01200-K	0	0	0	0	0	0	0	0	204	207	27	316	*323*	58
103	01252	0	0	0	0	310	313	337	*358*	116	0	214	324	337	51
104	01128	0	0	0	0	311	301	*346*	87	0	0	0	0	0	0
105	01095-C	0	0	0	0	286	311	316	207	298	341	352	353	*357*	58
106	01131-I	0	0	0	0	0	0	136	131	120	113	*265*	231	0	0
107	01518-C	0	0	0	0	0	0	322	339	337	*343*	285	0	0	0
109	01726-E	0	0	0	0	245	6	121	92	5	*351*	309	313	343	79
111	01010-U	0	0	0	0	0	155	330	125	346	355	314	0	*285*	86
112	01033-U	0	0	0	0	317	277	303	110	198	321	326	354	*356*	86
117	01078-I	0	0	0	0	0	291	313	107	94	252	*344*	342	319	75
118	01105-U	0	0	0	0	0	63	325	349	335	348	350	*353*	348	86
122	01340-A	0	0	0	0	116	211	345	134	338	*351*	301	302	340	78
126	01521-I	0	0	0	0	0	97	332	124	*341*	269	320	318	27	0
128	01723-X	0	0	0	0	0	0	0	0	122	312	*355*	102	73	89
129	01735	0	0	0	0	175	318	341	133	347	344	350	331	*351*	87
202	02172	0	0	0	0	0	0	64	47	169	*338*	265	314	308	92
203	02409-B	0	0	0	0	0	0	85	74	159	*345*	340	236	339	112

204	02422	0	0	0	0	0	0	88	13	168	352	347	360	*360*	117
207	02883-O	0	0	0	0	0	0	50	30	95	24	310	337	*339*	72
208	02401-B	0	0	0	0	0	0	80	77	172	339	346	*349*	331	50
209	02048-A	0	0	0	0	0	0	0	58	138	203	328	*350*	292	94
210	02345	0	0	0	0	0	0	79	49	179	295	*351*	317	321	113
211	02117-D	0	0	0	0	0	0	83	56	127	*311*	237	88	323	76
214	02402	0	0	0	0	0	0	74	69	147	*323*	180	0	0	0
219	02742-O	0	0	0	0	0	0	82	79	161	*346*	342	338	274	72
221	02305-I	0	0	0	0	0	0	84	67	145	244	255	238	261	68
226	02953-E	0	0	0	0	0	0	87	59	140	296	276	*316*	275	0
228	02502	0	0	0	0	0	0	0	30	138	*245*	0	0	0	0
229	02514-E	0	0	0	0	0	0	0	29	136	219	313	255	*340*	107
306	03182-E	0	0	0	0	0	0	0	0	286	*355*	316	297	354	113
307	03170	0	0	0	0	0	0	0	0	288	316	334	*344*	52	112
309	03175	0	0	0	0	0	0	0	0	280	361	337	*363*	362	138
310	03363	0	0	0	0	0	0	0	0	146	325	302	*335*	269	103
314	03286-C	0	0	0	0	0	0	0	0	216	*320*	306	284	267	143
327	03182-E	0	0	0	0	0	0	0	0	138	347	301	270	*360*	116
328	03129	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*358*	356	356	50	108
401	04344-A	0	0	0	0	0	0	0	0	282	308	317	352	*361*	144
402	04358-A	0	0	0	0	0	0	0	0	359	301	345	354	*361*	0
403	04407	0	0	0	0	0	0	0	0	314	301	348	347	*357*	0
404	04436-X	0	0	0	0	0	0	0	0	*329*	270	271	0	0	0
406	04437-E	0	0	0	0	0	0	0	0	*364*	177	356	322	357	0
407	04437-E	0	0	0	0	0	0	0	0	*360*	312	359	322	359	0
413	04210-E	0	0	0	0	0	0	0	0	298	256	265	244	*353*	0
414	04300	0	0	0	0	0	0	0	0	214	175	204	279	*342*	0
425	04444-B	0	0	0	0	0	0	0	0	170	306	358	326	*356*	0
426	04452	0	0	0	0	0	0	0	0	*361*	302	356	330	178	0
427	04478-G	0	0	0	0	0	0	0	0	*353*	300	336	322	328	0
501	05651-O	0	0	0	0	0	0	0	0	49	*341*	332	210	293	6
503	05811-I	0	0	0	0	0	0	0	0	53	295	263	*338*	335	32
506	05402	0	0	0	0	0	0	0	0	58	*314*	297	263	289	60

514	05171-A	0	0	0	0	0	0	0	0	31	268	*304*	303	69	66
515	05281	0	0	0	0	0	0	0	0	25	261	*314*	340	168	0
520	05582-A	0	0	0	0	0	0	0	0	40	196	*326*	196	0	0
521	05802-A	0	0	0	0	0	0	0	0	30	283	301	*356*	345	74
703	07145-D	0	0	0	0	180	134	0	0	0	0	146	*356*	59	84
705	07180-B	0	0	0	0	160	135	0	0	0	0	154	*317*	64	0
708	07231	0	0	0	0	6	9	0	0	0	0	141	*229*	34	105
801	08342-C	0	0	0	0	0	0	0	360	361	298	346	352	*361*	87
802	08414-A	0	0	0	0	0	0	0	358	*366*	294	360	356	356	116
803	08287	0	0	0	0	0	0	0	150	335	278	354	*354*	339	80
808	08326	0	0	0	0	0	0	0	0	50	*348*	338	242	237	6
809	08136-A	0	0	0	0	0	0	0	108	*221*	0	0	0	0	0
810	08266-I	0	0	0	0	0	0	0	0	258	170	340	*349*	300	70
813	08381-B	0	0	0	0	0	0	0	26	191	276	*353*	205	216	41
832	08325-X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	113	318	*351*	107
903	09266-I	0	296	326	285	344	324	341	242	343	351	346	350	*357*	84
907	09121	0	284	323	343	340	0	*360*	342	354	350	356	340	347	81
908	09172	0	300	348	319	335	338	*351*	119	209	329	294	342	326	78
909	09434-N	0	0	0	0	0	0	0	0	29	261	*267*	102	147	81
910	09981-A	0	109	188	351	356	360	361	225	366	363	351	361	*366*	90
911	09072-X	0	316	283	348	323	350	355	271	188	352	357	*359*	343	78
916	09872-I	0	263	254	221	275	338	172	0	*351*	350	345	350	330	91
918	09245-E	0	153	0	0	0	31	343	215	351	*355*	340	351	342	76
919	09499	0	301	310	316	310	350	363	242	345	*365*	317	358	346	87
920	09274-U	0	0	0	0	323	314	321	255	354	*355*	353	351	352	74
921	09183-A	0	0	0	14	302	350	*350*	205	316	327	332	321	334	68
922	09037	0	0	0	0	233	333	*340*	163	262	268	308	293	242	67
925	09145	0	0	0	210	334	332	321	94	17	341	344	*348*	27	0
926	09911-F	0	0	111	*297*	281	264	262	0	0	0	88	0	0	0
928	09537	0	0	0	0	0	182	*345*	117	191	339	316	326	342	72
929	09262	0	0	0	222	304	290	313	186	249	179	279	249	*322*	75
Abrera	10163-A	272	299	333	354	335	320	346	*359*	348	312	292	123	221	108
Antius	10149-D	0	0	18	316	351	350	*362*	330	357	276	291	318	357	150

Balsareny	10110	216	299	322	345	333	281	291	321	*353*	214	0	0	0	0
Castelbell	10158-X	0	0	0	0	0	0	0	*0*	149	338	233	272	362	151
Gualba	10263	0	0	0	0	0	19	275	*365*	343	333	167	129	324	144
Gurb	10336-B	0	0	0	0	139	300	306	341	356	357	*361*	327	331	151
Martorell	10164	217	239	*352*	323	327	326	338	238	0	0	0	0	0	0
Montagut	10395	0	0	0	0	0	213	272	349	330	352	358	356	*366*	145
Montmeló	10208	0	0	0	0	0	0	218	332	*357*	280	216	0	296	142
Riera de Rubí	10230	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56	*285*	0
Sant Joan Despí	10076	186	364	354	355	355	330	301	364	*365*	121	0	0	0	0
Solervicenç	10110	0	0	1	254	326	307	297	324	*353*	239	0	0	0	0
Tarragona	10042-X	0	0	0	0	0	0	227	229	*281*	254	152	0	139	0

Tabla 8. Número de registros diarios de temperaturas en las estaciones seleccionadas

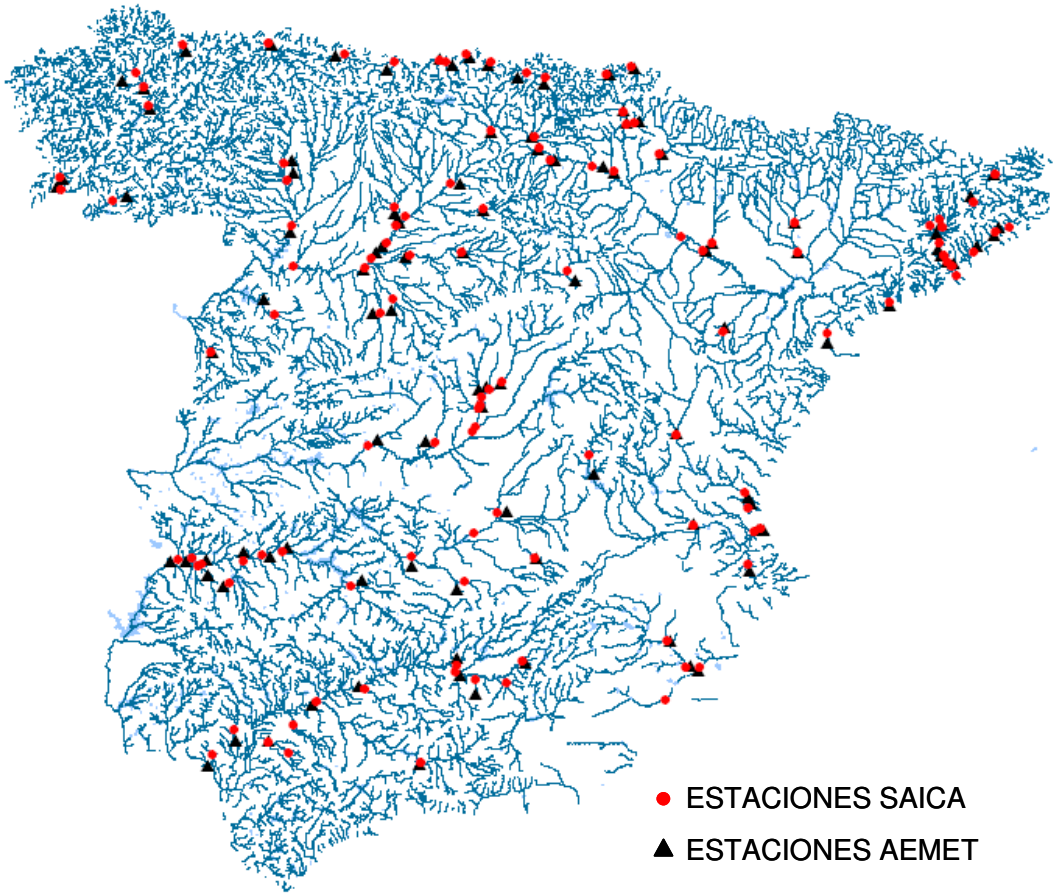


Figura 19. Mapa de las estaciones SAICA y AEMET de la Península Ibérica

7.3 ESCALA TEMPORAL DE MODELIZACIÓN

La modelización de la temperatura del agua en función de la del aire se ha llevado a cabo con dos métodos diferentes dependiendo de la escala temporal deseada para los resultados: una escala mensual y otra escala diaria. El motivo de implementar un modelo a escala mensual se debe a que los datos hidrológicos proporcionados por el modelo SIMPA (Estrela & Quintas, 1996) son a escala mensual (estos datos hidrológicos se usarán junto con los de temperatura del agua en los modelos de distribución de especies para analizar la influencia del cambio climático sobre las mismas). De forma paralela, también se ha producido un modelo a escala diaria por dos razones: la no existencia de ningún modelo de predicción de temperatura a nivel diario, resultando de interés científico su desarrollo para futuras aplicaciones, como la necesidad de proporcionar una información más concreta desde el punto de vista biológico para los macroinvertebrados bentónicos.

7.3.1 Escala mensual

La temperatura del agua a escala mensual (escala de los datos hidrológicos) se ha modelizado mediante una técnica de regresión lineal. El ajuste de todas las series de temperatura a una distribución normal se comprobó mediante el análisis de Kolmogorov-Smirnov. Todas las series de temperatura de las estaciones pertenecientes a una misma tipología ecológica (lo que implica una caracterización hidrológica similar) se han empleado a la vez para construir la regresión en esa tipología en concreto, aunque no todas las tipologías tienen el mismo número de series de temperatura. En la tabla 9 se puede ver el número total de series de temperatura que se han empleado para construir las regresiones en cada uno de los tipos.

Tipo de río	Número total de series de temperatura	Tipo de río	Número total de series de temperatura
1	4	16	7
2	1	17	12
4	1	18	1
6	1	21	1
7	1	26	1
9	2	28	4
10	2	29	4
12	7	31	1
14	2	32	2
15	13	-	-

Tabla 9. Número total de parejas SAICA-AEMET empleadas en el cálculo de las regresiones mensuales de temperaturas en cada uno de los tipos ecológicos de ríos en los que había registros.

En las figuras 20-38 se representan las regresiones mensuales de las temperaturas, así como las ecuaciones que las definen y su ajuste.

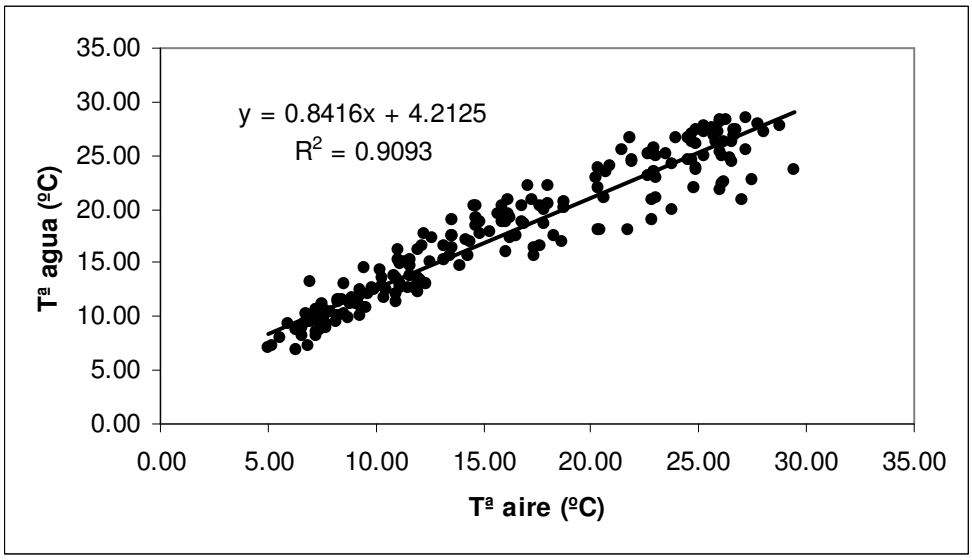


Figura 20. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 1

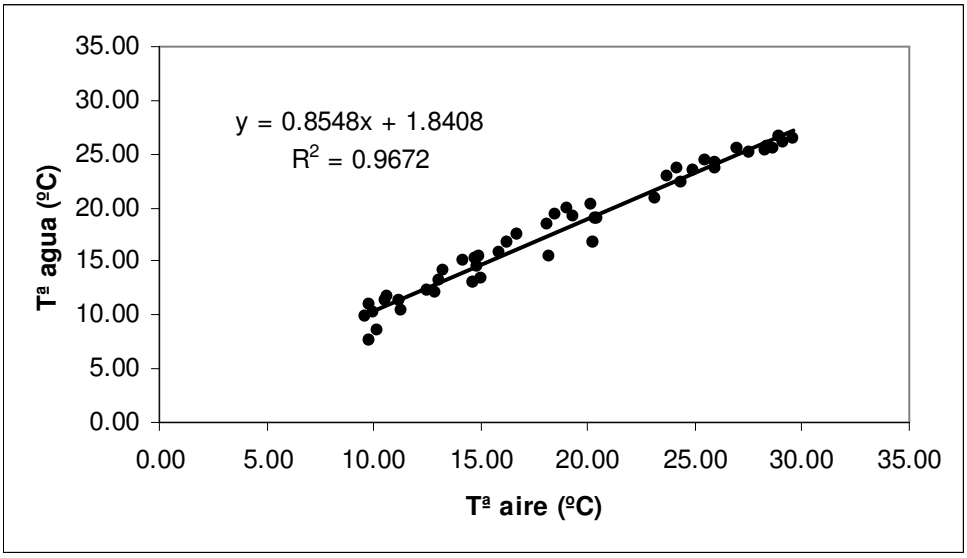


Figura 21. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 2

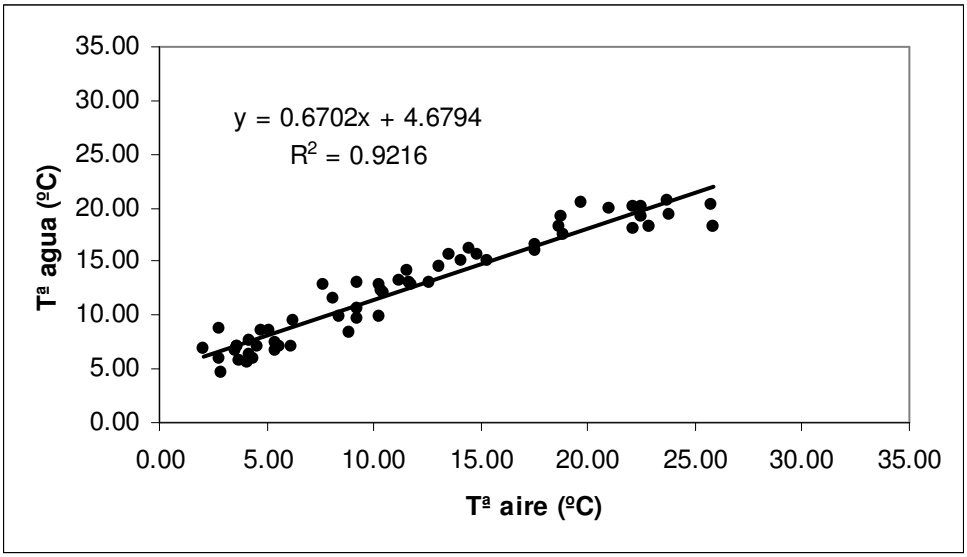


Figura 22. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 4

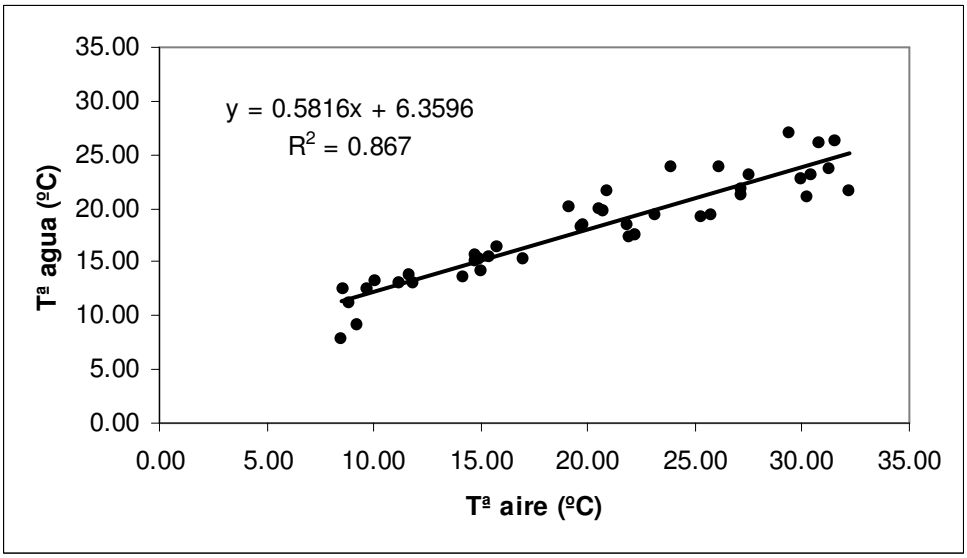


Figura 23. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 6

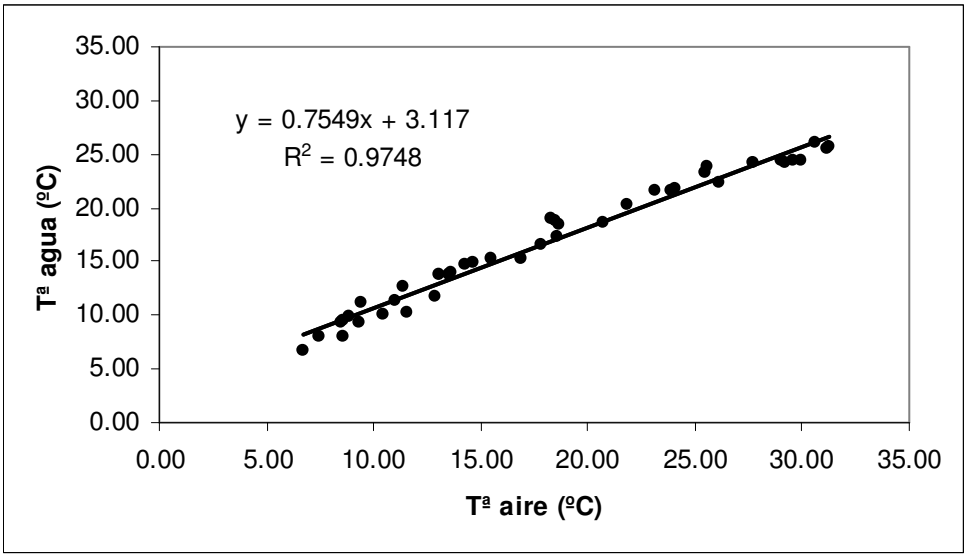


Figura 24. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 7

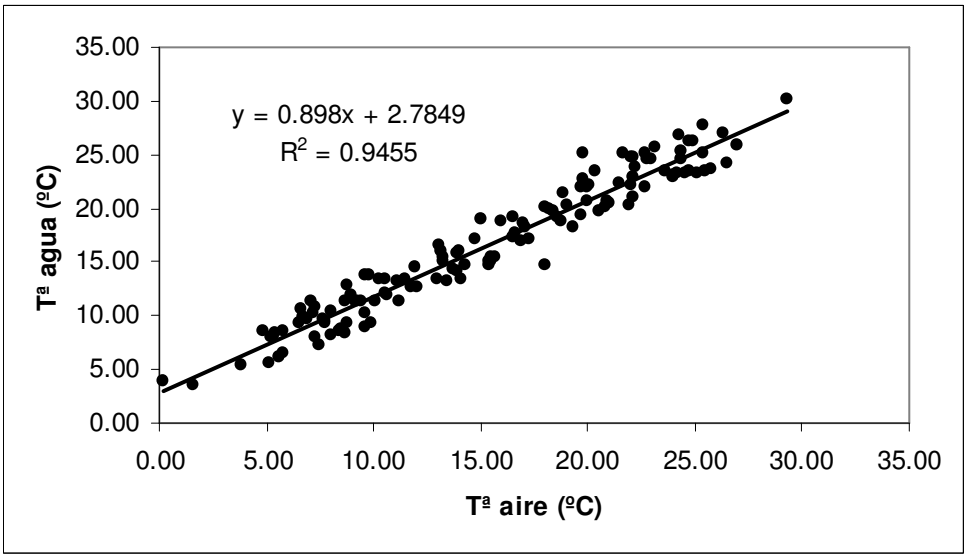


Figura 25. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 9

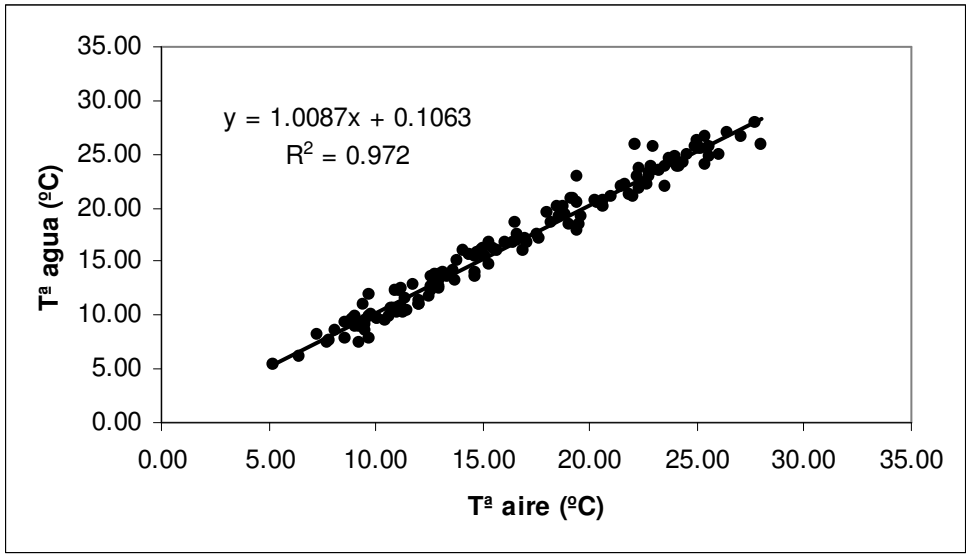


Figura 26. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 10

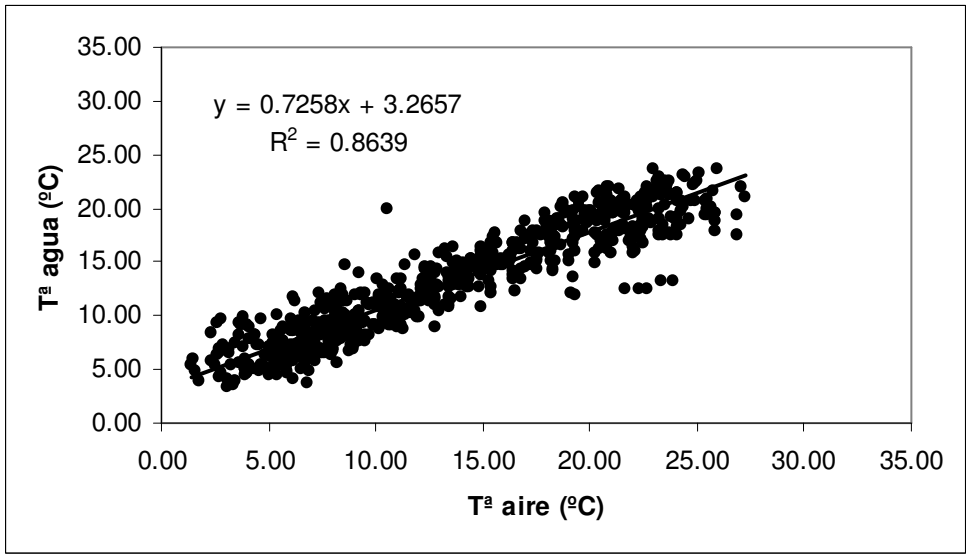


Figura 27. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 12

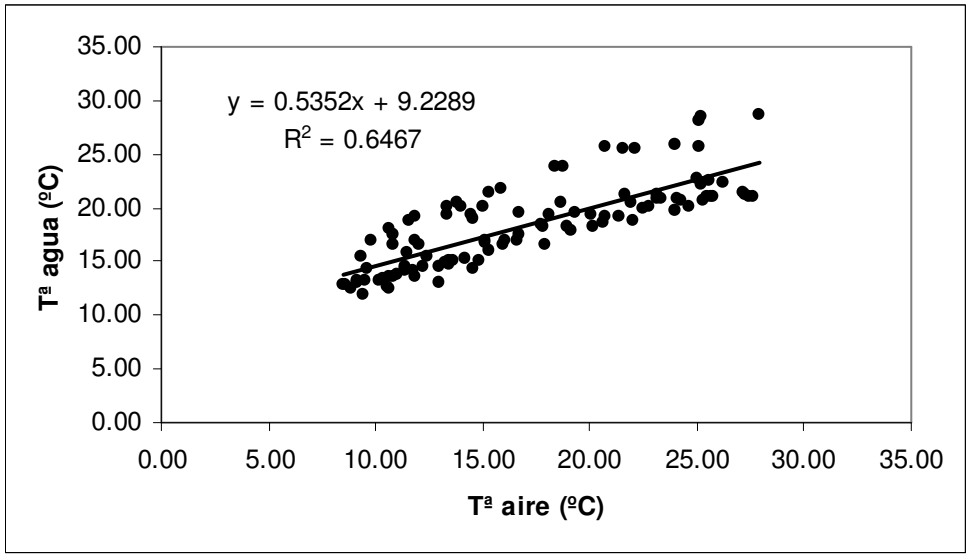


Figura 28. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 14

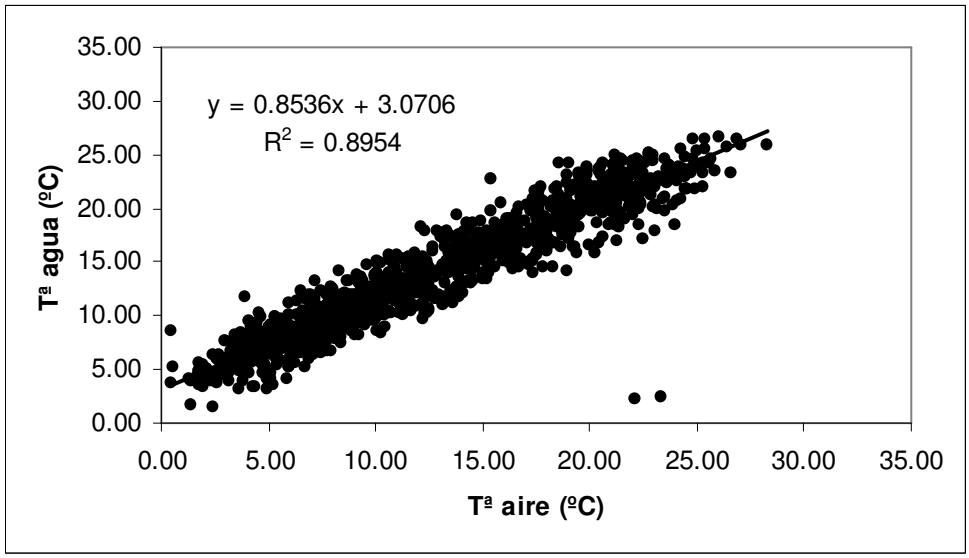


Figura 29. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 15

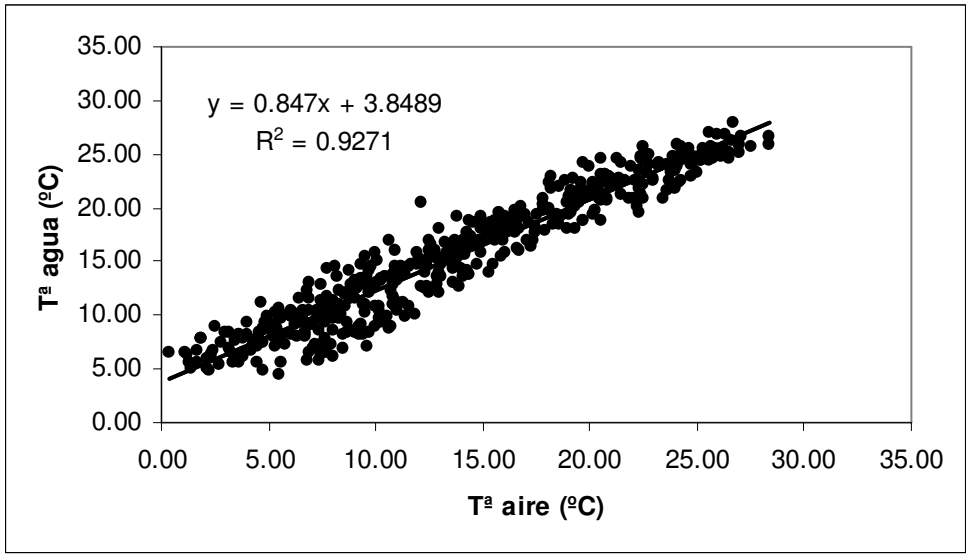


Figura 30. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 16

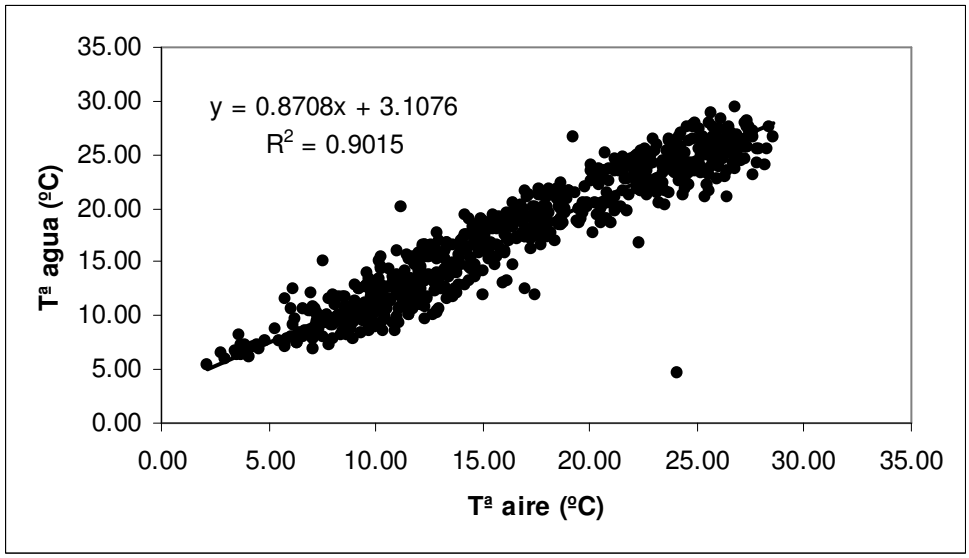


Figura 31. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 17

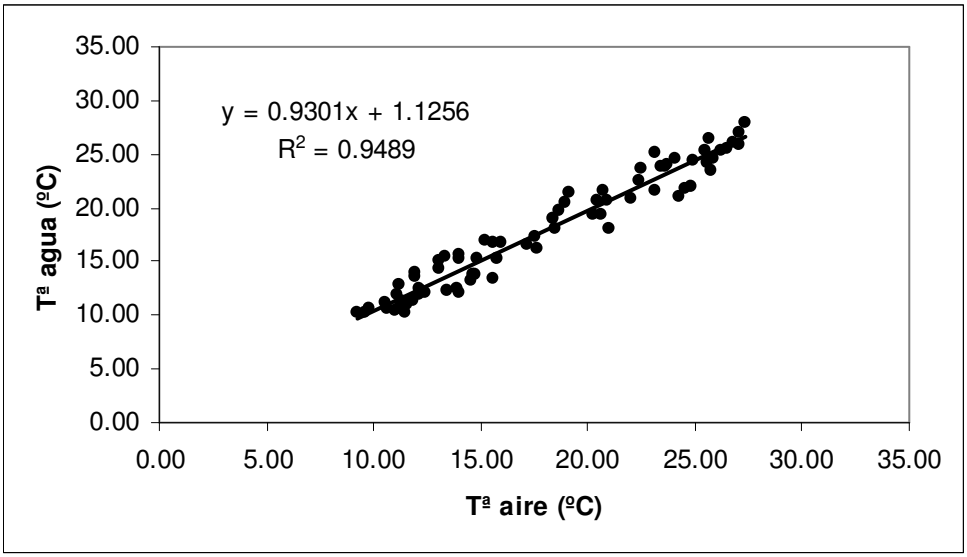


Figura 32. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 18

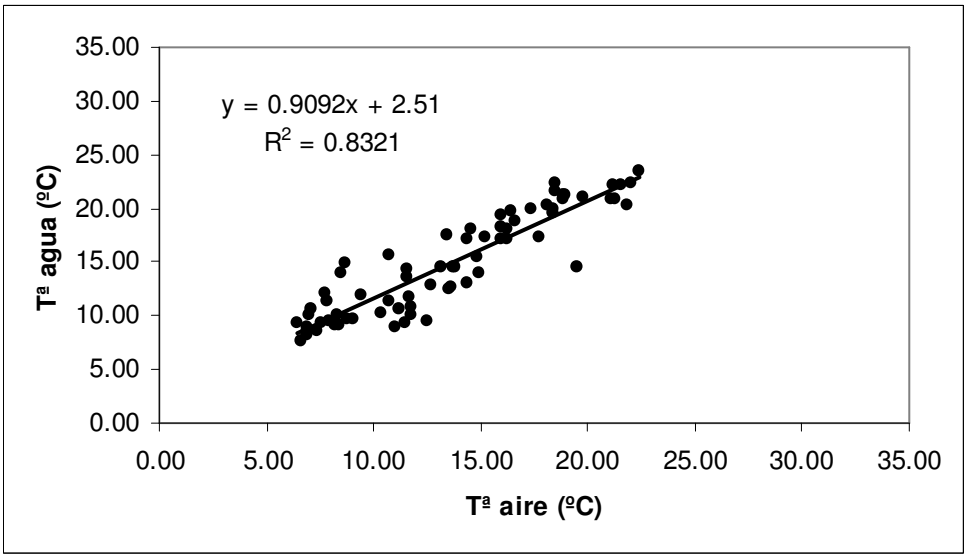


Figura 33. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 21

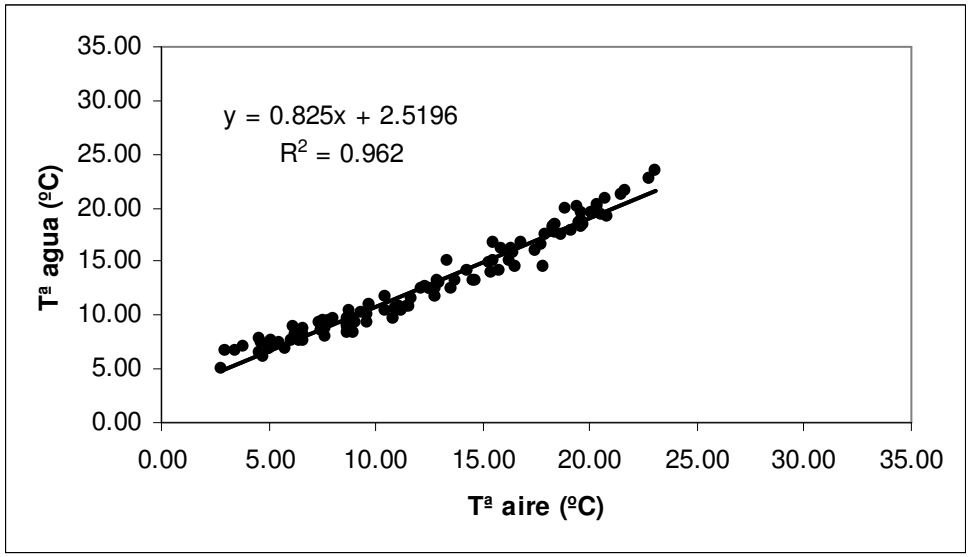


Figura 34. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 26

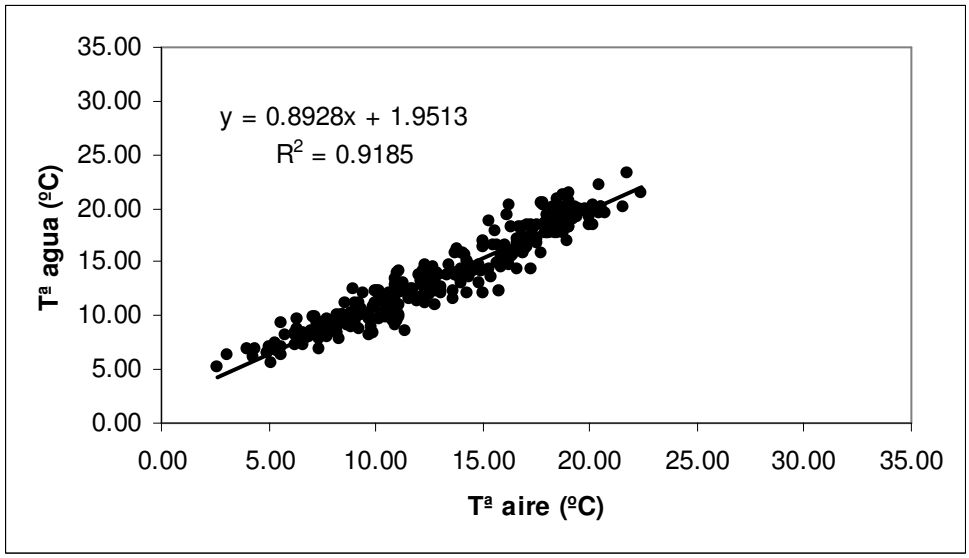


Figura 35. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 28

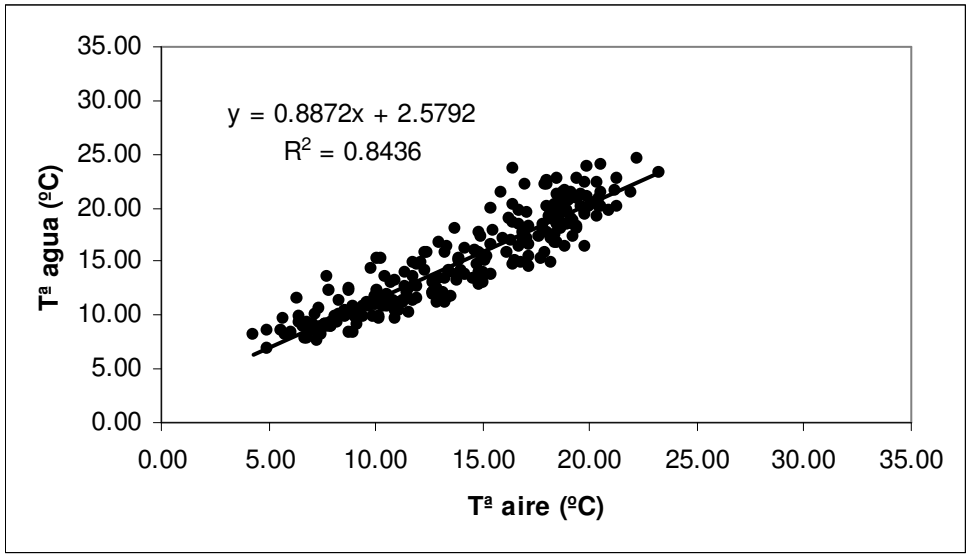


Figura 36. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 29

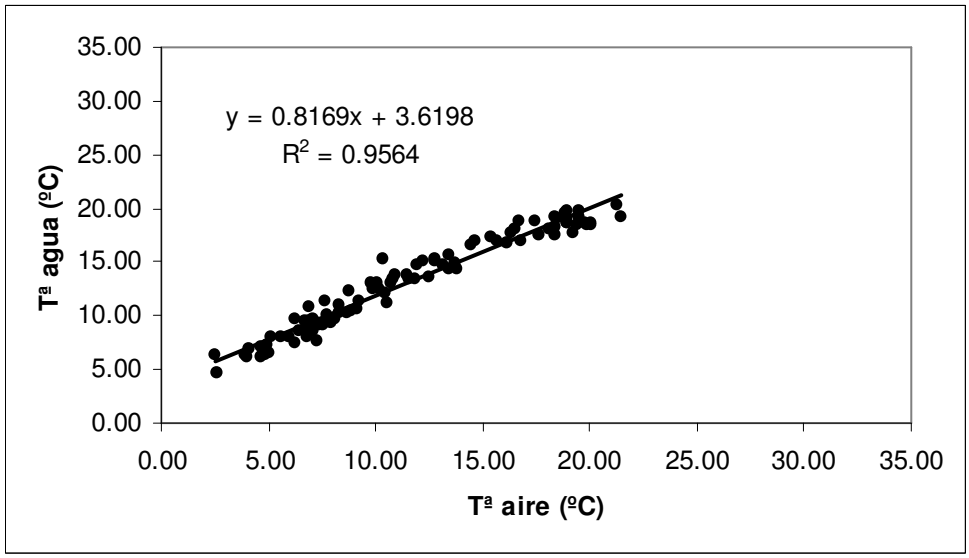


Figura 37. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 31

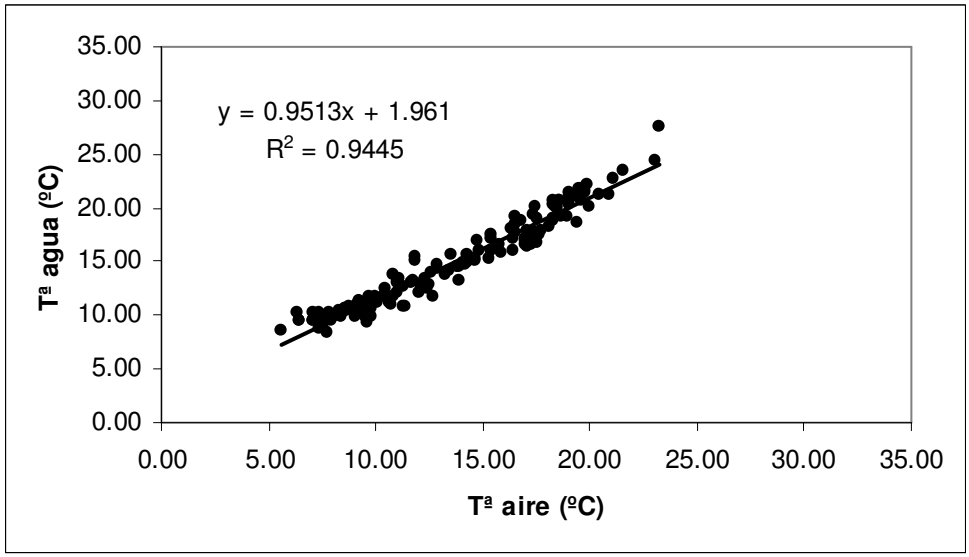


Figura 38. Regresión mensual de la temperatura del aire sobre la temperatura del agua en el tipo ecológico 32

En la siguiente tabla se muestran las ecuaciones de las regresiones lineales de la temperatura del aire/agua para cada una de las tipologías.

Tipología de río	Regresión lineal	Coeficiente de correlación (R^2)
1	$T^a_{agua} = 0.8416 \cdot T^a_{aire} + 4.2125$	0.9093
2	$T^a_{agua} = 0.8548 \cdot T^a_{aire} + 1.8408$	0.9672
4	$T^a_{agua} = 0.6702 \cdot T^a_{aire} + 4.6794$	0.9216
6	$T^a_{agua} = 0.5816 \cdot T^a_{aire} + 6.3596$	0.8670
7	$T^a_{agua} = 0.7549 \cdot T^a_{aire} + 3.117$	0.9748
9	$T^a_{agua} = 0.898 \cdot T^a_{aire} + 2.7849$	0.9455
10	$T^a_{agua} = 1.0087 \cdot T^a_{aire} + 0.1063$	0.9720
12	$T^a_{agua} = 0.7258 \cdot T^a_{aire} + 3.2657$	0.8639
14	$T^a_{agua} = 0.5352 \cdot T^a_{aire} + 9.2289$	0.6467
15	$T^a_{agua} = 0.8536 \cdot T^a_{aire} + 3.0706$	0.8954
16	$T^a_{agua} = 0.847 \cdot T^a_{aire} + 3.8489$	0.9271
17	$T^a_{agua} = 0.8708 \cdot T^a_{aire} + 3.1076$	0.9015
18	$T^a_{agua} = 0.9301 \cdot T^a_{aire} + 1.1256$	0.9489
21	$T^a_{agua} = 0.9092 \cdot T^a_{aire} + 2.51$	0.8321
26	$T^a_{agua} = 0.825 \cdot T^a_{aire} + 2.5196$	0.9620
28	$T^a_{agua} = 0.8928 \cdot T^a_{aire} + 1.9513$	0.9185
29	$T^a_{agua} = 0.8872 \cdot T^a_{aire} + 2.5792$	0.8436
31	$T^a_{agua} = 0.8169 \cdot T^a_{aire} + 3.6198$	0.9564
32	$T^a_{agua} = 0.9513 \cdot T^a_{aire} + 1.961$	0.9445

Tabla 11. Regresiones lineales a escala mensual de temperaturas en cada una de las tipologías de ríos en los que había registros de datos.

Para todas las tipologías en donde se tenían datos de temperatura aire/agua, todas las regresiones obtenidas tienen un coeficiente de regresión superior a 0.80 salvo para la tipología 14 “Ejes mediterráneos de baja altitud”, siendo de 0.6467.

7.3.2 Escala diaria

La predicción de la temperatura del agua de los ríos a escala diaria requiere una utilización de modelos estocásticos, realizándose de la siguiente manera:

1. La temperatura del agua de un día determinado se separa en dos componentes, la componente anual y la componente no estacional o residual (Caissie *et al*., 1998). La componente anual refleja los cambios estacionales de la temperatura del agua (también conocida como densidad de temperatura). La componente no estacional o residual, como su nombre indica, refleja los cambios no estacionales, es decir, las desviaciones que sufre la temperatura del agua sobre la componente anual durante cada día. Estas desviaciones son debidas a las variaciones de temperatura del aire.

En está sección se utilizará la siguiente notación:

WT (t) = temperatura del agua en el día *t*, donde *t=1,2…365* ó *366* (dependiendo de si el año es o no bisiesto).

An T (t) = componente anual o estacional (o densidad de temperatura) del agua en el día *t*, donde *t=1,2…365* ó *366* (dependiendo de si el año es o no bisiesto).

Rw (t) = componente no estacional o residual del agua en el día *t*, donde *t=1,2…365* ó *366* (dependiendo de si el año es o no bisiesto).

Así, se tiene:

$$WT(t) = An\ T(t) + Rw(t).$$

Por tanto, para obtener *WT (t)* debemos estimar *An T (t)* y *Rw (t)*.

2. La componente *An T(t)* se puede obtener a partir de varios métodos. Por ejemplo, utilizando análisis de Fourier (Kothandaraman, 1971; Caissie *et al*., 1998), optimizando una función seno (Cluis, 1972; Caissie *et al*. 1998) o estimando una densidad no paramétricamente, tal y como se ha seleccionado en este estudio.

Se ha utilizado la estimación no paramétrica para no poner ninguna restricción sobre la forma de la distribución. A continuación se esboza brevemente en que consiste este tipo de estimación.

En la siguiente figura se puede observar un esquema de la situación de partida:

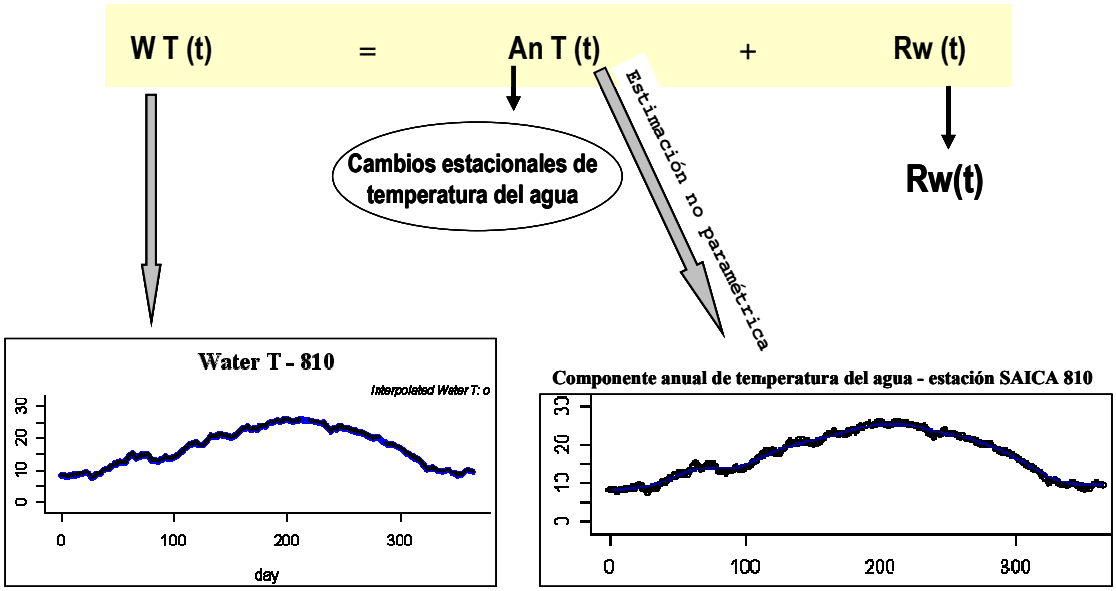


Figura 39. Componente anual o estacional y componente no estacional o residual de la temperatura del agua

La estimación no paramétrica de una densidad tiene como objetivo conocer la densidad f de la que proceden los datos de una muestra de la variable de interés. En nuestro caso, esta variable es la temperatura del agua y se busca conocer su densidad ya que ésta será muy similar a la componente anual. El estimador no paramétrico de la densidad más sencillo es un histograma, que es una función discontinua y constante a intervalos cuya forma depende del número de clases tomadas. No obstante, una función de densidad suele ser continua y suave (sin picos), por lo que cabría esperar para estimar la densidad no paramétricamente el utilizar una técnica más adecuada que un histograma.

La herramienta más común para estimar la densidad de forma no paramétrica son los estimadores del núcleo o estimadores Kernel, cuyo fundamento es el siguiente:

Partimos de una muestra anual de datos de la variable *X,* temperatura del agua: $X_1, X_2, \ldots X_{365}$. Pensemos que sobre cada punto X_i de la muestra se tiene una función de densidad de la normal (se tiene un núcleo gaussiano) centrada en el punto X_i y con desviación típica *h*, para algún $h>0$. El estimador del núcleo de la densidad es la media de todas esas normales. Los puntos que influyen la estimación de la densidad en un determinando punto X_i son los que están cerca de él, aproximadamente los que están dentro del intervalo $(X_i-3h,; X_i+3h)$. La influencia de estos puntos en la estimación va decreciendo a medida que los puntos se alejan de X_i. Al valor *h* se le llama parámetro o ventana de suavizado.

Para evaluar como es de bueno el estimador se utiliza el error cuadrático medio, ECM, ya que tiene en cuenta el sesgo y la varianza del estimador simultáneamente:

$$ECM(x)=E[\hat{f}(x)-f(x)]^2 = Sesgo^2(x)+Var[\hat{f}(x)],$$

donde *E* indica la esperanza matemática (o también llamado valor esperado) y *^f(x)* es el estimador no paramétrico de *f(x).*

El sesgo mide cuanto se descentra el estimador, es decir, las tendencias a sobreestimar o infraestimar. La varianza mide como de disperso es el estimador, la variabilidad para diferentes muestras.

El sesgo y la varianza dependen en cierta manera del tamaño de *h*. Sea *n* el número de puntos de la muestra y $h=h_n$ (*h* ahora es función de *n*, es decir el tamaño de *h* se elige dependiendo de *n*). Si h_n tiende a cero cuando *n* es grande, el sesgo tenderá a cero, pero a la vez, si $n \cdot h_n$ tiende a infinito, la varianza tenderá a cero para *n* grande. Por tanto, h_n debe converger a cero cuando *n* es grande, pero no muy rápido. Suele dar buenos resultados escoger $h_n=C_n\text{-}1/5$. En resumen, el sesgo aumenta cuando *h* es grande y la varianza aumenta cuando *h* es pequeño, es decir, hay que optimizar el tamaño de *h* para que no se dispare ni el sesgo ni la varianza.

Por otro lado, además del núcleo gaussiano existen más núcleos, pero el *ECM* no depende tanto de la forma del núcleo.

Para calcular el estimador no paramétrico de la temperatura del agua anual se ha utilizado el software estadístico R 2.13.0 (R Development Core Team, 2011). Dentro de R ha sido necesario activar la librería KernSmooth que contiene funciones para estimar densidades con estimadores del núcleo (Ripley, 2011). En concreto se ha utilizado la función locpoly que estima la densidad con polinomios locales (Wand, M. P. & M. C., 1995).

Las componentes anuales (o densidades de temperatura) de las estaciones SAICA seleccionadas para el estudio, se encuentran en la sección A4-2 del anexo IV.

3. Una vez obtenido *An T (t)*, para hallar *WT (t)*, hay que estimar *Rw (t)*. Esto se hace a partir de los residuos de la temperatura del aire. Para obtener estos residuos es necesario descomponer la temperatura del aire de la misma forma que se ha descompuesto la del agua, es decir, en una componente anual y en otra componente no estacional o residual (Caissie *et al*., 1998). Las componentes anuales de temperatura (o densidades de temperatura) del aire de las estaciones AEMET seleccionadas para el estudio, se encuentran en la sección A4-2 del anexo IV.
De nuevo, la componente anual refleja los cambios estacionales de la temperatura y la componente no estacional o residual, refleja los cambios no estacionales. Así se tiene:

AirT (t) = AnAir T (t) + RAir (t),

donde *AirT (t)* denota la temperatura del aire en el día *t*, *AnAir T (t*) es la componente anual del aire en el día *t*, *RAir (t)* es la componente residual del aire en el día *t* y *t =1, 2, … 365* (ó *366* si el año es bisiesto). En la siguiente figura se puede observar un esquema de la situación:

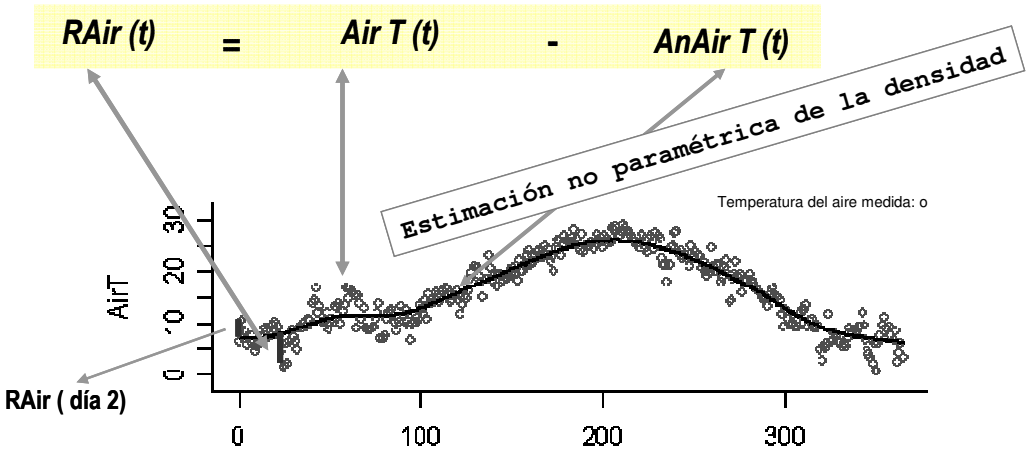


Figura 40. Componentes de los residuos de la temperatura del aire

Existen varios métodos para relacionar la componente residual de temperatura del aire con la de temperatura del agua: regresión lineal múltiple (Kothandaraman, 1971; Caissie et al., 1998), modelos basados en procesos de Markov de segundo orden (Cluis, 1972; Caissie et al., 1998), modelos de tipo Box-Jenkins (Box & Jenkins, 1976; Hoff, 1983; Caissie et al., 1998). En el trabajo de Caissie *et al*. (1998) se comparan los tres tipos de modelos y los resultados no contienen diferencias significativas. A partir de ahí, en este estudio se decide utilizar el modelo de regresión lineal múltiple debido a su simplicidad. Se tiene:

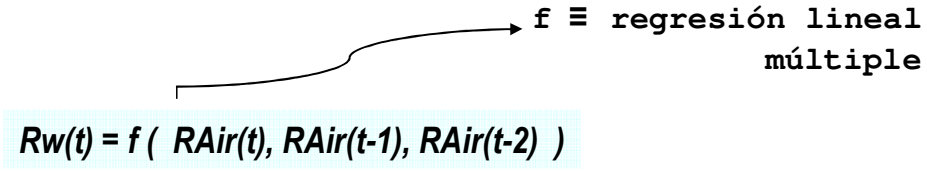


Figura 41. Relación de la componente residual de la temperatura del aire con la del agua

Por tanto, a partir del modelo de regresión lineal múltiple es posible hallar la componente residual de la temperatura del agua para cada día, *Rw(t).* En este estudio el modelo de regresión lineal múltiple se ha implementado con el software estadístico R 2.13.0 (R Development Core Team, 2011).

4. Así, conocidas *An T (t)* y *Rw(t)*, se halla la temperatura del agua para cada día *t, WT (t)*. En la siguiente figura se puede observar el aspecto de la predicción final para la estación SAICA 810, así como un esquema general de todo el proceso:

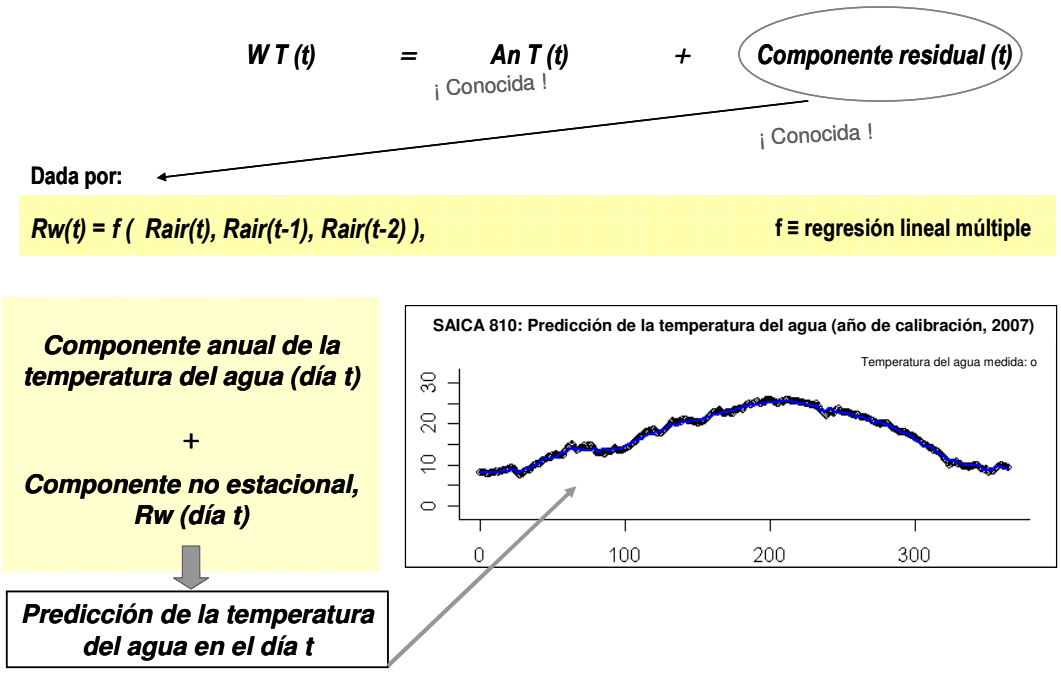


Figura 42. Obtención de la predicción de la temperatura del agua

Proceso de implementación del modelo a escala diaria

Una vez descrito el modelo, se describe a continuación la metodología utilizada.

Como se ha mencionado anteriormente se parte de una estación SAICA (que proporciona los datos de temperatura del agua) asociada a una estación AEMET (que proporciona los datos de temperatura del aire). En la mayoría de las estaciones (tanto SAICA como AEMET) existen datos de temperatura de varios años. De estos años, como año de calibración se escoge el que tenga mayor número de datos durante el año, (normalmente suele haber algunos días del año con el dato perdido). A partir de los datos de ese año el modelo será calibrado (construido). Al menos, para que un año sea elegido como año de calibración, ha de tener 260 datos (datos correspondientes a 260 días). Si el año de calibración no está completo, se completa hallando los datos perdidos mediante una interpolación de los datos precedentes y los posteriores. Una vez completado, se toman los datos de temperatura de aire y agua del año de calibración y se hallan, utilizando estimadores no paramétricos de la densidad, las componentes estacionales de ambas temperaturas (R Development Core Team, 2011). A continuación, se hallan las componentes residuales de la temperatura del aire y del agua para el año de calibración (se resta a la temperatura del aire/agua la componente estacional del aire/agua). Después se construye un modelo de regresión lineal múltiple que relaciona la componente residual de la temperatura del agua de un día *t* con la componente residual de la temperatura del aire del día *t*, del día *t-1* y del día *t-2* (se han tenido en cuenta estas componentes residuales de la temperatura del aire siguiendo la metodología del trabajo de Caissie et. al, 1998):

$$Rw(t) = \beta_0 + \beta_1 RAir\ T(t) + \beta_2 RAir\ T(t-1) + \beta_3 RAir\ T(t-2).$$

A partir de este modelo se estiman los coeficientes (los betas de la ecuación anterior) que permitirán predecir para el resto de los años la componente residual del agua del día *t* a partir

de la componente residual de la temperatura del aire del día *t*, del día *t-1* y del día *t-2*. Después, a modo de validación, se halla la predicción de la componente residual del agua para el año de calibración y finalmente sumando ésta y la componente estacional del agua se obtiene la predicción de la temperatura del agua del año de calibración (en la figura anterior se puede observar esta predicción para la estación SAICA 810).

Hasta aquí el modelo se ha calibrado, pero también es necesario validarlo. Para ello se toman los datos del resto de los años y año a año, se valida. Para validar, partimos de la componente estacional de la temperatura del aire y del agua hallada para el año de calibración (ya que se supone estable a lo largo de los años), después se halla la componente residual de temperatura del aire restando los datos del aire del año de validación y la componente estacional de la temperatura del aire. Posteriormente, multiplicando la componente residual de la temperatura del aire del día *t*, del día *t-1* y del día *t-2* por los coeficientes hallados con el modelo de regresión lineal múltiple (con los datos del año de calibración) y sumando los resultados de los productos, se halla la componente residual de la temperatura del agua. Finalmente, sumando ésta a la componente estacional de la temperatura del agua, se obtiene la predicción de la temperatura del agua en el año de validación.

En la siguiente figura se pueden observar las gráficas de validación para la estación SAICA 810. Los datos punteados son los datos reales de temperatura del agua medidos en los distintos años de validación y la línea continua es la predicción para cada año de validación.

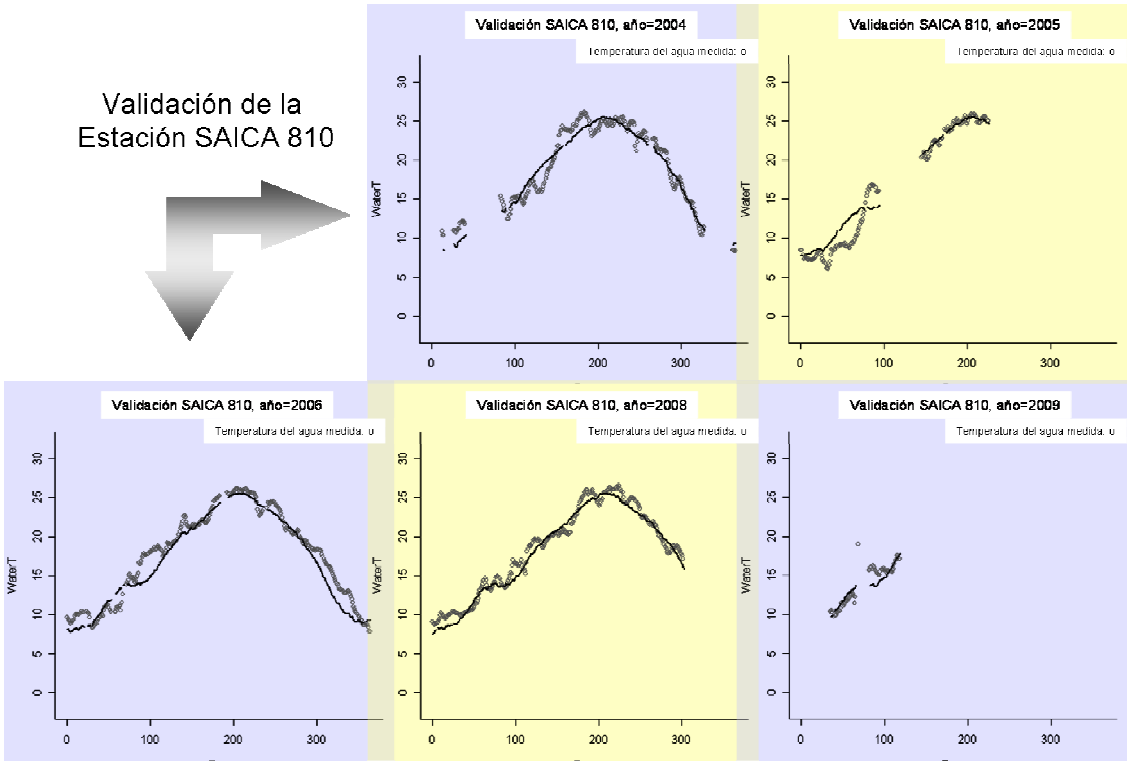


Figura 43. Gráficas de validación para la estación SAICA 810

Las gráficas que muestran las validaciones del resto de estaciones SAICA (para los años de los que se poseen datos) se pueden encontrar en la sección A4-3 del anexo IV.

En los años donde había menos de 30 datos, no se ha llevado a cabo la validación.

Para evaluar las predicciones tanto del año de calibración como del año de validación se ha utilizado el error cuadrático medio, *ECM*, y el R^2.

Como se ha dicho antes, el *ECM* se descompone en sesgo y varianza, lo que constituye una buena propiedad, ya que así tiene en cuenta a la vez los errores de sesgo y los debidos a la variabilidad. Otra cosa a resaltar es que el *ECM* penaliza igualmente los errores por defecto que por exceso, es la esperanza de la diferencia al cuadrado del verdadero valor de la temperatura del agua y el valor estimado. Se eleva al cuadrado para que no se produzca cancelación al sumar entre los errores de distinto signo (al ser los errores positivos y negativos se pueden anular mutuamente al sumarlos). La expresión que se ha utilizado para calcular el *ECM* es:

$$ECM = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{N}(WT(t) - \widehat{WT}(t))^2}{M}}$$

donde *N=365* ó *366* dependiendo de si el año es o no bisiesto y *M* es el número de días para los que hay dato (es decir, el número de datos de temperatura del agua para el año del que se esté calculando el *ECM*). Como se puede deducir de la definición y de la fórmula, cuanto más pequeño es el *ECM* mejor es la predicción (el numerador será pequeño, lo que implica que la temperatura del agua y la predicha se parecen mucho).

El R^2 cuantifica la variabilidad explicada por el modelo, dice qué cantidad de la variabilidad que presentan los datos, explica el modelo. Los valores del R^2 están entre 0 y 1, siendo 0 que no explica nada y 1 que explica el 100% de la variabilidad.

$$R^2 = \frac{Cov(WT, \widehat{WT})^2}{V_{WT} V_{\widehat{WT}}} = \frac{\left(\sum_{t=1}^{N}(WT(t) - \bar{WT}) \sum_{t=1}^{N}(\widehat{WT}(t) - \bar{\widehat{WT}})\right)^2}{\sum_{t=1}^{N}(WT(t) - \bar{WT})^2 \sum_{t=1}^{N}(\widehat{WT}(t) - \bar{\widehat{WT}})^2}$$

donde *Cov* indica la covarianza, *V* la varianza, la barra superior indica la media y *N=365* ó *366* dependiendo de si el año es o no bisiesto.

Nótese que tanto para el cálculo del *ECM* como del R^2, en los sumatorios solo se suma sobre los días para los que hay dato de *WT* del año en cuestión. Los días donde no existe el dato, como es de esperar, no se tienen en cuenta, ya que al no haber dato tampoco hay predicción sobre ellos.

A modo de ejemplo se muestran las gráficas de los valores de *ECM* y R^2 para los distintos años en los que se predice en la estación SAICA 810.

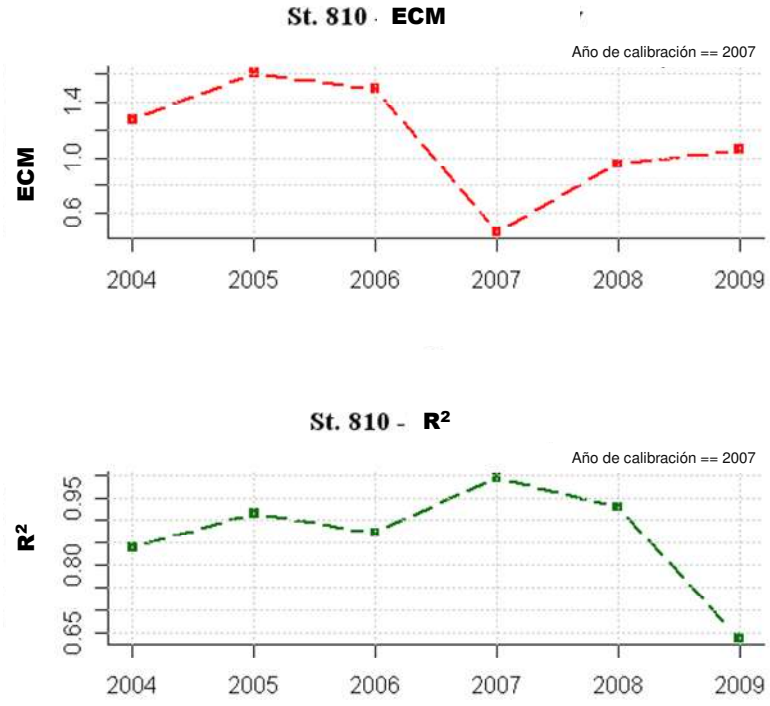


Figura 44. Error cuadrático medio y coeficiente de regresión para los años en los que se predice la temperatura del agua en la estación SAICA 810

Como es de esperar, en el año de calibración se alcanzan el valor más bajo del *ECM* y el valor más alto del R^2. El valor más alto del *ECM* está alrededor de 1.6, alcanzado en el año 2005, y el valor más bajo del R^2 es 0.65, en 2009. Este valor bajo del R^2 se debe a la falta de datos de temperatura del agua en el año 2009. Si no se tiene este año en cuenta, el siguiente valor más bajo del R^2 es 0.85, que quiere decir que se explica el 85% de la variabilidad.

Las gráficas con los valores de *ECM* y R^2 del resto de las estaciones SAICA se pueden observar en la sección A4-4 del anexo IV.

7.4 RÉGIMEN TÉRMICO PARA LOS TIPOS ECOLÓGICOS

Después de llevar a cabo la predicción de la temperatura del agua para todas las estaciones SAICA de las que se disponían datos, se han hallado las curvas medias y medianas de temperatura del agua para cada tipología. Para ello se han tenido en cuenta las componentes anuales de temperatura del agua calculadas para cada estación en el año de calibración (que se han supuesto estables año a año). Para cada tipo, se han revisado estas componentes anuales y se ha comprobado la coherencia de las mismas dentro del tipo. Asimismo también se han desechado las estaciones donde se observó presencia de una cantidad considerable de datos atípicos así como las que presentaban irregularidades en el régimen térmico, es decir, aquellas donde la relación entre la temperatura del agua y del aire, no correspondía a la misma del tipo. Cabe esperar que algunas de las estaciones seleccionadas se localicen respecto a algunas de las variables ambientales que definen los tipos ecológicos en valores cercanos a los límites establecidos para las mismas, lo que en el caso de tipo con una gran amplitud ecológica supondría incorporar valores atípicos que adquirirían un gran peso si el número de estaciones es reducido.

A continuación se muestra, tipología a tipología, el análisis llevado a cabo así como las curvas térmicas medias y medianas halladas. "WT_density_XXX" indica la componente anual (densidad) de la temperatura del agua para la estación "XXX".

- **Análisis de las curvas de densidad de temperatura del agua para la tipología 1**

En esta tipología no se observa ninguna irregularidad en las componentes anuales de temperatura del agua. Por tanto, para calcular la curva térmica media y la mediana, se tienen en cuenta todas las estaciones SAICA del tipo con datos (SAICA 404, 406, 407 y 414).

En la siguiente figura se puede observar que existe similaridad entre las componentes anuales de temperatura del agua calculadas en las distintas estaciones del tipo. También se puede apreciar que la curva media y la curva mediana de temperaturas son prácticamente iguales.

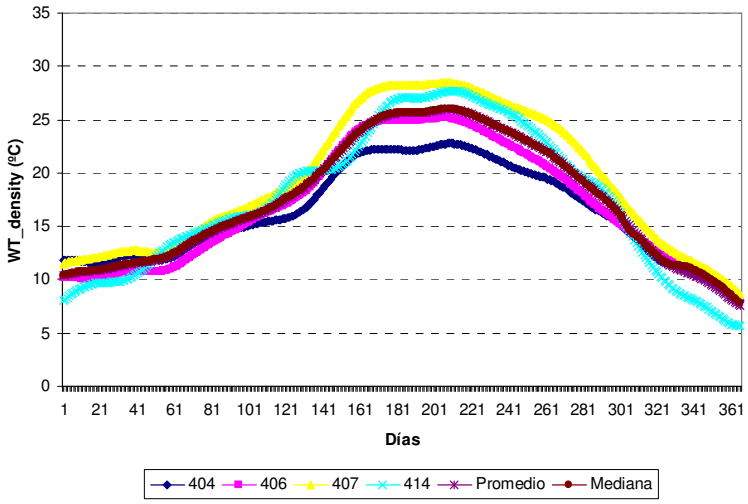


Figura 45. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 1 "Ríos de llanuras silíceas del Tajo y Guadiana"

- **Análisis de las curvas de densidad de temperatura del agua para la tipología 2**

Al existir solo una estación SAICA en esta tipología, la 521, la componente anual de temperatura de agua de esta estación representa la curva térmica del tipo.

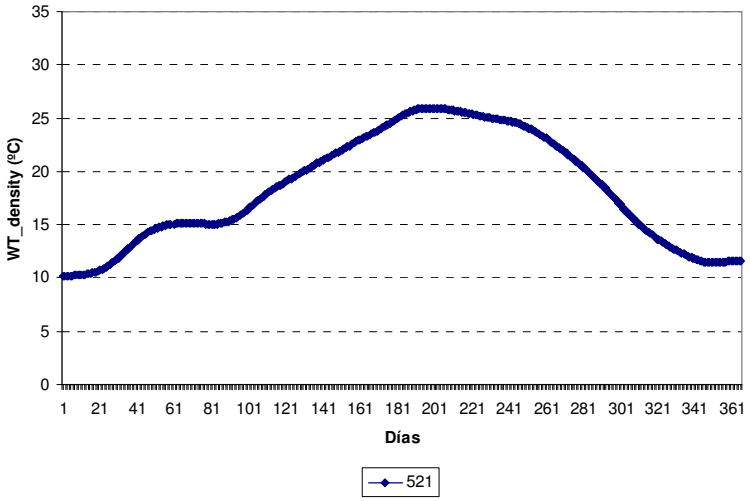


Figura 46. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 2 "Ríos de la depresión del Guadalquivir"

- **Análisis de las curvas de densidad de temperatura del agua para la tipología 4**

En esta tipología hay dos estaciones SAICA, la 228 y la 229. Sin embargo, la 228 no se tiene en cuenta para calcular la curva térmica del tipo debido a que tiene pocos datos.

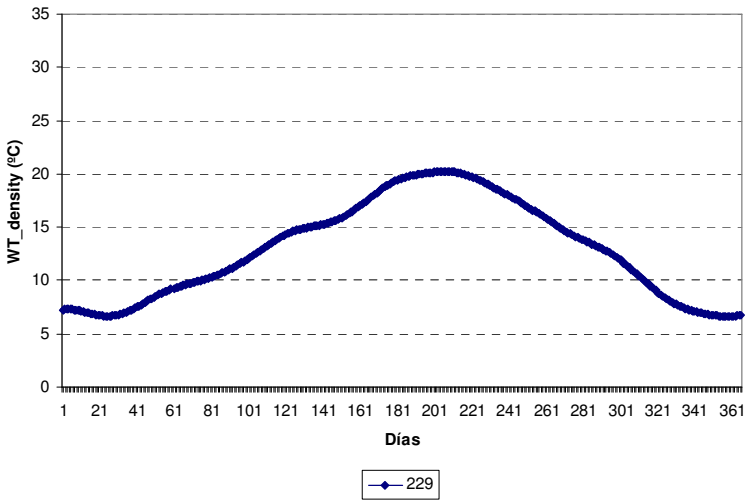


Figura 47. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 4 "Ríos mineralizados de la Meseta Norte"

- **Análisis de las curvas de densidad de temperatura del agua para la tipología 6**

Ocurre lo mismo que en el tipo 2, solo hay una estación SAICA, la 515, por tanto, la componente anual de temperatura de agua de esta estación representa a la curva térmica del tipo.

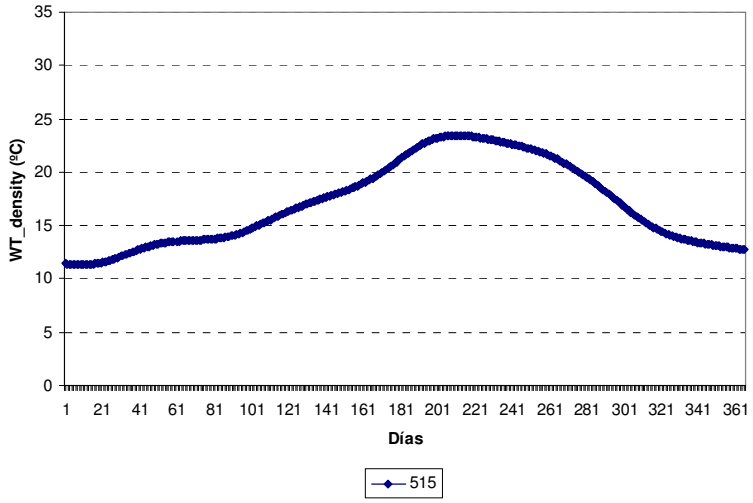


Figura 48. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 6 "Ríos silíceos del piedemonte de Sierra Morena"

- **Análisis de las curvas de densidad de temperatura del agua para la tipología 7**

En esta tipología solo existe una estación SAICA, la 514. La componente anual de temperatura del agua de esta estación representa a la curva térmica del tipo.

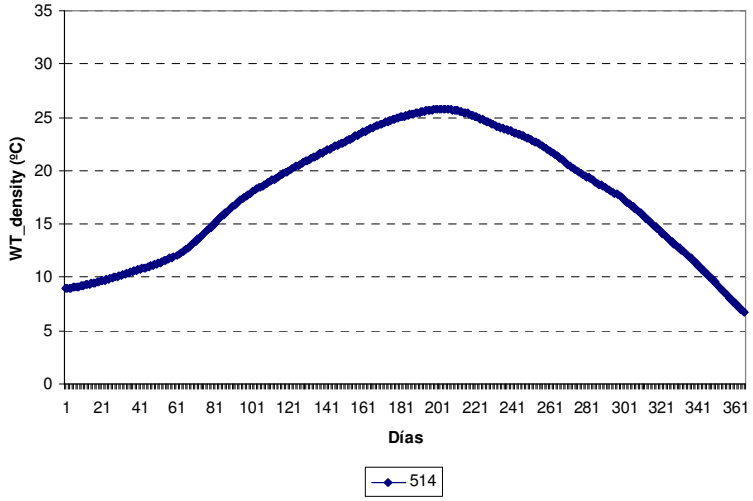


Figura 49. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 7 "Ríos mineralizados mediterráneos de baja altitud"

○ Análisis de las curvas de densidad de temperatura del agua para la tipología 9

En esta tipología hay 4 estaciones SAICA, la 803, la 926, Gualba y Montemeló. Para calcular la curva térmica media y mediana del tipo, solo se tienen en cuenta la estación 926 y la estación de Gualba, por tanto curva mediana y curva media, coinciden. La estación 803 se desecha debido a que en muchos de los años de los que se disponen datos se encuentran datos atípicos, así mismo, los datos de temperatura del agua varían bastante año a año, lo que produce que las predicciones para esta estación no salgan muy bien. La estación de Montmeló no se tiene en cuenta porque, en general, la temperatura del agua es superior a la del aire, hecho que no es muy normal. Esto podría deberse a algún tipo de impacto térmico, pero para poder concluir la causa de está relación atípica entre la temperatura del agua y la del aire, habría que estudiar mejor la situación. Además, como consecuencia de esto, la predicción de la temperatura del agua no es muy exacta.

En la siguiente figura se pueden observar las componentes anuales de temperatura del agua de las estaciones 926 y Gualba, así como las curvas térmicas media y mediana resultantes de calcular la media y la mediana de las dos curvas dato a dato (día a día).

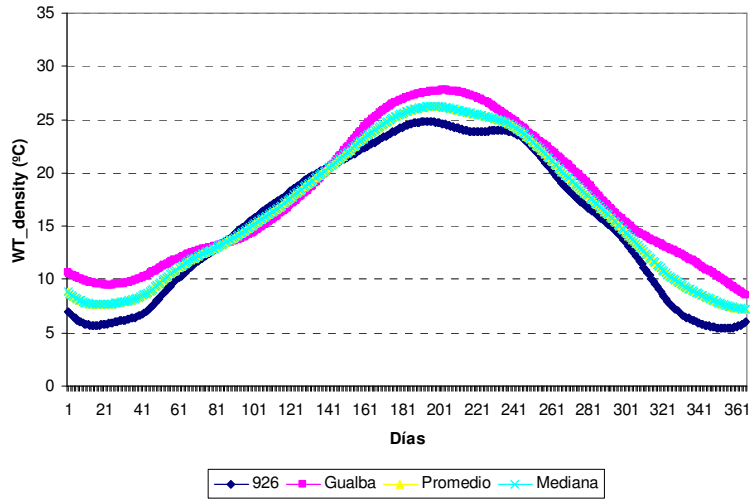


Figura 50. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 9 "Ríos mineralizados de la baja montaña mediterránea"

○ Análisis de las curvas de densidad de temperatura del agua para la tipología 10

En esta tipología hay dos estaciones SAICA, Martorell y Tarragona. Las dos se tienen en cuenta para calcular la curva térmica del tipo. Como solo hay dos estaciones, la curva mediana y la curva media, son iguales.

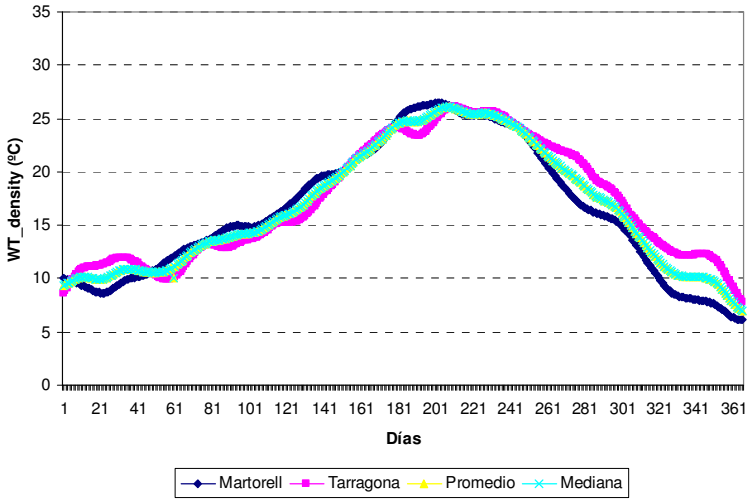


Figura 51. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 10 "Ríos mediterráneos con influencia cárstica"

- **Análisis de las curvas de densidad de temperatura del agua para la tipología 12**

En esta tipología hay 11 estaciones SAICA, la 210, 809, 813, 922, 925, 928, 929, Antius, Balsareny, Montagut y Solervincenç. De las estaciones 809 y 925 no se disponen datos suficientes para predecir, por lo tanto, estas dos estaciones son desechadas. Las estaciones 922 y la 928 tampoco son tenidas en cuenta para calcular la curva térmica de la tipología debido a que la temperatura máxima es inferior a las máximas de las otras estaciones, lo que produce mayor variabilidad dentro del tipo. Además, las temperaturas de estas estaciones varían mucho interanualmente, lo que también aumenta la variabilidad. También es de destacar que la componente anual de la temperatura del agua de la estación 928 es excesivamente plana (es decir, la temperatura del agua varía muy poco en relación a la variación de la temperatura del aire), la causa se desconoce (podría ser un aporte de aguas subterráneas pero habría que estudiarlo). Por ello y debido también a que en esta tipología hay muchas estaciones SAICA, se refrenda la opción de no tener está estación en cuenta.

A pesar de que en esta tipología están presentes un número considerable de estaciones SAICA, la curva térmica promedio y la curva térmica mediana, son bastante similares.

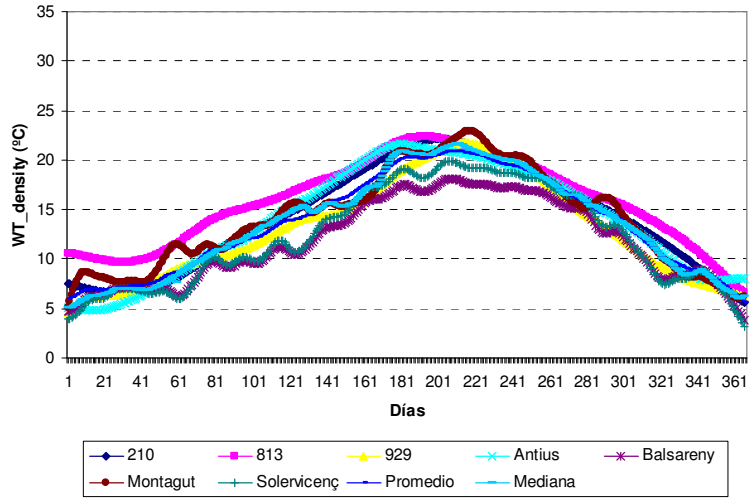


Figura 52. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 12 "Ríos de montaña mediterránea calcárea"

- **Análisis de las curvas de densidad de temperatura del agua para la tipología 14**

En este tipo hay tres estaciones SAICA, la 705, la 708 y la 802. La estación 705 no se tiene en cuenta para calcular la curva térmica debido a la falta de datos. Por otro lado, las estaciones 708 y 802 tienen curvas térmicas que difieren considerablemente:

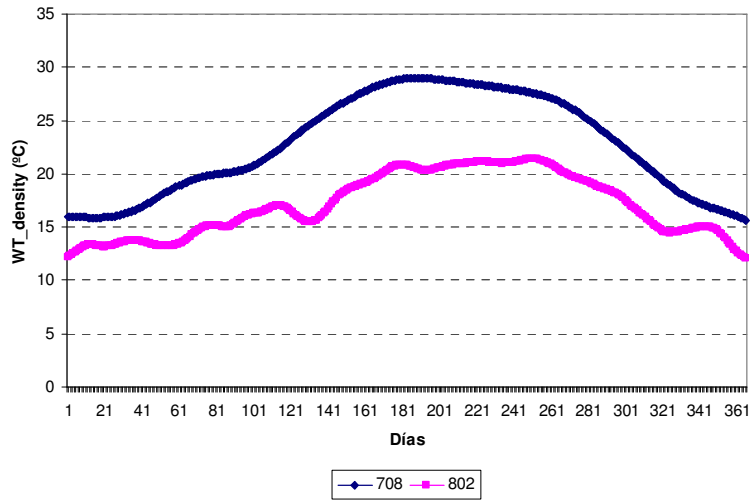


Figura 53. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 14 "Ejes mediterráneos de baja altitud"

La estación 802 pertenece a la Confederación Hidrográfica del Júcar y la 708 a la del Segura. La tipología 14 es una tipología muy poco extendida, solo se presenta en un tramo del Turia (donde está la 802), en un tramo muy pequeño del Segura (donde está la 708) y en otro tramo del Genil.

A partir de aquí se decide subdividir térmicamente el tipo y considerar la curva térmica del tipo para la Confederación Hidrográfica del Júcar como la componente anual de la temperatura del agua de la estación SAICA 802. Para el resto de la tipología se toma como curva térmica la componente anual de temperatura del agua de la estación SAICA 708.

- **Análisis de las curvas de densidad de temperatura del agua para la tipología 15**

En esta tipología hay una gran cantidad de estaciones SAICA, la 203, 208, 209, 214, 219, 221, 226, 306, 314, 327, 328, 903, 907, 908, 911, 916, 918, 919, 921 y Gurb. De éstas, la estación 221, la 306, la 327, la 328, la 903, la 908 y la 918 no son tenidas en cuenta para calcular la curva térmica del tipo.

En las estaciones SAICA que presentan curvas térmicas peculiares se observan relaciones anómalas aire-agua. En la SAICA 221 la temperatura del agua es mayor que la del aire en prácticamente todos los años, aunque las oscilaciones térmicas de ambas temperaturas concuerdan. La SAICA 306 podría estar influida por la presencia de aguas subterráneas. En la SAICA 327 también se observan anomalías y la temperatura del agua no se ve muy influida por la del aire (habría que estudiar si está afectada por algún impacto térmico). En la SAICA 328 la temperatura del agua del año de calibración es superior a la temperatura del aire, en el resto de los años de los que se poseen datos se observa, sin embargo, que la temperatura del agua se parece más a la del aire. Las SAICAS 903 y 918 no se tienen en cuenta porque el modelo de predicción no da buenos resultados (sería conveniente estudiar el por qué). Finalmente, en la SAICA 918 se observa que la temperatura del aire no tiene mucha influencia sobre la del agua.

En la siguiente figura se puede apreciar que la curva térmica promedio y la curva térmica mediana son bastante similares a pesar del elevado número de estaciones, lo que indica que no hay curvas atípicas dentro de la tipología 15.

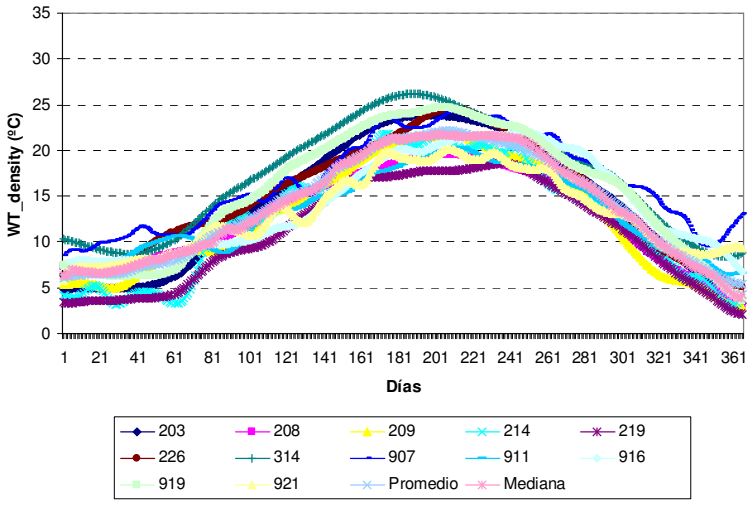


Figura 54. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 15 "Ejes mediterráneo-continentales poco mineralizados"

○ Análisis de curvas de densidad de temperatura del agua para la tipología 16

Las SAICA que se encuentran en este tipo son la 202, 211, 307, 309, 413, 520, 810, Abrera, Castelbell y Sant Joan Despí. Para calcular las curvas térmicas del tipo se tienen en cuenta todas las estaciones menos la SAICA 520 y Sant Joan Despí. Se desecha la estación 520 debido a que su curva de temperaturas es distinta a las curvas del resto de estaciones presentes en la tipología. Además, en datos de esta estación correspondientes a varios años, se observa que la temperatura del agua apenas varía, mientras que sí lo hace la del aire, lo que incita a estudiar si podría ser debido a alguna aportación de aguas subterráneas. En la estación Sant Joan Despí se observa un impacto térmico no puntual, una posible causa que habría que contrastar podría ser la presencia de aguas de regadío.

En la siguiente figura se pueden observar todas las componentes anuales de las estaciones SAICA seleccionadas para esta tipología, así como las curvas térmicas media y mediana, las cuales son bastante similares, lo que implica que no existen componentes anuales muy diferentes dentro de las curvas del tipo.

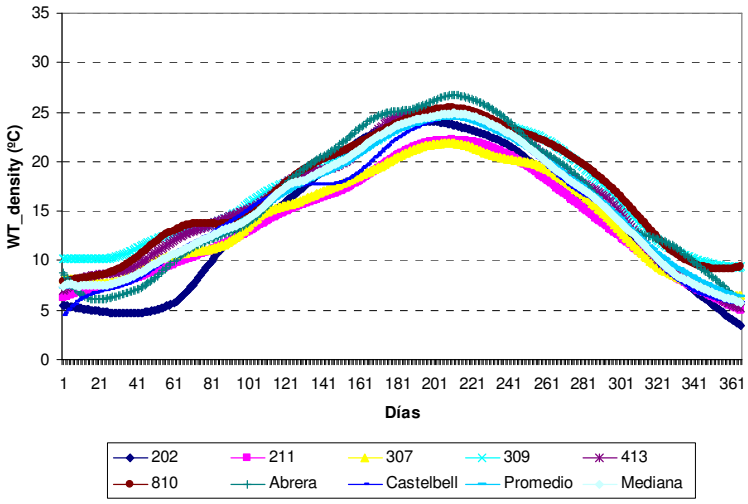


Figura 55. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 16 "Ejes mediterráneo-continentales mineralizados"

○ Análisis de las curvas de densidad de temperatura del agua para la tipología 17

En esta tipología se encuentran las SAICA 204, 207, 310, 401, 402, 403, 425, 426, 427, 501, 808, 832, 909 y 910. Para calcular las curvas térmicas se desechan las SAICA 207, 501 y 808. La 207 se descarta debido a que en varios años solo se tienen pocos datos, y en prácticamente todos los casos, la temperatura del agua es mucho mayor que la del aire, siendo ambas temperaturas coherentes pero es inferible la presencia de algún factor adicional que podría causar el aumento de la temperatura del agua. En la SAICA 501 se observa que la temperatura del aire en los años de validación es superior a la del año de calibración y estas diferencias se ven reflejadas en la temperatura del agua. Como en la calibración del modelo se tiene en cuenta la temperatura del agua del año de calibración, las diferencias repercuten en el buen funcionamiento del modelo. En la posible mejora del mismo en un futuro se esperaría solucionar este tipo de problemas. Por último, la SAICA 808 se desecha porque hay problemas

en la predicción debido a que uno de los años de validación tiene las temperaturas mucho más elevadas que el año de calibración y es difícil deducir si el año de calibración es representativo de la estación.

Al dibujar las gráficas de las curvas térmicas, dentro de la tipología se observan dos tipos de curvas. Uno de ellos formado por las componentes anuales de temperatura del agua de las estaciones 204, 832, 909 y 910 y el otro, formado por las restantes. En las curvas térmicas de las estaciones correspondientes al primer tipo la temperatura máxima se alcanza un poco después que en el segundo tipo, esto se puede apreciar en la siguiente figura:

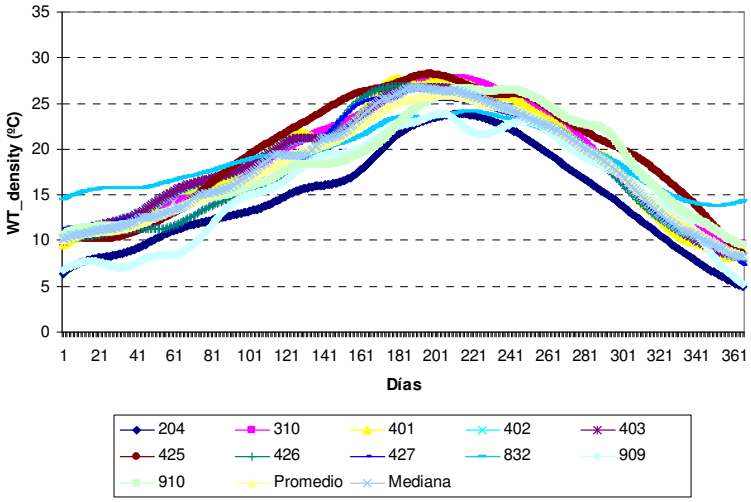


Figura 56. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 17 "Grandes ejes en ambiente mediterráneo"

Si se separan las curvas en los grupos mencionados anteriormente se tiene:

Primer grupo:

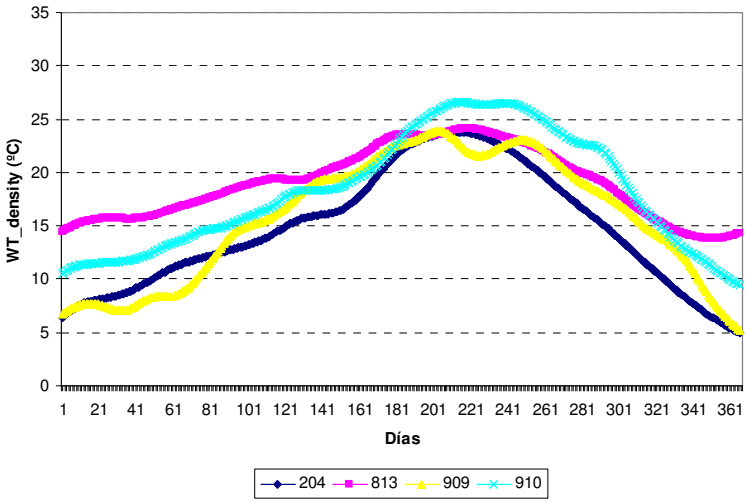


Figura 57. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA, del primer grupo, que se encuentran en las masas de agua de la tipología 17 "Grandes ejes en ambiente mediterráneo"

Segundo grupo:

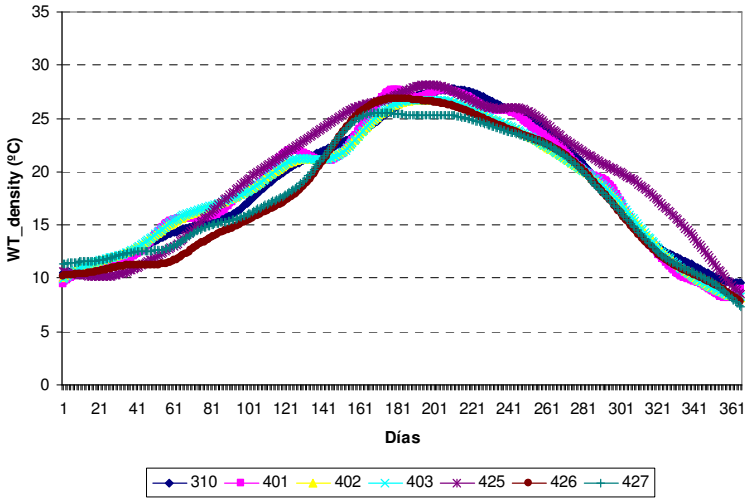


Figura 58. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA, del segundo grupo, que se encuentran en las masas de agua de la tipología 17 "Grandes ejes en ambiente mediterráneo"

La SAICA 832 que pertenece a la Confederación Hidrográfica del Júcar es una estación que presenta una curva térmica peculiar dentro de su tipo. Teniendo en cuenta que el resto de las estaciones SAICA de la tipología se encuentra en grandes ejes en el interior de la península a altitudes de 100 ó 200 m y que sin embargo, la SAICA 832 está en la desembocadura del río Júcar prácticamente al nivel del mar, estas diferencias son lógicas. Por este motivo también se explica que registre temperaturas altas dentro de la tipología. Por otro lado, la SAICA 808 (desechada) también pertenece a la Confederación Hidrográfica del Júcar y también está muy

cerca de la desembocadura del río Júcar. La estación 808 presenta temperaturas muy similares a la 832 salvo en la época invernal en la que presenta temperaturas inferiores. Esta similitud lleva a tomar la decisión de que cuando se trabaje con la tipología 17 en la Confederación Hidrográfica del Júcar solo se tendrán en cuenta las SAICA 808 y 832.

- **Análisis de las curvas de densidad de temperatura del agua para la tipología 18**

En este tipo solo está disponible una estación SAICA, la 801, por tanto, la curva térmica del tipo se caracteriza por la componente anual de temperatura del agua de la estación 801. Ésta se puede observar en la siguiente figura:

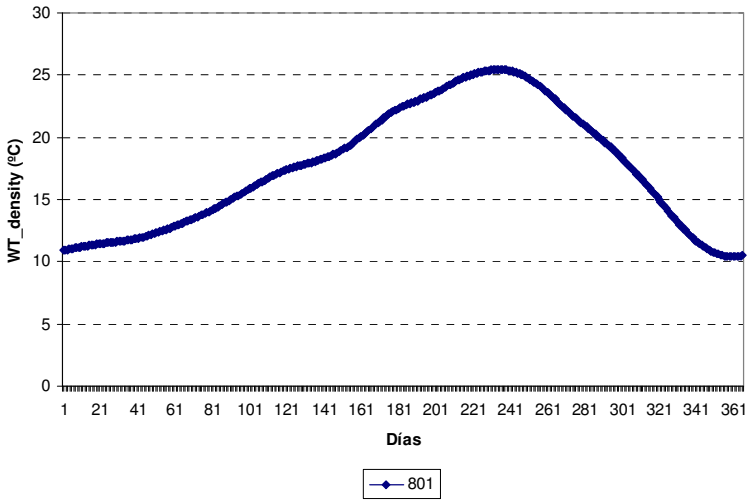


Figura 59. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 18 "Ríos costeros mediterráneos"

- **Análisis de las curvas de densidad de temperatura del agua para la tipología 21**

En este tipo solo se encuentra una estación SAICA, la 109. Por tanto, la componente anual de la temperatura del agua de esta estación se toma como curva mediana y media del tipo.

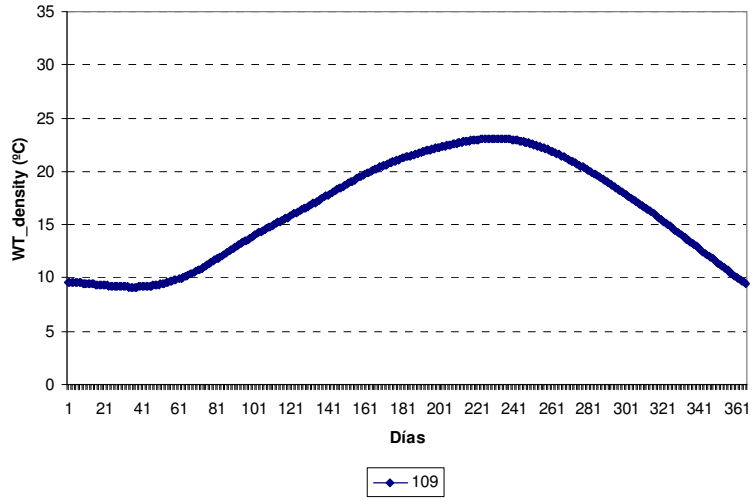


Figura 60. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 21 "Ríos cántabro-atlánticos silíceos"

- **Análisis de las curvas de densidad de temperatura del agua para la tipología 26**

Está presente la estación SAICA 920. Se toma como curva térmica media y mediana del tipo, la componente anual de la temperatura del agua de esta estación.

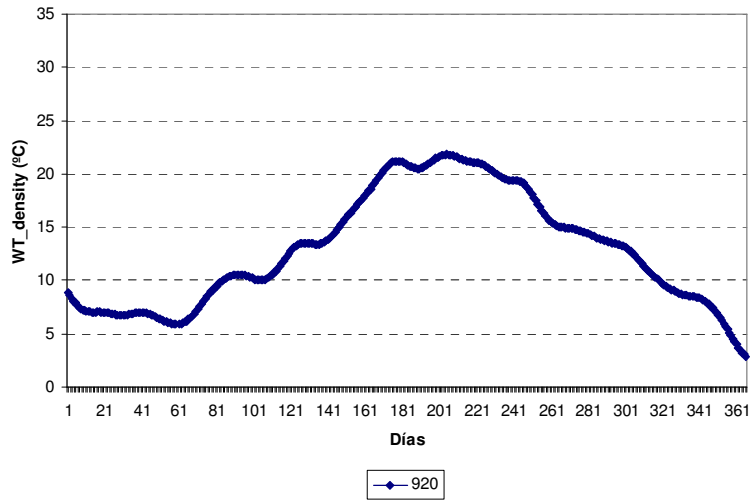


Figura 61. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 26 "Ríos de montaña húmeda calcárea"

- **Análisis de las curvas de densidad de temperatura del agua para la tipología 28**

En este tipo se encuentran la SAICA 103, 107, 122 y 126. Todas ellas son tenidas en cuenta para calcular la curva térmica media y la curva térmica mediana. En la siguiente figura podemos observar que la curva térmica media y la mediana son similares.

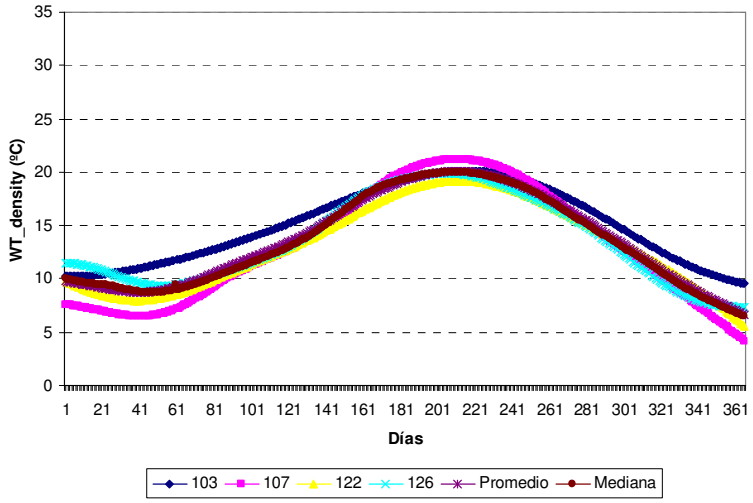


Figura 62. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 28 "Ejes fluviales principales cántabro-atlánticos silíceos"

- **Análisis de las curvas de densidad de temperatura del agua para la tipología 29**

En este tipo están presentes las estaciones SAICA, 101, 104, 105, 111, 112 y 117. Para calcular las curvas térmicas media y mediana se tienen en cuenta todas las estaciones excepto la 105 y la 112. La 105 se desecha debido a que tanto en el año de calibración como en los años de validación se observan anomalías y datos atípicos, sería conveniente estudiar la existencia de un posible impacto térmico. La estación 112 no es tenida en cuenta debido a las diferencias entre las temperaturas presentadas en el año de calibración y en los años de validación. Además en varios años se observan datos atípicos. En la siguiente figura se pueden observar las curvas térmicas del tipo:

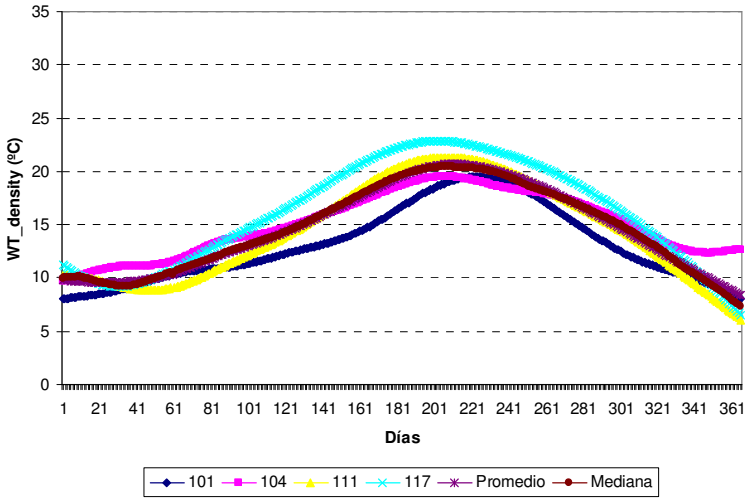


Figura 63. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 29 "Ejes fluviales principales cántabro-atlánticos calcáreos"

A partir de la gráfica se aprecia que la curva térmica de la estación 101 difiere de las restantes. Se observa que la componente anual de la temperatura del agua de la estación 101 se asemeja bastante a las componentes anuales de temperatura del agua de las estaciones desechadas (105 y 112), a partir de aquí se abre el interrogante de si sería conveniente desechar también la estación SAICA 101 o por el contrario, incluir la 105 y la 112. También se plantea la cuestión de si sería necesario subdividir en dos subtipos térmicos la tipología 29. Para responder a estos interrogantes se aconseja, para un futuro estudiar en mayor profundidad las curvas térmicas de la tipología 29.

- **Análisis de las curvas de densidad de temperatura del agua para la tipología 31**

En esta tipología hay dos estaciones SAICA: la 128 y la 129. Sin embargo, para calcular la curva térmica del tipo solo se tiene en consideración la SAICA 129. La estación 128 se desecha porque las validaciones no salen excesivamente bien. Se cree que la causa de esto es que en general, en los años de validación hay pocos datos. En la siguiente figura se muestra la curva térmica del tipo:

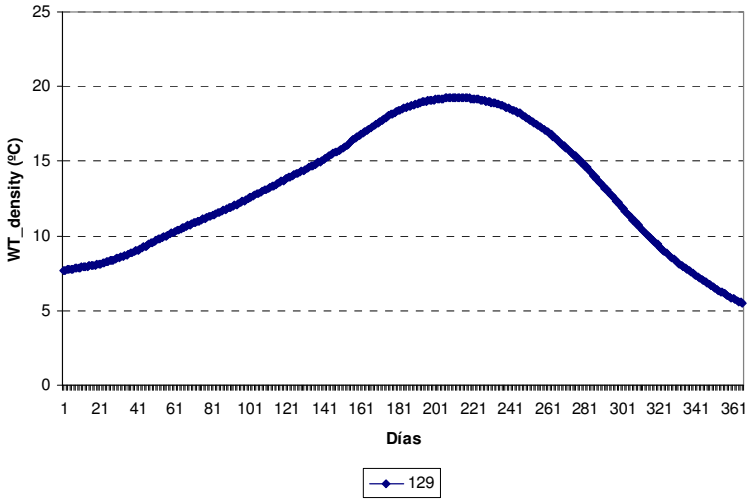


Figura 64. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 31 "Pequeños ejes cántabro-atlánticos silíceos"

- **Análisis de las curvas de densidad de temperatura del agua para la tipología 32**

En esta tipología se encuentran las estaciones SAICA 106 y 118. Las dos se tienen en cuenta para calcular las curvas térmicas media y mediana que en este caso, al haber solo dos estaciones SAICA, coinciden. En la siguiente figura se pueden observar las curvas térmicas media y mediana:

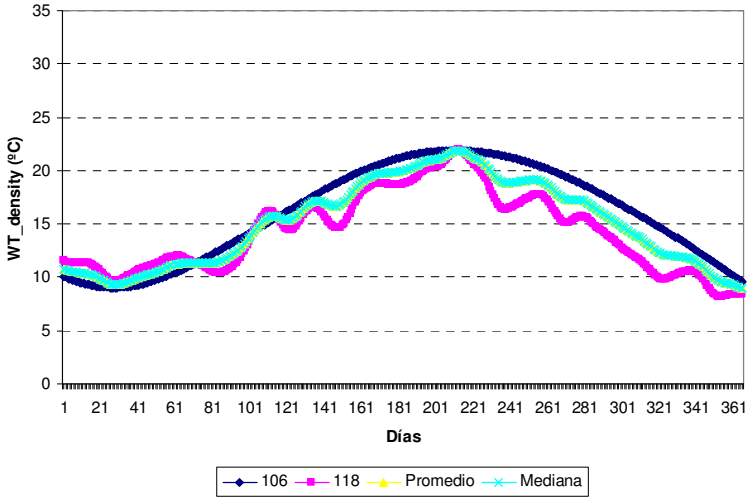


Figura 65. Curvas de densidad de temperatura del agua para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 32 "Pequeños ejes cántabro-atlánticos calcáreos"

En las tipologías 3, 5, 8, 11, 13, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 27 y 30 no existen estaciones SAICA. Por tanto, en estas tipologías no es posible realizar ninguna predicción ni obtener curvas térmicas.

7.5 RECOMENDACIONES

Con vistas a mejorar la aplicación del modelo a escala diaria se sugieren dos aspectos:

1. Escoger como dato de calibración para cada día, la media de todos los datos que haya de ese día a lo largo de los años. Esta sugerencia se aplicaría tanto en los datos de temperatura de agua como en los de temperatura de aire. El modelo partiría de estos datos (serían análogos al año de calibración) y mejoraría considerablemente, ya que tal como está implementado, si el año utilizado para la calibración es anómalo produce errores superiores a lo normal. Además, utilizando la media de todos los datos conocidos para un día, el modelo será más robusto.

2. Aplicar la longitud del intervalo de predicción utilizada en el trabajo de Caissie et al. (1998), es decir, en lugar de predecir para todo el año completo, descartar los datos del inicio y final de año recortando distintas cantidades. Al quitar valores de los extremos es posible que el modelo mejorase, aunque sería preciso confirmarlo ya que en España los valores invernales de la temperatura del agua no suelen disminuir bajo cero.

La primera sugerencia se hace a partir de un análisis de los resultados del modelo. Se aprecia que a veces el año de calibración no es representativo del resto de años. En estos casos, las predicciones se parecen demasiado al año de calibración, es decir, se generan errores en las predicciones de los años de validación. Sin embargo, aplicando esta sugerencia, se espera que el modelo mejore considerablemente y por consiguiente también la determinación de las curvas térmicas del los tipos ecológicos. Además, es probable que se desechen menos estaciones SAICA y por tanto, se contará con más datos para determinar las curvas térmicas.

A raíz del análisis metodológico expuesto, se recomienda realizar la predicción de la temperatura del agua a escala mensual a partir de las ecuaciones deducidas en los modelos de regresión. La variable regresora será la temperatura del aire predicha por la AEMET para los diferentes escenarios de cambio climático. Los datos hidrológicos, que constituyen variables esenciales para explicar la distribución de los macroinvertebrados bentónicos en los ecosistemas fluviales, vienen dados por el modelo SIMPA (Estrela & Quintas, 1996) a escala mensual y es necesario que las escalas de ambos tipos de datos (hidrológicos y temperatura) coincidan, ya que ambas serán variables independientes en los modelos de distribución futura de las especies.

Como complemento a futuros desarrollos metodológicos, se sugiere realizar un estudio práctico piloto para validar los modelos en las diferentes tipologías. Consistiría en ubicar parejas de sensores de temperatura aire/agua en un número representativo de masas de agua de cada tipología, registrando valores en continuo durante 1 ó 2 años. De esta forma, podrían validarse de forma más precisa los modelos al eliminar la posible fuente de errores que supone la ubicación no coincidente de las estaciones SAICA-AEMET en los datos utilizados.

Por último, se sugiere un estudio detallado de las anomalías detectadas en las estaciones SAICA que se han desechado para calcular las curvas térmicas, así como de las posibles causas de estas anomalías. También sería bueno, estudiarlas junto con los resultados del

modelo de predicción a escala diaria y distinguir si las predicciones que no salen bien se deben a fallos del modelo, o a anomalías en los datos de las estaciones SAICA. También hay que destacar que si en el futuro se aplica el modelo a escala diaria para predecir la temperatura del agua bajo los distintos escenarios de cambio climático, habrá muchos tramos de río donde no haya estaciones SAICA, en estos tramos, como componente anual del agua se utilizaría la curva térmica del tipo, para ello, sería necesario revisar la definición de las curvas térmicas y que las mismas tengan un nivel alto de fiabilidad.

8. MODELO DE DISTRIBUCIÓN DE TAXONES EN LOS ESCENARIOS FUTUROS

8.1 INTRODUCCIÓN

El conocimiento preciso de la distribución geográfica de los organismos es fundamental no solo para el desarrollo de los planes para su conservación y gestión, sino también para determinar los aspectos ecológicos y evolutivos que determinan sus patrones de distribución espacial, y cómo variaciones en determinadas variables ambientales pueden afectar a esa distribución.

Son muy escasos aún los estudios relativos al efecto del cambio climático en los ecosistemas acuáticos desde el punto de vista de la respuesta de sus comunidades biológicas en sentido amplio, siendo en su mayoría relativos a especies concretas o grupos biológicos específicos, o bien para un ámbito geográfico reducido a escala de pequeñas cuencas o territorios geográficos. No obstante, cada vez hay un mayor esfuerzo en desarrollar metodologías estadísticas para modelizar la respuesta de las especies y su distribución en escenarios futuros de cambio (Elith & Leathwick, 2009).

Los modelos de distribución de especies constituyen herramientas numéricas basadas en una información sobre la distribución actual de estas especies (presencia y/o abundancia) y las variables ambientales con las que se relacionan. El aumento creciente de nuevas propuestas de modelos predictivos ha creado una reciente preocupación sobre las diferentes aplicaciones que de estos modelos se hacen y su idoneidad, ya que en su mayoría no han conseguido incorporar aspectos o variables tan relevantes como son los relacionados con la interacción entre especies, la dispersión o los mecanismos de evolución y adaptación (Austin & Van Niel, 2011).

En este capítulo, se revisan algunos de los modelos y métodos existentes más empleados para estimar la distribución de organismos en escenarios futuros de cambio climático. Se discute su aplicabilidad, ventajas e inconvenientes, en base a los objetivos del trabajo, aportando criterios para la selección del método más adecuado.

El esquema del planteamiento para la aplicación de un modelo predictivo se puede observar en la siguiente figura:

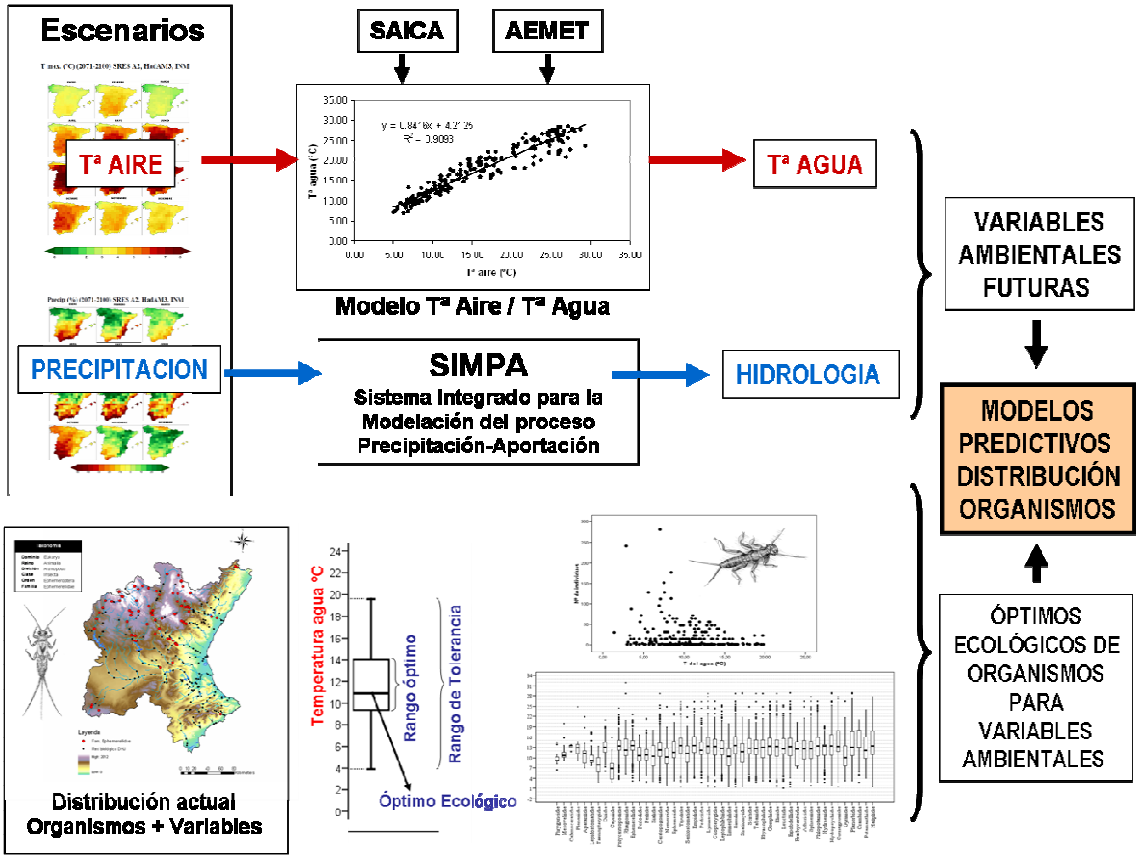


Figura 66. Esquema del estudio del efecto del cambio climático en las comunidades de macroinvertebrados en los ecosistemas fluviales mediante modelos predictivos.

Para cuantificar la influencia del cambio climático en las comunidades biológicas se parte de las predicciones de la temperatura del aire y de las precipitaciones en los distintos escenarios futuros de cambio climático realizadas por la AEMET. A partir de los datos de precipitación, y mediante el modelo SIMPA (Estrela & Quintas, 1996), se obtienen las predicciones de caudal natural en los diferentes escenarios de cambio climático (ver Informe de Evaluación del Impacto del Cambio Climático en los Recursos Hídricos en Régimen Natural).

A partir de la temperatura del aire se predice, mediante los modelos de transferencia de temperatura aire-agua explicados en la sección 7, la temperatura del agua en los escenarios futuros. Esta variable, junto con las predicciones del caudal, formará parte de las variables independientes (las variables a través de las cuales se predice) de cualquier modelo de distribución de especies. Además de estas dos, se pueden obtener más variables ambientales que afecten a las comunidades de macroinvertebrados bentónicos. Si estas otras variables están influidas por la temperatura o el caudal, dicha influencia se debe cuantificar antes de introducirlas como variables independientes en los modelos de distribución de especies. Por medio de un modelo estadístico se obtendría la relación existente entre dichas variables y la temperatura y/o el caudal, de manera que se pudiese tener en cuenta en el momento de predecirlas. En caso de que la dependencia sea con la temperatura del agua, se deberá obtener la predicción de estas variables combinando el modelo de transferencia aire/agua, para hallar la predicción de la temperatura, con el modelo estadístico para obtener la relación entre dichas variables y la temperatura.

Paralelamente, tal y como se ha descrito en los capítulos 5 y 6, se ha obtenido la información relativa a los óptimos ecológicos y rangos de tolerancia de los organismos frente a las variables ambientales consideradas.

Una vez obtenido el conjunto de variables ambientales determinantes y predictoras, para estimar la influencia del cambio climático sobre la distribución futura de las comunidades biológicas, se aplicaría un modelo predictivo de distribución de especies o, como alternativa, un modelo estadístico que realice el papel de los modelos de distribución de especies. Previamente, se ha realizado una revisión de los modelos que existen actualmente y su idoneidad en función del conjunto de datos, las variables ambientales y la simplicidad del modelo, entre otros aspectos.

8.2 REVISIÓN DE LOS MODELOS Y MÉTODOS EXISTENTES PARA ESTIMAR LA DISTRIBUCIÓN DE LOS ORGANISMOS EN LOS ESCENARIOS FUTUROS. ANÁLISIS DE APLICABILIDAD

8.2.1 Clasificación de los modelos

Existen numerosos métodos desarrollados para modelizar la distribución de las especies, que varían en función de cómo se modeliza la distribución de la variable respuesta, en la selección de las variables predictoras, en el ajuste de las funciones de cada variable, en el peso diferente de cada variable predictora, en la permisividad o no de interacciones entre variables predictoras, o en los factores geográficos de ocurrencia de los taxones. El objetivo de todos estos modelos es predecir las distribuciones de los organismos basándose en la relación entre la presencia o abundancia de la especie (o familia) y las variables ambientales. No existe claramente un modelo mejor que otro, siendo lo ideal el poder aplicar varios de ellos para comprobar las posibles similitudes y diferencias. En este caso, se ha realizado una revisión básica de los principales modelos existentes con el fin de proponer el más adecuado, de acuerdo con las características del trabajo, los datos disponibles y la simplicidad del modelo, entre otros aspectos.

Para hacer una revisión de los modelos existentes, se ha tomado como fuente principal de información el trabajo "*Novel methods improve prediction of species distributions from occurrence data",* elaborado por J. Elith. *et. al*. (2006), además de otras publicaciones relativas al tema (Ferrier & Watson, 1997; Hirzel et al., 2002; Loiselle et al., 2003; Cayuela, 2009). En dicho trabajo se comparan 16 modelos predictivos, aplicando dichos modelos de predicción a 226 especies en 6 regiones del mundo. Uno de los principales problemas que se resaltan en este trabajo es que las series de datos de ocurrencia en las diferentes regiones se han recogido habitualmente sin un muestreo sistemático, y por tanto no se pueden inferir las ausencias con certeza. Para subsanar este problema, cuando los datos son de presencia/ausencia, se han utilizado dos conjuntos diferentes de datos: datos solo de presencia y datos independientes de presencia/ausencia. El primero se utiliza para ajustar (calibrar) los modelos, y el segundo para evaluar las predicciones.

Debido a este problema, surgieron inicialmente los modelos que utilizan solamente datos de presencia. Estos modelos se basan en el cálculo de hábitats idóneos o en mediciones de distancias ecológicas. Se tendió entonces a adaptar los modelos para datos de presencia/ausencia a modelos que solo requerían datos de presencia. Más recientemente, se está proponiendo el uso de nuevos modelos basados en investigaciones ecológicas y estadísticas. Son modelos que utilizan información sobre las presencias de otros componentes

de la comunidad biológica para complementar o suplir la información sobre la especie modelada cuando esta es escasa; se conocen como *"community methods"* (métodos de comunidad). Dichos modelos son especialmente prometedores para especies "raras" ya que la información adicional que da la comunidad ayuda a conocer las relaciones que se tratan de modelar.

En muchas ocasiones la distribución de las especies no se conoce con gran precisión. En estos casos, al calibrar el modelo se dejan sin usar algunos datos de ocurrencia conocidos y la evaluación de la precisión del modelo se realiza comprobando cómo de bien predice estas ocurrencias. Sin embargo, en los modelos que utilizan solamente datos de presencia, las ocurrencias dejadas aparte no proporcionan una buena evaluación del modelo porque muchas veces los datos están sesgados geográfica y ambientalmente (es decir, los datos no están tomados totalmente de manera aleatoria, en lo que se refiere a la geografía y a las condiciones ambientales). Una opción para mejorar la evaluación de estos modelos, es usar para la validación datos de presencia/ausencia independientes de los datos de calibración.

Se distinguen por tanto dos tipos de modelos: modelos que usan solo datos de presencia y modelos que además utilizan los datos de pseudo-ausencias, también conocidos como *"background samples",* que son aquellas ausencias que no afirman que las especies no estén sino que no se han encontrado (Ferrier *et al*. 2002a). La figura 67 muestra un esquema de la clasificación de los modelos de distribución de especies.

<table>
<tr><th colspan="2">Modelos que utilizan solo datos de presencia</th></tr>
<tr><td colspan="2">BIOCLIM, DOMAIN, LIVES y ENFA</td></tr>
<tr><th colspan="2">Modelos que utilizan datos de presencia y de "pseudo-ausencias"</th></tr>
<tr><th>Modelos para una sola especie
"single species methods"</th><th>Modelos de comunidad
"community methods"</th></tr>
<tr><td>• Basados en regresión:

- GLMs: Modelos lineales generalizados
- GAMs: Modelos aditivos generalizados
- BRUTO
- MARS: Multivariate adaptative regression splines
- MARSINT

• Basados en algoritmos genéticos

- DK-GARP
- OM-GARP

• Basados en máxima entropía

- MAXENT y MAXENT-T
- BRT: Boosted regression trees
- GDM-SS</td><td>- MARS-COMM
- GDMs: Modelos de disimilaridades generalizados</td></tr>
</table>

Figura 67. Clasificación de los modelos de distribución de especies (adaptado de Elith et al., 2006)

8.2.1.1 Modelos que utilizan solo datos de presencia

Dentro del grupo de los modelos que utilizan únicamente datos de presencia, se revisan cuatro modelos: *BIOCLIM, DOMAIN, LIVES y ENFA*.

- Modelo *BIOCLIM* (de hábitat idóneo o envolvente climática): de utilización sencilla, caracteriza los lugares ocupados por la especie dentro del espacio ambiental, y localiza todas aquellas zonas con un clima similar de donde se encuentra la especie. No realiza predicciones cuantitativas ni proporciona niveles de confianza. Se utiliza básicamente para obtener distribuciones potenciales, aunque muestra una tendencia a sobreestimar la predicción.

- *DOMAIN* y *LIVES* son métodos basados en distancias ecológicas. Evalúan "nuevos" lugares en términos de su similitud ambiental con los puntos donde ya se conoce la presencia de la especie. Los dos métodos difieren en el planteamiento teórico y los procedimientos de cálculo de similitudes. *LIVES* funciona con un software no liberado públicamente.

- *ENFA (Ecological Niche Factor Analysis)*: este modelo se basa en el concepto de nicho ecológico, calcula las funciones de habitabilidad al comparar la distribución de la especie en un espacio multidimensional de variables eco-geográficas con respecto a las mismas variables en toda el área de estudio.

8.2.1.2 Modelos que utilizan datos de presencia y de "pseudo-ausencias"

Dentro del grupo de modelos de datos de presencia y pseudo-ausencia, se distinguen a su vez dos subgrupos: modelos para una sola especie ("*single species methods*") y modelos de comunidad ("*community methods*").

Modelos para una sola especie ("single species methods"):

Los modelos para una sola especie pueden estar basados en regresiones, algoritmos genéticos o modelos de máxima entropía.

- Modelos de regresión:

  - *Generalised lineal models (GLMs) y Generalised additive models (GAMs)* (Modelos lineales generalizados y modelos aditivos generalizados). Estos modelos de nicho ecológico, se utilizan habitualmente para la modelización de distribución de especies ya que presentan una gran base estadística y tienen capacidad para modelizar de forma realista las relaciones ecológicas. Requieren un elevado número de registros y datos ambientales de calidad, funcionando de forma óptima a escala regional. Los *GLMs* realizan ajustes paramétricos, normalmente con alguna combinación de términos lineales, cuadráticos y/o cúbicos. Los *GAMs* efectúan ajustes no paramétricos suaves, (*"non-parametric, data-defined smoothers"*) para ajustar funciones no-lineales. Debido a su mayor flexibilidad, los *GAMs* modelizan mejor que los *GLMs* las formas de las respuestas ecológicas complejas (Yee & Mitchell, 1991). Probablemente, este tipo de modelos sean los más rigurosos de todos.

- *BRUTO*: proporciona un método rápido para identificar las variables a introducir en el modelo y el grado de suavizado de los *GAMs*. Se usa en ecología desde hace poco tiempo.

- *Multivariate adaptive regression splines (MARS):* proporcionan un método alternativo basado en la regresión para ajustar respuestas no lineales, utilizando ajustes continuos a puntos en lugar de suavizados. Se implementan más rápido que los *GAMs*, y son más simples para usar en aplicaciones de GIS al hacer mapas de predicción. A diferencia del resto de métodos basados en regresión, tratan de modelizar las interacciones, lo que da lugar al modelo *MARSINT*.

- Modelos basados en algoritmos genéticos:

  - Modelos como *DK-GARP y OM-GARP,* que utilizan este tipo de algoritmos para seleccionar las reglas que mejor predicen la distribución de la especie. Estos algoritmos se basan en los procesos de la evolución biológica, en los que se somete a una población de individuos de una especie a acciones aleatorias y a una selección según un criterio elegido que discrimina los individuos mejor adaptados. Funcionan tanto con datos de presencia como de presencia/ausencia, requiriendo un elevado número de registros.

- Modelos de máxima entropía:

  - Por último en este subgrupo de modelos para una sola especie, se tienen los de máxima entropía *(MAXENT y MAXENT-T).* El primero de ellos estima la distribución de las especies encontrando la de máxima entropía (la más cercana a la distribución uniforme) bajo la restricción de que el valor esperado de cada variable ambiental bajo la distribución estimada debe concordar con su promedio empírico.

  - En este subgrupo también se encuadran los *"Boosted regression trees" (BRT), (árboles de regresión).* Se usan porque son buenos para seleccionar las variables más relevantes y pueden modelizar interacciones. El *"boosting"* se usa para vencer las imprecisiones inherentes a usar un único árbol.

Modelos de comunidad ("community methods"):

Con respecto a los modelos de comunidad, éstos usan los datos de las especies de forma distinta a los modelos que trabajan con una sola especie. Se suelen emplear, por ejemplo, para especies raras y por tanto cuya distribución es difícil de modelizar. Definen el modelo usando todos los puntos disponibles para todas las especies de un grupo biológico relevante y asumen ausencia de una especie en los puntos donde no se ha encontrado. De hecho, tratan todos los puntos de presencia para un grupo de especies, como indicadores de ausencia de cualquier especie no recopilada en él.

- *MARS-COMM*: es un ejemplo de este tipo de modelos que proviene del *MARS*. Este modelo permite analizar los datos a nivel de comunidad, es decir, relacionar a la vez la variación en la ocurrencia de todas las especies con predictores ambientales y después estimar coeficientes individuales del modelo para cada especie.

- *GDM, "Generalised dissimilarity models*": modelos de disimilitud generalizados. Modelizan la renovación espacial en la composición de la comunidad entre pares de puntos (o la disimilitud en la composición) como una función de las diferencias ambientales entre estos puntos. Se han aplicado dos versiones, "*GDM*" que es un modelo de comunidad y "*GDM-SS*" que se aplica a una sola especie (no sería en la práctica un *GDM*).

8.2.2 Análisis y discusión sobre los modelos propuestos

El comportamiento predictivo de los posibles modelos a utilizar ha sido evaluado por Elith, J. et. al. (2006) mediante la curva *AUC*, también denominada *Curva ROC* (*Receiver Operating Characteristic curve, o Característica Operativa del Receptor*), que es una curva que mide el acuerdo entre la predicción y los datos de presencia/ausencia de la validación. Esta curva proporciona herramientas para seleccionar aquellos modelos óptimos sobre los menos adecuados, midiendo la capacidad de cada modelo de discriminar entre puntos donde la especie está presente y puntos donde no lo está. Los valores van de 0 a 1 (1 indica discriminación perfecta y menor de 0.5 indica que la discriminación no es mejor que hacerlo aleatorio, es decir que no se obtienen resultados muy dispares si se aplica un modelo que lo hace de manera aleatoria).

La evaluación ofrece resultados muy similares para varios métodos, aunque muestra algunas diferencias en las que destaca la variación de la *AUC*. Se observa que los modelos de datos de presencia pueden proporcionar una base para realizar predicciones precisas (Elith, J. et. al., 2006).

Aunque los valores que toma la *AUC* varían entre 0.07 y 0.97, el 40% de los modelos tiene un valor de *AUC* superior a 0.75 y el 90% mayor de 0.5. Se dividen por tanto los modelos en tres grupos según el resultado de la evaluación del comportamiento predictivo:

- Primer grupo: incluye los modelos *MARS-COMM*, los árboles de regresión, los *GDM*, los *GDM-SS*, *MAXENT* y *MAXENT-T*. Todos estos modelos tendrían un buen comportamiento predictivo y serían los que mejor resultado diesen.

- Segundo grupo: está formado por los modelos que presentan un comportamiento predictivo intermedio, *GAM* y *BRUTO*, *GLMs*, *MARS* y *OM-GARP*.

- Tercer grupo: se comportarían un poco peor; es el formado por *BIOCLIM*, *LIVES* y *DOMAIN*, *DK-GARP* y *MARS-INT*.

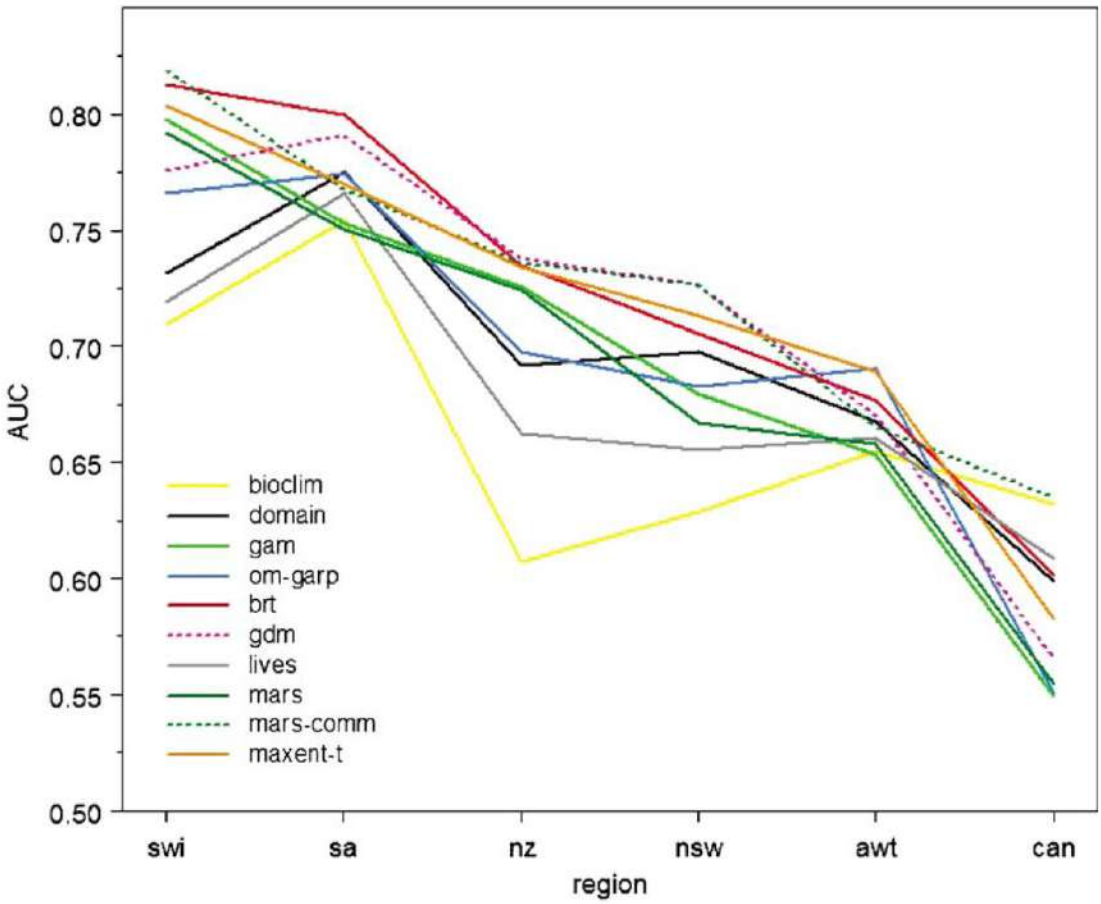


Figura 68. AUC aplicando distintos modelos de distribución para 6 regiones diferentes del mundo (Elith et. al., 2006)

Al analizar los resultados por regiones, se observa que en algunas de ellas existen diferencias relativamente grandes en los valores de *AUC* para los distintos métodos, mientras que en otras las diferencias son menores (Figura 68). Sin embargo, el comportamiento de los métodos es relativamente consistente en las distintas regiones. Los modelos pertenecientes al grupo que tiene las mejores evaluaciones son relativamente fiables en todas las regiones. También aparecen algunas excepciones al comportamiento de los modelos, como por ejemplo ocurre en Canadá donde el modelo *BIOCLIM* se presenta como uno de los mejores (Figura 68).

En dicho trabajo también se muestran varios ejemplos de mapas de distribución obtenidos con la aplicación de distintos modelos (Figura 69) observándose diferencias notables en la proporción de la región que resulta más adecuada para la distribución de las especies.

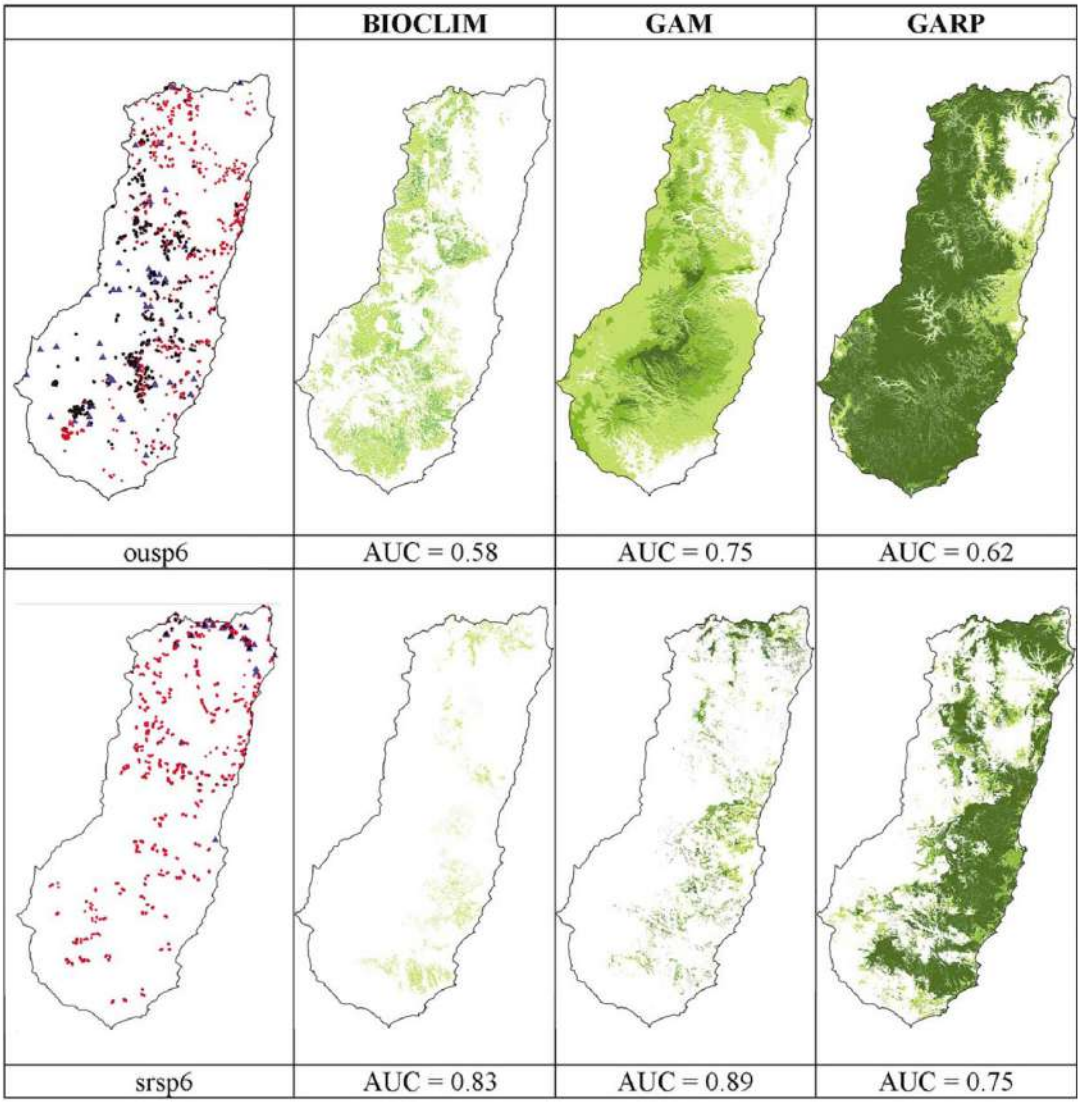


Fig. 1. Maps for two species from NSW for each of three selected techniques. Details: ousp6, *Poa sieberiana* (53 records for modelling and 512 presence/797 absence for evaluation); srsp6 *Ophioscincus truncatus* (79 model, 74/932 eval). The first column shows modelling sites (grey triangles) and evaluation sites: presence = black circle, absence = black cross.

Figura 69. Se muestra un ejemplo representativo de la variación en los mapas obtenidos de distribución de dos especies vegetales aplicando tres tipos diferentes de modelos: BIOCLIM, GAM y GARP. Se indican los valores obtenidos con la curva AUC (tomado de Elith et al., 2006).

Aparentemente existe bastante variación en la magnitud del comportamiento de los distintos modelos especie a especie, aunque las tendencias generales son en la mayoría de los casos similares. Hay algunas especies que se predicen bien (o mal) por la mayoría de los modelos, mientras en otras existe mucha variación entre los métodos. Se ha observado en los análisis realizados que el comportamiento predictivo no varía mucho en función del número de registros de presencia disponibles. Las especies “raras” con una distribución geográfica más restringida y con mayores exigencias ambientales se modelizan con mayor precisión que las más comunes o generalistas.

Hay que destacar dos aspectos importantes en el estudio mencionado. En primer lugar, que los datos de solo-presencia son perfectamente válidos para modelizar la distribución de las especies. En segundo lugar, que los modelos más recientes (BRT, MAXENT, GDM y MARSCOMM), que se aplican desde hace poco tiempo a la modelización de la distribución de las especies, suelen dar mejores resultados que los métodos tradicionales. Los *"community methods"* también dan resultados bastante aceptables. Dentro de los métodos comunes los que usan "pseudos-ausencias" y los que ponderan las variables predictoras suelen dar mejor resultado que los que usan solo datos de presencia como *BIOCLIM, LIVES, DOMAIN o ENFA*. El estudio recomienda no utilizar métodos que no intenten caracterizar la distribución de la especie con respecto a las condiciones medioambientales donde se encuentran las ocurrencias. Finalmente, los métodos basados en la regresión son muy similares en cuanto a comportamiento predictivo se refiere.

Los resultados de este trabajo concuerdan con los de otros trabajos e indican que las técnicas no-lineales como *GAMs* o *MARS* son comparables en términos de su capacidad predictiva, además estas técnicas dan a menudo resultados algo mejores que otros métodos más tradicionales. Por otro lado, comparaciones de métodos que usan datos solo de presencia muestran que los *GLMs* y *GAMs* generalmente superan en comportamiento predictivo a métodos más simples (Ferrier & Watson, 1997; Brotons et al., 2004) y que algunos métodos de solo-presencia como *DOMAIN* y *ENFA* (*Ecological Niche Factor Analysis*) (Hirzel et al. 2002) tienen algunas ventajas sobre *BIOCLIM* (Loiselle et al. 2003). BIOCLIM tiende a ser demasiado "permisivo" en sus predicciones, pues considera a las variables ambientales de forma individual, en vez de como una combinación de todas ellas (Hirzel & Arlettaz, 2003a).También destacan en ese trabajo (Elith et. al., 2006) que los métodos nuevos, como los *BRT* o los *modelos de máxima entropía*, tienen comportamientos muy buenos y en muchas ocasiones superan a los métodos más convencionales.

Un aspecto analizado es si los métodos que dan mejores resultados tienen alguna característica común, destacándose que todos ellos son bastante flexibles y algunos de ellos modelizan bien las interacciones entre variables (Elith et. al., 2006). En resumen, parece que su buen comportamiento se debe a que poseen una gran capacidad para ajustar respuestas complejas y seleccionar variables predictoras relevantes. Sin embargo el ajustar bien respuestas complicadas no es suficiente, además el modelo debe ser ecológicamente realista (Austin, 2002).

La tendencia de buen comportamiento predictivo en los métodos nuevos (*BRT, MAXENT, GDM* y *MARSCOMM*), como se ha dicho antes, también se aprecia a nivel regional (Elith, J. et. al., 2006). En algunas regiones donde el comportamiento general de todos los métodos es bueno, los métodos MARS-COMM, BRT, GDM, GDM-SS, MAXENT y MAXENT-T (aquellos con el valor más alto de AUC,) siguen siendo los mejores. Sin embargo, en regiones donde se predice en general peor sin una clara causa, dichos modelos continúan mostrando un éxito moderadamente más alto que el resto, aunque el hecho de que se prediga peor, también les afecta.

Otra conclusión a destacar es que las especies especialistas (más restrictivas) tienen mejores valores de *AUC* que las generalistas (Guisan y Hofer, 2003; Segurado y Araújo, 2004; Thuiller et al., 2004; Luoto et al., 2005; Elith, J. et. al., 2006). Sin embargo, hay que observar esto con precaución, ya que los resultados también dependen de la extensión espacial del análisis.

Por otro lado, también se hace hincapié en que un buen comportamiento de los modelos de predicción en la actualidad no garantiza necesariamente que los mismos modelos funcionen

bien en el futuro (es decir, bajo la influencia del cambio climático). Esto es particularmente importante cuando sea necesario predecir fuera de los rangos ambientales que se barajan en la actualidad (Araújo et al., 2005). Por ejemplo, los *"Community-models"* podrían fallar si los patrones actuales de coexistencia de las especies cambiarán debido a las respuestas propias de cada especie a las modificaciones ocasionadas por el cambio climático. Hay que tener también muchas precauciones cuando las predicciones sean para puntos lejanos geográficamente de donde están los puntos con los que se ha calibrado el modelo, ya que podrían producirse errores debido a la diferencia de condiciones ambientales o a variaciones de escala (Elith et. al., 2006). También puede ocurrir que cuando los datos de calibración y validación no sean suficientemente independientes, las evaluaciones del modelo sean demasiado optimistas (Araújo et al., 2005).

Aunque los modelos de datos de presencia realizan buenas predicciones y son útiles para evaluar si en cierto espacio podría vivir determinada especie, la predicción podría resultar menos precisa en lo referente a la probabilidad de presencia debido a que no exista información fiable de la frecuencia de ocurrencia de las especies en las regiones, lo que afectaría a la calibración del modelo.

Por último, es preciso mencionar que el análisis de Elith, J. et. al. (2006) no resuelve todos los interrogantes que surgen al plantear la aplicación de los modelos. Para seguir avanzando en el análisis de las ventajas e inconvenientes de los métodos, se requiere un mayor esfuerzo en investigación teórica (Austin, 2002), trabajando con datos simulados (Austin et al., 1995), analizando las formas de las respuestas modeladas (Austin et al., 1994: Bio, 2000; Leathwick, 2002) y evaluando las tendencias espaciales en los errores (Fielding & Bell, 1997; Barry & Edith in press, 2006).

8.3 CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL MÉTODO MÁS ADECUADO

Al establecer los criterios para la selección del método más adecuado se ha considerado oportuno considerar el *Principio de parsimonia*, que postula la elección de la hipótesis más sencilla entre varias hipótesis concurrentes. En España es la primera vez que se propone la aplicación de estos modelos a las comunidades de macroinvertebrados bentónicos fluviales en zonas geográficas extensas, por lo que se estima oportuno el aplicar modelos que en sí no sean muy complejos. Como ya se ha comentado anteriormente, no existe un modelo mejor que otro, siendo lo ideal el poder aplicar varios de ellos para analizar las posibles similitudes y diferencias.

Para una primera aproximación, en base al análisis y discusión sobre los posibles modelos a utilizar y en función de los datos disponibles, debido a su simplicidad y facilidad de implementación, se ha decidido aplicar como método más representativo los *GLMs.* No obstante, tal y como se ha recomendado en el apartado anterior, es conveniente aplicar varios modelos y comparar los resultados obtenidos. Los *"Community-models"* quedan descartados para esta opción, por su posible falta de robustez para modelizar la influencia del cambio climático, ya que la estructura de la comunidad podría cambiar debido al efecto del mismo. Como modelo alternativo y complementario a los *GLMs* se ha escogido uno que utiliza solo datos de presencia: el *ENFA* (*Ecological Niche Factor Analysis*). La propuesta de elección se debe también al tipo de datos existentes en las redes de seguimiento biológico de las cuencas en España y además, como se ha mencionado antes, dentro de los modelos que utilizan solo datos de presencia, el *ENFA* muestra un comportamiento óptimo (Hirzel et al., 2002). Existen

ya algunos trabajos que comparan el *ENFA* y los *GLMs* (Olivier & Wotherspoonb , 2006), donde se enfatiza el papel que puede desempeñar este modelo como punto de partida para categorizar la disponibilidad de hábitats previo a la aplicación de los GLMs.

8.3.1 GLMs (Modelos Lineales Generalizados)

Los modelos lineales generalizados, *GLMs*, y los modelos aditivos generalizados, *GAMs*, han venido empleándose en los últimos años en la investigación ecológica sobre las distribuciones de los diferentes taxones biológicos debido en parte a su sencillez de uso, y a sus características intrínsecas propias, que hacen que puedan lidiar bien con multitud de relaciones ecológicas entre diferentes variables. Se propone utilizar *GLMs* debido a que son algo más sencillos que los *GAMs*.

Estos modelos son extensiones matemáticas de los modelos lineales que no fuerzan los datos hacia relaciones antinaturales, sino que permiten relaciones de no linealidad y de no constancia en los datos. Están basados en relaciones previamente asumidas entre la variable respuesta y las variables predictoras. Una gran ventaja de estos modelos es que la distribución originaria de los datos no tiene por qué ser únicamente normal, sino que pueden seguir otras distribuciones aparte de la Normal (podría ser Binomial, Poisson, Binomial negativa, Gamma, etc.). En este sentido, los *GLMs* y *GAMs* son lo suficientemente flexibles como para adecuarse a las relaciones ecológicas que habitualmente se encuentran en los datos.

El principal objetivo de cualquier modelo predictivo en ecología es el de aportar una base matemática para interpretar y examinar la relación entre las distintas variables o la contribución de las diferentes variables al modelo en sí. Los *GLMs* están dentro del grupo de modelos predictivos que aportan al usuario una relación estadística entre la variable respuesta y una serie de variables predictoras con el fin de usarla, como es el caso de este trabajo, en la predicción futura de la ocurrencia o no de especies bajo diferentes escenarios de cambio climático. El principio de parsimonia también es aplicable en la mayor parte de estos modelos.

Implícitamente a la aplicación de los *GLMs* para estimar la probabilidad de distribución en el futuro de los diferentes taxones, se encuentra el pseudoequilibrio que existe ente los organismos y las variables ambientales que definen su distribución. Como consecuencia de ello, el uso de estas técnicas para identificar los factores ambientales que determinan la distribución de taxones que estén actualmente ampliando su área de distribución, o que estén sufriendo algún cambio en su distribución geográfica, puede llevar a obtener resultados sesgados. En este sentido, estos modelos claramente trabajan con el *nicho específico* de los taxones y no con el *nicho fundamental* de los mismos. Además, estos modelos incorporan implícitamente interacciones bióticas y efectos estocásticos negativos que pueden variar de unas regiones a otras. Ello quiere decir que estos modelos pueden ser difíciles de comparar entre unas regiones y otras a pesar de estar realizados con los mismos taxones. Como consecuencia de ello, puede suceder que la capacidad predictiva de los mismos sea, a veces, menor de lo esperado.

Los *GLMs* son una extensión de los modelos lineales (regresión, ANOVA y ANCOVA). Los modelos lineales se basan en que los errores se distribuyen normalmente, la varianza es constante, y la variable respuesta se relaciona linealmente con la(s) variable(s) independiente(s). Sin embargo, a veces uno o varios de estos supuestos no se cumplen. Algunos autores (Cayuela, 2009) aconsejan utilizar *GLMs* cuando la variable respuesta sea un conteo de casos, es decir datos discretos (por ejemplo la abundancia de una especie); un conteo de casos expresados como proporciones; o una respuesta binaria (por ejemplo enfermo

o sano). Por tanto, como en este trabajo la variable predictora es la abundancia, se pueden aplicar los *GLMs*. En este caso, el supuesto de los modelos lineales que no se suele cumplir, es que la varianza es constante, ya que al tener la variable respuesta muchos ceros y también números enteros, podría suceder que la varianza aumente linealmente con la media. Por otro lado, al ser la abundancia una variable discreta y no continua, no se puede asumir directamente que la variable respuesta y el error vayan a seguir una distribución Normal, que es en lo que se basan los modelos lineales. Otra razón por la que un modelo lineal puede no ser adecuado, es que la relación entre la variable respuesta y las predictoras no sea lineal. Esto se arregla con las funciones vínculo de los *GLMs* que permiten por tanto linealizar la relación entre la variable respuesta y las variables predictoras mediante la transformación de la variable respuesta (Cayuela, 2009)**.**

En la construcción de los *GLMs* hay que determinar cuál es el modelo más adecuado y que explique la mayor parte de la variabilidad de los datos. Los pasos que hay que seguir para construir y evaluar un *GLM* propuestos por Cayuela (2009) son los siguientes:

1. **Exploración de los datos**. Comprende el conocimiento y descripción de los datos. Se suelen utilizar herramientas gráficas que ayuden a conocer la relación entre la variable respuesta y las variables independientes (box-plot, histogramas, gráficos de dispersión,…). Una vez explorados los datos, se buscan posibles relaciones entre la variable respuesta y las predictoras, transformando alguna variable si fuera necesario y también eliminando las variables que estén correlacionadas, ya que no aportarán más información al modelo e incluirán ruido en él.

2. **Elección de la estructura de errores y la función de vínculo**. Es recomendable comparar diferentes funciones de vínculo y ver cuál se ajusta mejor a los datos (mejor linealiza la relación entre la variable respuesta y las variables independientes).

3. **Ajuste del modelo a los datos**. Hay que tener en cuenta dos aspectos:

   a) Los tests de significación para los estimadores del modelo: si alguna variable no sale significativa se debe desechar.

   b) La cantidad de varianza explicada por el modelo. Esto en los *GLMs* se conoce como devianza, D^2, y nos da idea de la variabilidad de los datos. Para obtener una medida de esta variabilidad que explica el modelo, hay que comparar la devianza del modelo nulo con la devianza residual de nuestro modelo.

4. **Análisis de los residuos**. Conviene hacer un histograma de los residuos que ayuda a ver como están distribuidos los mismos, un gráfico de los residuos (eje *x*) y los valores estimados (eje *y*) para ver si el modelo es lineal, si la varianza es o no constante, y si hay o no valores atípicos. También es conveniente un gráfico probabilístico (*q-q* plot) o un test de Kolmogorov-Smirnov para ver si los residuos siguen una distribución Normal. Incluso se podrían hacer gráficos de los residuos (eje *x*) y las variables explicativas (eje *y*) para ver si la falta de linealidad o la heterocedasticidad (varianza no constante) es debida a alguna variable explicativa, gráficos de los residuos frente al tiempo (u orden de medida) para detectar cambios sistemáticos en el muestreo o gráficos de valores atípicos. Existen tests que permiten detectar valores atípicos (uno de los índices más comunes es el de Cook).

5. **Simplificación del modelo**. Siempre que se pueda, se debe hacer el modelo lo más sencillo posible (principio de parsimonia), aunque considerando que la simplicidad no debe afectar a la variabilidad explicada por el modelo.

En la evaluación de los modelos se propone utilizar la reducción de la devianza como una medida del ajuste del modelo a los datos o el Criterio de Información de Akaike (*AIC* de *"Akaike Information Criterion"*), que evalúa el ajuste del modelo a los datos y la complejidad del modelo (Cayuela, 2009). También es útil revisar los niveles de significación de las variables predictoras.

El modelo puede implementarse en el software estadístico R (R Development Core Team, 2011), mediante la función "*glm*". Dentro de los *GLMs,* considerando el objetivo de este trabajo, la mejor manera de modelizar datos de conteo en R es utilizar un *GLM* con una distribución de errores de tipo Poisson (indicando en la función "glm", family = poisson y link = log). La función de vínculo logarítmica asegura que los valores predichos sean positivos, y la distribución de errores tipo Poisson tiene en cuenta que los datos son enteros y que la varianza aumenta proporcionalmente con la media.

8.3.2 ENFA (Ecological Niche Factor Analysis)

Parte de los modelos que utilizan datos de presencia se pueden englobar dentro de los *BEMs* (*Bioclimatic Envelope Models,* o en castellano, *Modelos de Envolvente Bioclimática*). Existen tres principales limitaciones de estos modelos: 1. Ignoran las interacciones entre las distintas especies. 2. No consideran los posibles cambios evolutivos de los organismos. 3. No contemplan las capacidades de dispersión. El problema para vencer a este tipo de limitaciones es que la disponibilidad de esta información es también muy limitada o nula, aunque hay que destacar que en la actualidad la comunidad científica está avanzando en precisión y fiabilidad. Además se están incorporando nuevas variables ambientales a estos modelos, como por ejemplo es el caso del modelo *SPECIES,* en el que se tienen en cuenta los tipos de suelo y consideraciones de tipo fisiológico.

Dentro de esta familia de los BEMs, están los modelos conocidos como de "hábitat *idóneo*" y que se caracterizan además por su simplicidad. El objetivo de los mismos es encontrar el hábitat idóneo de las distintas especies. Se basan en el concepto de nicho ecológico de Hutchinson y tratan de predecir la presencia de una especie (en nuestro caso familia) basándose en predictores ecogeográficos. En una dimensión (es decir, con un solo predictor), esto significaría que encuentran el rango óptimo que permite que la especie subsista.

El hecho de que dentro de estos modelos haya algunos métodos que no necesiten datos de ausencia es una ventaja porque muchas veces los datos de ausencia no constituyen ausencias reales. Como se ha dicho antes, al muestrear no es posible visitar el lugar de muestreo de forma sistemática, por ello, es muy común que quede la duda de si no se ha encontrado un taxón determinado porque realmente no aparece en ese punto de muestreo o porque no se ha visitado el punto lo suficiente como para encontrarlo.

Los modelos de hábitat idóneo que no requieren datos de ausencia, para predecir se basan en la densidad de los puntos donde hay presencia de la especie dentro del espacio ambiental; intuitivamente esta densidad está relacionada con la idoneidad del envoltorio. Existen distintos métodos para modelizar la densidad: método de la media geométrica, o de la mediana, entre otros. El espacio ambiental se representa por medio de una serie de variables seleccionadas, selección que puede realizarse a partir del criterio de un experto o puede provenir de los ejes

de un análisis factorial realizado previamente sobre el conjunto de todas las variables de las que se disponen datos. El problema de usar todas las variables a la vez es que estén correlacionadas, lo que no resulta adecuado en estadística ya que constituye una incorporación de ruido dentro de los modelos. En cambio, los factores resultantes de un análisis factorial son ortogonales, o lo que es lo mismo, incorrelados, y por tanto no incorporan ese ruido.

Por todas las ventajas mencionadas en los párrafos anteriores, se considera conveniente aplicar modelos de hábitat idóneo que no requieran datos de ausencia para alcanzar los objetivos generales del trabajo.

Dentro de estos modelos, se considera el modelo *ENFA* (*Ecological Niche Factor Analysis*) como el más adecuado para los objetivos de este trabajo. Este modelo fue creado por Hirzel et al. (2002). El *ENFA* comienza resumiendo las variables del espacio ambiental en factores (es decir, aplicando un análisis factorial). El hecho de comenzar con análisis factorial evita ya el problema de que el modelo se vea afectado por las interacciones o combinaciones de las variables predictoras. La particularidad del *ENFA* es que estos factores tienen "significado ecológico". El primer factor resultante del análisis factorial explica la marginalidad de la especie (en nuestro caso familia), es decir, cuánto se diferencian las condiciones de los lugares donde aparece la especie (familia) de las condiciones medias del área de estudio. El resto de factores explican la "especialización", esto es, cómo es de selectiva la especie (familia). Los factores obtenidos a partir del análisis factorial explican la misma cantidad de variabilidad que las variables predictoras, sin embargo no es necesario trabajar con todos los factores porque los primeros explican la mayoría de la variabilidad. Normalmente es suficiente trabajar con un número reducido de factores. Este hecho también constituye una ventaja del modelo ya que reduce la dimensión del trabajo, facilitando la tarea.

Si se poseen datos del territorio de trabajo en una cuadrícula (información ráster), cada celda de la cuadrícula puede representarse como un punto en el espacio multidimensional de factores. Para ello habría que medir las variables predictoras en esa cuadrícula y a partir de esos valores representar el punto en dicho espacio multidimensional. Cuando estas variables tienen distribución multinormal, el espacio ambiental tiene forma de elipsoide y las celdas con presencia de la especie (familia) forman un elipsoide más pequeño dentro del global (Figura 70).

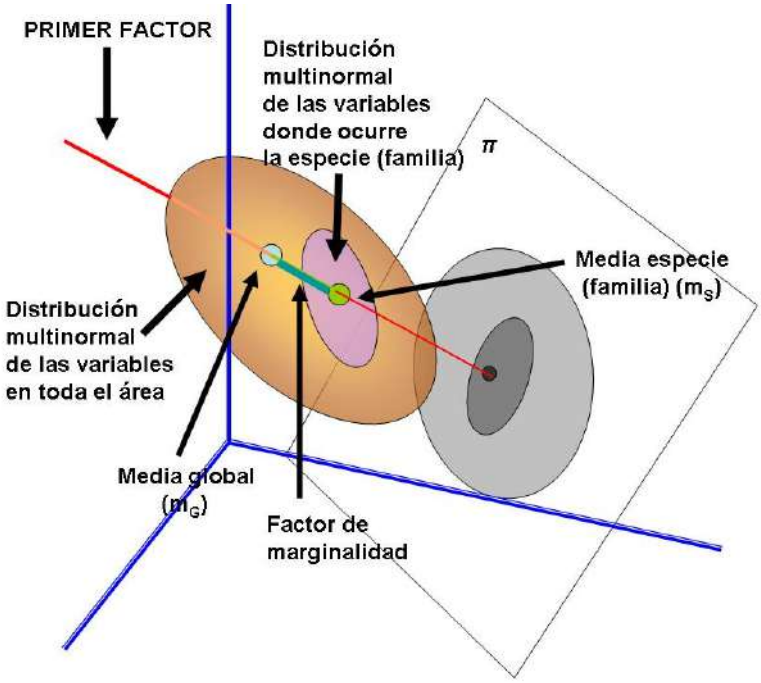


Figura 70. Interpretación geométrica del ENFA (según Hirzel et. al., 2002)

Como se puede observar en la figura anterior, los dos elipsoides (tanto el que representa el espacio ambiental como el que representa las celdas donde hay presencia) se proyectan en un hiperplano perpendicular al factor de marginalidad, con lo que queda asegurado que los siguientes factores sean incorrelados (ortogonales). El primer factor de especialización se obtiene calculando el eje que maximiza el cociente de la varianza global y la varianza de la especie. Los siguientes factores se obtienen repitiendo el mismo proceso; en cada paso se pierde una dimensión y la cantidad de especialización explicada por cada factor es menor que la que explica el factor anterior, por ello los primeros factores suelen contener la mayoría de la información. Con este tipo de métodos se obtiene una salida gráfica que divide el territorio en distintos grupos, según si es "muy" probable que viva la especie, si es probable, o si no lo es.

En la figura 71 se muestra un ejemplo real de una salida del *ENFA* para la distribución del ibex alpino (*Capra ibex*) en Suiza (Hirzel *et al.*, 2002). En la ampliación de una sección del mapa, puede observarse cómo la mayor parte de la zona de presencia real de la especie (zona inferior derecha de la figura) es modelizada (zona inferior izquierda de la figura), aunque una pequeña "mancha" modelizada no se encuentra ocupada por la especie. El motivo podría ser un mayor aislamiento de esa zona o una superficie demasiado pequeña para ser viable su ocupación en la realidad.

La modelización con ENFA se realiza habitualmente mediante el software BIOMAPPER (Hirzel et al., 2002), que realiza un análisis similar a un análisis de componentes principales.

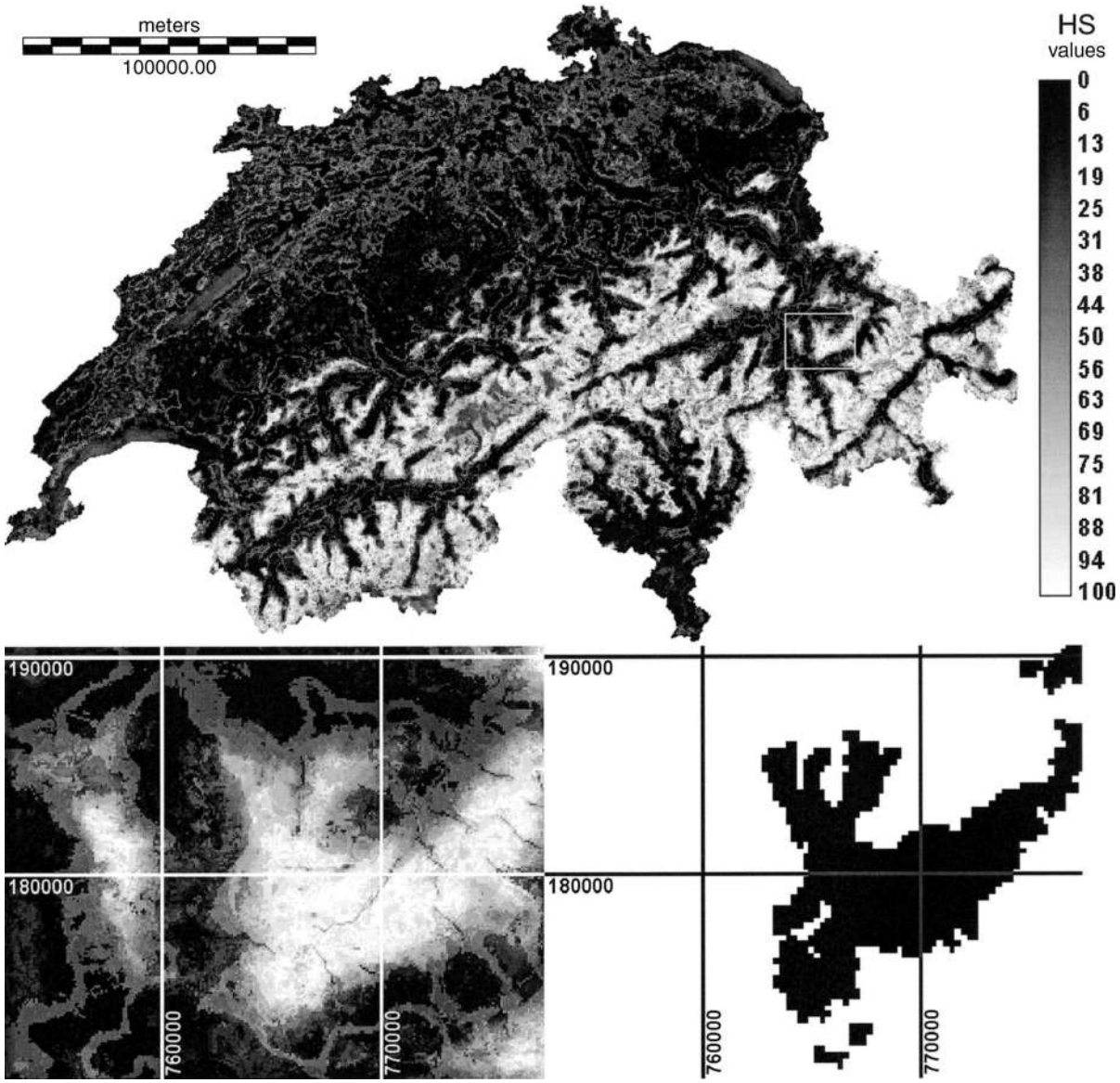


Figura 71. Mapa de hábitat idóneo de *Capra ibex* en los Alpes suizos, aplicando el modelo ENFA (tomado de Hirzel et al., 2002). La escala de la derecha muestra la disponibilidad de hábitat. El mapa con cuadrículas negras de la zona inferior derecha representa la distribución real de la especie, y el pequeño de la zona inferior izquierda la superficie de ocupación modelizada.

8.4 CONCLUSIONES

Tras revisar los posibles modelos de distribución de especies actuales, utilizando como base la revisión efectuada en el trabajo "*Novel methods improve prediction of species distributions from occurrence data"* (Elith. et. al., 2006), se concluye que los modelos *GLMs* proporcionan mejores resultados que los métodos de solo presencia, además de consistir en una metodología simple de más fácil aplicación, pudiendo utilizarse el software estadístico R (R Development Core Team, 2011). No obstante, la utilización conjunta de modelos GLM con un

modelo ENFA puede proporcionar una información más clara para analizar la incertidumbre en las predicciones cuando solo se dispone de datos de presencia, por lo que se propone la aplicación del modelo ENFA como complemento y test de cara al tipo de información del que se dispone para todo el territorio nacional de forma homogénea (datos de solo presencia).

En este caso de estudio piloto en la cuenca del Júcar, en el que se dispondría de datos de abundancias, para aplicar el modelo con el fin de estudiar el posible efecto del cambio climático en la distribución de especies en escenarios futuros, se ha de tomar como variable respuesta el dato de abundancia de cada una de las familias de macroinvertebrados bentónicos en cada uno de los diferentes puntos de la red biológica del Júcar.

Como variables independientes o predictoras, además de la temperatura del agua (obtenida a partir de los modelos de transferencia agua/aire comentados en la sección 7) y los caudales mensuales estimados en ese mismo punto de la red biológica, se debería analizar la posibilidad de incorporar otras variables (Ej.: temperatura media anual del agua, temperatura máxima del agua del mes más cálido, temperatura mínimo del agua del mes más frío, la amplitud térmica, aportación anual, etc.).

Una vez que se hayan definido las variables independientes, se aplicará el modelo para obtener en los diferentes escenarios y horizontes (2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100) los mapas de distribución de los macroinvertebrados bentónicos en la cuenca del Júcar, trabajando a escala taxonómica de familia. Estos resultados permitirán calcular el estado ecológico en cada escenario futuro y detectar el posible efecto del cambio climático sobre el mismo. Igualmente, se podrá determinar si se debe proceder a una redefinición de las condiciones de referencia para cada tipología de masas de agua considerando la influencia del cambio climático, así como los límites entre clases de estado ecológico.

9. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS TIPOLOGÍAS

9.1 INTRODUCCIÓN

En 2005, el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, con la colaboración de las Confederaciones Hidrográficas y Administraciones Hidráulicas, elaboró una propuesta de clasificación y caracterización de los tipos de ríos y lagos conforme a lo establecido en la DMA. Para ello, se realizó un estudio de las diferentes variables ambientales a considerar y se emplearon diferentes técnicas de clasificación, excluyendo aquellas variables que pudiesen estar relacionadas con el impacto de actividades humanas. En la caracterización y definición de las tipologías, así como para el establecimiento de sus condiciones de referencia, no se consideró la posible influencia futura del cambio climático.

La evaluación del efecto del cambio climático en el estado ecológico de las masas de agua, conlleva el análisis de la posible repercusión del impacto en las variables que caracterizan las tipologías y que son susceptibles de verse afectadas por cambios en el clima, así como en las condiciones de referencia de dichas tipologías. Con el objetivo de mantener al mínimo el número de masas de agua cuya asignación a una tipología u otra pudiera resultar ambigua, es imprescindible la utilización de técnicas estadísticas adecuadas (clustering u otras técnicas multivariantes) en la posible reasignación de masas a tipos de forma que reflejen fielmente la singularidad natural de cada tipología. Si como resultado de los efectos del cambio climático el tipo ecológico de determinadas masas de agua debe cambiar, estas masas deben reasignarse a la tipología adecuada y aplicárseles las correspondientes condiciones de referencia (European Commission, 2009).

El Documento Guía nº 24 ("River Basin Management in a Changing Climate"; EC, 2009) elaborado por la Comisión Europea dentro de la estrategia de implementación de la DMA, recomienda evaluar el riesgo y la extensión que podría conllevar el desencadenamiento de transiciones entre categorías y tipos de masas de agua como consecuencia del cambio climático. Asimismo, recomienda establecer un seguimiento más intensivo en aquellas masas de agua más vulnerables para entender mejor el ritmo y los mecanismos de cambio, utilizando estas masas como centinelas del cambio climático. Como respuesta a esta necesidad, se desarrolla una metodología que permite evaluar el número de masas de agua susceptibles de ver modificada su asignación a una tipología en concreto y detectar aquellas tipologías más sensibles a los posibles efectos del cambio climático, mediante el estudio de la respuesta de las variables más sensibles a cambios en el clima en los diferentes escenarios futuros.

En este apartado se presenta el avance del estudio de aplicación de dicha metodología en los ríos de la cuenca del Júcar. Para ello, se han realizado los siguientes pasos:

- Selección de las variables de caracterización de tipos más sensibles al cambio climático (afectadas por temperatura y precipitación).
- Predicción de las variables seleccionadas en los diferentes escenarios climáticos para cada masa de agua.
- Análisis del riesgo de las masas de agua de la categoría ríos en la cuenca del Júcar de no cumplir los límites de dichas variables para la tipología a la que pertenecen.

9.2 METODOLOGÍA

9.2.1 Selección de las masas de agua

En la cuenca del Júcar existen 269 masas de agua de la categoría río (datos de la Confederación Hidrográfica del Júcar a fecha de realización del informe) repartidas entre las siguientes tipologías:

- tipo 5 "Ríos manchegos" 19 masas
- tipo 9 "Ríos mineralizados de media-baja montaña mediterránea" 112 masas
- tipo 10 "Ríos mediterráneos con influencia cárstica" 5 masas
- tipo 12 "Ríos de montaña mediterránea calcárea" 56 masas
- tipo 13 "Ríos mediterráneos muy mineralizados" 15 masas
- tipo 14 "Ejes mediterráneos de baja altitud" 7 masas
- tipo 16 "Ejes mediterráneos-continentales mineralizados" 15 masas
- tipo 17 "Grandes ejes en ambiente mediterráneo" 12 masas
- tipo 18 "Ríos costeros mediterráneos" 28 masas

La siguiente tabla muestra las masas de agua asignadas a cada tipología (se indica el código de cada una de ellas establecido por la Confederación Hidrográfica del Júcar).

TIPO 5 " Ríos manchegos"	TIPO 9 " Ríos mineralizados de media-baja montaña mediterránea"		TIPO 10 "Ríos mediterráneos con influencia calcárea"
18.07.01.01	01.01	16.01	28.01
18.07.02.01	01.03	16.02	28.02
18.09.01.01	01.04	16.03	28.02.01.02
18.12.01.01	01.05	16.04	28.02.01.03
18.12.01.02	03.01	18.16.02.01	28.03
18.12.01.03	03.02	18.20.01.01	TIPO 16 " Ejes mediterráneos de baja altitud"
18.14.01.03	05.01	18.20.01.02	
18.14.01.03.01.02	05.02	18.20.02.01	
18.14.01.04	07.01	18.21.01.10.01.01	18.08
18.14.01.05	07.02	18.21.01.10.01.02	18.09
18.14.01.06	10.06	18.21.01.10.02.01	18.10
18.14.01.07	10.06.01.01	18.25.01.01	18.11
18.15.01.01	10.06.02.01	18.25.01.02.01.01	18.12
18.15.01.02	10.06.03.01	18.25.01.02.02.01	18.13
18.15.01.02.01.01	10.07	18.28.01.01	18.14
18.16.01.01	10.07.01.01	18.28.01.02	18.15
32.01	10.07.02.02	18.28.01.02.01.01	18.16
32.03	10.07.02.03	18.28.01.02.01.02	18.17
33.01	10.07.02.04	18.29.01.01	18.18
TIPO 12 " Ríos de montaña mediterránea calcárea"	10.08	18.29.01.02.01.01	18.20
	10.10	18.29.01.03	18.21.01.08
	10.11	18.29.01.04	18.21.01.09
10.01	10.12	18.29.01.04.01.01	18.21.01.10
10.02	10.12.01.01	18.29.01.04.01.01.01.01	TIPO 17 " Grandes ejes en ambiente mediterráneo"
10.03	10.12.01.02	18.29.01.04.02.01	
10.03.01.01	10.12.01.02.01.01	18.29.01.05	
10.03.02.01	10.12.01.02.01.01.01.01	18.30.01.01	18.24
10.03.03.01	10.12.01.02.01.02	18.30.01.02	18.26

10.04	10.12.01.03	18.31.01.01	18.27
10.04.01.01	10.12.01.03.01.01	18.31.01.02	18.28
10.07.02.01	10.12.01.04	18.32.01.01	18.29
15.01	10.12.01.04.01.01	18.32.01.02	18.30
15.01.01.01	10.12.01.04.01.03	18.32.01.03	18.31
15.02	10.12.01.06	18.32.01.04	18.32
15.04	13.01	18.32.01.05	18.33
15.04.01.01	13.02	18.32.01.05.01.01	18.34
15.04.01.02	13.03	18.32.01.07	18.35
15.05	13.05	18.32.01.08	18.36
15.06	13.05.01.01	18.32.01.08.01.01	**TIPO 18 " Ríos costeros mediterráneos"**
15.06.01.01	13.06	18.32.01.08.01.02	
15.06.02.01	13.08	18.32.01.09	
15.07	13.09	18.32.01.09.01.01	02.01
15.07.01.01	14.01	18.32.01.10	04.01
15.08	14.02	18.32.01.11	06.01
18.01	15.09	18.32.01.12	07.02.01.01
18.02	15.10.01.01	21.01	08.01
18.04	15.11	21.02	09.01
18.05	15.12.01.01	21.03	09.02
18.05.01.01	15.12.01.02	21.03.01.01	11.01
18.05.02.01	15.12.01.02.01.01	21.05	12.01
18.05.03.01	15.13	21.05.01.01	17.01
18.05.03.02	15.13.01.01	21.06	17.02
18.05.03.03	15.13.01.03	21.07	19.01
18.06	15.14.01.01	21.08	19.02
18.06.01.01	15.14.01.02		20.01
18.07.03.01	15.14.01.02.01.01		21.07.01.01
18.07.04.01	15.14.02.01		21.07.01.02
18.07.04.02	15.14.02.02		22.01
18.07.04.03	**TIPO 13 " Ríos mediterráneos muy mineralizados"**	**TIPO 14 " Ejes mediterráneos de baja altitud"**	23.01
18.14.01.01			24.01
18.14.01.02			25.01
18.14.01.03.01.01	30.01	10.13	25.02
18.21.01.01	30.03	15.14	26.01
18.21.01.02	30.03.01.01	15.15	27.01
18.21.01.03	30.04	15.16	27.02
18.21.01.03.01.01	30.05	15.17	29.01
18.21.01.03.01.01.01.01	31.01	15.18	29.02.01.01
18.21.01.04	31.02	15.19	29.03
18.21.01.05	31.03		29.04
18.21.01.06	31.04		
18.21.01.06.01.01	31.05		
18.21.01.06.01.01.01.01	31.06		
18.21.01.06.01.02	31.07		
18.21.01.06.01.02.01.01	31.08		
18.21.01.07.01.01	31.09		
18.21.01.07.02.01	31.10		
18.21.01.07.02.02			
18.21.01.07.02.03			

Tabla 12. Clasificación por tipologías de las masas de agua de la cuenca del Júcar de la categoría río.

La capa con las masas de agua que actualmente están declaradas ha sido proporcionada por la Confederación Hidrográfica del Júcar en formato vectorial. Sin embargo, para poder emplear HIDROCARTO se ha requerido transformar mediante la aplicación ArcGis 9.3.1 cada una de las masas de agua a un formato de puntos, puesto que los datos de entrada para las variables van a aplicarse a las coordenadas de cada uno de los puntos.

Para ello, se ha tomado como criterio de resolución de los puntos que van a representar a las masas de agua el considerar la distancia entre dos puntos de 1 km teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Si se tomase una distancia de 500 m (distancia de la celda raster de las variables hidrológicas), se obtendrían cerca de 10.000 puntos. Considerando que para cada uno de ellos se requeriría obtener datos de las variables mensuales para cada año de los tres periodos de estudio, la cantidad de datos de salida sería muy elevada (aproximadamente 10.800.000 datos), no disponiéndose de capacidad suficiente para poder simularlos.

- En la información disponible de las variables de entrada, aunque el tamaño de celda para las variables hidráulicas es de 500 x 500 m, para la temperatura del aire el tamaño es de 1 km^2, por lo que se ajusta a la resolución elegida de 1 km entre puntos.

- La masa de agua de menor longitud en la cuenca del Júcar es de 1.6 km aproximadamente, por lo que si se tomase una distancia mayor a 1 km, solamente habría un punto representativo de dicha masa.

Hay que considerar además la posibilidad de que alguna de las masas de agua en la capa ArcGIS no esté representada con exactitud, lo que conllevaría un error en el momento de transformarla del formato línea a puntos. Esto se ha comprobado solapando la capa de masas con la de superficie de drenaje obtenida a partir del SIMPA (Estrela & Quintas, 1996). Aquellos puntos de la masa de agua que están mal representados se han sustituido por el centroide de la celda más próxima de la capa de superficie de drenaje. En la figura 72 se muestra un ejemplo: al punto A le corresponde una superficie de drenaje de 0 km^2 por lo que se sustituye por el punto B, que es el centroide de la celda con la superficie de drenaje real.

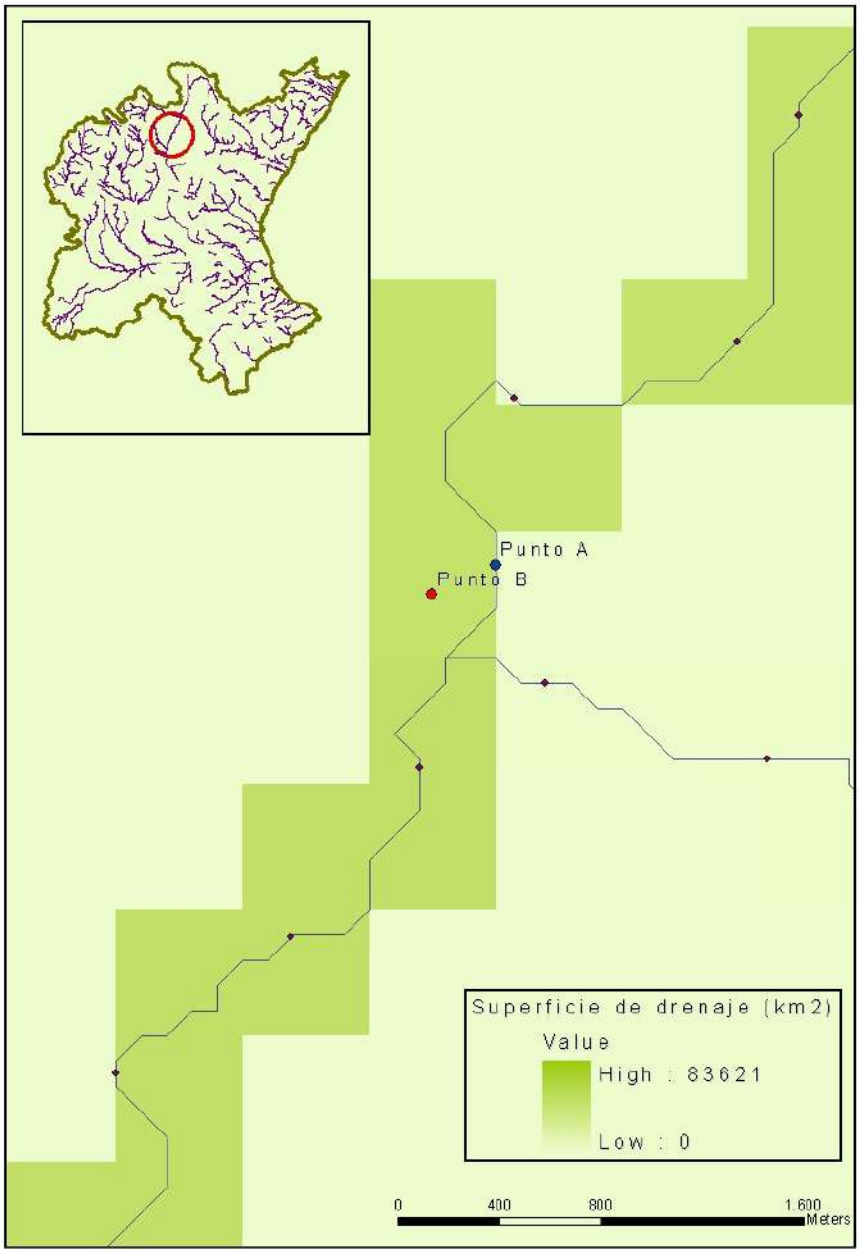


Figura 72. Sustitución de uno de los puntos que define una masa de agua

9.2.2 Selección de variables ambientales

Las variables que se consideraron en el estudio de la caracterización de los tipos de ríos elaborado por el Centro de Estudios Hidrográficos en 2005 fueron las siguientes:

- Altitud
- Amplitud térmica anual (entre la temperatura del media del aire del mes más cálido y la temperatura media del aire del mes más frío)
- Área de la cuenca

- Caudal medio anual del punto de salida de la masa de agua
- Caudal específico medio anual del punto de salida de la masa de agua
- Conductividad
- Latitud
- Longitud
- Orden del río (Stralher)
- Pendiente media de la cuenca
- Porcentaje de meses con caudal nulo
- Temperatura media anual

Todas las variables que definen las tipologías no se ven influenciadas por el cambio climático (ej.: altitud, latitud o longitud), por lo que se evalúan únicamente aquellas que pueden verse afectadas y de las que se dispone de información actual suficiente así como para los escenarios futuros a partir de los datos de temperatura y precipitación. Con estos criterios, las variables a evaluar son las siguientes: amplitud térmica anual, temperatura media anual y caudal medio anual. Actualmente no se dispone de datos suficientes para poder evaluar las variables de número de días con caudal cero y de caudal específico.

Las predicciones del caudal medio anual se obtienen en el mismo punto que se tomó de referencia para la definición de las tipologías, es decir el punto de salida de la masa de agua. Sin embargo, para la temperatura media anual y la amplitud térmica anual, se obtienen predicciones en diversos puntos a lo largo de cada una de las masas de agua.

9.3 PREDICCIÓN DE LAS VARIABLES EN ESCENARIOS CLIMÁTICOS FUTUROS

Para poder obtener las predicciones de las variables medioambientales seleccionadas, se ha utilizado el modelo SIMPA (Sistema Integrado para la Modelación del proceso Precipitación Aportación elaborado por el CEDEX) (Estrela & Quintas, 1996) con las variables de precipitación y temperatura correspondientes al escenario de cambio climático elegido para el estudio piloto, el A2, ya que es el que potencia un mayor efecto del cambio climático por considerar un alto crecimiento económico y de la población.

El SIMPA se ha aplicado con 4 modelos climáticos globales (ECHAM4, HadAM3, HadCM3 y CGCM2) y 4 técnicas de proyección climática regional. No existe un modelo climático mejor que otro, sino que en función del que se aplique se obtendrán resultados diferentes con su probabilidad. Para las predicciones de las variables medioambientales se ha escogido como modelo climático el ECHAM4 y como proyección climática regional el FIC (Fundación para la Investigación del Clima), ya que presentan valores intermedios en el espectro abarcado por la totalidad de las proyecciones realizadas. Por tanto, se van a obtener predicciones aplicando el modelo climático ECHAM4-FIC para los tres periodos de estudio (2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100) en el escenario de emisiones A2.

Para poder evaluar las predicciones en base cartográfica, se ha empleado una aplicación del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, en entorno SIG (ArcGIS 9.3.1), denominada HIDROCARTO. Las capas son generadas por el SIMPA (Estrela & Quintas, 1996). HIDROCARTO se aplica para obtener las temperaturas y las aportaciones (con las que se calculan los caudales), con el modelo ECHAM4-FIC, para el escenario de emisiones A2 y para los tres periodos de estudio.

Una vez que se dispone de las coordenadas de los puntos que definen las masas de agua (269 puntos de salida y 5050 puntos que las definen), con la aplicación HIDROCARTO (utilizando el modelo ECHAM4-FIC), se han obtenido las aportaciones medias anuales y mensuales (para los puntos de salida), así como las temperaturas medias anuales y mensuales, para cada uno de los años de los tres periodos de estudio para el escenario A2. Hay que considerar que los caudales medios anuales obtenidos a partir de HIDROCARTO se basan en el año natural (enero a diciembre). Sin embargo, el caudal medio anual tomado para el periodo de referencia cuando se clasificaron las tipologías en 2005, consideró el año hidrológico (octubre a septiembre). Por tanto, los caudales medios anuales se han obtenido a partir de los caudales medios mensuales, y calculando los medios anuales para el año hidrológico.

9.4 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INCUMPLIMIENTO DE LAS MASAS CON LOS RANGOS DE LAS VARIABLES DE LAS TIPOLOGÍAS

Para evaluar si una masa de agua cumple para cada variable con el rango que la define en su tipología, en cada una de las tres predicciones para el escenario A2, se ha utilizado un análisis de varianzas. Para realizar todos los análisis, se ha empleado el software estadístico R 2.13.0 (R Development Core Team, 2011). Con el fin de seleccionar el método más adecuado para el análisis de la varianza, se ha realizado un contraste de la normalidad mediante el test Shapiro-Wilk (Quinn & Keough, 2002) para los datos de referencia que se emplearon en la definición de las tipologías.

En primer lugar, mediante el test Shapiro-Wilk (Quinn & Keough, 2002) se ha realizado la comprobación de que los datos de referencia que se utilizaron en la caracterización de las tipologías, no son normales. En la tabla 13 se muestran los resultados.

	Temperatura media anual		Amplitud térmica anual		Caudal medio anual	
Tipología	**Estadístico**	**p-valor**	**Estadístico**	**p-valor**	**Estadístico**	**p-valor**
Tipo 5	0.7910	< 2.20E-16	0.8842	< 2.20E-16	0.6673	< 2.20E-16
Tipo 9	0.9661	< 2.20E-16	0.9804	< 2.20E-16	0.5849	< 2.20E-16
Tipo 10	0.9046	3.92E-15	0.9342	2.85E-12	0.7720	< 2.20E-16
Tipo 12	0.9604	4.10E-16	0.9690	4.71E-14	0.7680	< 2.20E-16
Tipo 13	0.9604	4.10E-16	0.9690	4.71E-14	0.7680	< 2.20E-16
Tipo 14	0.8919	< 2.20E-16	0.9683	3.23E-13	0.9218	< 2.20E-16
Tipo 16	0.9475	< 2.20E-16	0.9379	< 2.20E-16	0.9176	< 2.20E-16
Tipo 17	0.9454	< 2.20E-16	0.9239	< 2.20E-16	0.8585	< 2.20E-16
Tipo 18	0.9419	< 2.20E-16	0.9061	< 2.20E-16	0.6841	< 2.20E-16

Tabla 13. Pruebas de normalidad: Test de Shapiro- Wilk

Una vez comprobada la no normalidad, se ha procedido a aplicar el análisis de la varianza. Previamente, se ha analizado la comparabilidad de los datos de referencia con los datos obtenidos para las predicciones, considerando aspectos como la escala espacio-temporal o el número de datos. Los datos de referencia de las variables que se emplearon para establecer la clasificación de las tipologías se obtuvieron a escala nacional, sin tener en cuenta la

dependencia longitudinal a lo largo del río (se consideraron datos independientes). Teniéndolo en cuenta, y para poder comparar los datos de las variables para los tres periodos futuros, se ha adoptado el mismo criterio, es decir, no se ha tenido en cuenta la posible variación a lo largo de cada masa de agua.

Para poder hacer el análisis de la varianza, con el fin de comparar la media de cada variable que define la tipología con la media de las predicciones en cada uno de los periodos (2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100), se ha tenido en cuenta la no dependencia longitudinal, como ya se ha aplicado en otros casos (Hogg & Williams, 1996; Quinn & Keough, 2002; Zar, 2006). Se podría haber empleado el análisis de medidas repetidas, sin embargo, como en este caso los datos no son normales, se ha empleado como método no paramétrico el test de Friedman (Wittkowski, 1988; Quinn & Keough, 2002; Zar, 2006). Una de las hipótesis del test de Friedman es que es un test balanceado. Con respecto a las predicciones, tendríamos tantas observaciones para cada masa de agua como valores medios anuales en cada uno de los periodos (es decir, como cada periodo tiene 30 años, se tienen 30 observaciones). Para el periodo de referencia, se han tomado los datos empleados en la propuesta de clasificación y caracterización de los tipos de ríos conforme a lo establecido en la DMA (CEDEX, 2005) en el que se tenían, para cada tipología, más de 30 observaciones.

Como el número de observaciones en el periodo de referencia era mucho mayor que en las predicciones, se tomó de manera aleatoria una submuestra de referencia que tuviese el mismo número de observaciones (30) aplicándose el test de Friedman, comparando dos a dos (observaciones de referencia con las de las predicciones) obteniendo el p-valor. Este procedimiento se ha repetido 1000 veces (es decir tomando 1000 submuestras), obteniendo 1000 p-valores. Cuando la media de los p-valores ha sido inferior a 0.05, se ha rechazado la hipótesis nula del test de Friedman (las medias son iguales) y por tanto se ha considerado que la masa de agua no cumplía con los rangos de la tipología a la que se asignó. Se ha procedido análogamente con cada masa y tipología, comprobado cuántas masas de agua asignadas a una tipología cumplían con los rangos de cada variable que definen esa tipología.

En el anexo V se muestran, para cada tipología, las medias de los p-valores de cada una de las variables y para la proyección en los tres periodos del escenario A2 (en sombreado se indican aquellos valores de p-valor superiores a 0.05, y por tanto que han cumplido la hipótesis nula del test de Friedman).

Se han obtenido, para los tres periodos (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100), porcentajes muy elevados (superiores al 50 %) de masas de agua que no cumplen los valores de los rangos de alguna de las variables que se establecieron para definir las tipologías (ver tabla 14).

			Temperatura media anual		Amplitud térmica anual		Caudal medio anual	
Tipología	**Nº total masas**	**Periodo**	**Nº masas**	**% masas**	**Nº masas**	**% masas**	**Nº masas**	**% masas**
TIPO 5	19	2011-2040	19	100	12	63.16	14	73.68
		2041-2070	19	100	8	42.11	13	68.42
		2071-2100	19	100	18	94.74	13	68.42
TIPO 9	112	2011-2040	104	92.86	86	76.79	56	50

		2041-2070	111	99.11	50	44.64	56	50
		2071-2100	112	100	38	33.93	61	54.46
TIPO 10	5	2011-2040	5	100	5	100	4	80
		2041-2070	5	100	0	0	4	80
		2071-2100	5	100	2	40	5	100
TIPO 12	56	2011-2040	50	89.29	28	50	35	62.5
		2041-2070	55	98.21	39	69.64	36	64.29
		2071-2100	56	100	50	89.29	36	64.29
TIPO 13	15	2011-2040	10	66.67	13	86.67	7	46.67
		2041-2070	13	86.67	13	86.67	8	53.33
		2071-2100	15	100	11	73.33	8	53.33
TIPO 14	7	2011-2040	7	100	4	57.14	7	100
		2041-2070	7	100	2	28.57	7	100
		2071-2100	7	100	0	0	7	100
TIPO 16	15	2011-2040	15	100	6	40	15	100
		2041-2070	15	100	6	40	15	100
		2071-2100	15	100	14	93.33	15	100
TIPO 17	12	2011-2040	12	100	12	100	12	100
		2041-2070	12	100	12	100	12	100
		2071-2100	12	100	9	75	12	100
TIPO 18	28	2011-2040	28	100	7	25	17	60.71
		2041-2070	28	100	10	35.71	18	64.29
		2071-2100	28	100	24	85.71	17	60.71

Tabla 14. Número de masas y porcentaje de masas que no cumplen los rangos para las variables "*Temperatura media anual*", "*Amplitud térmica media*" y "*Caudal medio anual*" establecidos para cada una de las tipologías

El mayor porcentaje de masas de agua que incumplen los rangos se obtiene para la variable temperatura media anual, tanto para los tres periodos, como para todas las tipologías (figura 73). Para la amplitud térmica media anual, sin embargo, hay mucha diferencia entre tipologías y también entre periodos dentro de una misma tipología (figura 74): en algunos casos (Tipos 12 y 18) los incumplimientos aumentan con el tiempo, por lo que se podría pensar que el efecto del cambio climático es más patente. Sin embargo, en otros sucede lo contrario (Tipo 9). En el caso de la variable caudal medio anual se asemeja más al de la temperatura media anual, es decir, en general el porcentaje de masas de agua que incumplen es elevado, independientemente de la tipología y del periodo (figura 75).

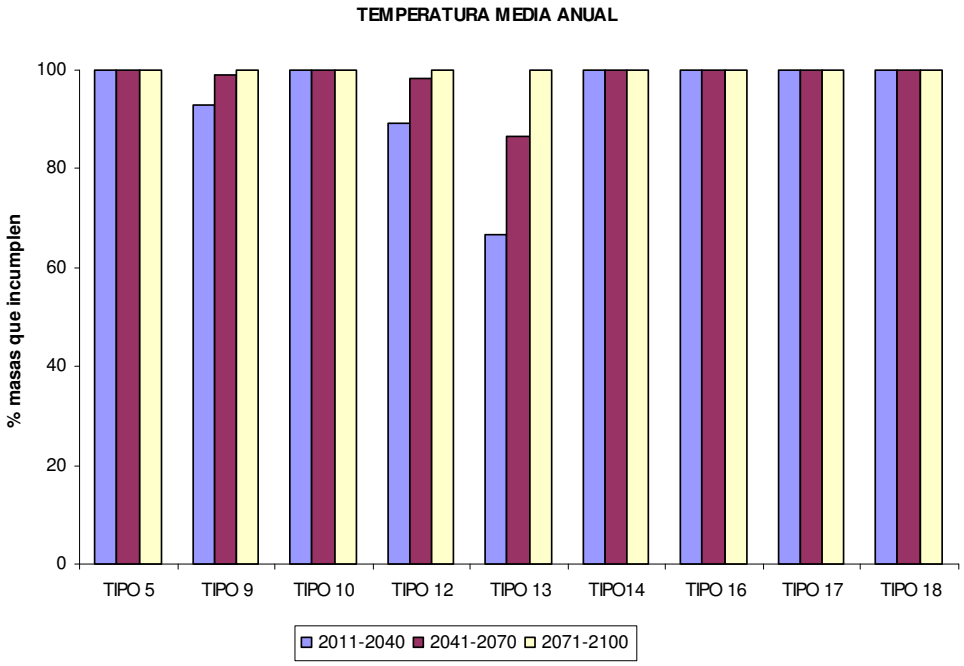


Figura 73. Porcentaje de masas de agua cuya temperatura media anual incumple el rango definido para su tipo

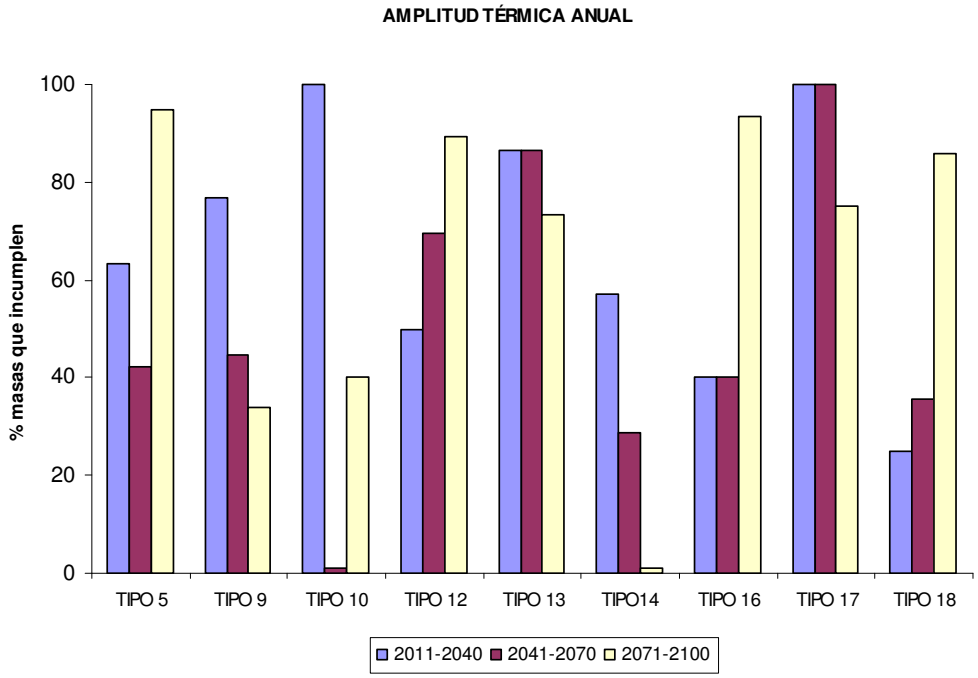


Figura 74. Porcentaje de masas de agua cuya amplitud térmica anual incumple el rango definido para su tipo

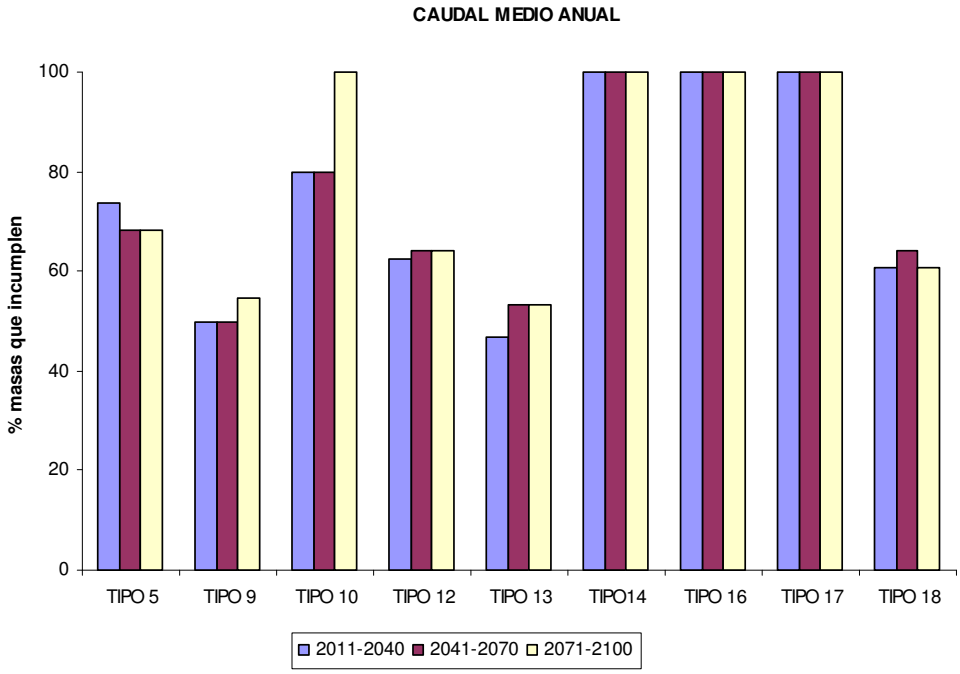
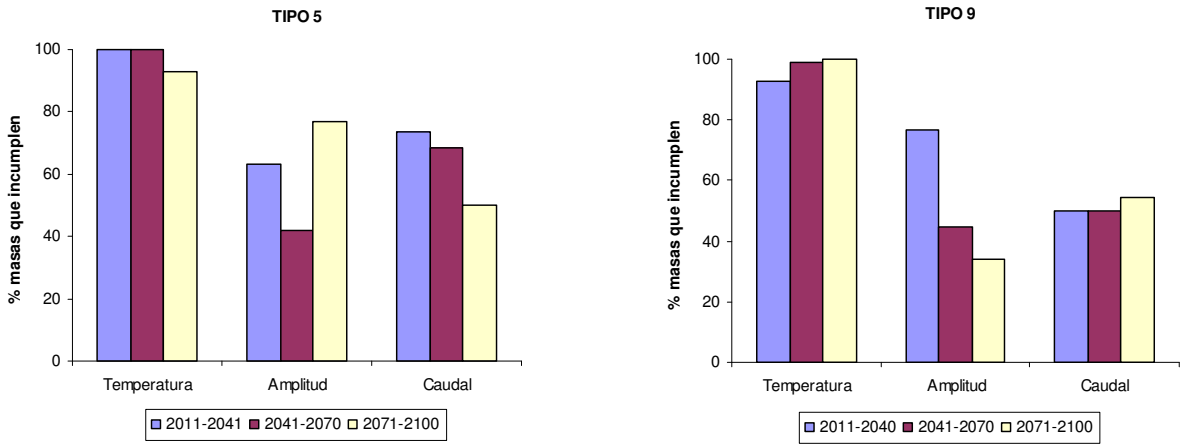
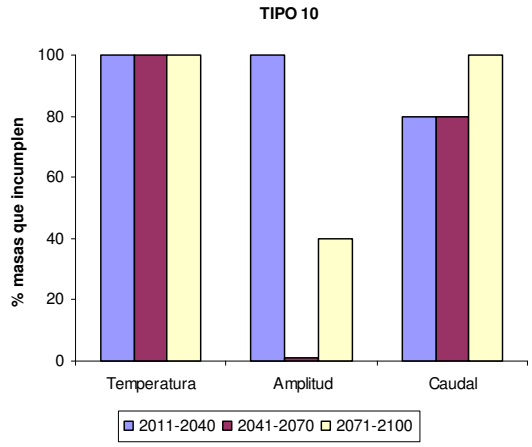
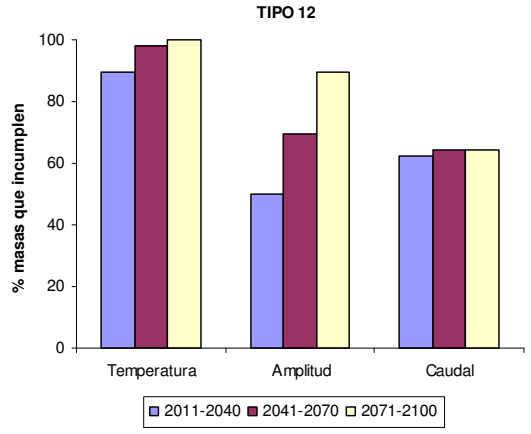


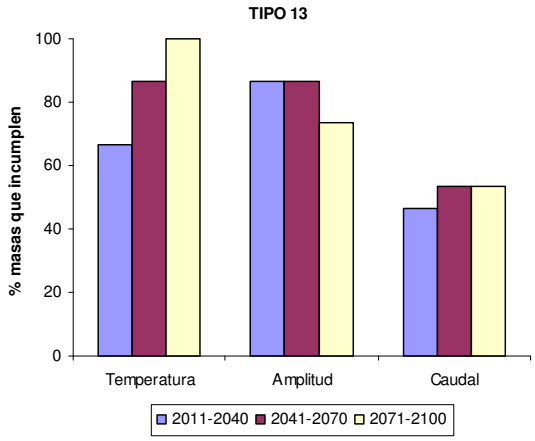
Figura 75. Porcentaje de masas de agua cuyo caudal medio anual incumple el rango definido para su tipo

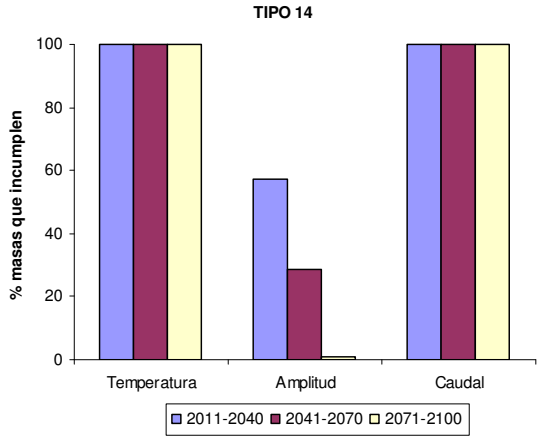
Analizando los resultados por tipologías (figura 76), se observa que el mayor porcentaje de masas que incumplen se obtiene para la tipología 17 “Grandes ejes en ambiente mediterráneo” y el menor porcentaje, para la tipología 9 “Ríos mineralizados de media-baja montaña mediterránea”.

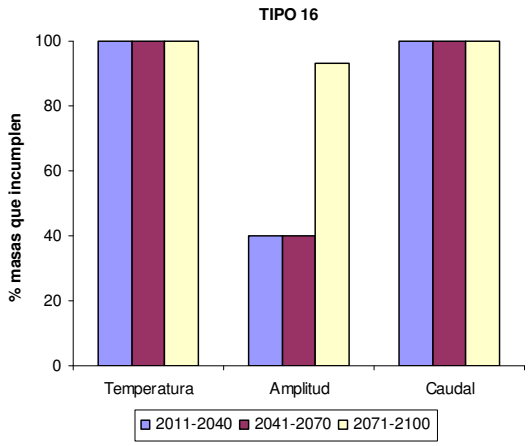


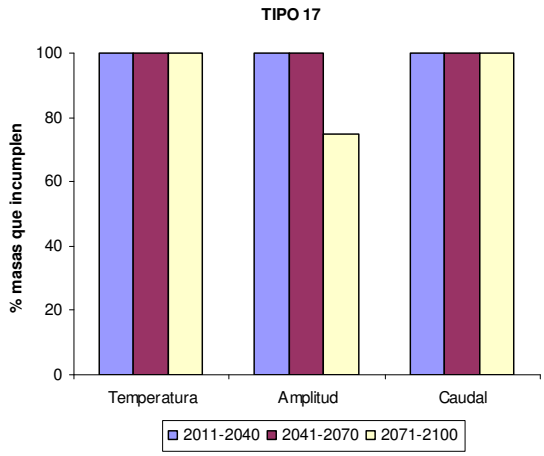

TIPO 10
% masas que incumplen
100
80
60
40
20
0
Temperatura
Amplitud
Caudal
2011-2040
2041-2070
2071-2100


TIPO 12
% masas que incumplen
100
80
60
40
20
0
Temperatura
Amplitud
Caudal
2011-2040
2041-2070
2071-2100


TIPO 13
% masas que incumplen
100
80
60
40
20
0
Temperatura
Amplitud
Caudal
2011-2040
2041-2070
2071-2100


TIPO 14
% masas que incumplen
100
80
60
40
20
0
Temperatura
Amplitud
Caudal
2011-2040
2041-2070
2071-2100


TIPO 16
% masas que incumplen
100
80
60
40
20
0
Temperatura
Amplitud
Caudal
2011-2040
2041-2070
2071-2100


TIPO 17
% masas que incumplen
100
80
60
40
20
0
Temperatura
Amplitud
Caudal
2011-2040
2041-2070
2071-2100

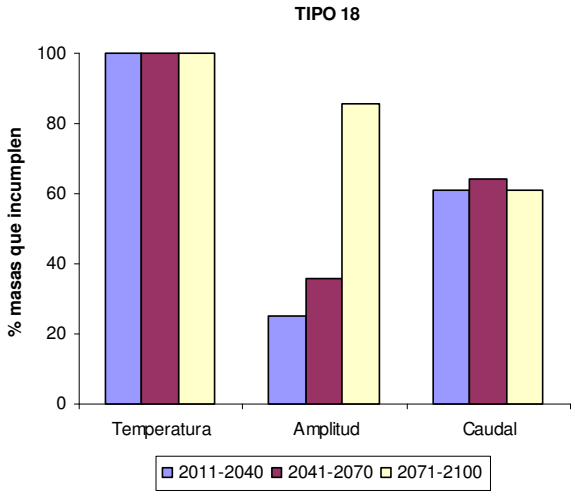


Figura 76. Porcentaje de masas de agua que incumplen, para cada una de las tipologías

9.5 CONCLUSIONES

En conclusión, este estudio muestra cómo, utilizando la metodología propuesta, para las predicciones en los periodos 2011-2041, 2041-2070 y 2071-2100, en el escenario A2 y para una proyección (ECHAM4-FIC), la mayoría de las masas de agua no cumplirían con los valores de los rangos para las variables temperatura media anual, amplitud térmica anual y caudal medio anual establecidos en la caracterización de las tipologías de la cuenca del Júcar. No se observa una relación directa entre el incumplimiento y las predicciones en cada periodo, es decir, no hay un mayor número de masas de agua que incumplan a lo largo del tiempo (en algunos casos, incluso el porcentaje de incumplimiento es mayor para el periodo 2011-2041 que para el 2071-2100), por lo que puede sospecharse que este hecho no sea debido principalmente por el efecto del cambio climático, sino por una inadecuada clasificación en algunos casos de las masas de agua en las tipologías. Tampoco se observa una relación entre las variables térmicas (temperatura media anual y amplitud térmica anual). Sin embargo, en la mayoría de los casos, el número de incumplimientos es mucho mayor para la temperatura media anual que para la amplitud térmica anual.

Con vistas a mejorar el estudio y poder concluir con fiabilidad si el efecto del cambio climático es suficientemente significativo en las variables que definen las tipologías, y por tanto tenerlo en cuenta para considerar una nueva reclasificación futura de las mismas, se recomienda realizar los siguientes trabajos:

- Estudiar si las masas de agua que no cumplen con los rangos de las variables de su tipología, podrían incluirse en otra diferente, no únicamente en aquellas que se encuentren en la cuenca del Júcar sino también en el resto de cuencas. Como se ha comentado anteriormente, para las tres predicciones la mayoría de las masas de agua no cumplen con los rangos de las variables de las tipologías donde fueron definidas. Sin embargo, puede darse el caso que cumplan con los de otra tipología que no se localice su distribución únicamente en la cuenca del Júcar. Se podría dar el caso, por ejemplo, de una masa de agua que esté definida dentro de la tipología 9 " Ríos mineralizados de

media-baja montaña mediterránea" y para las predicciones la temperatura media anual aumente de manera que cumpla las condiciones de la tipología 7 "Ríos mineralizados mediterráneos de baja altitud".

- Estudiar el efecto aplicando otros modelos climáticos (en este estudio únicamente se ha aplicado el modelo ECHAM4) y escenarios B2 (en este trabajo, únicamente se ha evaluado el efecto del cambio climático para el escenario A2, bajo el cual el efecto se considera que debe ser mayor por considerar un alto crecimiento económico). Si los resultados obtenidos difieren mucho entre los dos escenarios, se podrá evaluar si el no cumplimiento es debido de manera significativa al cambio climático, o por el contrario, como ya se ha mencionado, a la posibilidad de que la asignación de algunas de las masas a las tipologías tuviera que revisarse en determinados casos.
- Estudio del efecto del cambio climático en la definición de las tipologías para todas las cuencas. Evaluando los resultados obtenidos de los dos apartados anteriores, se podrá determinar si se requiere una nueva definición de las tipologías, no solamente aquellas que actualmente se hayan en la cuenca del Júcar, sino de todas las definidas y que vienen recogidas en la Instrucción de Planificación Hidrológica aprobada en 2008 por Orden ARM/2656/2008.

10. CONCLUSIONES FINALES

El objetivo medioambiental de la Directiva Marco del Agua (2000/60/CE) para las aguas superficiales es alcanzar un buen estado ecológico en base a unos plazos y mecanismos establecidos por dicha normativa. Dicho estado ecológico se evalúa mediante un conjunto de indicadores de calidad, siendo todos ellos potencialmente susceptibles de verse afectados por el cambio climático, y de forma particularmente especial, las comunidades de indicadores biológicos.

En este trabajo se desarrolla una propuesta de metodología para el estudio de los efectos del cambio climático en el estado ecológico de las masas de agua. Igualmente, se evalúa la posible repercusión del impacto en las variables que caracterizan las tipologías y que son susceptibles de verse afectadas por cambios en el clima. En una fase posterior futura, será necesario evaluar el impacto sobre las condiciones de referencia de dichas tipologías y analizar la posibilidad de revisarlas, así como los valores de EQR y límites entre clases de estado ecológico. Inicialmente, estaba previsto realizar el estudio para las masas de agua de todas las cuencas hidrográficas españolas, pero finalmente se acotó únicamente a los ríos de la Demarcación Hidrográfica del Júcar como cuenca piloto, por no estar disponible a la fecha de inicio del trabajo la información biológica necesaria en todas las cuencas de España. El estudio realizado en relación con los óptimos ecológicos y el análisis de la resolución taxonómica más adecuada se basa en los datos obtenidos para los macroinvertebrados bentónicos en una selección de 73 estaciones de la red biológica del Júcar entre los años 1999 y 2006, 67 pares de estaciones de las redes SAICA y de la AEMET entre 1996 y 2009, así como de 58 estaciones de aforos con datos diarios de caudal entre los años 1985 y 2006.

10.1 ÓPTIMOS ECOLÓGICOS DE LAS FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS

El conocimiento de los óptimos ecológicos de los organismos acuáticos y sus rangos de tolerancia frente a las variables ambientales constituyen la base para la evaluación con mayor precisión de los efectos del cambio climático en su distribución. Para ello, en primer lugar se han elaborado una serie de mapas o atlas de distribución actual de las 116 familias de macroinvertebrados acuáticos identificadas en la Red Biológica de la cuenca del Júcar, cada uno de ellos con una base de datos asociada con información de las estaciones biológicas en las que aparecen, así como de todas las variables físicas, químicas, geográficas, geomorfológicas e hidrológicas, bien obtenidas durante los muestreos, bien calculadas posteriormente.

A partir de esta información georreferenciada, se han obtenido los óptimos ecológicos de las familias para diferentes variables ambientales empleando el *Método del Óptimo Robusto (RO).* Este método constituye una propuesta de estima del óptimo ecológico, elaborada tras la realización de un estudio (recogido en este informe) de comparación con el método de la media ponderada (WA). Se concluye que el método RO y sus estimas, basadas en la mediana y el rango intercuartílico, resultan más robustos para representar los óptimos por su menor sensibilidad frente a valores extremos, además de la simplicidad en su utilización.

Para realizar este análisis, se compara la eficacia de ambos métodos en la evaluación de los efectos potenciales del cambio climático en escenarios con diferentes incrementos de

temperatura sobre las comunidades de macroinvertebrados en la cuenca del Júcar. El estudio parte de una selección de 47 familias de macroinvertebrados de la cuenca del Júcar que muestran un carácter más estenotermo. Mediante el análisis de los óptimos ecológicos frente a unas simulaciones de incremento de temperaturas del agua de 0.5 ºC, 1 ºC, 1.5 ºC y 2 ºC, se pone de manifiesto la sensibilidad de aquellas familias o taxones que muestran rangos más restrictivos frente a cambios graduales en la temperatura del agua. Cuanto mayor es el incremento térmico, mayor es el número de familias clasificadas como indicadores en un gradiente de mayor a menor sensibilidad o tolerancia. Familias como *Mesoveliidae, Lepidostomatidae, Apataniidae, Planariidae, Taeniopterygidae, Dixidae* y *Capniidae*, muestran una mayor sensibilidad potencial a variaciones en la temperatura del agua.

Se presentan también los resultados obtenidos de los óptimos ecológicos para 18 variables relacionadas o susceptibles de verse afectadas por los efectos del cambio climático a través de variaciones en la precipitación y la temperatura (variables que definen los escenarios climáticos futuros), analizándose el valor indicador de las familias frente a cada una de ellas y su relevancia en la distribución de las mismas. Esta metodología permitirá seleccionar un grupo de variables ambientales y de taxones más sensibles a las mismas en los que enfocar el mayor esfuerzo de seguimiento a partir de los datos obtenidos en las redes de control biológico, funcionando como sensores tempranos de posibles efectos o tendencias provocados por el cambio climático.

10.2 ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA RESOLUCIÓN TAXONÓMICA NECESARIA PARA UNA DETECCIÓN DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Se ha evaluado si la resolución taxonómica de los índices o métricas utilizados en las redes de seguimiento (familias de macroinvertebrados) es suficiente para detectar estos cambios climáticos y sus efectos sobre los ecosistemas fluviales. Para ello, se han obtenido con dos niveles de resolución taxonómica (familia y género) los óptimos ecológicos de algunos taxones de macroinvertebrados bentónicos fluviales en función de variables ambientales sensibles *a priori* al cambio climático en la cuenca del Júcar, analizando estadísticamente las diferencias entre estos óptimos obtenidos en función de la resolución taxonómica empleada.

El trabajo se ha realizado de forma preliminar con un grupo de taxones de los que se disponía de la información necesaria generada en la Red Biológica del Júcar para llevar a cabo el estudio de forma representativa, formado por los géneros de tres de las nueve familias del orden *Ephemeroptera*: *Heptageniidae, Baetidae* y *Leptophlebiidae*, cada una con 4 géneros presentes en la cuenca.

Se han detectado algunos géneros con óptimos ecológicos significativamente más restrictivos (*Epeorus, Cloeon*) o diferentes (*Rhithrogena*) que los globales de sus familias para determinadas variables, así como variables en las que las diferencias de óptimos entre familias o géneros son más patentes (altitud o temperatura), y otras en las que no se aprecian tanto estas diferencias (pH, caudal 0).

Por consiguiente, cabe esperar que la influencia o los efectos del cambio climático se aprecien antes en un seguimiento de determinados taxones sensibles a nivel de género que en un control periódico basado únicamente en una resolución taxonómica a nivel de sus familias respectivas. La recomendación de la resolución taxonómica más adecuada para detectar los posibles efectos del cambio climático no puede establecerse actualmente de forma general con

la información disponible, ya que depende de los diferentes grupos biológicos, objetivos concretos del trabajo, y finalmente, de la relación coste-beneficio en las redes de seguimiento, aunque obviamente, a mayor resolución aplicada, mayor será la precisión y sensibilidad en el seguimiento de la respuesta.

10.3 MODELO DE TRANSFERENCIA DE TEMPERATURAS AIRE/AGUA

La modelización de la temperatura del agua en las masas de agua fluviales se considera esencial para valorar los posibles efectos directos del cambio climático en estos ecosistemas. Los modelos de tipo físico o deterministas requieren una gran cantidad de datos para calibrarlos y la mayoría de esos datos no están disponibles en la actualidad, además de que se requiere más tiempo en el proceso de construcción del modelo. Por ello, se han elegido dos modelos estocásticos basados en funciones estadísticas, que requieren únicamente para su calibración series continuas de datos de temperatura del aire así como del agua.

Se han construido dos modelos estadísticos para cada una de las tipologías de ríos definidas en España de acuerdo con la Directiva Marco del Agua: un modelo a escala mensual y un modelo a escala diaria. Para ambos, se han empleado datos de temperatura del agua de las estaciones de la red SAICA y datos de temperatura del aire de las estaciones meteorológicas de la AEMET, correspondientes al periodo entre 1996 y 2009, y que cumplían una serie de requisitos que garantizasen el impacto térmico mínimo o nulo de otras fuentes no climáticas, así como un emparejamiento óptimo entre estaciones SAICA y AEMET. El número reducido existente de pares de estaciones que cumplían los requisitos establecidos en la cuenca del Júcar, ha hecho recomendable el efectuar el desarrollo de los modelos para todo el territorio español, mejorándose de esta manera la robustez del cálculo en algunas tipologías que, de esta forma, han aumentado el número de pares de estaciones disponible. No obstante, en 8 de las 19 tipologías para las que se han localizado pares que cumpliesen los requisitos, sólo ha habido un único par SAICA-AEMET que los cumpliese. En total se han utilizado 67 pares de estaciones SAICA-AEMET.

El modelo a escala mensual se basa en una regresión lineal. Se ha obtenido una ecuación de la regresión lineal para cada una de las tipologías, siendo el coeficiente de regresión en todos los casos (salvo para la tipología 14) superior a 0.8.

Respecto a la predicción de la temperatura del agua a escala diaria, se ha empleado un modelo estocástico en el que la temperatura del agua de un día determinado se separa en dos componentes, una componente anual que refleja los cambios estacionales, y una componente no estacional o residual, siendo esta última la que refleja los cambios no estacionales o desviaciones sobre la componente anual durante cada día.

Una vez obtenidas las predicciones de temperatura del agua para las estaciones SAICA disponibles, se han elaborado las curvas de medias y medianas de temperatura del agua para cada tipología. En aquellas tipologías en la que se ha dispuesto de muy pocas estaciones, o incluso de una única, la representatividad de la curva térmica puede resultar menos precisa (tipos 2, 4, 6, 7, 18, 21, 26 y 31). En otras, el número ha sido más elevado (entre 7 y 13 estaciones) obteniéndose curvas más robustas (tipos 12, 15, 16 y 17). Finalmente en otras el número de pares de estaciones varía entre 2 y 4, por lo que su representatividad debe ser tomada con más cautela (tipos 1, 9, 10, 14, 28 y 29). En las tipologías 3, 5, 8, 11, 13, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 27 y 30 no existen pares de estaciones SAICA-AEMET que cumplan los

requisitos, por lo que en estas tipologías no es posible realizar ninguna predicción ni obtener curvas térmicas.
A la vista de los resultados obtenidos aplicando los dos modelos, y en base al tipo de datos disponibles para las predicciones en escenarios futuros, se recomienda emplear el modelo a escala mensual ya que los datos hidrológicos, que también han de considerarse para la modelización de la distribución de los macroinvertebrados bentónicos, vienen proporcionados por el modelo SIMPA a escala mensual, siendo esencial que las variables independientes en el modelo de distribución de especies tengan la misma escala (mensual en este caso).

10.4 REVISIÓN Y CRITERIOS DE SELECCIÓN DE MODELOS PREDICTIVOS DE DISTRIBUCIÓN DE TAXONES EN ESCENARIOS FUTUROS

Apenas existe información relativa al uso de modelos predictivos de distribución futura de especies bajo los efectos del cambio climático en los ecosistemas acuáticos, siendo en su mayoría relativos a especies concretas o grupos biológicos específicos, o bien para un ámbito geográfico reducido a escala de pequeñas cuencas o territorios geográficos. Por otro lado, la mayoría de estos modelos no han conseguido incorporar aspectos o variables tan relevantes como son los relacionados con la interacción entre especies, la dispersión o los mecanismos de evolución y adaptación. En la revisión efectuada, no se ha localizado claramente un modelo mejor que otro, siendo lo recomendable el poder aplicar dos o más tipos de modelos con el fin de poder comprobar las posibles similitudes y diferencias, y estimar mejor el grado de incertidumbre en las predicciones.

En la evaluación del comportamiento predictivo de los posibles modelos a utilizar, se han utilizado las conclusiones del trabajo de Elith, J. et. al. (2006), basado en utilización de la curva *AUC*, también denominada *Curva ROC* (*Receiver Operating Characteristic curve, o Característica Operativa del Receptor*), que es una curva que mide el acuerdo entre la predicción y los datos de presencia/ausencia de la validación. Permite seleccionar aquellos modelos óptimos sobre los menos adecuados, midiendo la capacidad de cada modelo de discriminar entre puntos donde la especie está presente y puntos donde no lo está. De acuerdo con esta valoración, los modelos de datos de solo-presencia pueden proporcionar una buena base para realizar predicciones más precisas. Se ha observado que el comportamiento predictivo no varía mucho en función del número de registros de presencia disponibles, aunque las especies “raras”, con una distribución geográfica más restringida y con mayores exigencias ambientales, se modelizan con mayor precisión que las más comunes o generalistas.

En la propuesta de selección del método más adecuado se ha considerado oportuno considerar el *Principio de parsimonia*, que postula la elección de la hipótesis más sencilla entre varias hipótesis concurrentes. En España es la primera vez que se propone la aplicación de estos modelos a las comunidades de macroinvertebrados bentónicos fluviales en zonas geográficas extensas (escala de gran cuenca hidrográfica), por lo que se estima oportuno el aplicar modelos que en sí no sean muy complejos. Al no existir un modelo que se confirme mejor que otro, se propone aplicar varios de ellos para analizar las posibles similitudes y diferencias. Debido a su simplicidad y facilidad de implementación, se ha decidido aplicar como método más representativo los *GLMs*, que además pueden implementarse mediante el software estadístico R. Como modelo alternativo y complementario a los *GLMs* se ha escogido uno que utiliza solo datos de presencia: el *ENFA* (*Ecological Niche Factor Analysis*), perteneciente al grupo de los modelos de “envolvente climática”. Se basan en el concepto de nicho ecológico de Hutchinson y tratan de predecir la presencia de una especie (en nuestro caso familia) basándose en predictores ecogeográficos. Dentro de los modelos que utilizan solo

datos de presencia, el *ENFA* muestra un comportamiento óptimo según los trabajos previos revisados.
En la aplicación de los modelos se tomará como variable respuesta el dato de abundancia de cada una de las familias de macroinvertebrados bentónicos localizados en los diferentes puntos de la red biológica del Júcar. Como variables independientes o predictoras, además de la temperatura del agua (obtenida a partir de los modelos de transferencia agua/aire) y los caudales mensuales estimados en ese mismo punto de la red biológica (obtenidos del modelo SIMPA), se considerará la posibilidad de incorporar otras variables (Ej.: temperatura media anual del agua, temperatura máxima del agua del mes más cálido, temperatura mínima del agua del mes más frío, la amplitud térmica, aportación anual, etc.).

Una vez obtenidas las predicciones de los mapas de distribución de los macroinvertebrados bentónicos para los horizontes propuestos (2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100), se podrá calcular el estado ecológico en el futuro y estimar los posibles efectos del cambio climático sobre el mismo, determinándose si se debe proceder a una redefinición de las condiciones de referencia para cada tipología de la masa de agua considerando la influencia del cambio climático.

10.5 EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS TIPOLOGÍAS

La evaluación del efecto del cambio climático en el estado ecológico de las masas de agua, requiere el análisis de la posible repercusión del impacto en las variables que caracterizan las tipologías y que son susceptibles de verse afectadas por cambios en el clima, así como en las condiciones de referencia de dichas tipologías.

En primer lugar, se han seleccionado las variables utilizadas en la caracterización de tipos que pudieran resultar afectadas por el cambio climático en base a las dos variables que caracterizan los escenarios futuros: temperatura del aire y precipitación. Las variables a evaluar han sido: amplitud térmica anual, temperatura media anual y caudal medio anual.

En segundo lugar, se ha realizado la predicción de las variables seleccionadas en los diferentes escenarios climáticos para cada masa de agua utilizando el modelo SIMPA. A modo de ejemplo, se muestran los resultados obtenidos para el modelo ECHAM4 con la proyección climática regional del FIC para los tres periodos de estudio (2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100) en el escenario de emisiones A2.

Finalmente, se ha analizado el riesgo de las masas de agua de la categoría ríos en la cuenca del Júcar de no cumplir con los límites de dichas variables para la tipología a la que pertenecen. De los resultados obtenidos se concluye que la mayoría de las masas de agua de la cuenca del Júcar no cumplirían con los valores de los rangos establecidos en la caracterización de las tipologías, considerando las variables por separado y no en su conjunto. Concretamente, el mayor porcentaje de incumplimientos se obtiene para la temperatura media anual, tanto para los tres periodos como para todas las tipologías. Sin embargo, para la amplitud térmica media anual, hay diferencias entre los periodos dentro de una misma tipología así como entre ellas. Los resultados que se obtienen con el caudal medio anual son muy similares a los de la temperatura media anual, es decir, en general el porcentaje de masas de agua que incumplirían sería elevado, independientemente de la tipología y del periodo.

Tampoco se observa una relación directa entre el incumplimiento y las predicciones en cada periodo, es decir, no hay un mayor número de masas de agua que incumplan a lo largo del

tiempo por lo que se puede sospechar que este hecho no es efecto exclusivamente del cambio climático, recomendándose el considerar otras posibilidades como la revisión de la asignación actual de algunas de las masas de agua a las diferentes tipologías. Además, no existe relación alguna entre las variables térmicas (temperatura media anual y amplitud térmica media), siendo en la mayoría de los casos el número de incumplimientos mucho mayor para la temperatura media anual que para la amplitud térmica.

11. RECOMENDACIONES

En este trabajo se ha desarrollado una propuesta de metodología para el estudio de los efectos del cambio climático en el estado ecológico de las masas de agua, aplicada en parte, y de forma piloto, para la Demarcación Hidrográfica del Júcar, por lo que el paso siguiente comprendería la aplicación de la misma en todo el territorio nacional. Por otro lado, la evaluación de los efectos del cambio climático sobre el estado ecológico de las masas de agua, en este caso de la categoría ríos, se debe realizar mediante un conjunto de indicadores biológicos que incluyen no sólo la fauna bentónica, sino también otros grupos como son el fitobentos y macrófitos, así como la fauna ictiológica. Esto significa que en un futuro debería valorarse la posibilidad de aplicar esta metodología, o una modificación de la misma, a estos otros grupos de indicadores biológicos.

A continuación se exponen las recomendaciones a seguir en el futuro para la aplicación de la metodología propuesta.

En primer lugar, es necesario actualizar la base de datos que recoge la información obtenida por las redes de seguimiento biológicas de todas las cuencas, y para todos los elementos de calidad, incluyendo todas las categorías de masa de agua. Posteriormente, se obtendrían los atlas de distribución de los taxones identificados, con la información ambiental asociada, tanto la obtenida en las propias redes, como la procedente de otras redes o fuentes de información. Sobre esta información, se aplicaría la metodología del *Óptimo Robusto* para definir los óptimos ecológicos y rangos de tolerancia de los taxones para las variables ambientales.

Respecto a las predicciones de la temperatura del agua para cada masa de agua en los escenarios y proyecciones futuras, deben utilizarse las curvas obtenidas para cada tipología mediante los modelos de transferencia de temperaturas aire-agua. Igualmente, deben obtenerse las variables de caudal para dichas masas proporcionadas por la evaluación de los recursos hídricos en régimen natural. Con vistas a mejorar la aplicación del modelo de transferencia de temperaturas aire-agua a escala diaria y comprobar si puede representar una alternativa igual o mejor a la aplicación a escala mensual, se sugieren dos aspectos:

1. Escoger como dato de calibración para cada día, la media de todos los datos que haya de ese día a lo largo de los años. Esta sugerencia se aplicaría tanto en los datos de temperatura de agua como en los de temperatura de aire. El modelo partiría de estos datos (serían análogos al año de calibración) y mejoraría considerablemente, ya que tal como está implementado, si el año utilizado para la calibración es anómalo produce errores superiores a lo normal. Además, utilizando la media de todos los datos conocidos para un día, el modelo será más robusto. Aplicando esta sugerencia, se espera que el modelo mejore considerablemente, y por consiguiente también la determinación de las curvas térmicas de los tipos ecológicos. Además, es probable que se desechen menos estaciones SAICA y por tanto, se contará con más datos para determinar las curvas térmicas.

2. Aplicar la longitud del intervalo de predicción utilizada en el trabajo de Caissie et al. (1998), es decir, en lugar de predecir para todo el año completo, descartar los datos del inicio y final de año recortando distintas cantidades. Al quitar valores de los extremos es

probable que el modelo mejorase, aunque sería preciso confirmarlo ya que en España los valores invernales de la temperatura del agua no suelen disminuir bajo cero.

Actualmente y a raíz del análisis metodológico expuesto en el capítulo 7, se recomienda realizar la predicción de la temperatura del agua a escala mensual a partir de las ecuaciones deducidas en los modelos de regresión, ya que los datos hidrológicos, necesarios para estimar la distribución de los macroinvertebrados bentónicos vienen proporcionados por el modelo SIMPA a escala mensual, siendo necesario que las escalas de ambos tipos de datos coincidan al ser variables independientes a utilizar en los modelos de distribución de especies.

Como complemento a futuros desarrollos metodológicos, se sugiere realizar un estudio práctico piloto para validar los modelos en las diferentes tipologías, ubicando parejas de sensores de temperatura aire/agua en un número representativo de masas de agua de cada tipología, registrando valores en continuo durante 1 ó 2 años. De esta forma, podrían validarse de forma más precisa los modelos al eliminar la posible fuente de errores que supone la ubicación no coincidente de las estaciones SAICA-AEMET en los datos utilizados.

Se recomienda igualmente un estudio detallado de las anomalías detectadas en las estaciones SAICA que se han desechado para calcular las curvas térmicas, así como de las posibles causas de estas anomalías. Si en el futuro se opta por la aplicación del modelo a escala diaria para predecir la temperatura del agua bajo los distintos escenarios de cambio climático, en los tramos de río donde no haya estaciones SAICA, como componente anual del agua se utilizaría la curva térmica del tipo, para lo que sería necesario revisar la definición de las curvas térmicas y que las mismas tuviesen un nivel alto de fiabilidad.

Mediante la aplicación del análisis de los óptimos ecológicos frente a simulaciones de incrementos sucesivos de temperaturas del agua, se detectarían aquellas familias o taxones existentes en el territorio nacional con rangos más restrictivos frente a cambios graduales en la temperatura del agua, obteniéndose el valor indicador de las mismas. Esta metodología permite seleccionar aquellas variables ambientales y los taxones más sensibles a las mismas en los que enfocar el mayor esfuerzo de seguimiento a partir de los datos obtenidos en las redes de control biológico, funcionando como sensores tempranos de posibles efectos o tendencias provocados por el cambio climático.

En la aplicación de los modelos predictivos se tomará como variable respuesta el dato de abundancia de cada una de las familias de macroinvertebrados bentónicos. Como variables independientes o predictoras, además de la temperatura del agua (obtenida a partir de los modelos de transferencia agua/aire) y los caudales mensuales estimados en ese mismo punto de la red biológica (obtenidos del modelo SIMPA), se considerará la posibilidad de incorporar otras variables (Ej.: temperatura media anual del agua, temperatura máxima del agua del mes más cálido, temperatura mínima del agua del mes más frío, la amplitud térmica, aportación anual, etc.).
En una fase posterior, será necesario evaluar el impacto sobre las condiciones de referencia de dichas tipologías y analizar la posibilidad de revisarlas, así como los valores de EQR y límites entre clases de estado ecológico.

Una vez obtenidas las predicciones de los mapas de distribución de los macroinvertebrados bentónicos para los horizontes propuestos (2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100), se deberá calcular el estado ecológico en el futuro y estimar los posibles efectos del cambio climático sobre el mismo, determinándose si se debe proceder a una redefinición de las condiciones de

referencia para cada tipología de la masa de agua considerando la influencia del cambio climático.

En este trabajo se ha analizado el riesgo de las masas de agua de la categoría ríos en la cuenca del Júcar de no cumplir con los límites establecidos para las variables de la tipología a la que pertenecen. Se recomienda analizar este riesgo para la totalidad de las masas de agua del territorio nacional, lo que constituirá una información de gran interés para futuros trabajos, no sólo en relación con el estudio de los efectos del cambio climático, sino también aquellos encaminados a revisar la caracterización ecológica actual y las variables y los rangos que las definen. A este respecto, se recomienda realizar las siguientes tareas:

- Estudiar un posible cambio de tipología para aquellas masas de agua que no cumplen.

- Estudiar el efecto aplicando otros modelos climáticos (en este estudio únicamente se ha aplicado el modelo ECHAM4) así como en el escenario B2. Si los resultados obtenidos difieren mucho entre los escenarios y proyecciones, se podrá evaluar si el no cumplimiento es debido de manera significativa al cambio climático o por el contrario, como ya se ha mencionado, pudiera deberse a una asignación inadecuada de algunas masas de agua a las tipologías correspondientes.

- Evaluando los resultados obtenidos de los dos puntos anteriores en todas las cuencas, se podrá determinar si se requiere de una nueva definición de todas las tipologías que vienen recogidas en la Instrucción de Planificación Hidrológica aprobada en 2008 por Orden ARM/2656/2008.

La aplicación de esta metodología general propuesta, se recomienda que se realice, además de con los dos escenarios de emisiones y los otros modelos y proyecciones, para todo el territorio nacional y trabajando con la última regionalización disponible que haya sido utilizada en la evaluación de los recursos hídricos para escenarios futuros (la actual con aplicación disponible al cálculo de los recursos hídricos corresponde al 3º informe de evaluación del IPCC de 2001), ya que estos son la fuente principal de entrada de datos hidrológicos en los modelos predictivos a utilizar.

Finalmente, no hay que olvidar que los recursos hídricos continentales comprenden también las masas de agua incluidas en las categorías de lagos y aguas de transición, además de los embalses y otras masas de agua artificiales o muy modificadas. Sería deseable abordar en un futuro cercano el desarrollo y aplicación de este tipo de metodologías a estas otras categorías de masas de agua.

12. AGRADECIMIENTOS

En el capítulo 5 se ha contado con la colaboración desinteresada de la Dra. Ana Justel Eusebio, del Departamento de Matemáticas de la Universidad Autónoma de Madrid, en los aspectos estadísticos del desarrollo de la metodología.

Los datos biológicos y físico-químicos utilizados en el Estudio han sido facilitados por la Dirección General del Agua y por la Confederación Hidrográfica del Júcar, procedentes de la Red de Control Biológico de dicha cuenca, y obtenidos por la empresa REDCONTROL, S.L.

13. EQUIPO DE TRABAJO

Este estudio ha sido realizado por un equipo de técnicos del Área de Medio Ambiente Hídrico del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. El estudio está dirigido por Manuel Toro Velasco, y el equipo de trabajo está formado por María Peg Cámara (Ingeniera Química), Sergio Velasco Ayuso (Dr. en Ciencias Biológicas) y Elena Cristóbal Rodríguez (Dra. en Matemáticas).

Madrid, junio de 2012

El Director del Trabajo y
Jefe del Área de Medio Ambiente Hídrico



Fdo. Manuel Toro Velasco
Ldo. en Ciencias Biológicas

14. BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Estatal de Meteorología, 2007. *Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España. Primera fase*.
- Araújo, M. B., Pearson, R.G., Thuiller, W. & Erhard, M., 2005. Validation of species-climate impact models under climate change. *Global Change Biol*., 11: 1504-1513.
- Araújo, M. B., Whittaker, R.J., Ladle, R. & Erhard, M., 2005. Reducing uncertainty in projections of extinction risk from climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 14: 529-538.
- Austin, M. P., Nicholls, A.O., Doherty, M.D. & Meyers, J.A., 1994. Determining species response functions to an environmental gradient by means of a beta-function. *J. Veg. Sci*. 5: 215-228.
- Austin, M. P., Meyers, J.A., Belbin, L., Doherty, M.D., 1995. *Modelling of landscape patterns and processes using biological data. Subproject 5: simulated data case study*. Division of Wildlife and Ecology, CSIRO, Canberra, Australia.
- Austin, M. P. 2002. Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecol. Modell*, 157: 101-118.
- Austin, M.P. & Van Niel, K.P., 2011. Improving species distribution models for climate change studies: variable selection and scale. *Journal of Biogeograph*, 38:1-8.
- Barry , S.C. & Elith, J., 2006. Error and uncertainty in habitat models. *Journal of Applied Ecology*, 43: 413-423
- Benito de Pando, B. & Peñas de Giles, J., 2007. Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la Península Ibérica. *GeoFocus*, 7: 100-119.
- Bio, A. M. F. 2000. *Does vegetation suit our models? Data and model assumptions and the assessment of species distribution in space*. Fac. of Geographical Sciences, Utrecht Univ., Netherlands, Ph.D. thesis.
- Birks, H. J. B., Line, J.M., Juggins, S., Stevenson, A.C. & Ter Braak, C.J.F., 1990. Diatoms and pH reconstruction. *Philosophical Transactions of the Royal Society - Biological Sciences*, 327: 263-278.
- BOE, 2008. Orden ARM/2656/2008 de 10 de Septiembre de 2008 por la que se aprueba la Instrucción de Planificación Hidrológica.
- Box, G.E.P., & Jenkins, G.M., 1976. *Time series analysis, forecasting and control*. Enders Robinson, Holden-Day Inc., San Francisco, Calif.
- Bradshaw, E. G., Anderson, N.J., Jensen, J.P. & Jeppesen, E., 2002. Phosphorus dynamics in Danish lakes and the implications for diatom ecology and palaeoecology. *Freshwater Biology*, 47: 1963-1975.
- Brodersen, K. P. & Anderson, N.J., 2002. Distribution of chironomids (Diptera) in low arctic West Greenland lakes: trophic conditions, temperature and environmental reconstruction. *Freshwater Biology*, 47: 1137-1157.

- Brotons, L., Thuiller, W., Araújo, M.B. & Hirzel, A.H., 2004. Presence-absence versus presence-only modelling methods for predicting bird habitat suitability. *Ecography*, 27: 437-448.
- Burgmer, T., Hillebrand, H & M. Pfenninger. 2007. Effects of climate-driven temperature changes on the diversity of freshwater macroinvertebrates. *Oecologia*, 151: 93-103.
- Caissie, D., El-Jabi, N. & St-Hilaire, A., 1998. A. Stochastic modelling of water temperatures in a small stream using air to water relations. *Can. J. Civ. Eng.*, 25: 250-260.
- Cairns, J., McCormick, P.V. & Niederlehner, B.R., 1993. A proposed framework for developing indicators of ecosystem health. *Hydrobiologia*, 263: 1-44.
- Cayuela L. *Modelos lineales generalizados*. EcoLab, Centro Andaluz de Medio Ambiente. Universidad de Granada – Junta de Andalucía. 31 pp. Web: http://observatoriosierranevada.iecolab.es
- CEDEX. 2005. Caracterización de los tipos de ríos y lagos versión 4.0. Junio de 2005. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- Chapman, J. L. & Reiss, M.J., 1999. *Ecology: Principles & Applications*. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Chessman, B. C., 2009. Climatic changes and 13-year trends in stream macroinvertebrate assemblages in New South Wales. Australia. *Global Change Biology*, 15: 2791-2802.
- Cluis, D.A, 1972. Relationship between stream water temperature and ambient air temperature - a simple autoregressive model for mean daily stream water temperature fluctuations. *Nordic Hydrology*, 3(2): 65-71.
- Daufresne, M., Bady, P. & Fruget J.F., 2007. Impacts of global changes and extreme hydroclimatic events on macroinvertebrate community structures in the French Rhône River. *Oecologia*, 151: 544-559.
- Durance, I., & Ormerod, S.J., 2007. Climate change effects on upland stream macroinvertebrates over a 25-year period. *Global Change Biology*, 13: 942-957.
- EC, 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament of the Council of 23rd October 2000 establishing a framework for community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*, L327: 1-72.
- Elith J. et al. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2): 129-151.
- Elith, J. & Leathwick, J.R., 2009. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. Annu. *Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 40:677–697.
- ESRI. ArcGis Desktop 9.3.1 Service Pack 2. http://www.esri.com/
- Estrela, T. & Quintas, L., 1996. El sistema integrado de modelización precipitación - aportación SIMPA. *Revista de Ingeniería Civil*, 104: 43-52. CEDEX - Ministerio de Fomento.

- European Commission, 2009. River Basin Management in a Changing Climate. Guidance Document No. 24. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). 134 pp.
- Ferrier, S. & Watson, G. 1997. An evaluation of the effectiveness of environmental surrogates and modelling techniques in predicting the distribution of biological diversity. Environment Australia, Canberra. http://www.deh.gov.au/biodiversity /publications/technical/surrogates.
- Ferrier, S., Watson, G., Pearce, J. & Drielsma, M., 2002a. Extended statistical approaches to modelling spatial pattern in biodiversity: the north-east New South Wales experience. I. Species-level modelling. *Biodiv. Conserv.*, 11: 2275-2307.
- Fielding, A. H. & Bell, J. F., 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environ. Conserv.*, 24: 38-49.
- Futuyma, D. F., 1998. *Evolutionary Biology*. Sinauer Associates. Sunderland, Massachusetts, USA.
- Guisan, A. & Hofer, U., 2003. Predicting reptile distributions at the mesoscale: relation to climate and topography. *J. Biogeogr.*, 30: 1233-1243.
- Heikkinen, R. K., Luoto, M., Araújo, M.B., Virkkala, R., Thuiller, W. & Sykes, M.T., 2006. Methods and uncertainties in occurrence with spatial reserve design. *Journal of Applied Ecology*, 41: 252–262.
- Hirzel A. H., Hausser, J., Chessel, D. & Perrin, N., 2002. Ecological-niche factor analysis: How to compute habitat- suitability maps without absence data?. *Ecology*, 83: 2027-2036.
- Hirzel A. H. & Arlettaz R., 2003a. Modeling Habitat Suitability for Complex Species Distributions by Environmental-Distance Geometric Mean. *Environmental Management*, Vol. 32, 5: 614-623.
- Hirzel A. H. & Arlettaz R., 2003b. *Environmental-envelope based habitat-suitability models*. Proceedings of the 1st Conference on Resource Selection by Animals (ed Manly, B.J.C.). Laramie, USA.
- Hirzel A. H., Le Lay, G., Helfer, V., Randin, C. & Guisan, A., 2006. Evaluating the ability of habitat suitability models to predict species presences. *Ecological Modelling*, 199: 142-152.
- Hirzel A. H. & Le Lay G., 2008. Habitat suitability modelling and niche theory. *Journal of Applied Ecology*, 45: 1372–1381.
- Hoff, C., 1983. *A practical guide to Box-Jenkins forecasting*. Wadsworth Inc., Lifetime Learning Publications, Belmont, Calif.
- Hogg, I. D. & Williams, D.D., 1996. Response of stream invertebrates to a global-warming thermal regime: an ecosystem-level manipulation. *Ecology*, 77: 395-407.
- Holden, P. B., Mackay, A.W. & Simpson, G.L., 2008. A bayesian palaeoenvironmental transfer function model for acidified lakes. *Journal of Paleolimnology*, 39: 551-566.
- Huggett, R. J., 2004. *Fundamentals of Biogeography*. Routledge. London, UK.
- Hutchinson, G. E., 1957. Population studies: animal ecology and demography. *Cold Spring Harbour Symposia on Quantitative Biology*, 22: 415-427.

- IPCC. 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. J. T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden y D. Xiaosu (Eds.). Cambridge University Press, UK. pp 944.
- IPCC, 2007. *Summary for policymakers: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambrigde University Press. Cambridge, UK.
- Jáimez-Cuellar, P., Vivas, S., Bonada, N., Robles, S., Mellado, A., Álvarez, M., Avilés, J., Casas, J., Ortega, M., Pardo, I., Prat, N., Rieradevall, M., Sáinzcantero, C.E., Sánchez-Ortega, A., Suárez, M.L., Toro, M., Vidal-Albarca, M.R., Zamora-Muñoz, C. & Alba-Tercedor, J., 2002. Protocolo GUADALMED (PRECE). *Limnetica*, 21: 187-204.
- Jeppesen, E., Leavitt, P., De Meester, L. & Jensen, J.P., 2001. Functional ecology and palaeolimnology: Using cladoceran remains to reconstruct anthropogenic impact. *Trends in Ecology and Evolution*, 16: 191-198.
- Kothandaraman, V., 1971. Analysis of water temperature variations in large rivers. *ASCE Journal of the Sanitary Engineering Division*, 97(SA1): 19-31.
- Kothandaraman, V., 1972. Air-water temperature relationship in Illinois River. *Water Resources Bulletin*, 8(1): 38-45.
- Leathwick, J. R., 2002. Intra-generic competition among Nothofagus in New Zealand's primary indigenous forests. *Biodiv. Conserv.* 11: 2177-2187.
- Lehmkuhl, D. M., 1972. Change in thermal regime as a cause of reduction of benthic fauna downstream of a reservoir. *Journal Fisheries Research Board of Canada 29*: 1329-1332.
- Loiselle, B. A., Howell, C.A., Graham, C.H., Goerck, J.M., Broock, T., Smith, K. & Williams, P.H., 2003. Avoiding pitfalls of using species distribution models in conservation planning. *Conserv. Biol*. 17: 1591-1600.
- Luoto, M., Pöyry, J., Heikkinen, R.K. & Saarinen, K., 2005. Uncertainty of bioclimate envelope models based on geographical distribution of species. *Global Ecol. Biogeogr*. 14: 575-584.
- Manly, B. J. C. (ed), *Proceedings of the 1st Conference on Resource Selection by Animals*. Laramie, Wyoming, USA.
- Marcotte, N., & Duong, V.-L., 1973. Le calcul de la température de l'eau des rivière. *Journal of Hydrology*, 18: 273-287.
- Meador, M. R., Carlisle, D.M. & Coles, J.F., 2008. Use of tolerance values to diagnose water-quality stressors to aquatic biota in New England streams. *Ecological Indicators*, 8: 718-728.
- Midgley, G. F., Hannah, L., Millar, D., Rutherford, M.C. & Powrie, L.W., 2002. Assessing the vulnerability of species richness to anthropogenic climate change in a biodiversity hotspot. *Global Ecology and Biogeography*, 11: 445-451.

- Miettinen, J. O., Simola, H., Grönlund, E., Lahtinen, J. & Niinioja, R., 2005. Limnological effects of growth and cessation of agricultural land use in Ladoga Karelia: sedimentary pollen and diatom analyses. *Journal of Paleolimnology*, 34: 229-243.
- Morin, G., Nzakimuena, T.-J., and Sochanski, W., 1994. Prévision des températures de l'eau en rivières à l'aide d'un modèle conceptuel: le cas de la rivière Moisie. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 21(1): 63-75.
- Negro, A. I. & De Hoyos, C., 2005. Relationships between diatoms and the environment in Spanish reservoirs. *Limnetica*, 24: 133-144.
- Olivier F. & Wotherspoonb S. J., 2006. Modelling habitat selection using presence-only data: Case study of a colonial hollow nesting bird, the snow petrel. *Ecological modelling*, 195: 187–204.
- Penning, W. E., Dudley, B., Mjelde, M., Hellsten, S., Hanganu, J., Kolada, A., Van Den Berg, M., Poikane, S., Phillips, G., Willby, N. & Ecke, F., 2008a. Using aquatic macrophyte community indices to define the ecological status of European lakes. *Aquatic Ecology*, 42: 253-264.
- Penning, W. E., Mjelde, M., Dudley, B., Hellsten, S., Hanganu, J., Kolada, A., Van Den Berg, M., Poikane, S., Phillips, G., Willby, N. & Ecke, F., 2008b. Classifying aquatic macrophytes as indicators of eutrophication in European lakes. *Aquatic Ecology*, 42: 237-251.
- Pianka, E. C., 1999. *Evolutionary Ecology*. Benjamin Cummings. San Francisco, California, USA.
- Poff, N.L. & Allan, J.D., 1995. Functional organization of stream fish assemblages in relation to hydrological variability. *Ecology*, 76 (2): 606-627
- Quinn, G.P. & Keaough, M.J., 2002. *Experimental Design and Data Analysis for Biologists*. Cambrigde University Press.
- Raphael, J.M., 1962. Prediction of temperature in rivers and reservoirs. *ASCE Journal of the Power Division*, 88(PO2): 157-181.
- R Development Core Team (2011). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL http://www.R-project.org/.
- Reed, J. M., 1998. A diatom-conductivity transfer function for Spanish salt lakes. *Journal of Paleolimnology*, 19: 399-416.
- Ripley, B., 2011. Matt Wand R port. KernSmooth: Functions for kernel smoothing for Wand & Jones (1995). R package version 2.23-6. http://cran.r-project.org/web/packages/KernSmooth/
- Schöenfelder, I., Gelbrecht, J., Schöenfelder, J. & Steinberg, C.E.W., 2002. Relationships between littoral diatoms and their chemical environment in northeastern German lakes and rivers. *Journal of Phycology*, 38: 66-82.
- Segurado, P. & Araújo, M. B., 2004. An evaluation of methods for modelling species distributions. *J. Biogeogr*. 31: 1555-1568.

- Smith, T. M. & R. L. Smith, 2009. *Elements of Ecology*. Benjamin Cummings. San Francisco, California, USA.
- Sterken, M., Verleyen, E., Sabbe, K., Terryn, G., Charlet, F., Bertrand, S., Boes, X., Fagel, N., De Batist, M. & Vyverman, W., 2008. Late Quaternary climatic changes in southern Chile, as recorded in a diatom sequence of Lago Puyehue (40 degrees 40 ' S). *Journal of Paleolimnology*, 39: 219-235.
- SPSS Inc. 2008. SPSS Base 15.0 for Windows User´s Guide
- Ter Braak, C. J. F., 1985. Correspondence analysis of incidence and abundance data: properties in terms of a unimodal response model. *Biometrics*, 41: 859-873.
- Ter Braak, C. J. F. & Barendregt, L.G., 1986. Weighted averaging of species indicator values its efficiency in environmental calibration. *Mathematical Biosciences*, 78: 57-72.
- Ter Braak, C. J. F. & Looman, C.W.N., 1986. Weighted averaging logistic regression and the Gaussian response model. *Vegetatio*, 65: 3-12.
- Ter Braak, C. J. F. & Van Dam, H., 1989. Inferring pH from diatoms: a comparison of old and new calibration methods. *Hydrobiologia*, 178: 209-224.
- Thuiller, W., Lavorel, S., Midgley, G., S. Lavergne, S. & Rebelo, T., 2004. Relating plant traits and species distributions along bioclimatic gradients for 88 Leucadendron species in the Cape Floristic Region. *Ecology*, 85: 1688-1699.
- Verbitsky, V. B. & Verbitskaya, T.I., 2007. Ecological optimum of ectothermic organisms: static-dynamical approach. *Doklady Akademii Nauk*, 416: 830-832.
- Wand, M. P. & Jones, M. C. 1995. Kernel Smoothing. Chapman and Hall, London
- Wetzel, R. G., 2001. *Limnology*. Academic Press. San Diego, California, USA.
- Wittkowski, K.M., 1988. Friedman-Type Statistics and Consistent Multiple Comparisions for Unbalanced. *Journal of the American Statistical Association*, 404: 1163-1170.
- Wright, J. W., Davies, K.F., Lau, J.A., McCall, A.C. & McKay, J.K., 2006. Experimental verification of ecological niche modeling in a heterogeneous environment. *Ecology*, 87: 2433-2439.
- Yang, X., Anderson, N.J., Dong, X. & J. Shen, J., 2008. Surface sediment diatom assemblages and epilimnetic total phosphorus in large, shallow lakes of the Yangtze floodplain: their relationships and implications for assessing long-term eutrophication. *Freshwater Biology*, 53: 1273-1290.
- Yee, T. W. & Mitchell, N. D., 1991. Generalized additive models in plant ecology. *J. Veg. Sci.* 2: 587-602.
- Zar, J.H., 2006. *Biostatistical Analysis*. Fourth Edition. Pearson Education.

15. GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Box-plot (o diagrama de caja)**: gráfico basado en cuartiles, mediante el cual se visualiza un conjunto de datos. Está compuesto por el rectángulo (la "caja"), y dos brazos que son los "bigotes". Es un gráfico que suministra información sobre los valores mínimos y máximos, el primer y tercer cuartíl, la media y sobre la existencia de atípicos y la simetría de la distribución.

- **Buen estado ecológico**: el estado de la masa de agua superficial cuyos indicadores de calidad biológicos muestran valores bajos de distorsión causada por la actividad humana, desviándose solo ligeramente de los valores normalmente asociados a condiciones inalteradas en el tipo de masa correspondiente. Los indicadores hidromorfológicos son coherentes con la consecución de dichos valores y los indicadores fisicoquímicos se encuentran dentro de los rangos de valores que garantizan el funcionamiento del ecosistema específico del tipo y la consecución de los valores de los indicadores biológicos especificados anteriormente. Además las concentraciones de contaminantes no superan las normas establecidas.

- **Cambio climático**: cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables.

- **Condiciones de referencia**: condiciones de las masas de agua que reflejan el estado correspondiente a niveles de presión nulos o muy bajos, sin efectos debidos a urbanización, industrialización o agricultura intensiva, y con mínimas modificaciones físico-químicas, hidromorfológicas y biológicas. Se establecen condiciones de referencia biológicas, físico-químicas e hidromorfológicas para cada tipo de masa de agua superficial y representan, respectivamente, los valores de los indicadores de los elementos de calidad biológicos, físico-químicos e hidromorfológicos correspondientes al muy buen estado ecológico.

- **Cuenca hidrográfica**: superficie de terreno cuya escorrentía superficial fluye en su totalidad a través de una serie de corrientes, ríos y eventualmente lagos, hacia el mar por una única desembocadura, estuario o delta.

- **Distancia ecológica**: distancia que estandariza las variables según su rango en todos los puntos de presencia para igualar su contribución a un modelo. La distancia entre una presencia "A" y una celda "B" para una variable "k" se calcula como la diferencia absoluta entre "A" y "B" dividida por el rango de "k" para todos los puntos de presencia.

- **Ecosistema**: unidad delimitada espacial y temporalmente, integrada por un lado, por los organismos vivos y el medio en que éstos se desarrollan, y por otro, por las interacciones de los organismos entre sí y con el medio. En otras palabras, el ecosistema es una unidad formada por factores bióticos y abióticos, en la que existen interacciones vitales, fluye la energía y circula la materia.

- **Entropía**: En estadística, la entropía cuantifica la aleatoriedad de la información o su incertidumbre, con el fin de poderla acotar. Refleja la cantidad de información que contienen las unidades de un sistema, en el que las unidades menos frecuentes o raras

aportarían más información que las más frecuentes. A igualdad de probabilidad de todas las unidades, la entropía es máxima ya que todas aportan la misma información.

- **EQR**: relación entre los valores de los indicadores biológicos, físico-químicos o hidromorfológicos observados en una masa de agua y los correspondientes a las condiciones de referencia del tipo al que pertenece la masa. Se expresan mediante un valor numérico comprendido entre 0 y 1.

- **Escenario de cambio climático (o también escenario climático)**: representación plausible y a menudo simplificada del clima futuro basada en un conjunto internamente coherente de relaciones climatológicas, que se construye para ser utilizada de forma explícita en la investigación de las consecuencias potenciales del cambio climático antropogénico, y que sirve a menudo de insumo para las simulaciones de los impactos. Las proyecciones climáticas sirven a menudo como materia prima para la construcción de escenarios climáticos, pero éstos requieren información adicional, por ejemplo, acerca del clima observado en un momento determinado.

- **Estación de aforo**: estación que permite obtener la medida del caudal circulante que pasa por una sección en un momento determinado.

- **Estado ecológico**: una expresión de la calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos asociados a las aguas superficiales y se clasifica de acuerdo con la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE).

- **Estenotermo**: organismo que vive en rangos muy pequeños de temperatura.

- **Hábitat**: espacio donde vive un organismo, especie o conjunto de especies, caracterizado por una cierta uniformidad de factores bióticos y abióticos que hacen posible su supervivencia y reproducción.

- **IBMWP**: índice biótico elaborado por J. Alba-Tercedor como resultado de la adaptación del índice británico BMWP a la fauna ibérica. Se basa en la asignación a las familias de macroinvertebrados acuáticos de valores de tolerancia a la contaminación comprendidos entre 1 (familias muy tolerantes) y 10 (familias intolerantes).

- **Impactos (climáticos)**: consecuencias del cambio climático en sistemas humanos y naturales. Según la medida de la adaptación, se pueden distinguir impactos potenciales e impactos residuales.

- **Impactos potenciales**: todos los impactos que pueden suceder dado un cambio proyectado en el clima, sin tener en cuenta las medidas de adaptación.

- **Impactos residuales**: impactos del cambio climático que pueden ocurrir después de la adaptación.

- **Indicador biológico**: atributo de las especies u organismos (o resto de ellos) que ayudan a descifrar cualquier fenómeno o acontecimiento actual (o pasado) relacionado con el estudio de un ambiente. A cada especie o población le corresponden determinados límites de condiciones ambientales (físico-químicas, estructura de hábitat, así como de relaciones con otras especies) entre los cuales puede sobrevivir, crecer y reproducirse. Los indicadores biológicos, junto con los físico-químicos e

hidromorfológicos se emplean para clasificar el estado ecológico de acuerdo con la Directiva Marco del Agua.

- **Limnología**: parte de la ecología que estudia los ecosistemas acuáticos continentales (lagos, lagunas, humedales, embalses, ríos, charcas, marismas o estuarios)

- **Lótico**: relativo a las aguas corrientes. Se refiere a todos aquellos ecosistemas acuáticos donde la masa de agua se encuentra en movimiento.

- **Macroinvertebrados bentónicos**: organismos acuáticos invertebrados que realizan parte de su ciclo vital en el medio bentónico, es decir, el fondo de los ecosistemas acuáticos. El prefijo macro hace referencia al hecho de que son organismos macroscópicos, relativamente grandes (visibles al ojo humano), normalmente de tamaño mayor de 3 mm.

- **Masa de agua superficial**: una parte diferenciada y significativa de agua superficial, como un lago, un embalse, una corriente, río o canal, parte de una corriente, río o canal, aguas de transición o un tramo de aguas costeras.

- **Modelo de envolvente climática**: modelo predictivo de la evolución futura de la distribución potencial de las especies, basado en la relación entre su distribución actual conocida y el conjunto de variables climáticas asociadas.

- **Muy buen estado ecológico**: estado de una masa de agua superficial cuyos indicadores de calidad biológicos muestran los valores normalmente asociados al tipo de masa en condiciones inalteradas y no muestran indicios de distorsión o muestran indicios de escasa importancia. Además, no existen alteraciones antropogénicas de los valores de los indicadores hidromorfológicos y fisicoquímicos correspondientes al tipo de masa de agua superficial, o existen alteraciones de muy escasa importancia.

- **Nicho ecológico**: espacio multidimensional (“n” variables ambientales) en el que cada punto del mismo se corresponde con un estado del medio ambiente en el que dicha especie o taxón podría sobrevivir indefinidamente. Se divide en nicho fundamental y nicho específico.

- **Nicho fundamental**: grado de tolerancia de un organismo a las condiciones abióticas del ambiente.

- **Nicho específico**: conjunto de condiciones y recursos que permite a una especie el mantenimiento de una población viable incluso con depredadores y competidores.

- **Óptimo ecológico**: punto en el cual las tolerancias ambientales que soporta el individuo o la población coinciden mayormente con sus valores medios.

- **Outlier (o dato atípico)**: dato que parece haberse generado de forma distinta al resto de los datos. Puede ser causado por errores de medición o transcripción, cambios de instrumento de medición o la heterogeneidad intrínseca de los elementos observados.

- **Predicción climática**: resultado de un intento de producir la descripción o la mejor estimación de la evolución real del clima en el futuro (a escalas temporales estaciones, interanuales o a largo plazo).

- **Principio de parsimonia**: postula la elección de la hipótesis más sencilla entre varias hipótesis. En el caso de los modelos, se pretende aplicar el más sencillo de los disponibles.

- **Proyección climática**: proyección de la respuesta del sistema climático a escenarios de emisiones o concentraciones de gases de efecto invernadero y aerosoles basándose a menudo en simulaciones climáticas.

- **Pseudo-ausencia**: ausencia que no afirma que la especie no esté sino que no se ha encontrado.

- **Punto de ruptura**: medida de la robustez estadística. Mínima proporción de outlier que puede dar un sesgo infinito. El máximo valor del punto de ruptura es mayor o igual a 0.5. Cuando la muestra tiene más de un 50 % de outliers, es imposible saber cuáles son las observaciones normales y cuáles los outliers.

- **Rango de tolerancia**: gama o rango de condiciones para una o varias variables en las cuales un organismo puede sobrevivir.

- **Rango óptimo**: límites entre los cuales el organismo además de sobrevivir, se desarrolla y se reproduce con éxito.

- **Taxón**: unidad de clasificación biológica formada por un grupo de organismos con características definitorias como puede ser la especie, el género, la familia, el orden o la clase.

- **Tipos (o tipologías)**: de acuerdo con la Directiva Marco del Agua, las masas de agua superficiales se clasifican en las siguientes categorías: ríos, lagos, aguas de transición y aguas costeras. A su vez cada una de esas categorías se clasifica desde un punto de vista ecológico en tipos. En España, de acuerdo con la Instrucción de Planificación Hidrológica (Orden ARM/2656/2008) se definen 32 tipos (o tipologías) para la categoría de ríos.

- **Zona potámica**: área del río de llanura, con grandes meandros, con abundante caudal, poca corriente y ausencia de piedras en su lecho lodoso.

CEDEX

ÍNDICE GENERAL DE LOS ANEXOS

ÍNDICE GENERAL I

A1- ANEXO I. ESTACIONES BIOLÓGICAS Y DE AFOROS SELECCIONADAS EN EL ESTUDIO 1

A2- ANEXO II. ATLAS DE TAXONES (FAMILIAS) DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN LA CUENCA DEL JÚCAR 9

A2-1 CLASE TURBELLARIA 9

A2-1.1 Orden Seriata 9

A2-1.1.1 Fam. Dugesiidae 9
A2-1.1.2 Fam. Planariidae 10

A2-2 CLASE OLIGOCHAETA 11

A2-2.1 Orden Opisthopora 11

A2-2.1.1 Fam. Lumbricidae 11
A2-2.1.2 Fam. Tubificidae 12

A2-3 CLASE HIRUDINEA 13

A2-3.1 Orden Arhynchobdellida 13

A2-3.1.1 Fam. Erpobdellidae 13
A2-3.1.2 Fam. Haemopidae 14
A2-3.1.3 Fam. Hirudinidae 15

A2-3.2 Orden Rhynchobdellida 16

A2-3.2.1 Fam. Glossiphoniidae 16

A2-4 CLASE GASTEROPODA 17

A2-4.1 Orden Basommatophora 17

A2-4.1.1 Fam. Ancylidae 17
A2-4.1.2 Fam. Lymnaeidae 18
A2-4.1.3 Fam. Physidae 19
A2-4.1.4 Fam. Planorbidae 20

A2-4.2 Orden Mesogastropoda 21

A2-4.2.1 Fam. Bithyniidae 21
A2-4.2.2 Fam. Hydrobiidae 22
A2-4.2.3 Fam. Melanopsidae 23

A2-4.3 Orden Archaeogastropoda 24

A2-4.3.1 Fam. Neritidae 24

A2-4.4 Orden Heterostropha 25

A2-4.4.1 Fam. Valvatidae 25

A2-5 CLASE BIVALVIA 26

A2-5.1 Orden Veneroida 26
A2-5.1.1 Fam. Sphaeriidae 26
A2-5.2 Orden Unionoida 27
A2-5.2.1 Fam. Unionidae 27
A2-6 CLASE MALACOSTRACA (CRUSTACEA) 28
A2-6.1 Orden Isopoda 28
A2-6.1.1 Fam. Asellidae 28
A2-6.1.2 Fam. Sphaeromatidae 29
A2-6.2 Orden Decapoda 30
A2-6.2.1 Fam. Astacidae 30
A2-6.2.2 Fam. Atyidae 31
A2-6.2.3 Fam. Cambaridae 32
A2-6.2.4 Fam. Palaemonidae 33
A2-6.2.5 Fam. Potamonidae 34
A2-6.3 Orden Amphipoda 35
A2-6.3.1 Fam. Corophiidae 35
A2-6.3.2 Fam. Gammaridae 36
A2-6.3.3 Fam. Niphargidae 37
A2-7 CLASE INSECTA 38
A2-7.1 Orden Ephemeroptera 38
A2-7.1.1 Fam. Baetidae 38
A2-7.1.2 Fam. Caenidae 39
A2-7.1.3 Fam. Ephemerellidae 40
A2-7.1.4 Fam. Ephemeridae 41
A2-7.1.5 Fam. Heptageniidae 42
A2-7.1.6 Fam. Leptophlebiidae 43
A2-7.1.7 Fam. Oligoneuriidae 44
A2-7.1.8 Fam. Polymitarcidae 45
A2-7.1.9 Fam. Potamanthidae 46
A2-7.1.10 Fam. Prosopistomatidae 47
A2-7.1.11 Fam. Siphlonuriidae 48
A2-7.2 Orden Plecoptera 49
A2-7.2.1 Fam. Capniidae 49
A2-7.2.2 Fam. Chloroperlidae 50
A2-7.2.3 Fam. Leuctridae 51
A2-7.2.4 Fam. Nemouridae 52
A2-7.2.5 Fam. Perlidae 53
A2-7.2.6 Fam. Perlodidae 54
A2-7.2.7 Fam. Taeniopterygidae 55
A2-7.3 Orden Odonata 56
A2-7.3.1 Fam. Aeshnidae 56
A2-7.3.2 Fam. Calopterygidae 57
A2-7.3.3 Fam. Coenagrionidae 58
A2-7.3.4 Fam. Cordulegastridae 59

A2-7.3.5 Fam. Corduliidae 60
A2-7.3.6 Fam. Gomphidae 61
A2-7.3.7 Fam. Lestidae 62
A2-7.3.8 Fam. Libellulidae 63
A2-7.3.9 Fam. Platycnemididae 64

A2-7.4 Orden Heteroptera 65

A2-7.4.1 Fam. Corixidae 65
A2-7.4.2 Fam. Gerridae 66
A2-7.4.3 Fam. Hydrometridae 67
A2-7.4.4 Fam. Mesoveliidae 68
A2-7.4.5 Fam. Naucoridae 69
A2-7.4.6 Fam. Nepidae 70
A2-7.4.7 Fam. Notonectidae 71
A2-7.4.8 Fam. Pleidae 72
A2-7.4.9 Fam. Veliidae 73

A2-7.5 Orden Megaloptera 74

A2-7.5.1 Fam. Sialidae 74

A2-7.6 Orden Lepidoptera 75

A2-7.6.1 Fam. Crambidae 75

A2-7.7 Orden Coleoptera 76

A2-7.7.1 Fam. Curculionidae 76
A2-7.7.2 Fam. Dryopidae 77
A2-7.7.3 Fam. Dytiscidae 78
A2-7.7.4 Fam. Elmidae 79
A2-7.7.5 Fam. Gyrinidae 80
A2-7.7.6 Fam. Haliplidae 81
A2-7.7.7 Fam. Helophoridae 82
A2-7.7.8 Fam. Hydraenidae 83
A2-7.7.9 Fam. Hydrophilidae 84
A2-7.7.10 Fam. Noteridae 85
A2-7.7.11 Fam. Scirtidae 86

A2-7.8 Orden Trichoptera 87

A2-7.8.1 Fam. Apataniidae 87
A2-7.8.2 Fam. Beraeidae 88
A2-7.8.3 Fam. Brachycentridae 89
A2-7.8.4 Fam. Calamoceratidae 90
A2-7.8.5 Fam. Ecnomidae 91
A2-7.8.6 Fam. Glossosomatidae 92
A2-7.8.7 Fam. Hydropsychidae 93
A2-7.8.8 Fam. Hydroptilidae 94
A2-7.8.9 Fam. Lepidostomatidae 95
A2-7.8.10 Fam. Leptoceridae 96
A2-7.8.11 Fam. Limnephilidae 97
A2-7.8.12 Fam. Philopotamidae 98
A2-7.8.13 Fam. Phryganeidae 99
A2-7.8.14 Fam. Polycentropodidae 100
A2-7.8.15 Fam. Psychomyiidae 101

A2-7.8.16 Fam. Rhyacophilidae 102
A2-7.8.17 Fam. Sericostomatidae 103
A2-7.9 Orden Diptera.... 104
A2-7.9.1 Fam. Anthomyiidae 104
A2-7.9.2 Fam. Athericidae....105
A2-7.9.3 Fam. Ceratopogonidae....106
A2-7.9.4 Fam. Culicidae 107
A2-7.9.5 Fam. Chironomidae....108
A2-7.9.6 Fam. Dixidae....109
A2-7.9.7 Fam. Dolichopodidae 110
A2-7.9.8 Fam. Empididae....111
A2-7.9.9 Fam. Ephydridae....112
A2-7.9.10 Fam. Limoniidae....113
A2-7.9.11 Fam. Muscidae 114
A2-7.9.12 Fam. Pediciidae 115
A2-7.9.13 Fam. Psychodidae 116
A2-7.9.14 Fam. Ptychopteridae 117
A2-7.9.15 Fam. Rhagionidae....118
A2-7.9.16 Fam. Sciomyzidae....119
A2-7.9.17 Fam. Simuliidae 120
A2-7.9.18 Fam. Stratiomyidae 121
A2-7.9.19 Fam. Syrphidae....122
A2-7.9.20 Fam. Tabanidae....123
A2-7.9.21 Fam. Tipulidae 124
A3- ANEXO III. ÓPTIMOS ECOLÓGICOS DE TAXONES (FAMILIAS) DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN LA CUENCA DEL JÚCAR PARA CADA VARIABLE 125
A3-1 Alcalinidad total 125
A3-2 Altitud 127
A3-3 Amonio 129
A3-4 Anchura media 131
A3-5 Área....133
A3-6 Caudal....135
A3-7 Conductividad....137
A3-8 Demanda química de oxígeno (DBO_5)....139
A3-9 Número de días con caudal cero 141
A3-10 Distancia a la divisoria de aguas....143
A3-11 Fosfatos....145
A3-12 Sólidos en suspensión....147
A3-13 Nitratos....149
A3-14 Oxígeno disuelto....151
A3-15 pH....153
A3-16 Profundidad media....155
A3-17 Sulfatos 157
A3-18 Temperatura....159
A4- ANEXO IV. GRÁFICAS DEL MODELO A ESCALA DIARIA 161
A4-1 TEMPERATURAS AIRE Y AGUA MEDIDAS EN LAS ESTACIONES SAICA Y AEMET 161
A4-1.1 Tipo 1 “Ríos de llanura silíceas del Tajo y Guadiana” 161

A4-1.2 Tipo 2 “Ríos de la depresión del Guadalquivir” 162
A4-1.3 Tipo 4 “Ríos mineralizados de la Meseta Norte” 162
A4-1.4 Tipo 6 “Ríos silíceos del piedemonte de Sierra Morena” 163
A4-1.5 Tipo 7 “Ríos mineralizados mediterráneos de baja altitud” 163
A4-1.6 Tipo 9 “Ríos mineralizados de la baja montaña mediterránea” 164
A4-1.7 Tipo 10 “Ríos mediterráneos con influencia cárstica” 165
A4-1.8 Tipo 12 “Ríos de montaña mediterránea calcárea” 165
A4-1.9 Tipo 14 “Ejes mediterráneos de baja altitud” 167
A4-1.10 Tipo 15 “Ejes mediterráneo-continentales poco mineralizados” 168
A4-1.11 Tipo 16 “Ejes mediterráneos-continentales mineralizados” 172
A4-1.12 Tipo 17 “Grandes ejes en ambiente mediterráneo” 174
A4-1.13 Tipo 18 “Ríos costeros mediterráneos” 177
A4-1.14 Tipo 21 “Ríos cántabro-atlánticos silíceos” 177
A4-1.15 Tipo 26 “Ríos de montaña húmeda calcárea” 177
A4-1.16 Tipo 28 “Ejes fluviales principales cántabro-atlánticos silíceos” 178
A4-1.17 Tipo 29 “Ejes fluviales principales cántabro-atlánticos calcáreos” 179
A4-1.18 Tipo 31 “Pequeños ejes cántabro-atlánticos silíceos” 181
A4-1.19 Tipo 32 “Pequeños ejes cántabro-atlánticos calcáreos” 181

A4-2 CURVAS DE DENSIDAD DE LAS TEMPERATURAS AIRE Y AGUA 182

A4-2.1 Tipo 1 “Ríos de llanuras silíceas del Tajo y Guadiana” 182
A4-2.2 Tipo 2 “Ríos de la depresión del Guadalquivir” 183
A4-2.3 Tipo 4 “Ríos mineralizados de la Meseta Norte” 183
A4-2.4 Tipo 6 “Ríos silíceos del piedemonte de Sierra Morena” 184
A4-2.5 Tipo 7 “Ríos mineralizados mediterráneos de baja altitud” 184
A4-2.6 Tipo 9 “Ríos mineralizados de la baja montaña mediterránea” 185
A4-2.7 Tipo 10 “Ríos mediterráneos con influencia cárstica” 186
A4-2.8 Tipo 12 “Ríos de montaña mediterránea calcárea” 186
A4-2.9 Tipo 14 “Ejes mediterráneos de baja altitud” 188
A4-2.10 Tipo 15 “Ejes mediterráneo-continentales poco mineralizados” 189
A4-2.11 Tipo 16 “Ejes mediterráneo-continentales mineralizados” 193
A4-2.12 Tipo 17 “Grandes ejes en ambiente mediterráneo” 195
A4-2.13 Tipo 18 “Ríos costeros mediterráneos” 197
A4-2.14 Tipo 21 “Ríos cántabro-atlánticos silíceos” 198
A4-2.15 Tipo 26 “Ríos de montaña húmeda calcárea” 198
A4-2.16 Tipo 28 “Ejes fluviales principales cántabro-atlánticos silíceos” 199
A4-2.17 Tipo 29 “Ejes fluviales principales cántabro-atlánticos calcáreos” 200
A4-2.18 Tipo 31 “Pequeños ejes cántabro-atlánticos silíceos” 201
A4-2.19 Tipo 32 “Pequeños ejes cántabro-atlánticos calcáreos” 202

A4-3 GRÁFICAS DE VALIDACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL AGUA 203

A4-3.1 Tipo 1 “ Ríos de llanuras silíceas del Tajo y Guadiana” 203
A4-3.2 Tipo 2 “ Ríos de la depresión del Guadalquivir” 206
A4-3.3 Tipo 4 “Ríos mineralizados de la Meseta Norte” 208
A4-3.4 Tipo 6 “Ríos silíceos del piedemonte de Sierra Morena” 209
A4-3.5 Tipo 7 “Ríos mineralizados mediterráneos de baja altitud” 210
A4-3.6 Tipo 9 “Ríos mineralizados de la baja montaña mediterránea” 211
A4-3.7 Tipo 10 “Ríos mediterráneos con influencia cárstica” 217

A4-3.8 Tipo 12 “Ríos de montaña mediterránea calcárea” 220
A4-3.9 Tipo 14 “Ejes mediterráneos de baja altitud” 231
A4-3.10 Tipo 15 “Ejes mediterráneo-continentales poco mineralizados” 234
A4-3.11 Tipo 16 “Ejes mediterráneo-continentales mineralizados” 262
A4-3.12 Tipo 18 “Ríos costeros mediterráneos” 274
A4-3.13 Tipo 18 “Ríos costeros mediterráneos” 288
A4-3.14 Tipo 21 “Ríos cántabro-atlánticos silíceos” 289
A4-3.15 Tipo 26 “Ríos de montaña húmeda calcárea” 291
A4-3.16 Tipo 28 “Ejes fluviales principales cántabro-atlánticos silíceos” 293
A4-3.17 Tipo 29 “Ejes fluviales principales cántabro-atlánticos calcáreos” 298
A4-3.18 Tipo 31 “Pequeños ejes cántabro-atlánticos silíceos” 304
A4-3.19 Tipo 32 “Pequeños ejes cántabro-atlánticos calcáreos” 307

A4-4 CURVAS DEL ERROR CUADRÁTICO MEDIO Y DEL COEFICIENTE DE REGRESIÓN 310

A4-4.1 Tipo 1 “Ríos de llanuras silíceas del Tajo y Guadiana” 310
A4-4.2 Tipo 2 “Ríos de la depresión del Guadalquivir” 311
A4-4.3 Tipo 4 “Ríos mineralizados de la Meseta Norte” 312
A4-4.4 Tipo 6 “Ríos silíceos del piedemonte de Sierra Morena” 312
A4-4.5 Tipo 7 “Ríos mineralizados mediterráneos de baja altitud” 313
A4-4.6 Tipo 9 “Ríos mineralizados de la baja montaña mediterránea” 313
A4-4.7 Tipo 10 “Ríos mediterráneos con influencia cárstica” 314
A4-4.8 Tipo 12 “Ríos de montaña mediterráneos calcárea” 315
A4-4.9 Tipo 14 “Ejes mediterráneos de baja altitud” 316
A4-4.10 Tipo 15 “Ejes mediterráneo-continentales poco mineralizados” 317
A4-4.11 Tipo 16 “Ejes mediterráneos-continentales mineralizados” 321
A4-4.12 Tipo 17 “Grandes ejes en ambiente mediterráneo” 323
A4-4.13 Tipo 18 “Ríos costeros mediterráneos” 326
A4-4.14 Tipo 21 “Ríos cántabro-atlánticos silíceos” 326
A4-4.15 Tipo 26 “Ríos de montaña húmedo calcárea” 327
A4-4.16 Tipo 28 “Ejes fluviales principales cántabro-atlánticos silíceos” 327
A4-4.17 Tipo 29 “Ejes fluviales principales cántabro- atlánticos calcáreos” 328
A4-4.18 Tipo 31 “Pequeños ejes cántabro-atlánticos silíceos” 330
A4-4.19 Tipo 32 “Pequeños ejes cántabro-atlánticos calcáreos” 330

A5- ANEXO V. P-VALORES OBTENIDOS CON EL TEST DE FRIEDMAN PARA LAS MASAS DE AGUA DE LA CUENCA DEL JÚCAR, CLASIFICADAS POR TIPOLOGÍAS, PARA LAS PREDICCIONES 2011-2040, 2041-2070 Y 2071-2100 EN EL ESCENARIO A2 331

A5-1 Tipo 5 “ Ríos manchegos” 331
A5-2 Tipo 9 “ Ríos mineralizados con influencia cárstica” 332
A5-3 Tipo 10 “ Ríos mediterráneos con influencia cárstica” 336
A5-4 Tipo 12 “ Ríos de montaña mediterránea calcárea” 337
A5-5 Tipo 13 “ Ríos mediterráneos muy mineralizados” 339
A5-6 Tipo 14 “ Ejes mediterráneos de baja altitud” 340
A5-7 Tipo 16 “ Ejes mediterráneos-continentales mineralizados” 341
A5-8 Tipo 17 “ Grandes ejes en ambiente mediterráneo” 342
A5-9 Tipo 18 “ Ríos costeros mediterráneos” 343

A1- ANEXO I. ESTACIONES BIOLÓGICAS Y DE AFOROS SELECCIONADAS EN EL ESTUDIO

Red biológica	Cauce	Código Cedex de aforo	Localización estación aforo
RB001	CENIA	EASE8025	Embalse de Ulldecona
RB002	MIJARES	EAR8005	Almazora
RB003	MIJARES	EAR8119	Mora de Rubielos
RB004	MIJARES		
RB005	MIJARES		
RB006	MIJARES		
RB007	MIJARES	EASE8005	Embalse de Arenos
RB008	MIJARES	EAR8134	Puebla de Arenoso
RB009	MIJARES		
RB010	MIJARES		
RB011	MIJARES		
RB012	MIJARES		
RB013	LUCENA	EASE8002-EATC8412	Embalse de Alcora
RB014	LUCENA	EAEE8002	Embalse de Alcora
RB015	LINARES (VILLAHERMOSA)		
RB016	LINARES (VILLAHERMOSA)		
RB017	LINARES (VILLAHERMOSA)		
RB018	PAULEJAS		
RB019	PALOMAREJAS		
RB020	ALBENTOSA		
RB021	ALBENTOSA		
RB022	TORRIJAS		
RB023	PARAISOS		
RB024	ALCALÁ		
RB025	MONTÁN		
RB026	MAIMONA		
RB027	MORRÓN (RODECHE)		
RB028	VEO	EAEE8018	Embalse de Onda
RB029	BCO. MONTE CASTRO		
RB030	BCO. CARIDAD		
RB032	PALANCIA		
RB033	PALANCIA		
RB034	PALANCIA	EAR8074	Navajas
RB035	PALANCIA		
RB036	PALANCIA		
RB037	PALANCIA		
RB038	PALANCIA		
RB039	PALANCIA		
RB040	BCO. RESINERO		
RB041	BCO. ARTEAS		
RB042	RAMBLA GAIBIEL		
RB043	RAMBLA ALGIMIA		
RB044	TURIA	EAR8025	Manises
RB045	TURIA	EAR8025	Manises

Red biológica	Cauce	Código Cedex de aforo	Localización estación aforo
RB001	CENIA	EASE8025	Embalse de Ulldecona
RB002	MIJARES	EAR8005	Almazora
RB003	MIJARES	EAR8119	Mora de Rubielos
RB004	MIJARES		
RB046	TURIA		
RB047	TURIA	EAR8147	Chulilla
RB048	TURIA		
RB049	TURIA	EASE8014	Embalse de Benageber
RB050	TURIA	EAR8018	Tuejar
RB051	TURIA		
RB052	TURIA		
RB053	TURIA		
RB054	TURIA	EAR8015	Teruel
RB055	TURIA	EAR8016	Ademuz
RB056	TURIA	EAR8017	Betxi
RB057	TURIA	EAR8096	Teruel
RB058	TURIA	EAEE8006	Embalse de Arquillo de San Blas
RB059	TURIA		
RB060	TURIA	EAR8014	Tramacastilla
RB061	TURIA		
RB062	ARCOS		
RB063	ARCOS		
RB064	CAMARENA		
RB065	RAMBLA DEL VAL		
RB066	EBRÓN	EAR8104	Castielfabib
RB067	EBRÓN	EAR8104	Castielfabib
RB068	VALLANCA		
RB069	TUÉJAR		
RB070	TUÉJAR		
RB071	SOT (REATILLO)	EASE8008	Embalse de Buseo
RB072	SOT (REATILLO)		
RB073	SOT (REATILLO)	EAEE8008	Embalse de Buseo
RB074	ALFAMBRA	EAR8027	Teruel
RB075	ALFAMBRA	EAR8028	Perales del Alfambra
RB076	ALFAMBRA		
RB077	ALFAMBRA		
RB078	REGAJO SAN MARCOS		
RB079	JÚCAR		
RB080	JÚCAR	EAR8042	Sumacarcel
RB081	JÚCAR	EASE8030	Embalse de Tous
RB083	JÚCAR		
RB084	JÚCAR	EAEE8026	Embalse de El Molinar
RB085	JÚCAR	EAR8144	Alcalá del Júcar
RB086	JÚCAR		
RB087	JÚCAR	EAR8036	Albacete
RB088	JÚCAR		
RB089	JÚCAR	EAR8129	Pozorrubielos de la Mancha
RB090	JÚCAR	EASE8001	Embalse de Alarcón
RB091	JÚCAR	EAR8091	La Parra de las Vegas

Red biológica	Cauce	Código Cedex de aforo	Localización estación aforo
RB001	CENIA	EASE8025	Embalse de Ulldecona
RB002	MIJARES	EAR8005	Almazora
RB003	MIJARES	EAR8119	Mora de Rubielos
RB004	MIJARES		
RB092	JÚCAR		
RB093	JÚCAR		
RB094	JÚCAR		
RB095	JÚCAR		
RB096	JÚCAR		
RB097	JÚCAR		
RB098	JÚCAR	EAR8126	Huélamo
RB099	JÚCAR		
RB100	JÚCAR		
RB101	MAGRO		
RB102	MAGRO		
RB103	MAGRO	EAR8093	Macastre
RB104	MAGRO		
RB105	MAGRO		
RB106	MADRE		
RB107	BUÑOL		
RB108	BUÑOL		
RB109	RAMBLA DE BOSNA		
RB110	MIJARES		
RB111	VERDE		
RB112	ALBAIDA		
RB113	ALBAIDA	EASE8036	Embalse de Bellús
RB114	ALBAIDA	EASE8036	Embalse de Bellús
RB115	CÁÑOLES		
RB116	CÁÑOLES		
RB117	CLARIANO		
RB118	CLARIANO		
RB119	SELLENT		
RB120	SELLENT		
RB121	ANNA		
RB122	CAZUNTA		
RB123	GRANDE		
RB124	ESCALONA		
RB125	MORENO		
RB126	CABRIEL	EAR8112	Cofrentes
RB127	CABRIEL		
RB128	CABRIEL	EASE8009	Embalse de Contreras
RB129	CABRIEL		
RB130	CABRIEL	EAR8090	Pajaroncillo
RB131	CABRIEL		
RB132	CABRIEL		
RB133	MIRA (OJOS DE MOYA)	EAR8092	Mira
RB134	MIRA (OJOS DE MOYA)		
RB135	MARTÍN	EAR8141	Villora
RB137	GUADAZAÓN	EAR8140	Paracuellos

Red biológica	Cauce	Código Cedex de aforo	Localización estación aforo
RB001	CENIA	EASE8025	Embalse de Ulldecona
RB002	MIJARES	EAR8005	Almazora
RB003	MIJARES	EAR8119	Mora de Rubielos
RB004	MIJARES		
RB138	GUADAZAÓN		
RB139	MAYOR		
RB140	TEJADILLOS		
RB141	CAMPILLOS		
RB142	CANTABÁN		
RB143	GRITOS	EAR8118	Las Valeras
RB144	BELMONTEJO	EAR8087	Belmontejo
RB145	CHILLARÓN		
RB146	HUÉCAR		
RB147	MARIANA		
RB148	LEZUZA	EAR8137	Lezuza
RB149	JARDÍN (CUBILLO)		
RB150	ARQUILLO	EAR8138	Balazote
RB151	ARQUILLO		
RB152	CASAS LÁZARO (MIRÓN)	EAR8097	Casas de Lázaro
RB153	RAMBLA ALBOSA		
RB154	RAMBLA DE LOS MORENOS		
RB155	ZARRA		
RB156	SERPIS		
RB157	SERPIS		
RB158	SERPIS	EASE8007	Embalse de Beniarres
RB159	SERPIS		
RB160	BERNISA		
RB161	BCO.ENCANTAT		
RB162	BARCHEL		
RB163	VALLESETA		
RB164	BULLÉNS		
RB165	RACÓNS		
RB166	ALGAR	EAR8151	Callosa d´en Sarriá
RB167	GUADALEST	EASE8015	Embalse de Guadalest
RB168	GUADALEST		
RB169	TORRES		
RB171	SELLA		
RB172	AMADORIO		
RB173	MONNEGRE		
RB173	MONNEGRE		
RB174	TORREMANZANAS (JIJONA)		
RB176	VINALOPÓ		
RB177	VINALOPÓ		
RB178	VINALOPÓ		
RB179	GIRENA		
RB180	JALÓN (GORGOS)		
RB181	RAMBLA DE LA VIUDA		
RB182	LUCENA	EAEE8002	Embalse de Alcora
RB184	MORA		

Red biológica	Cauce	Código Cedex de aforo	Localización estación aforo
RB001	CENIA	EASE8025	Embalse de Ulldecona
RB002	MIJARES	EAR8005	Almazora
RB003	MIJARES	EAR8119	Mora de Rubielos
RB004	MIJARES		
RB185	DE LOS OLMOS		
RB186	TURIA	EASE8016	Embalse de Loriguilla
RB187	JÚCAR		
RB188	JÚCAR	EASE8029	Embalse de El Naranjero
RB190	JÚCAR	EASE8026	Embalse de El Molinar
RB192	SOLLAVIENTOS		
RB194	LUDEY		
RB195	PONTÓN (MARIMOTA)		
RB196	MOSCAS		
RB199	BELCAIRE		
RB200	SECO		
RB201	JARACO		
RB202	VALDEMEMBRA		
RB204	BCO. DEL REGATELL		
RB205	CENIA		
RB205	CENIA		
RB206	ALCALÁ (VALBONA)		
RB207	VEO		
RB208	BCO. DE CALICANTO		
RB209	BCO. DE LA HORTETA		
RB210	RAMBLA DE CHIVA		
RB211	TURIA		
RB212	JÚCAR		
RB213	VERDE		
RB214	RECONQUE		
RB215	RAMBLA ARGONGUEĐA		
RB216	CABRIEL		
RB217	CABRIEL		
RB218	SERPIS		
RB219	SERPIS	EAEE8007	Embalse de Beniarres
RB220	BOLULLA	EAR8151	Callosa d´en Sarriá
RB221	PENÁGUILA		
RB224	MIJARES		
RB226	BCO. DE SAN JOSÉ		
RB227	RAMBLA DE ALMARCHE		
RB228	ARCOS		
RB229	TURIA		
RB230	JÚCAR		
RB231	JÚCAR		
RB232	MAGRO	EAR8093	Macastre
RB233	MAGRO		
RB234	CÁÑOLES		
RB235	ANNA		
RB236	DE LOS SANTOS	EAR8062	L´Alcudia de Crespins
RB237	VALLESETA		

Red biológica	Cauce	Código Cedex de aforo	Localización estación aforo
RB001	CENIA	EASE8025	Embalse de Ulldecona
RB002	MIJARES	EAR8005	Almazora
RB003	MIJARES	EAR8119	Mora de Rubielos
RB004	MIJARES		
RB238	GUADALEST	EAEE8015	Embalse de Guadalest
RB239	AMADORIO		
RB241	TORREMANZANAS		
RB242	VINALOPÓ		
RB243	RUBIELOS DE MORA		
RB244	SERPIS		
RB245	MIJARES		
RB246	LEDAÑA		
RB247	MIJARES		
RB248	VALDEMECA	EAR8126	Huélamo
RB249	TURIA	EAR8018	Tuéjar
RB250	JÚCAR		
RB251	ALBAIDA		
RB252	VINALOPÓ		
RB253	BCO. TENALLA		
RB254	MAIMONA		
RB255	ALFAMBRA		
RB257	TURIA	EASE8007	Embalse de Beniarres
RB258	TURIA		
RB259	TURIA		
RB260	MIJARES		
RB261	LINARES (VILLAHERMOSA)		
RB262	SALINAS DE HÓRTOLA		
RB263	FUENTE BERRO		
RB264	ARROYO DE LA VEGA		
RB266	ARQUILLO		
RB267	VINALOPO		
RB268	RAMBLA SAN MIGUEL		
RB270	MIJARES		
RB271	MIJARES		
RB272	JÚCAR	EAR8089	Algemesí
RB273	LINARES (VILLAHERMOSA)		
RB274	SECO		
RB275	TURIA	EAR8025-EATC8409	Manises
RB276	RAMBLA ALCOTAS		
RB277	RAMBLA ACEÐA		
RB278	TURIA	EAR8018	Tuéjar
RB279	BCO. PICASSENT		
RB280	BCO. PICASSENT		
RB281	ALFAMBRA	EAR8027	Teruel
RB282	ARROYO RIATO		
RB283	GRITOS		
RB284	GRITOS		
RB285	JÚCAR	EAR8036	Albacete
RB286	VALDEMEMBRA		

Red biológica	Cauce	Código Cedex de aforo	Localización estación aforo
RB001	CENIA	EASE8025	Embalse de Ulldecona
RB002	MIJARES	EAR8005	Almazora
RB003	MIJARES	EAR8119	Mora de Rubielos
RB004	MIJARES		
RB287	JÚCAR		
RB288	ARQUILLO		
RB289	MIRÓN	EAR8097-EATC8410	Casas de Lázaro
RB290	CABRIEL		
RB291	CABRIEL		
RB292	OJOS DE MOYA		
RB293	JÚCAR	EASE8030	Embalse de Tous
RB294	MICENA		
RB295	BCO. BARCHETA		
RB296	RAMBLA ALGODER		
RB297	MAGRO		
RB298	BCO. ALBERCA		
RB299	GUADALEST		
RB300	JÚCAR		
RB301	BARCHETA		
RB302	REVOLTA		
RB303	ALGAR		
RB304	AMADORIO	EASE8004	Embalse de Amadorio
RB305	MONNEGRE	EAR8128	Tibi
RB306	MONNEGRE		
RB307	VINALOPÓ		
RB308	VINALOPÓ		
RB309	VINALOPÓ		
RB310	XERACO		

A2- ANEXO II. ATLAS DE TAXONES (FAMILIAS) DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN LA CUENCA DEL JÚCAR

A2-1 CLASE TURBELLARIA

A2-1.1 Orden Seriata

A2-1.1.1 Fam. Dugesiidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Platyhelminthes
Clase	Turbellaria
Orden	Seriata
Familia	Dugesiidae

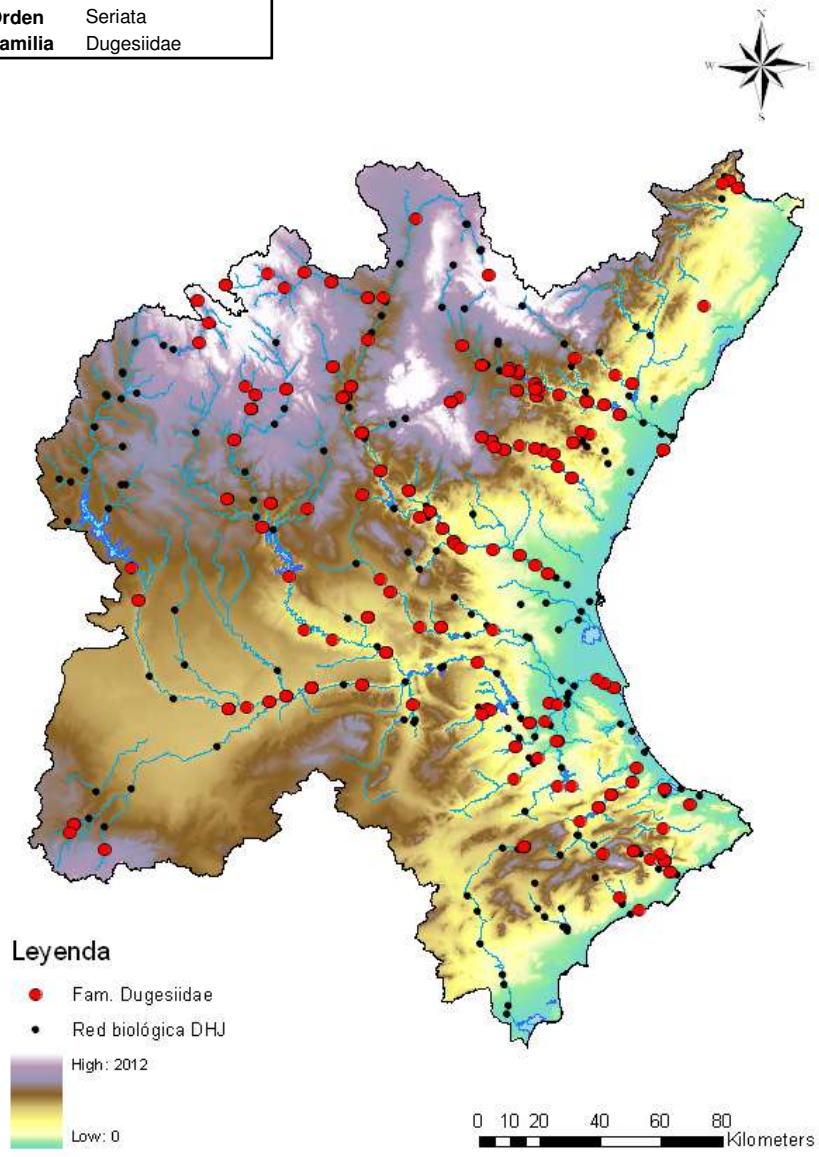


Figura A2-1. Atlas de distribución de la familia Dugesiidae en la cuenca del Júcar.

A2-1.1.2 Fam. Planariidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Platyhelminthes
Clase	Turbellaria
Orden	Seriata
Familia	Planariidae

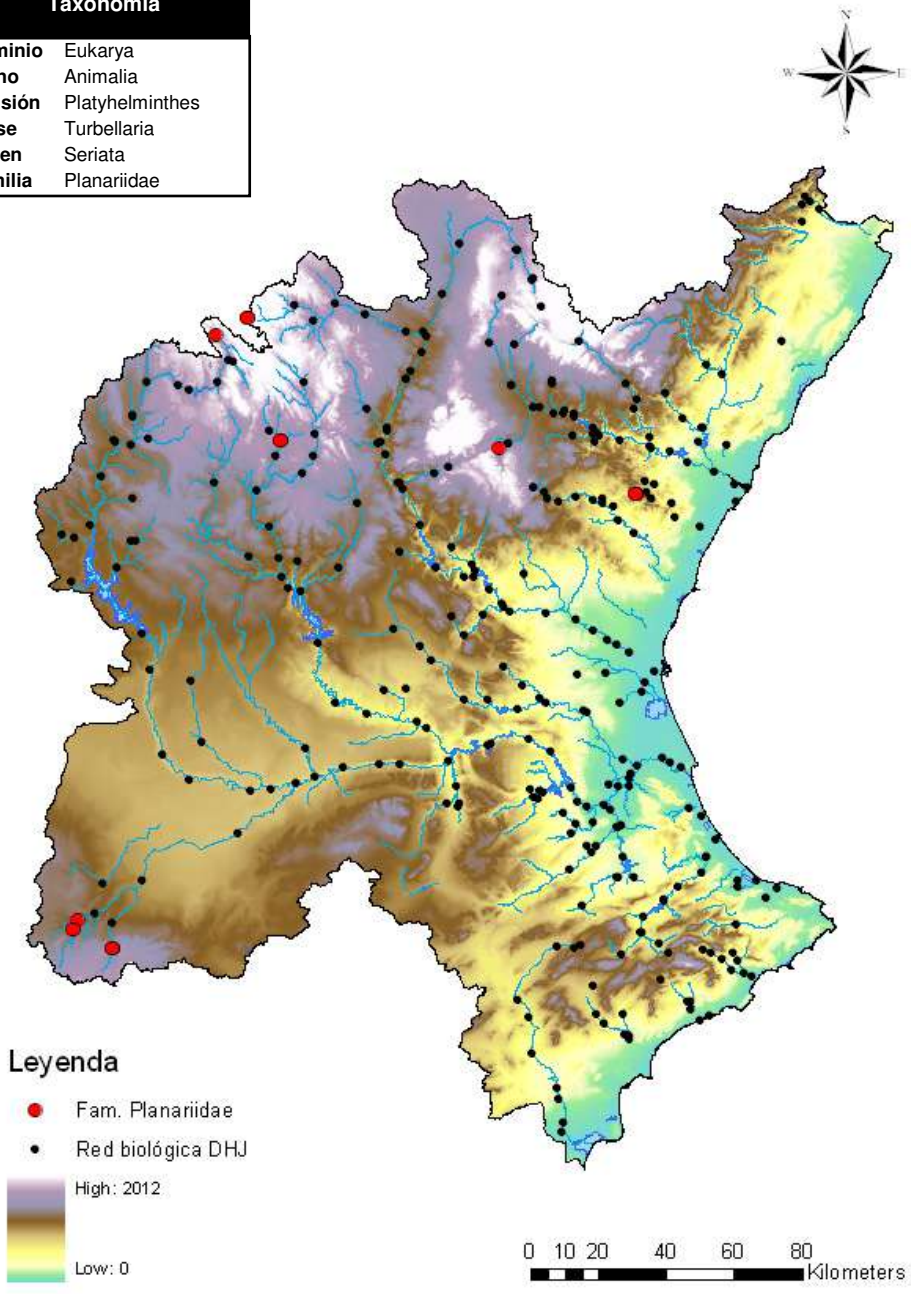


Figura A2-2. Atlas de distribución de la familia Planariidae en la cuenca del Júcar.

A2-2 CLASE OLIGOCHAETA

A2-2.1 Orden Opisthopora

A2-2.1.1 Fam. Lumbricidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Annelida
Clase	Oligochaeta
Orden	Opisthopora
Familia	Lumbricidae

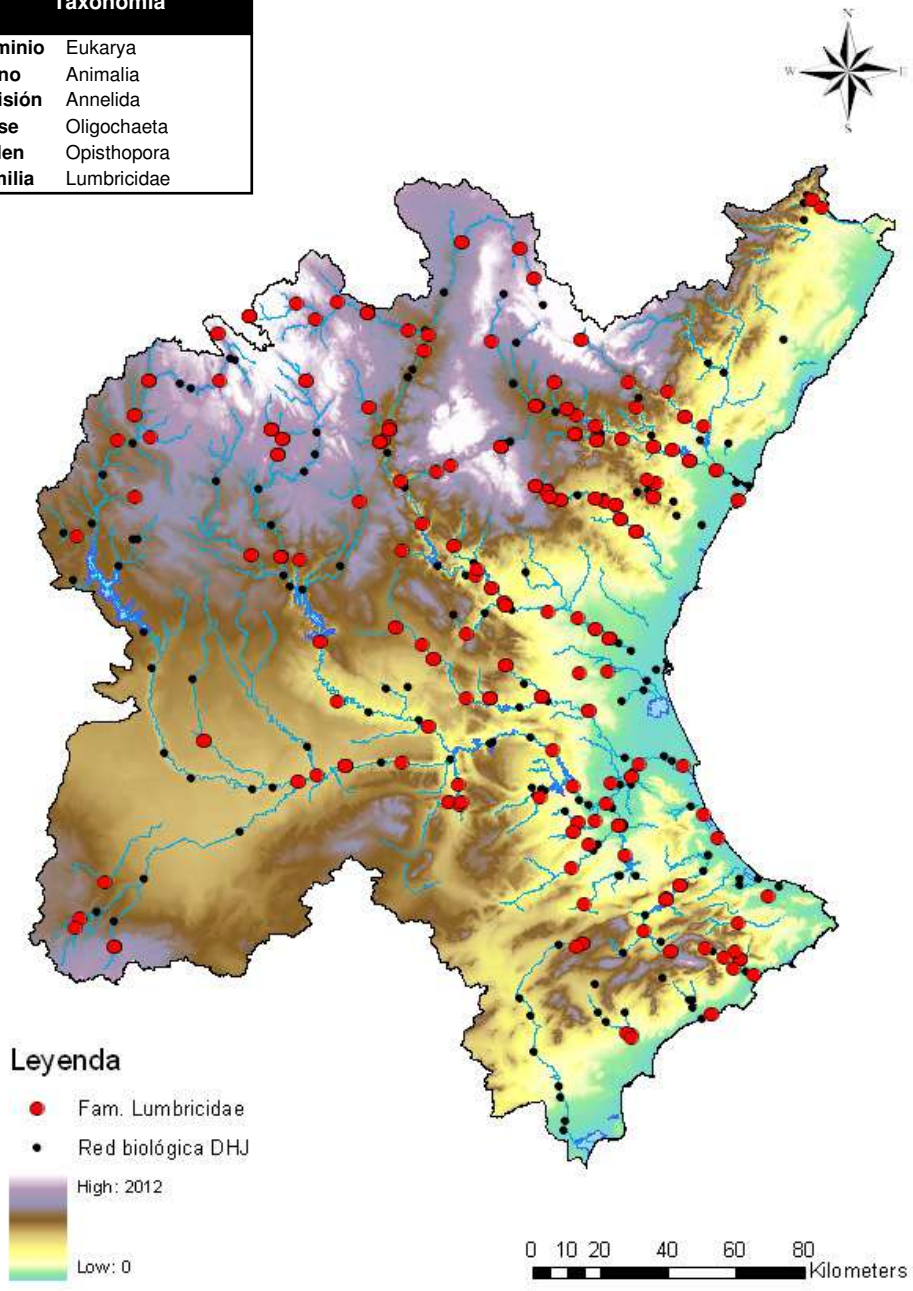


Figura A2-3. Atlas de distribución de la familia Lumbricidae en la cuenca del Júcar.

A2-2.1.2 Fam. Tubificidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Annelida
Clase	Oligochaeta
Orden	Tubificida
Familia	Tubificidae

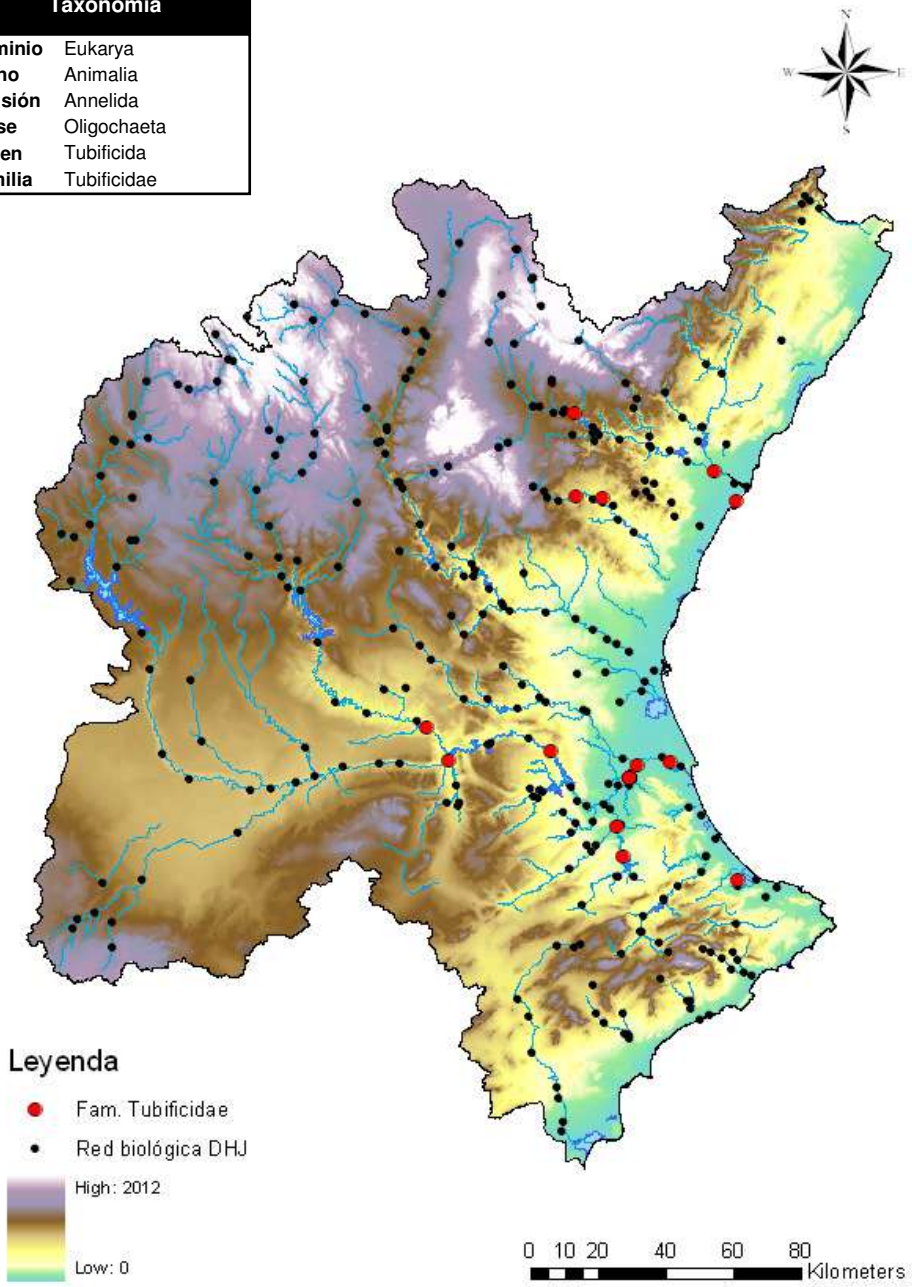


Figura A2-4. Atlas de distribución de la familia Tubificidae en la cuenca del Júcar.

A2-3 CLASE HIRUDINEA

A2-3.1 Orden Arhynchobdellida

A2-3.1.1 Fam. Erpobdellidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Annelida
Clase	Hirudinea
Orden	Arhynchobdellida
Familia	Erpobdellidae

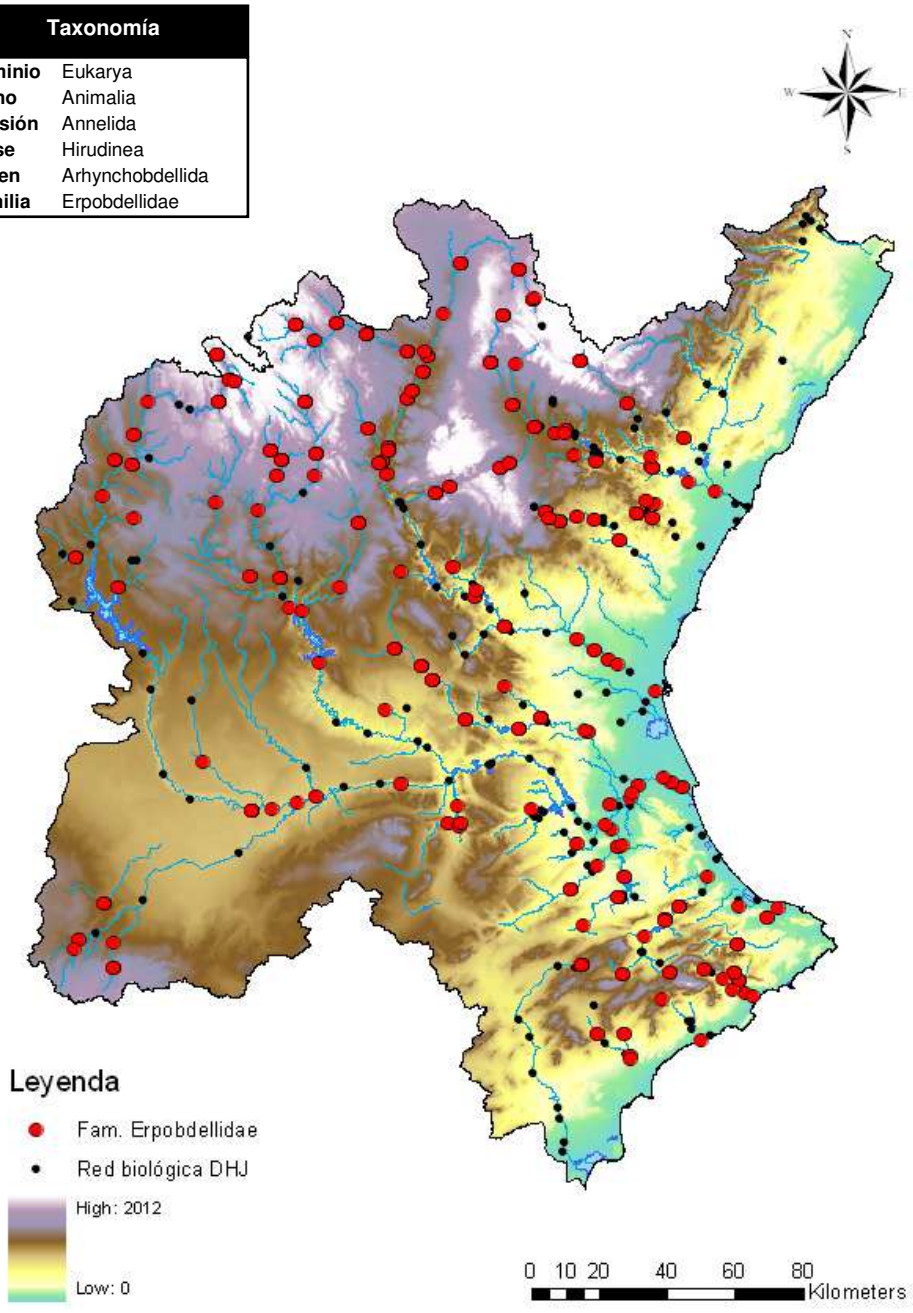


Figura A2-5. Atlas de distribución de la familia Erpobdellidae en la cuenca del Júcar.

A2-3.1.2 Fam. Haemopidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Annelida
Clase	Hirudinea
Orden	Arhynchobdellida
Familia	Haemopidae

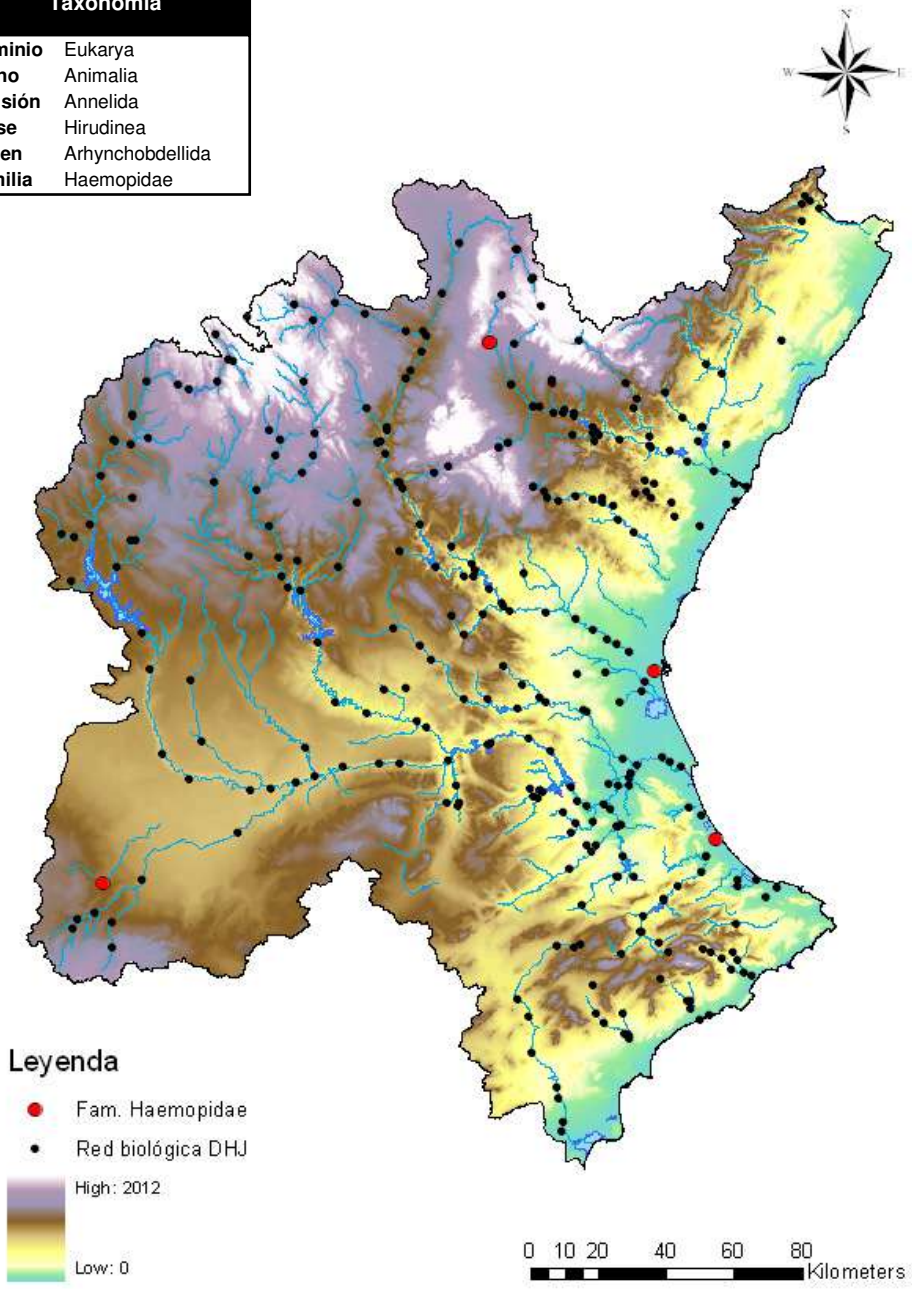


Figura A2-6. Atlas de distribución de la familia Haemopidae en la cuenca del Júcar.

A2-3.1.3 Fam. Hirudinidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Annelida
Clase	Hirudinea
Orden	Arhynchobdellida
Familia	Hirudinidae

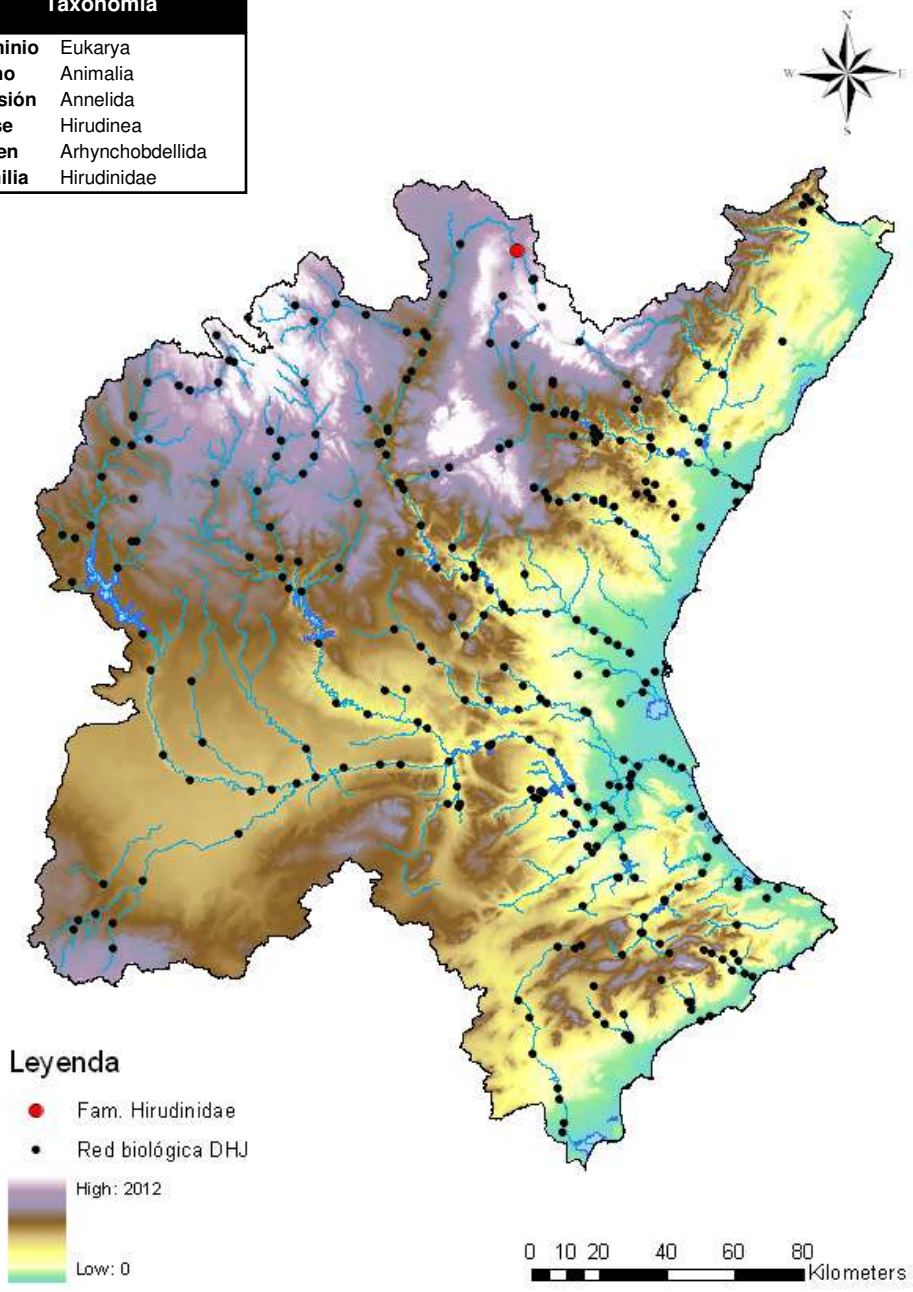


Figura A2-7. Atlas de distribución de la familia Hirudinidae en la cuenca del Júcar.

A2-3.2 Orden Rhynchobdellida

A2-3.2.1 Fam. Glossiphoniidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Annelida
Clase	Hirudinea
Orden	Rhynchobdellida
Familia	Glossiphoniidae

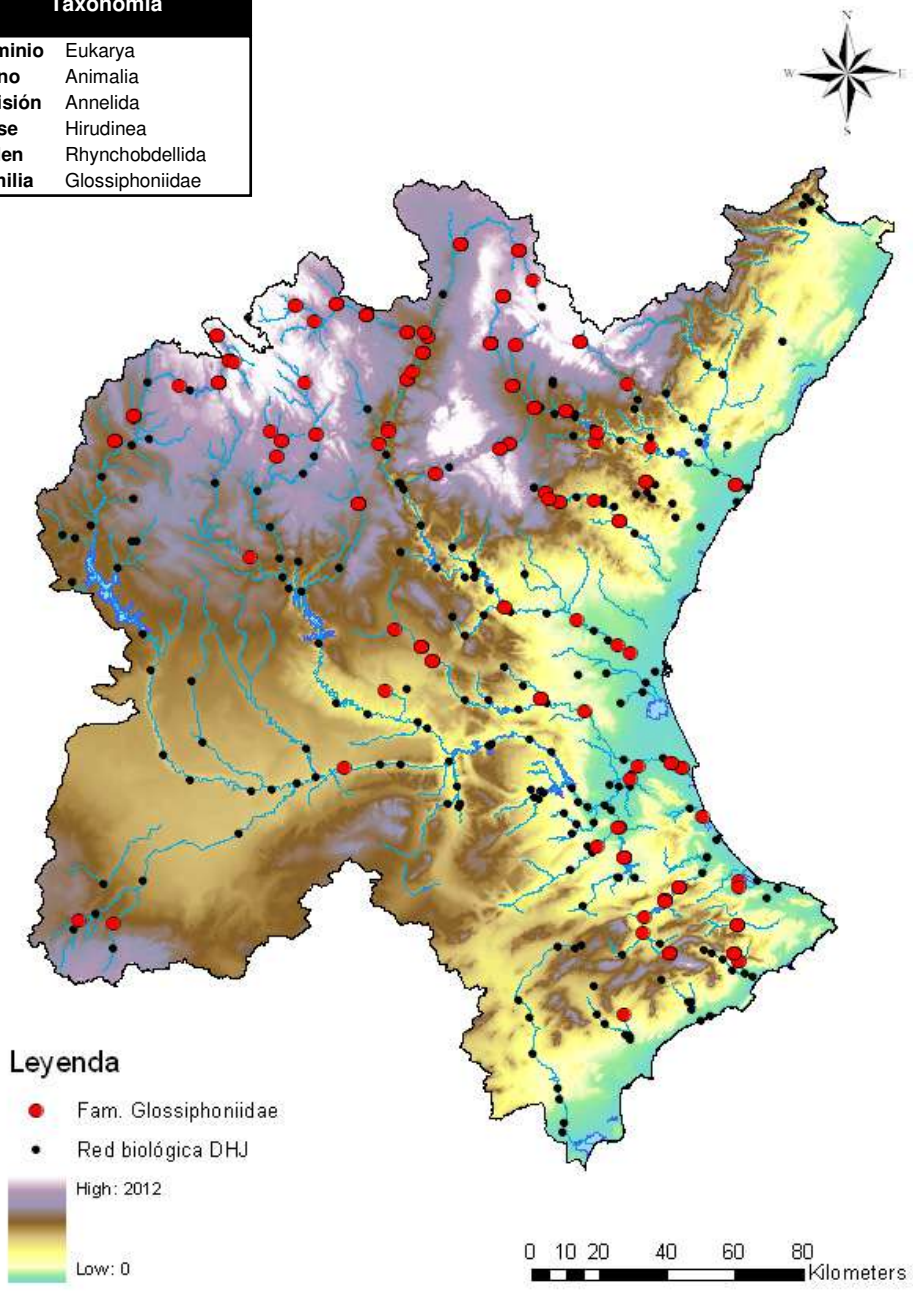


Figura A2-8. Atlas de distribución de la familia Glossiphoniidae en la cuenca del Júcar.

A2-4 CLASE GASTEROPODA

A2-4.1 Orden Basommatophora

A2-4.1.1 Fam. Ancylidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Mollusca
Clase	Gastropoda
Orden	Basommatophora
Familia	Ancylidae

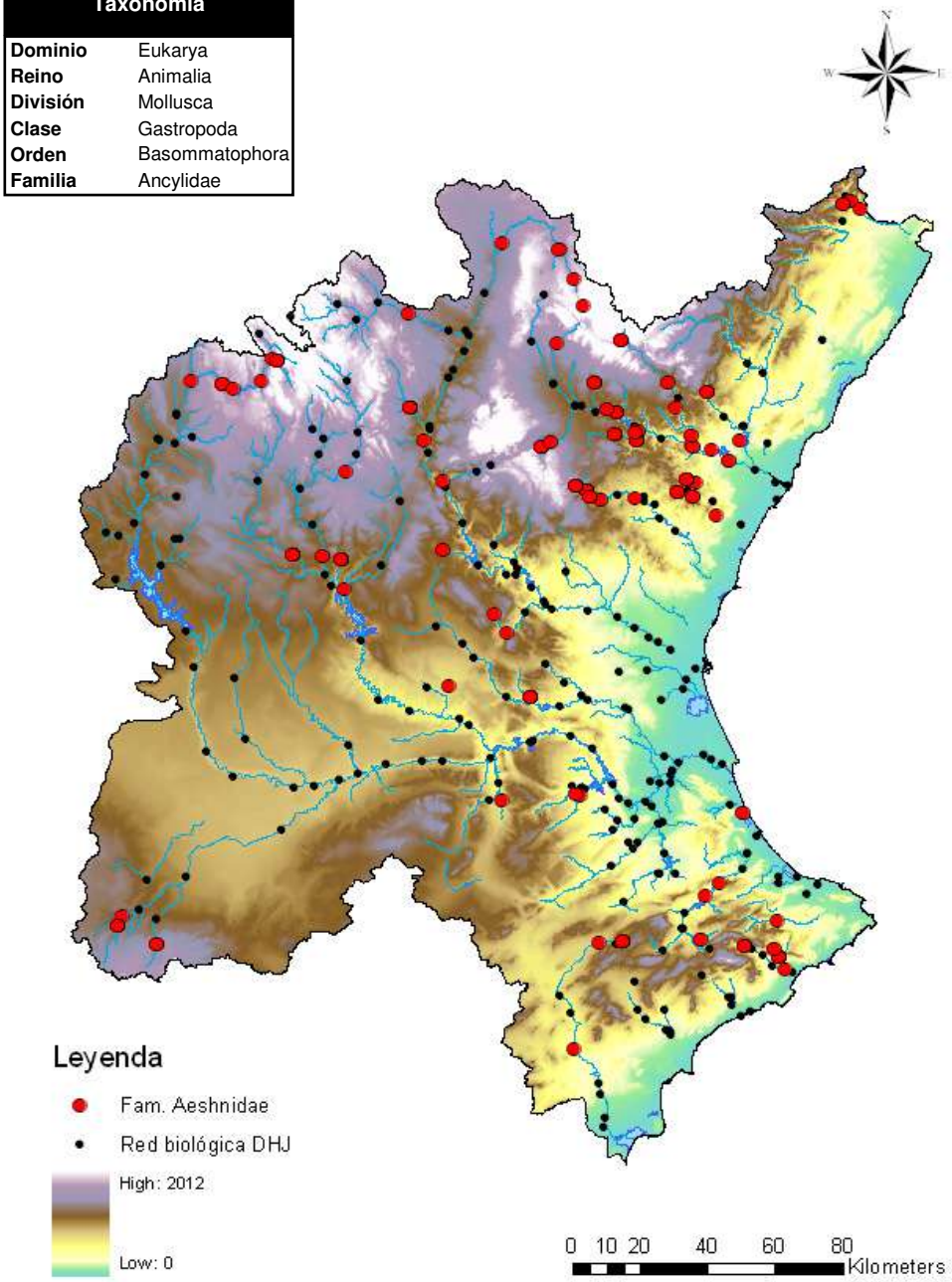


Figura A2-9. Atlas de distribución de la familia Ancylidae en la cuenca del Júcar.

A2-4.1.2 Fam. Lymnaeidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Mollusca
Clase	Gastropoda
Orden	Basommatophora
Familia	Lymnaeidae

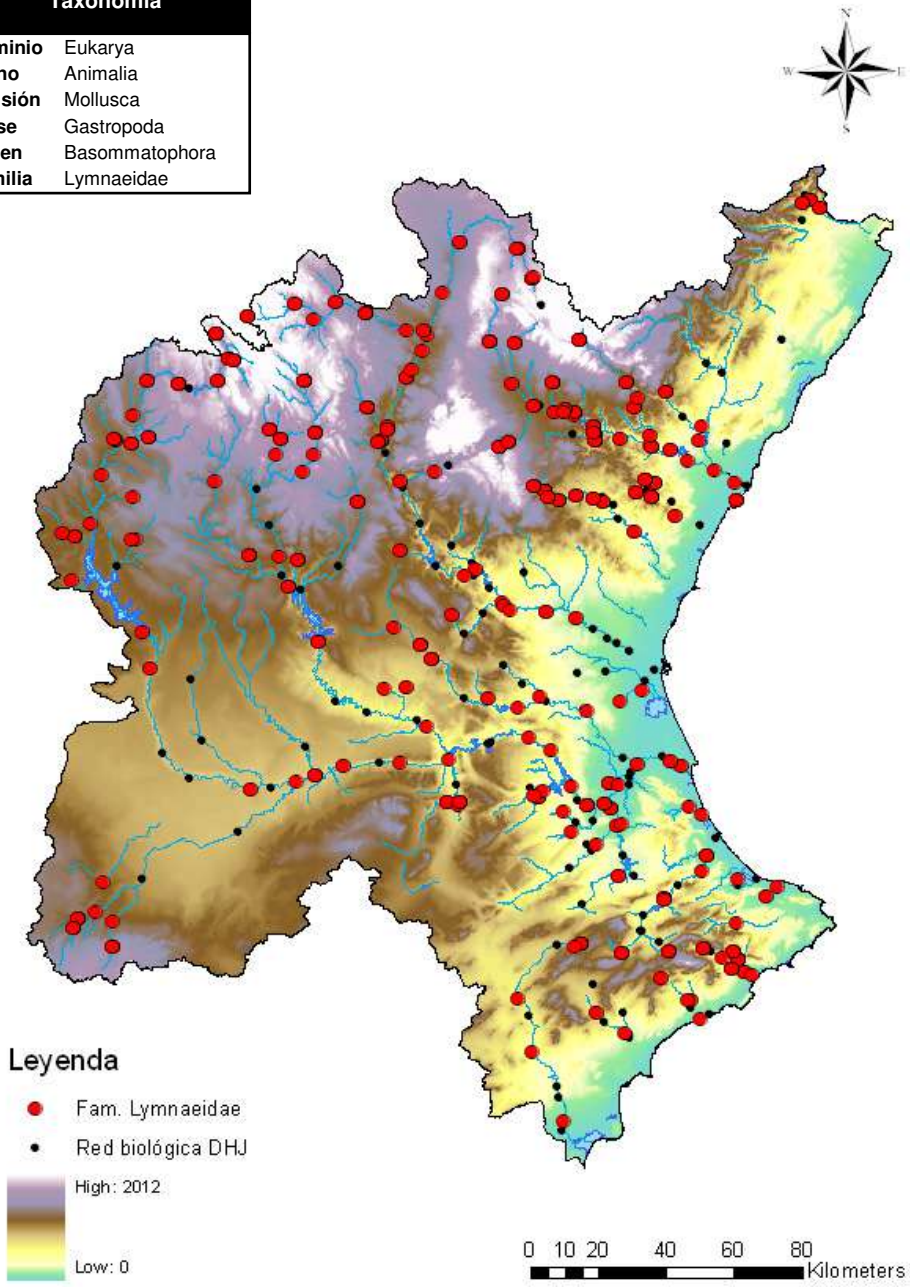


Figura A2-10. Atlas de distribución de la familia Lymnaeidae en la cuenca del Júcar.

A2-4.1.3 Fam. Physidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Mollusca
Clase	Gastropoda
Orden	Basommatophora
Familia	Physidae

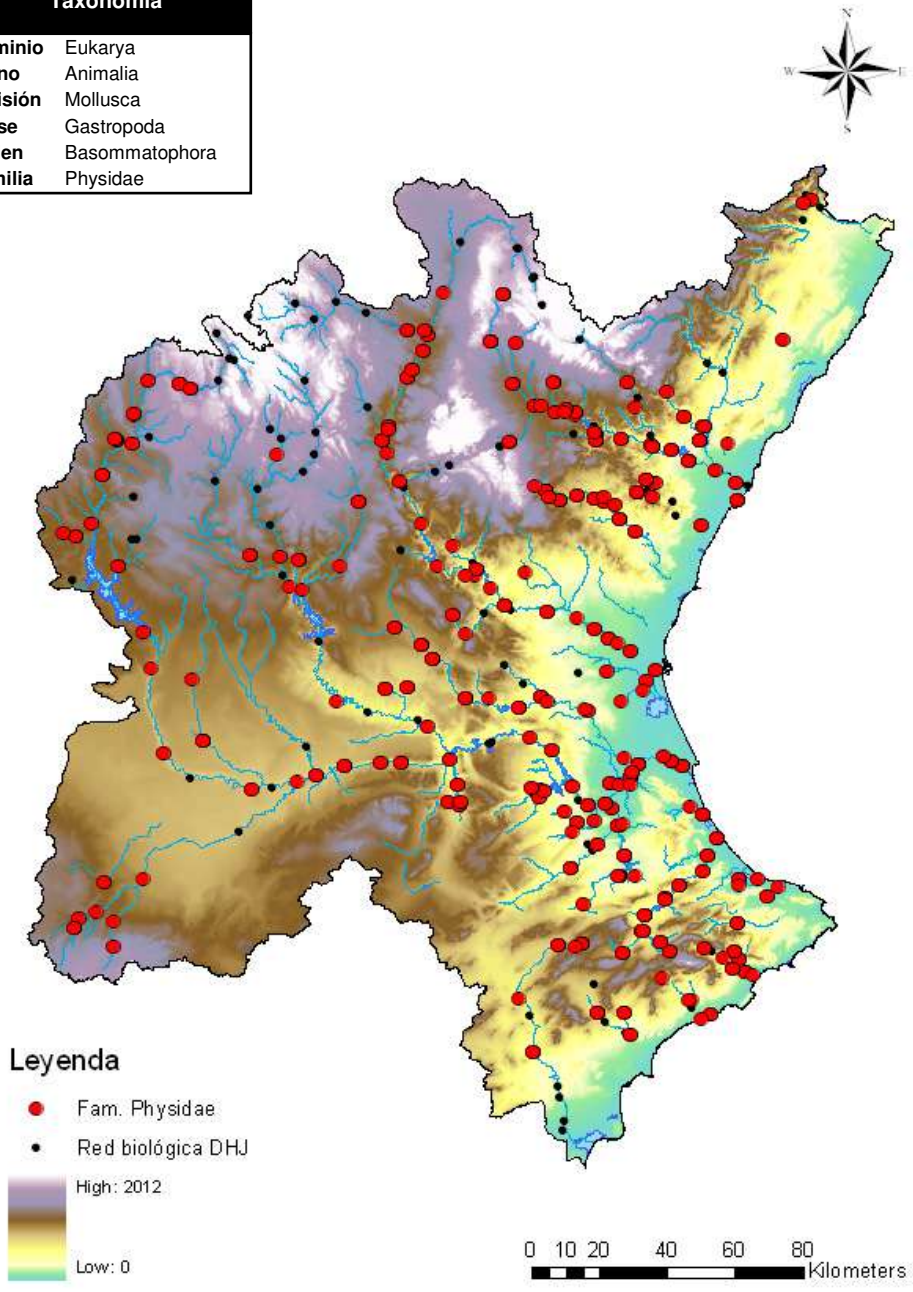


Figura A2-11. Atlas de distribución de la familia Physidae en la cuenca del Júcar.

A2-4.1.4 Fam. Planorbidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Mollusca
Clase	Gastropoda
Orden	Basommatophora
Familia	Planorbidae

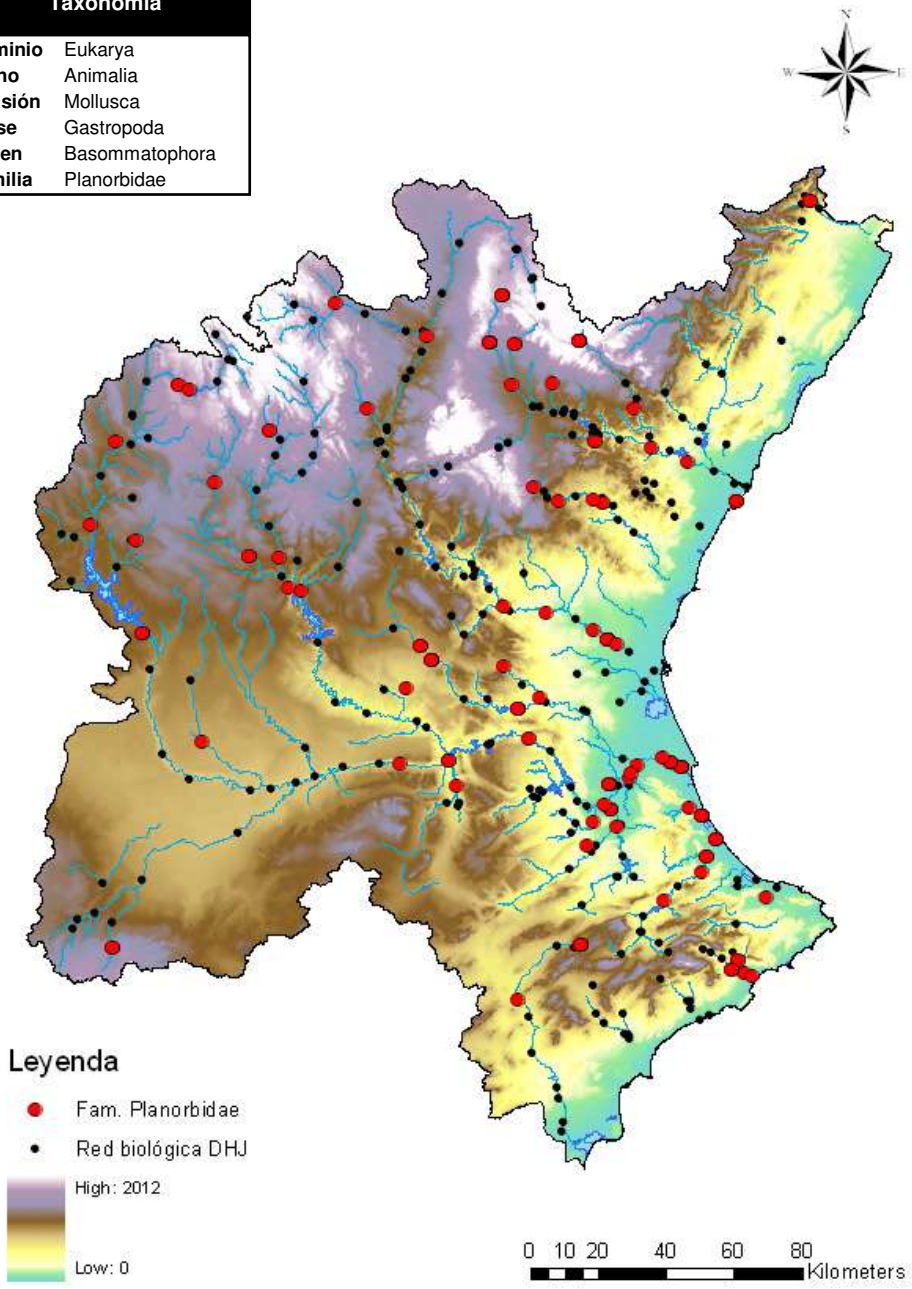


Figura A2-12. Atlas de distribución de la familia Planorbidae en la cuenca del Júcar.

A2-4.2 Orden Mesogastropoda

A2-4.2.1 Fam. Bithyniidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Mollusca
Clase	Gastropoda
Orden	Mesogastropoda
Familia	Bithyniidae

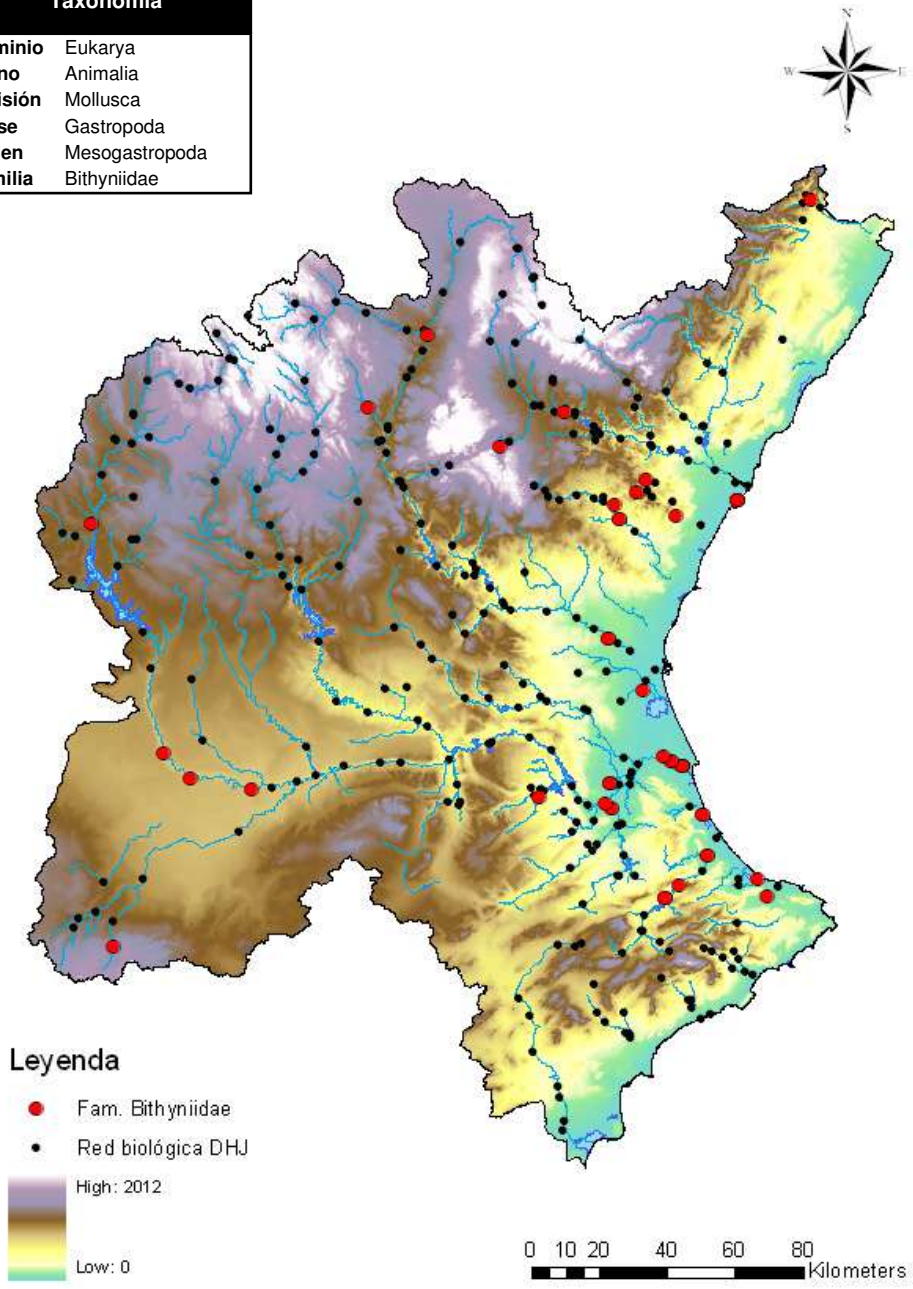


Figura A2-13. Atlas de distribución de la familia Bithyniidae en la cuenca del Júcar.

A2-4.2.2 Fam. Hydrobiidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Mollusca
Clase	Gastropoda
Orden	Mesogastropoda
Familia	Hydrobiidae

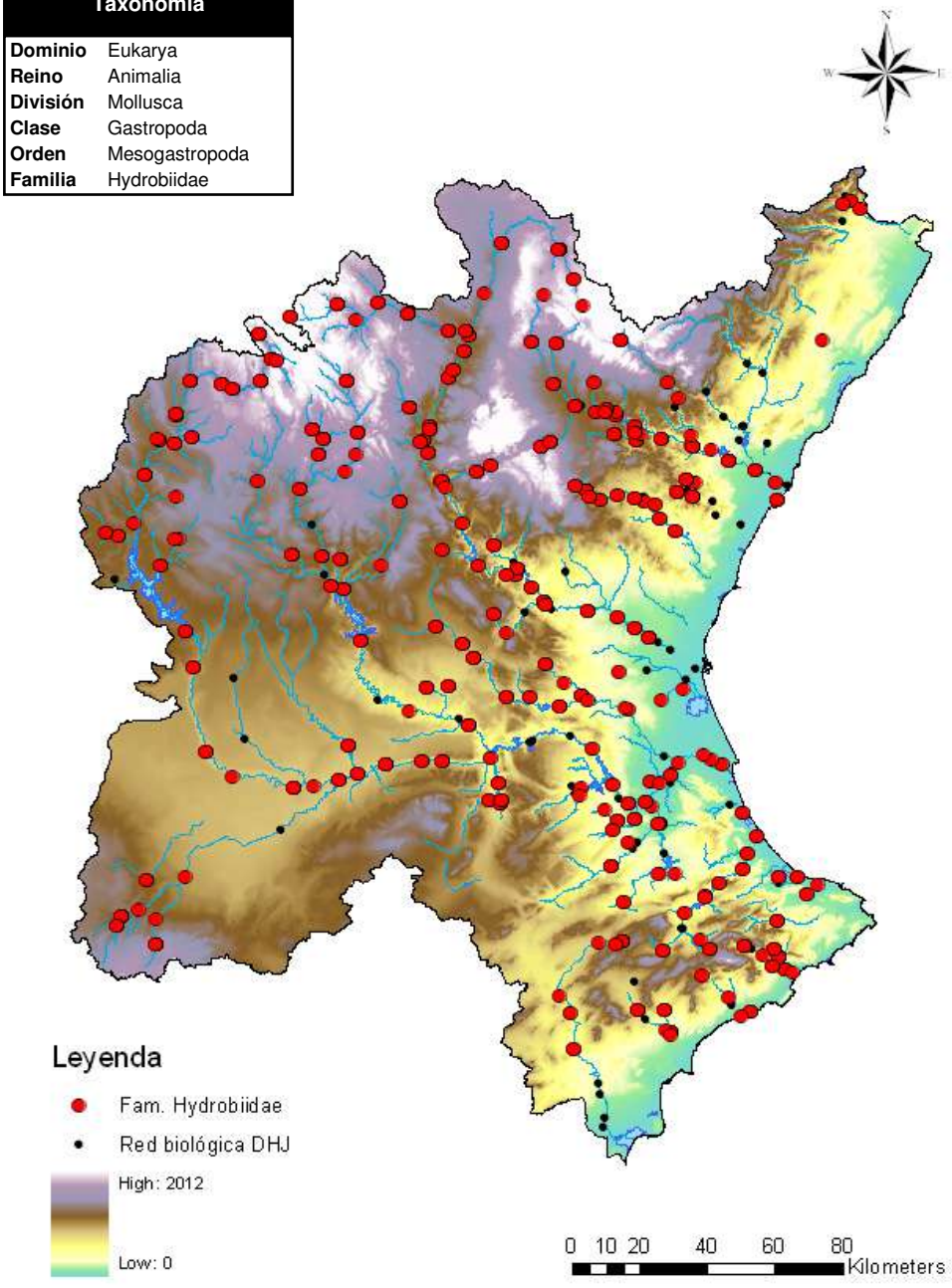


Figura A2-14. Atlas de distribución de la familia Hydrobiidae en la cuenca del Júcar.

A2-4.2.3 Fam. Melanopsidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Mollusca
Clase	Gastropoda
Orden	Mesogastropoda
Familia	Melanopsidae

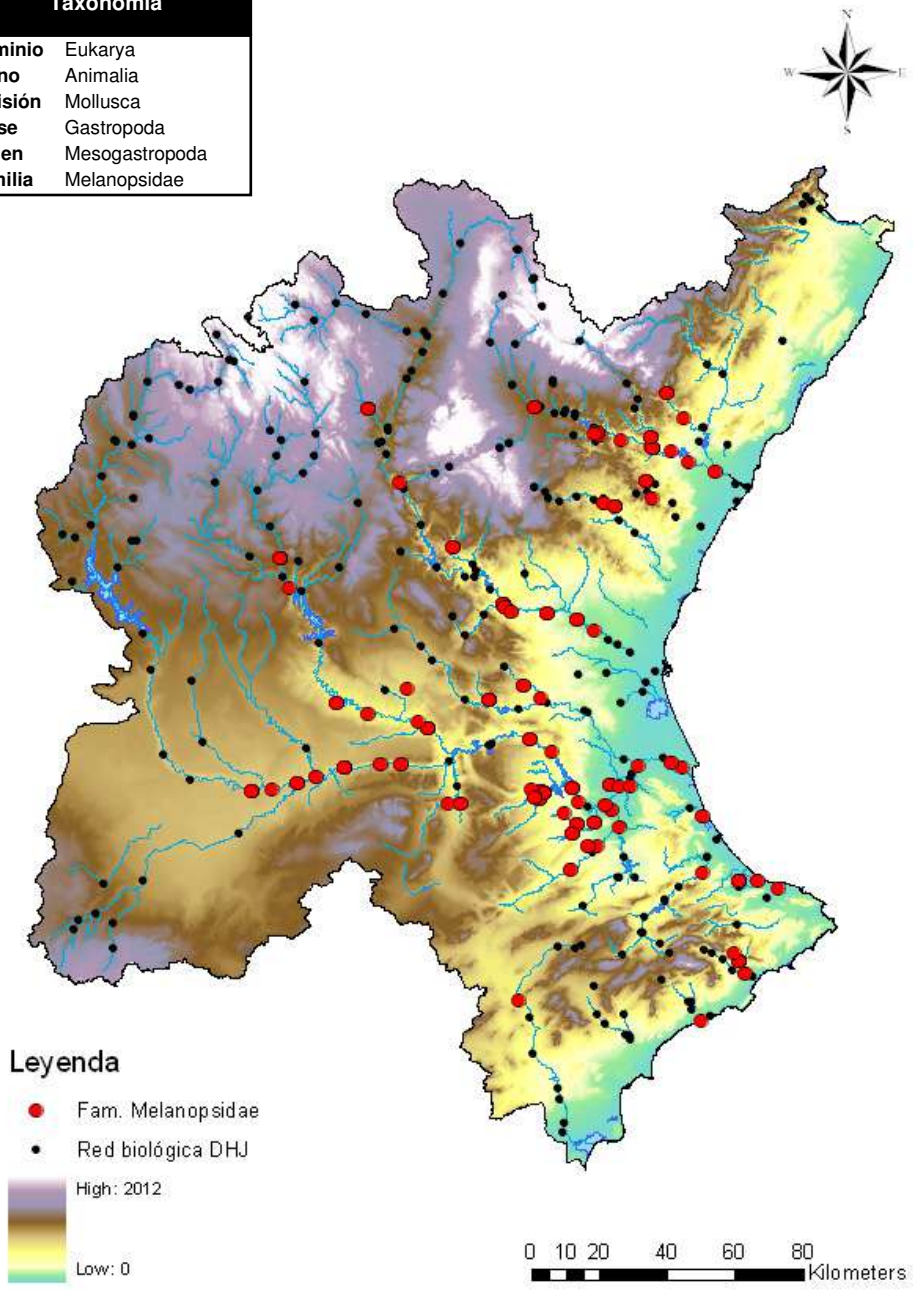


Figura A2-15. Atlas de distribución de la familia Melanopsidae en la cuenca del Júcar.

A2-4.3 Orden Archaeogastropoda

A2-4.3.1 Fam. Neritidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Mollusca
Clase	Gastropoda
Orden	Archaeogastropoda
Familia	Neritidae

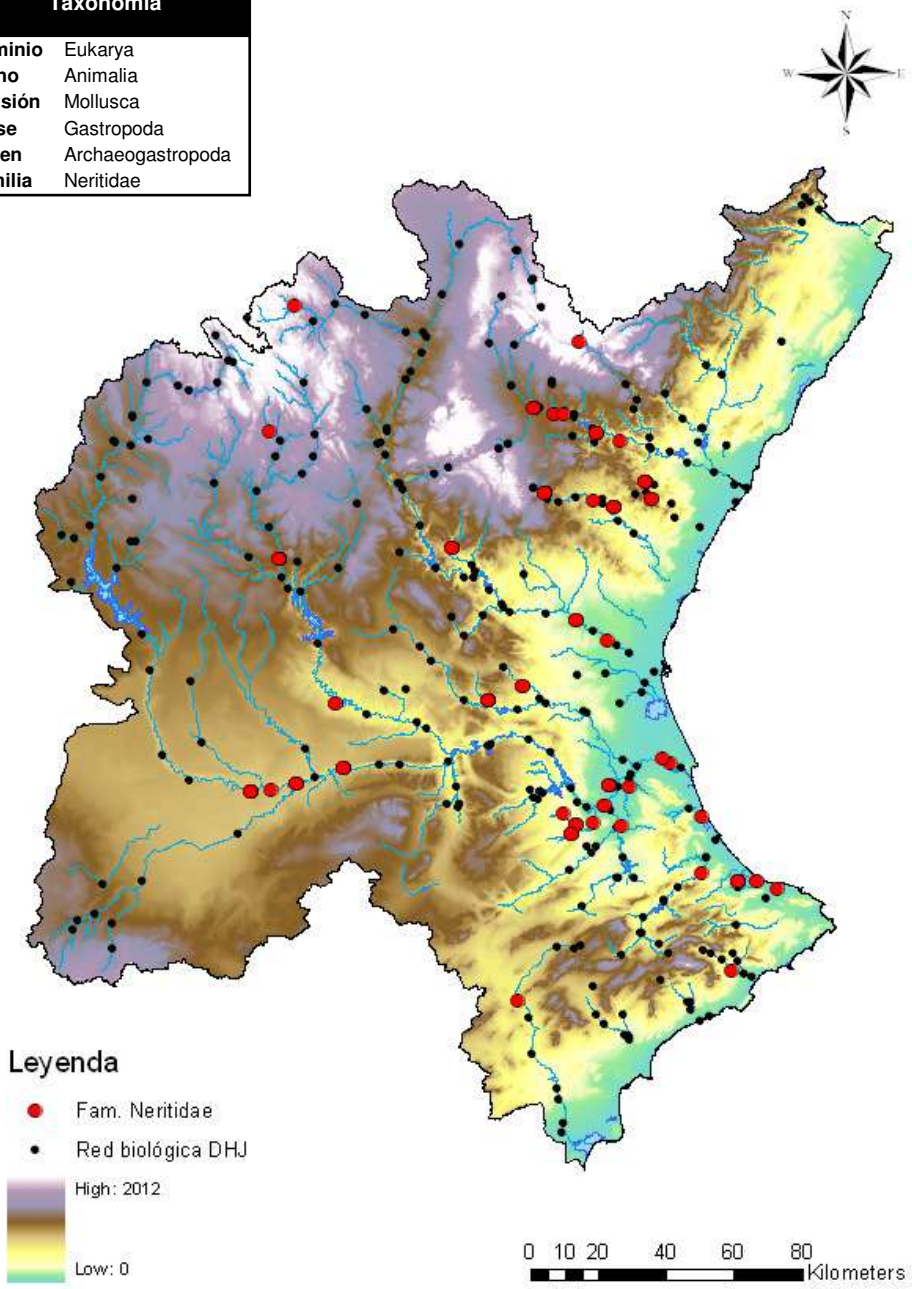


Figura A2-16. Atlas de distribución de la familia Neritidae en la cuenca del Júcar.

A2-4.4 Orden Heterostropha

A2-4.4.1 Fam. Valvatidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Mollusca
Clase	Gastropoda
Orden	Heterostropha
Familia	Valvatidae

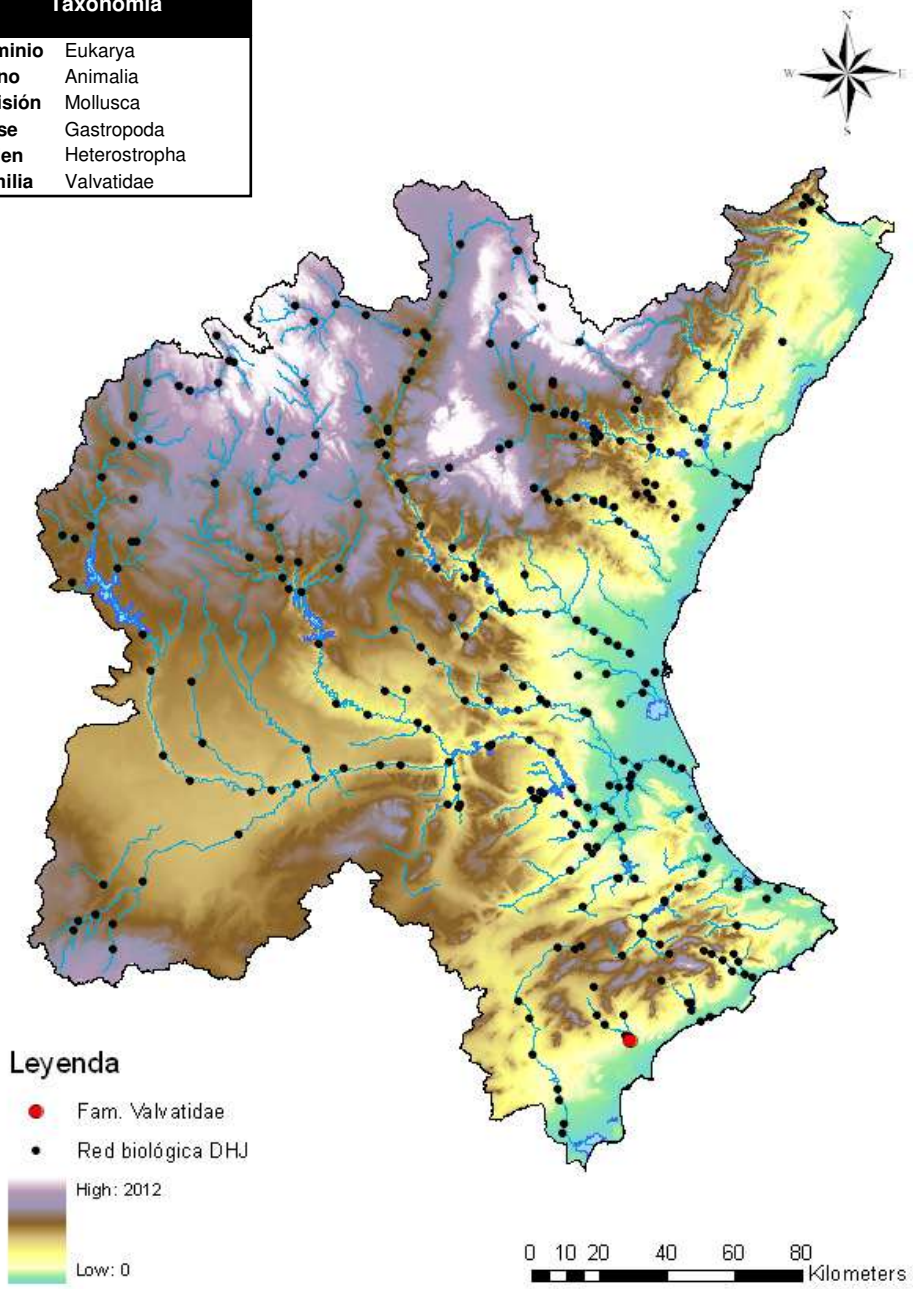


Figura A2-17. Atlas de distribución de la familia Valvatidae en la cuenca del Júcar.

A2-5 CLASE BIVALVIA

A2-5.1 Orden Veneroida

A2-5.1.1 Fam. Sphaeriidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Mollusca
Clase	Bivalvia
Orden	Veneroida
Familia	Sphaeriidae

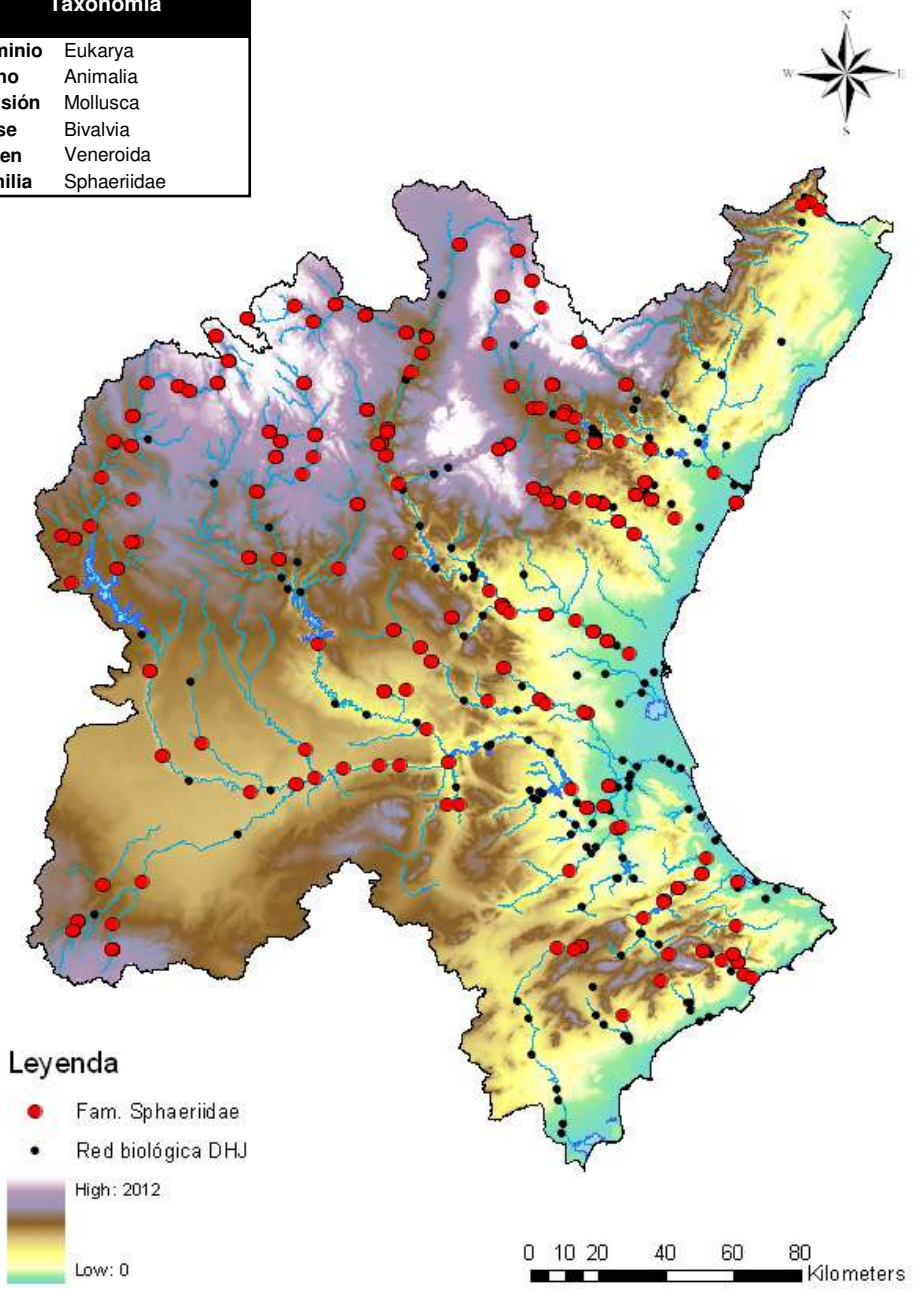


Figura A2-18. Atlas de distribución de la familia Sphaeriidae en la cuenca del Júcar.

A2-5.2 Orden Unionoida

A2-5.2.1 Fam. Unionidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Mollusca
Clase	Bivalvia
Orden	Unionoida
Familia	Unionidae

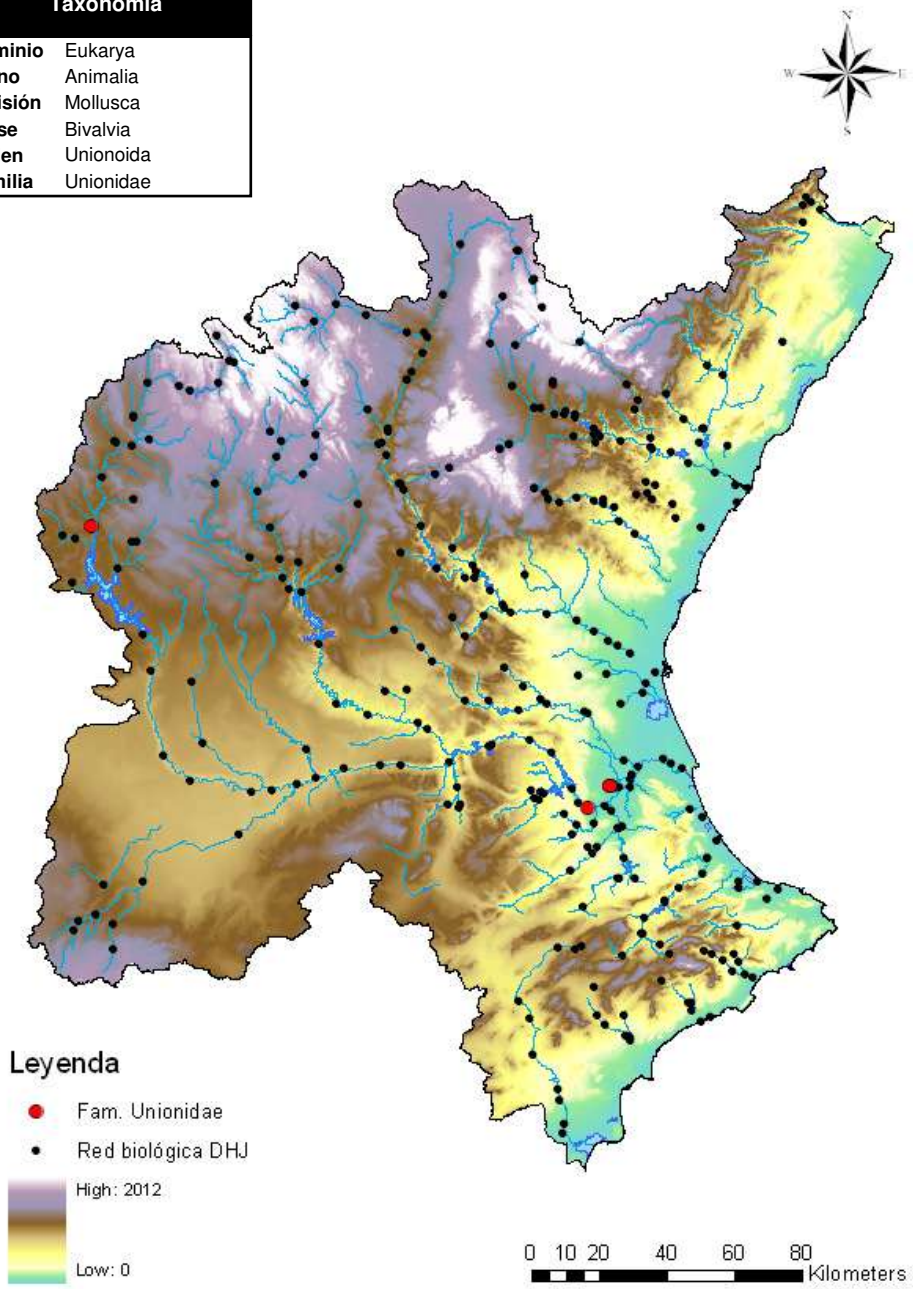


Figura A2-19. Atlas de distribución de la familia Unionidae en la cuenca del Júcar.

A2-6 CLASE MALACOSTRACA (CRUSTACEA)

A2-6.1 Orden Isopoda

A2-6.1.1 Fam. Asellidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Malacostraca
Orden	Isopoda
Familia	Asellidae

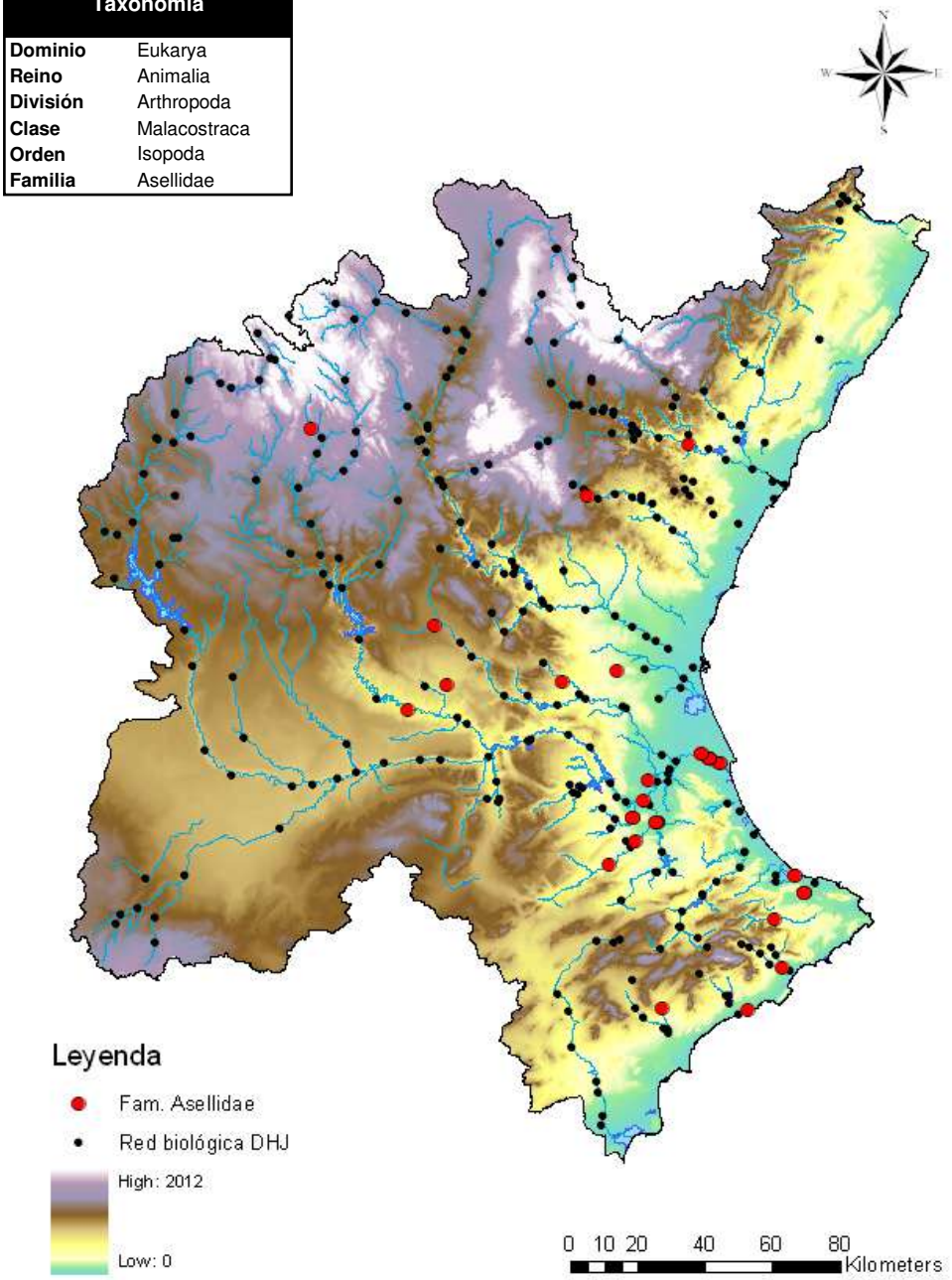


Figura A2-20. Atlas de distribución de la familia Asellidae en la cuenca del Júcar.

A2-6.1.2 Fam. Sphaeromatidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Malacostraca
Orden	Isopoda
Familia	Sphaeromatidae

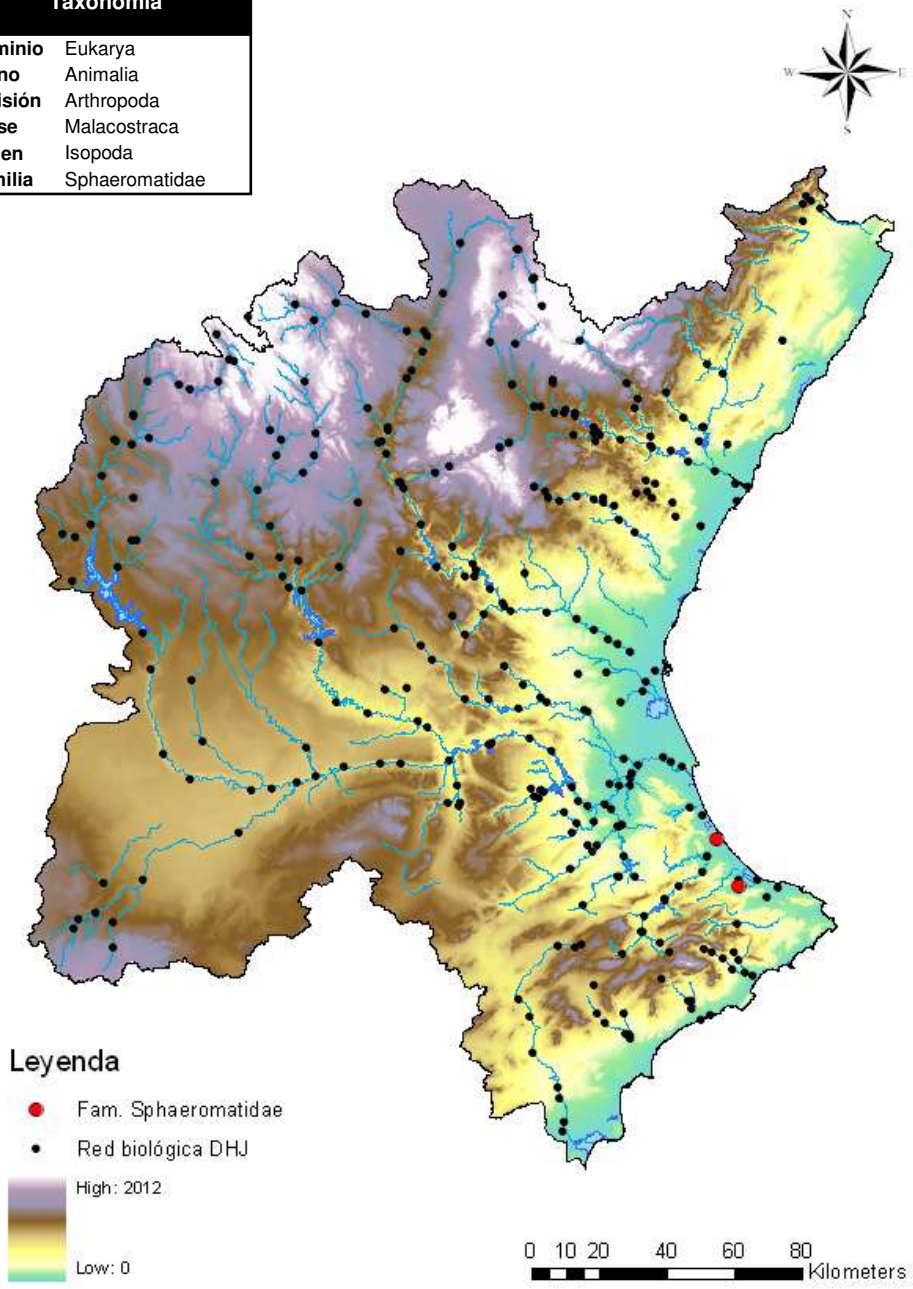


Figura A2-21. Atlas de distribución de la familia Sphaeromatidea en la cuenca del Júcar.

A2-6.2 Orden Decapoda

A2-6.2.1 Fam. Astacidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Malacostraca
Orden	Decapoda
Familia	Astacidae

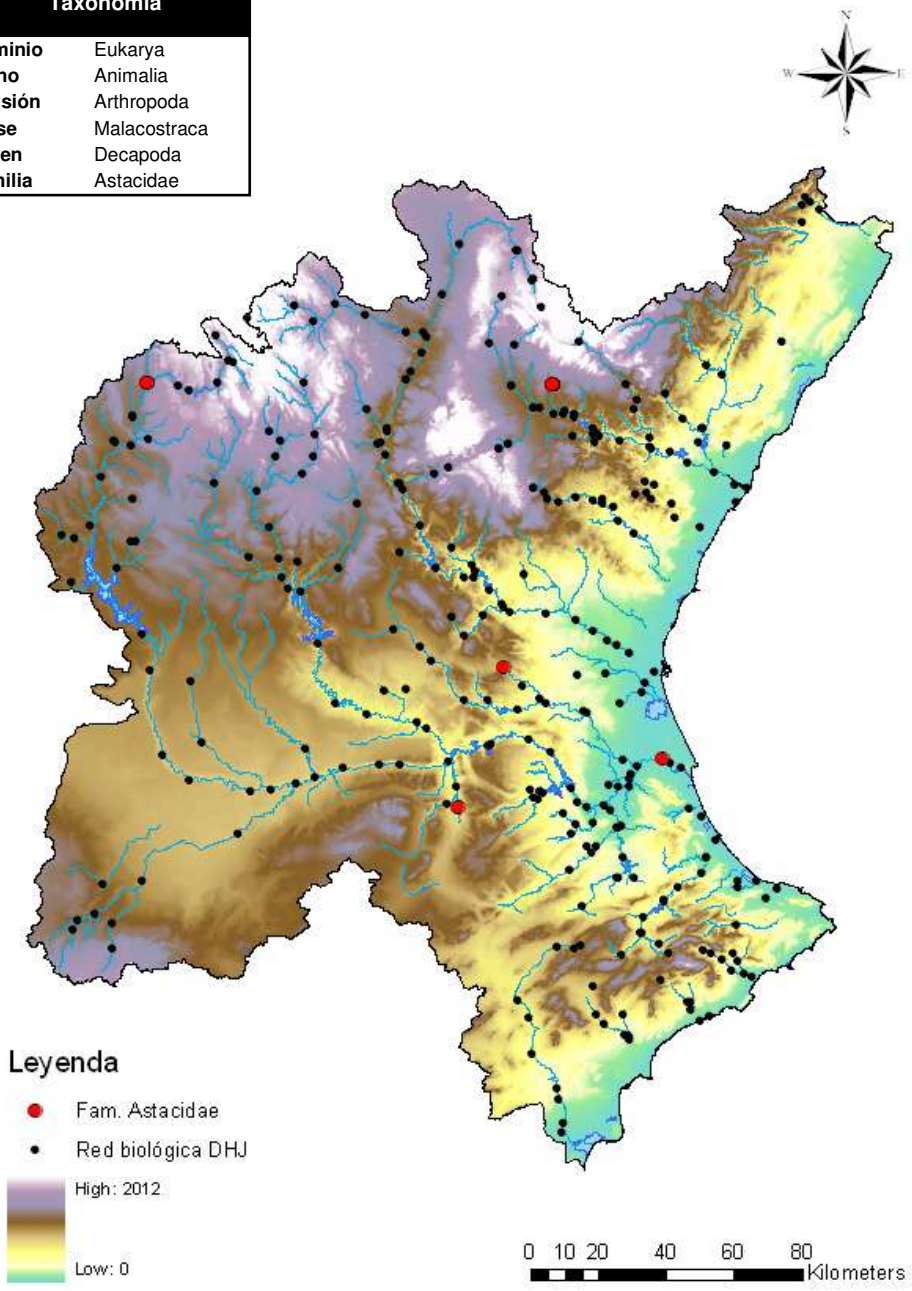


Figura A2-22. Atlas de distribución de la familia Astacidae en la cuenca del Júcar.

A2-6.2.2 Fam. Atyidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Malacostraca
Orden	Decapoda
Familia	Atyiidae

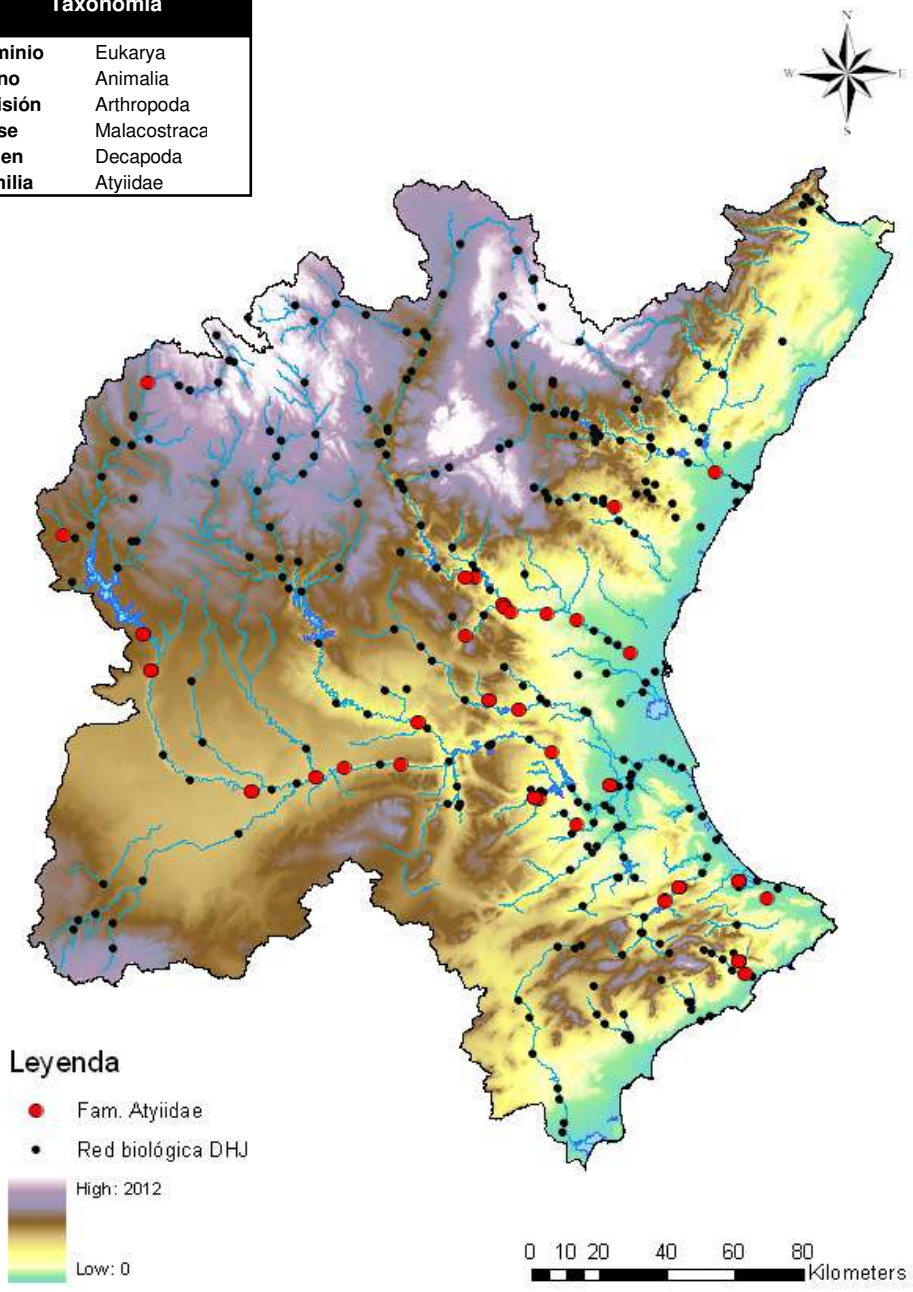


Figura A2-23. Atlas de distribución de la familia Atyidae en la cuenca del Júcar.

A2-6.2.3 Fam. Cambaridae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Malacostraca
Orden	Decapoda
Familia	Cambaridae

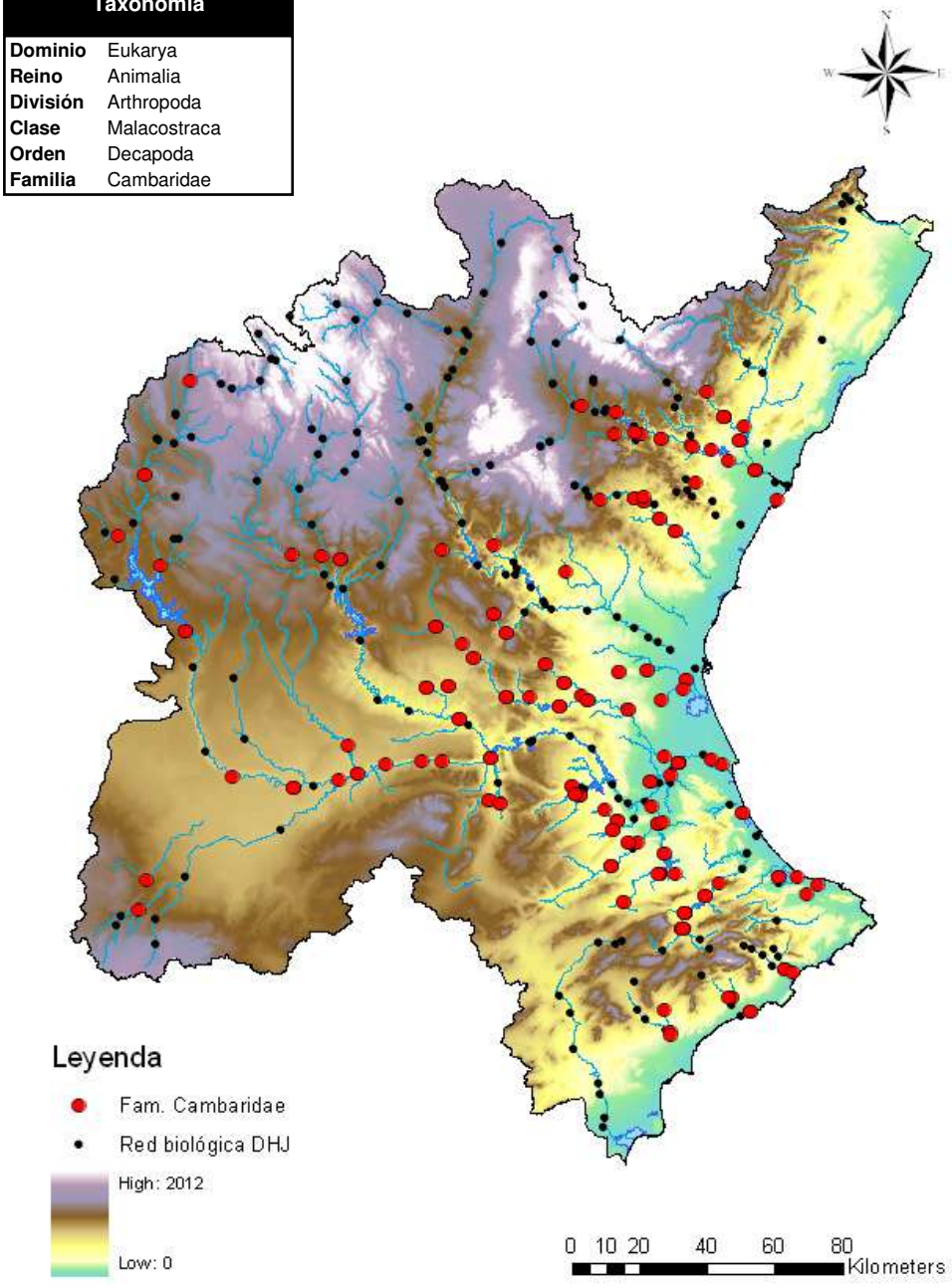


Figura A2-24. Atlas de distribución de la familia Cambaridae en la cuenca del Júcar.

A2-6.2.4 Fam. Palaemonidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Malacostraca
Orden	Decapoda
Familia	Palaemonidae

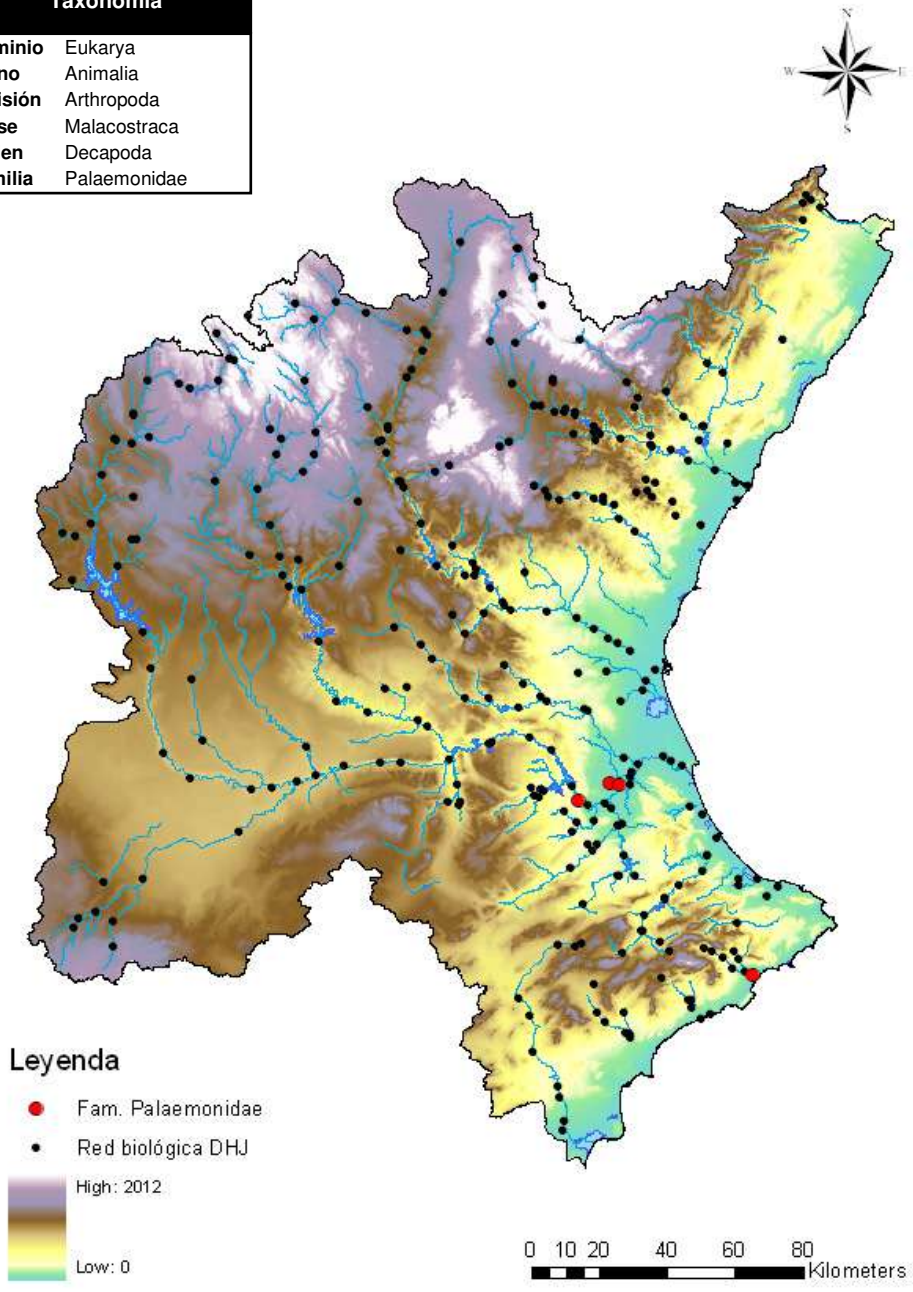


Figura A2-25. Atlas de distribución de la familia Palaemonidae en la cuenca del Júcar.

A2-6.2.5 Fam. Potamonidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Malacostraca
Orden	Decapoda
Familia	Potamonidae

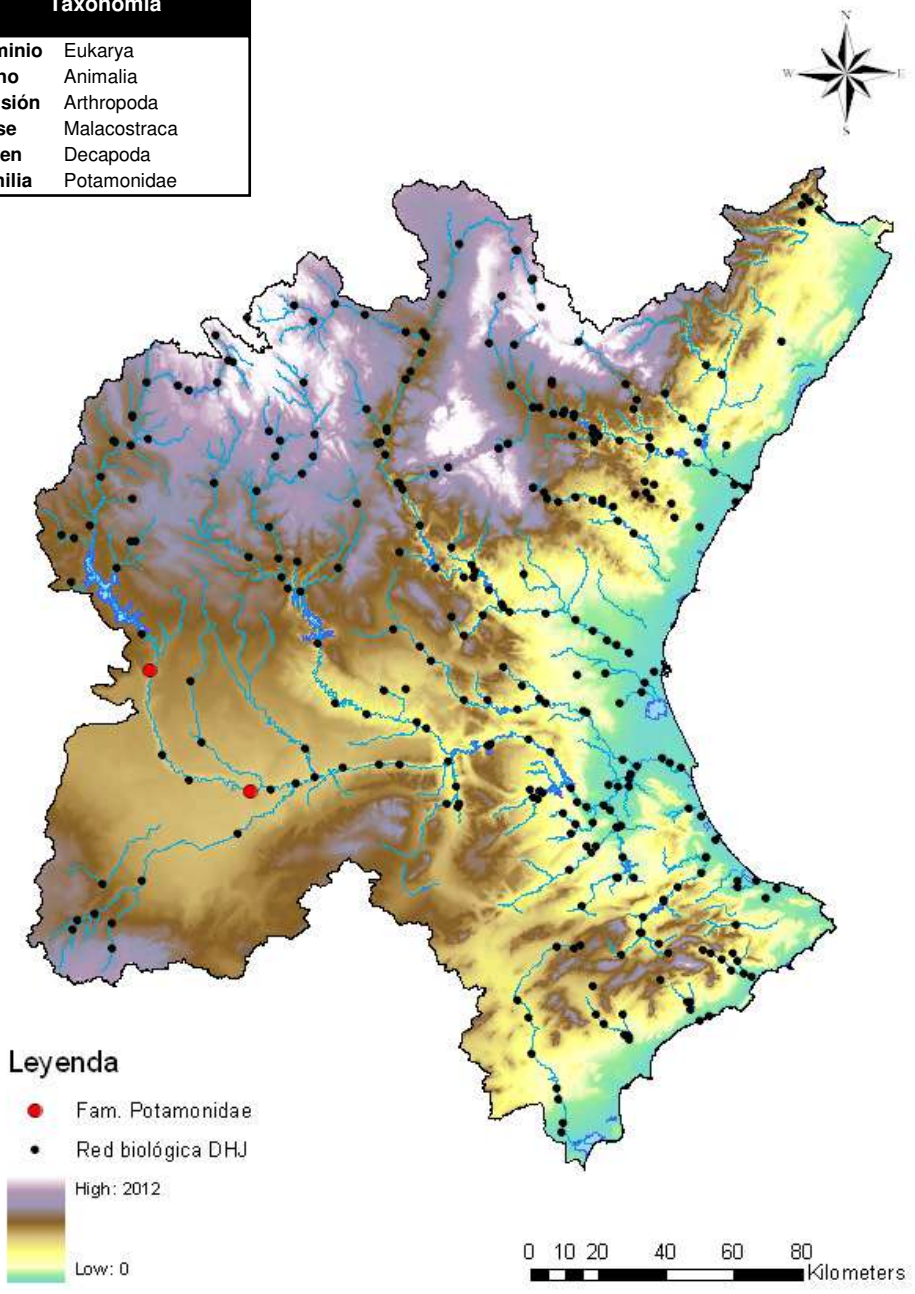


Figura A2-26. Atlas de distribución de la familia Potamonidae en la cuenca del Júcar.

A2-6.3 Orden Amphipoda

A2-6.3.1 Fam. Corophiidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Malacostraca
Orden	Amphipoda
Familia	Corophiidae

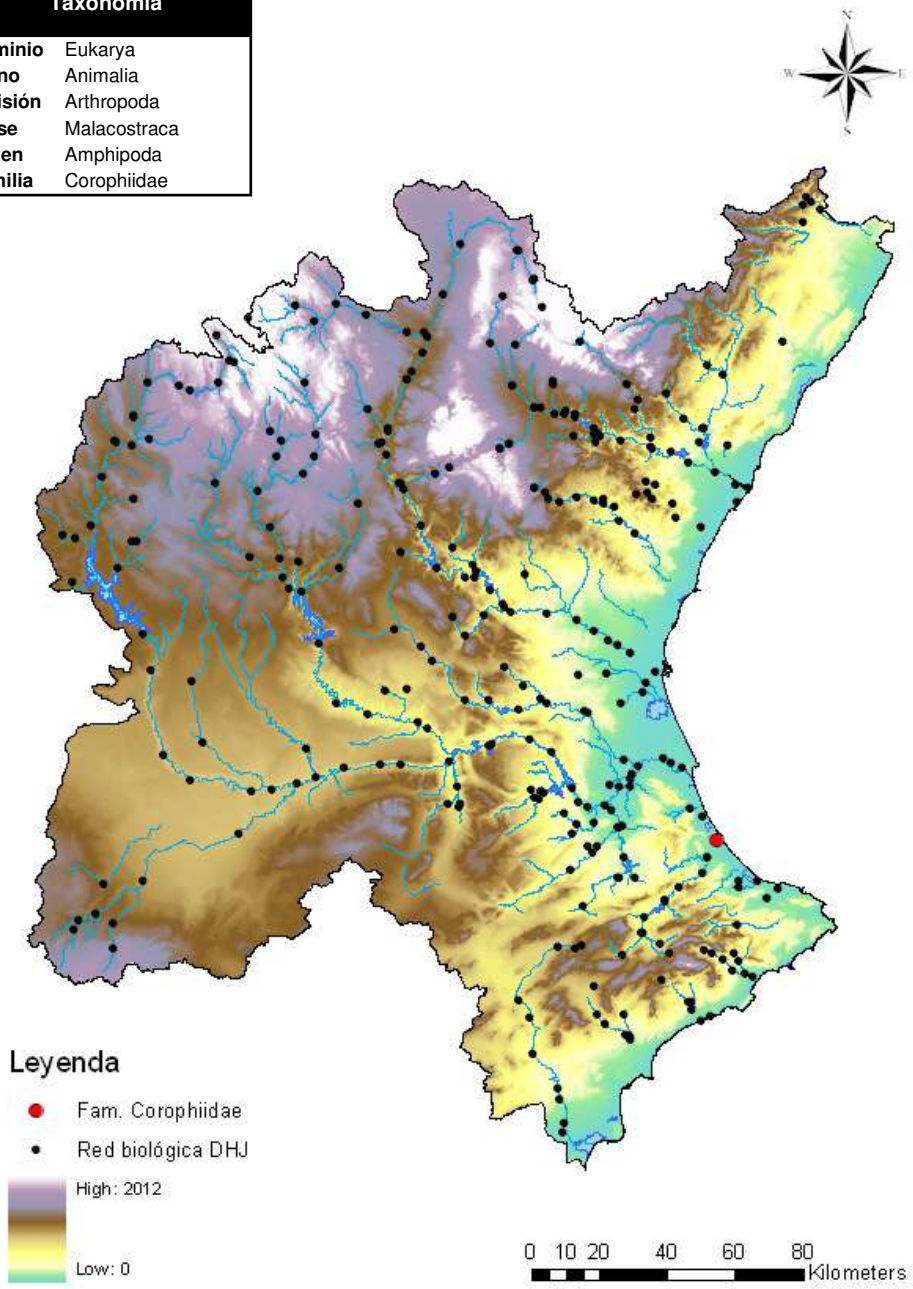


Figura A2-27. Atlas de distribución de la familia Corophiidae en la cuenca del Júcar.

A2-6.3.2 Fam. Gammaridae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Malacostraca
Orden	Amphipoda
Familia	Gammaridae

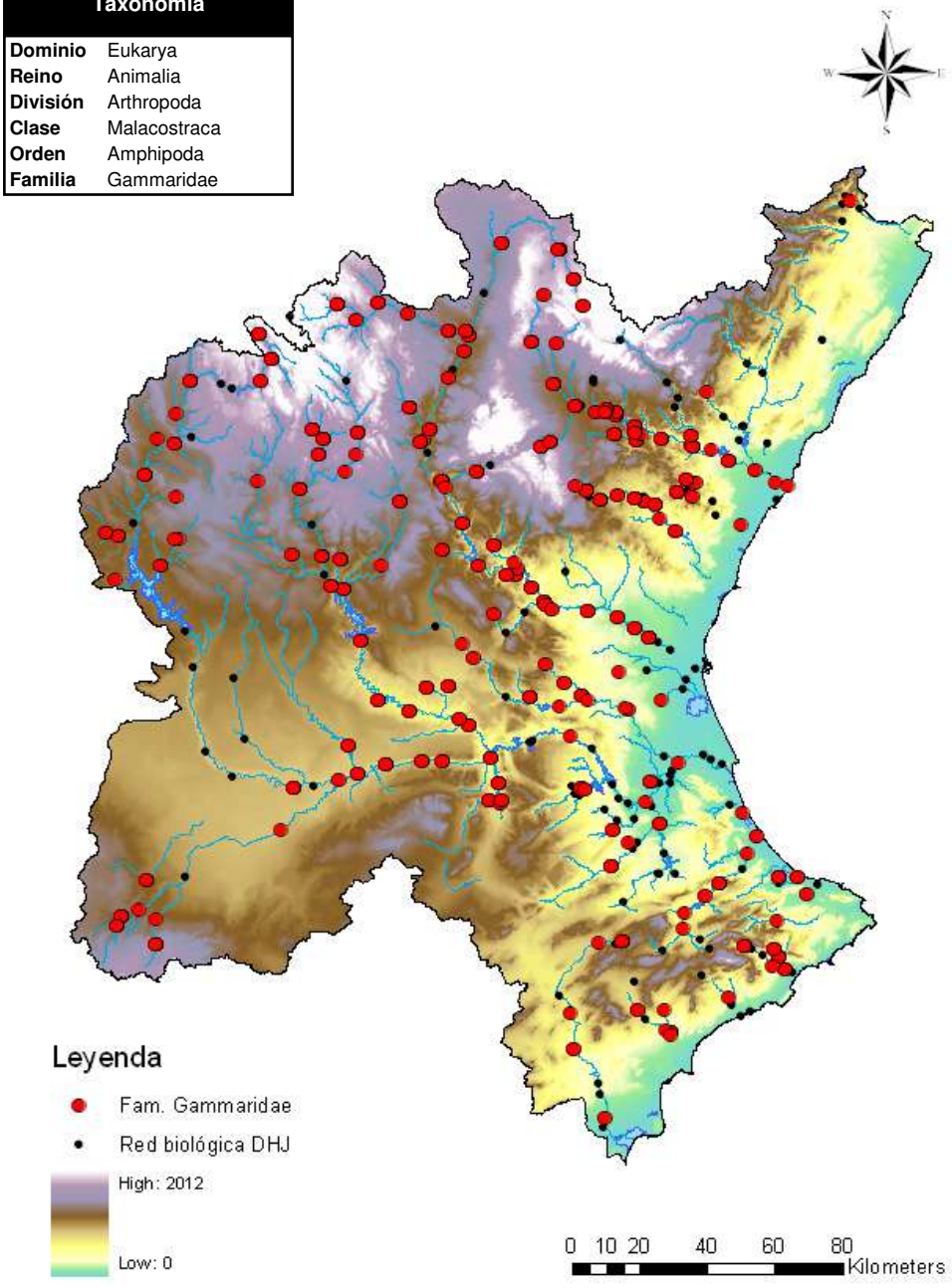


Figura A2-28. Atlas de distribución de la familia Gammaridae en la cuenca del Júcar.

A2-6.3.3 Fam. Niphargidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Malacostraca
Orden	Amphipoda
Familia	Niphargidae

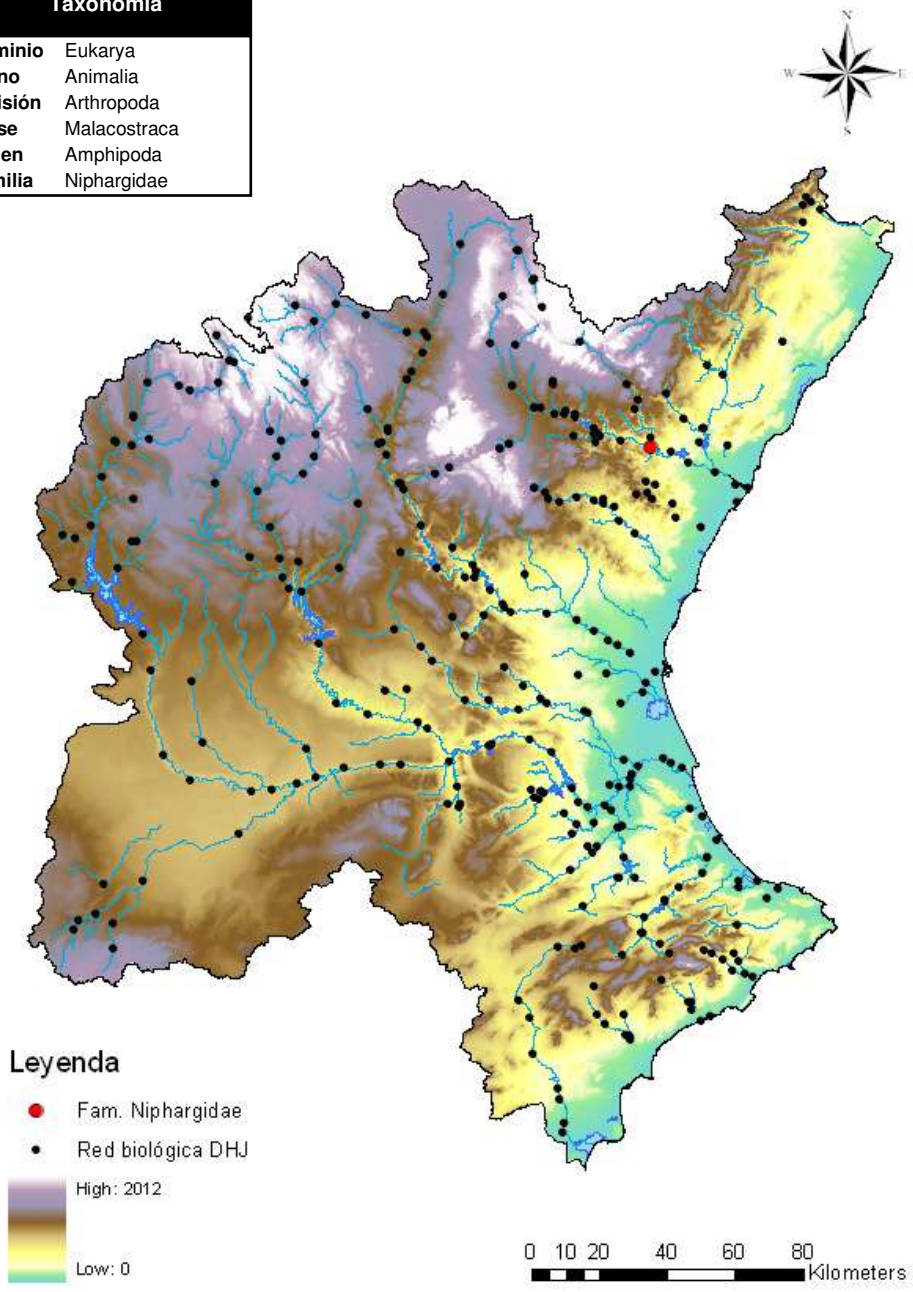


Figura A2-29. Atlas de distribución de la familia Niphargidae en la cuenca del Júcar.

A2-7 CLASE INSECTA

A2-7.1 Orden Ephemeroptera

A2-7.1.1 Fam. Baetidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Ephemeroptera
Familia	Baetidae

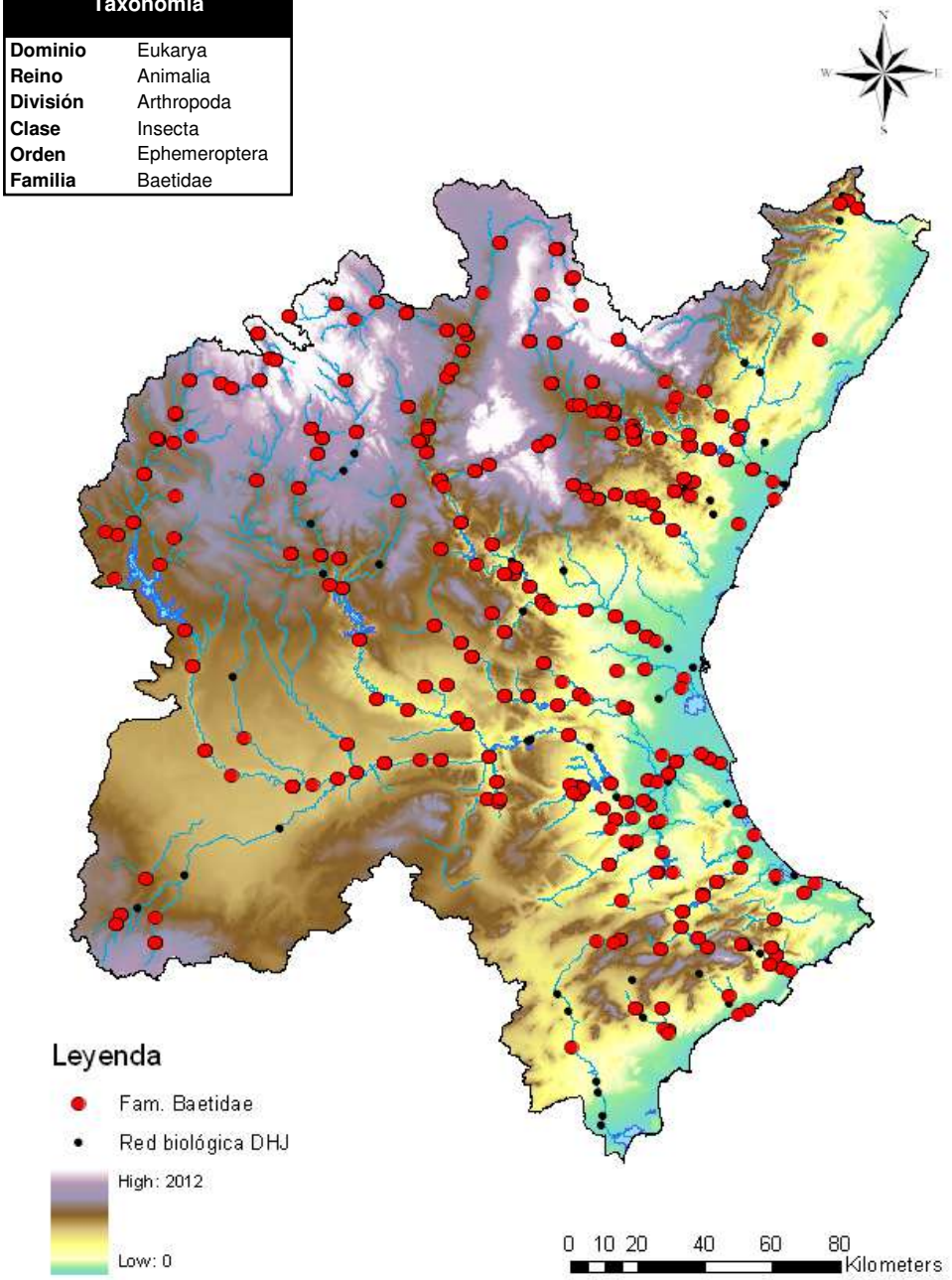


Figura A2-30. Atlas de distribución de la familia Baetidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.1.2 Fam. Caenidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Ephemeroptera
Familia	Caenidae

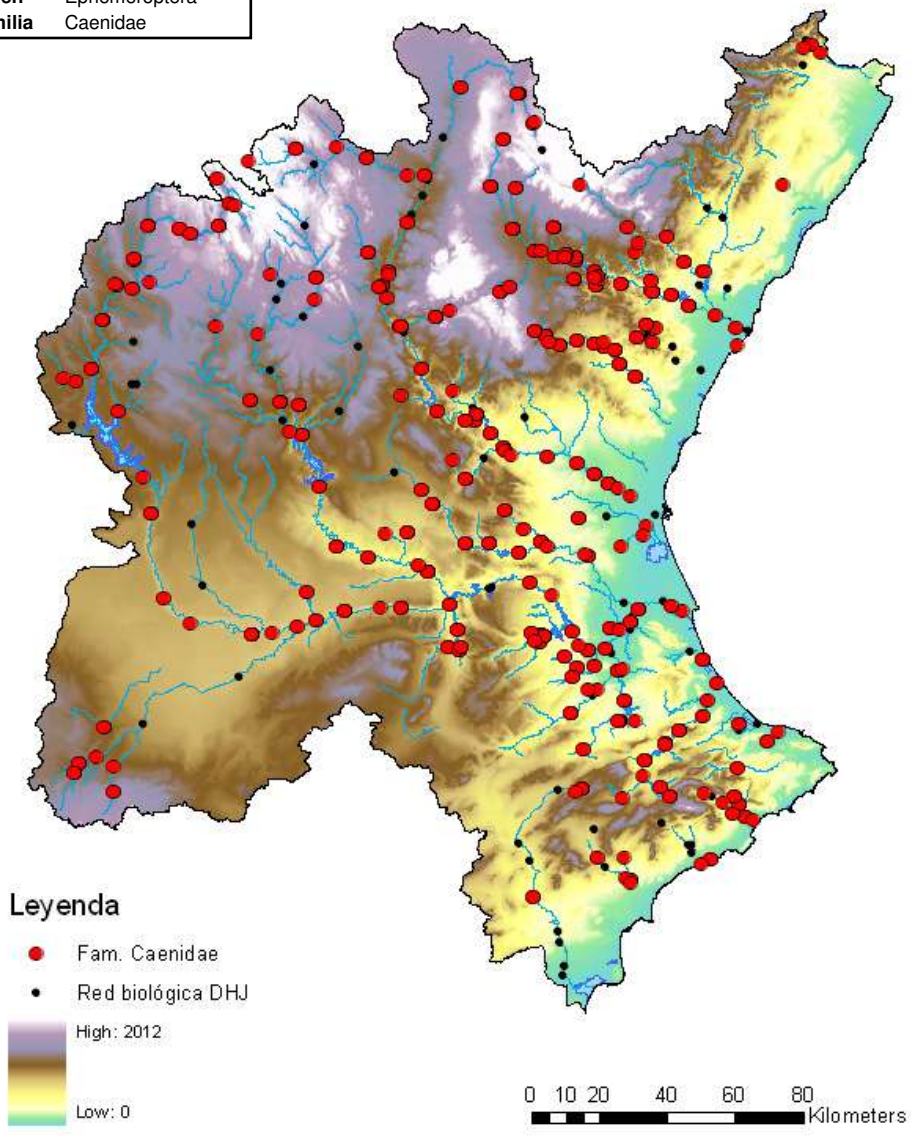


Figura A2-31. Atlas de distribución de la familia Caenidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.1.3 Fam. Ephemerellidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Ephemeroptera
Familia	Ephemerellidae

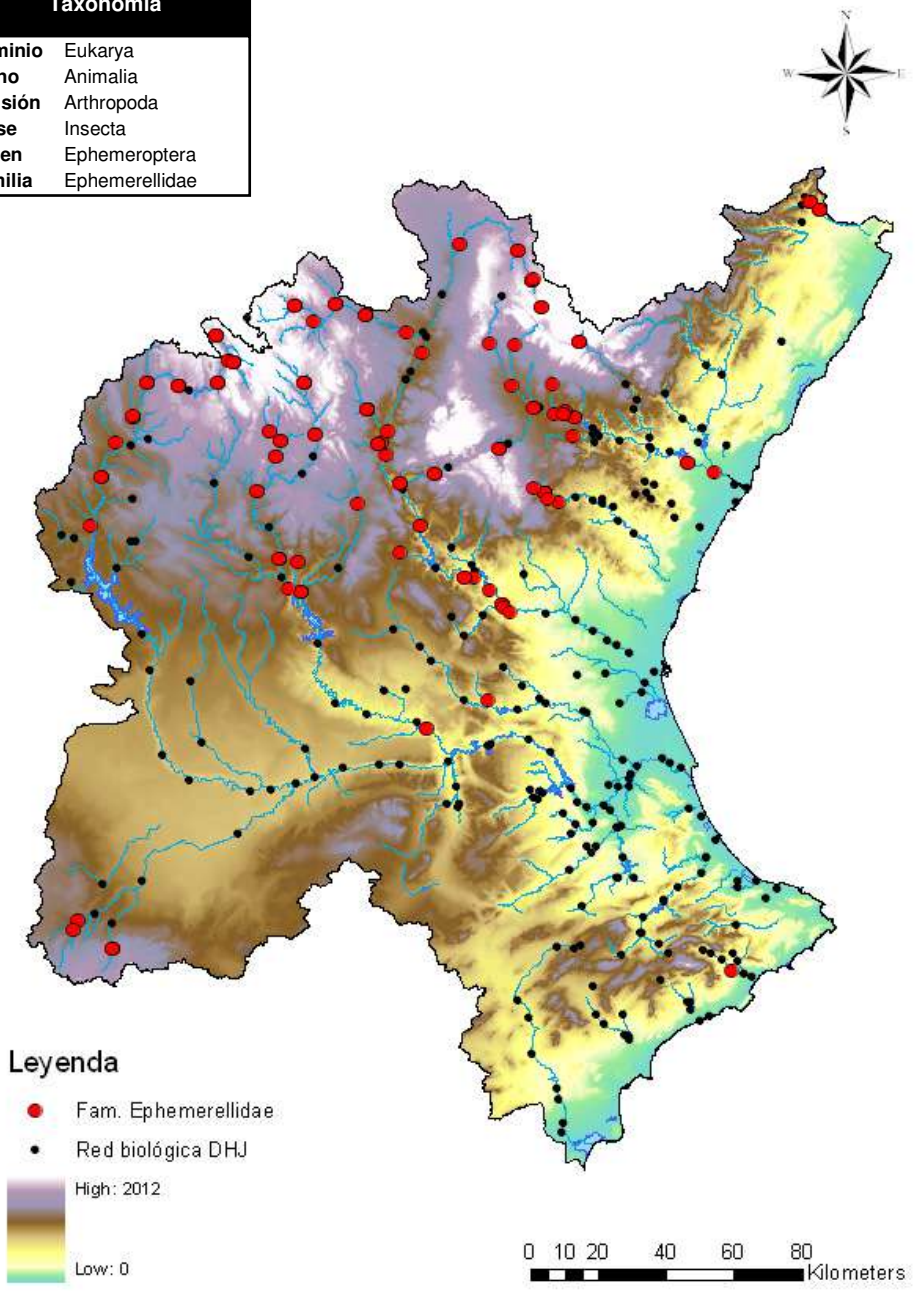


Figura A2-32. Atlas de distribución de la familia Ephemerellidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.1.4 Fam. Ephemeridae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Ephemeroptera
Familia	Ephemeridae

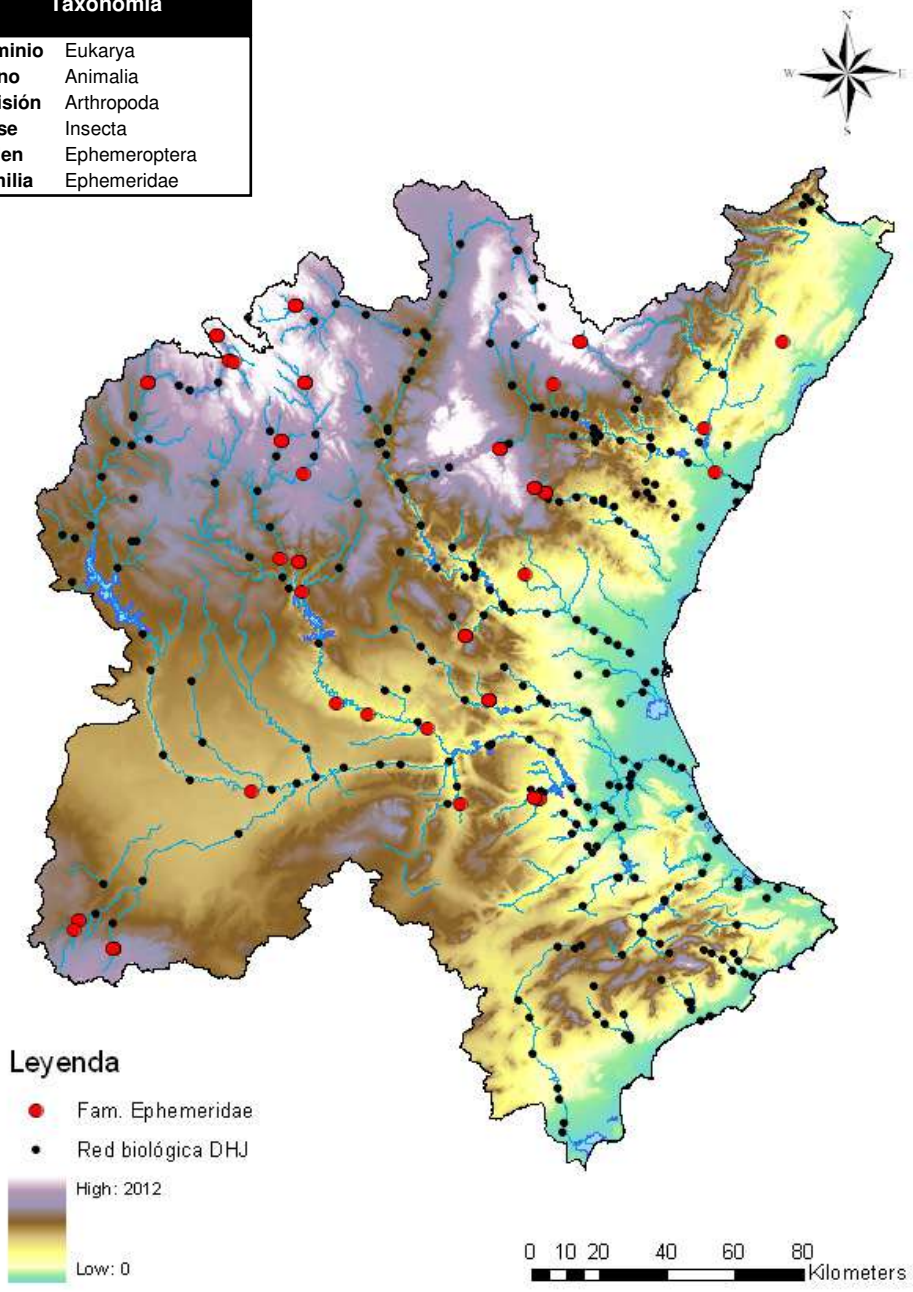


Figura A2-33. Atlas de distribución de la familia Ephemeridae en la cuenca del Júcar.

A2-7.1.5 Fam. Heptageniidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Ephemeroptera
Familia	Heptageniidae

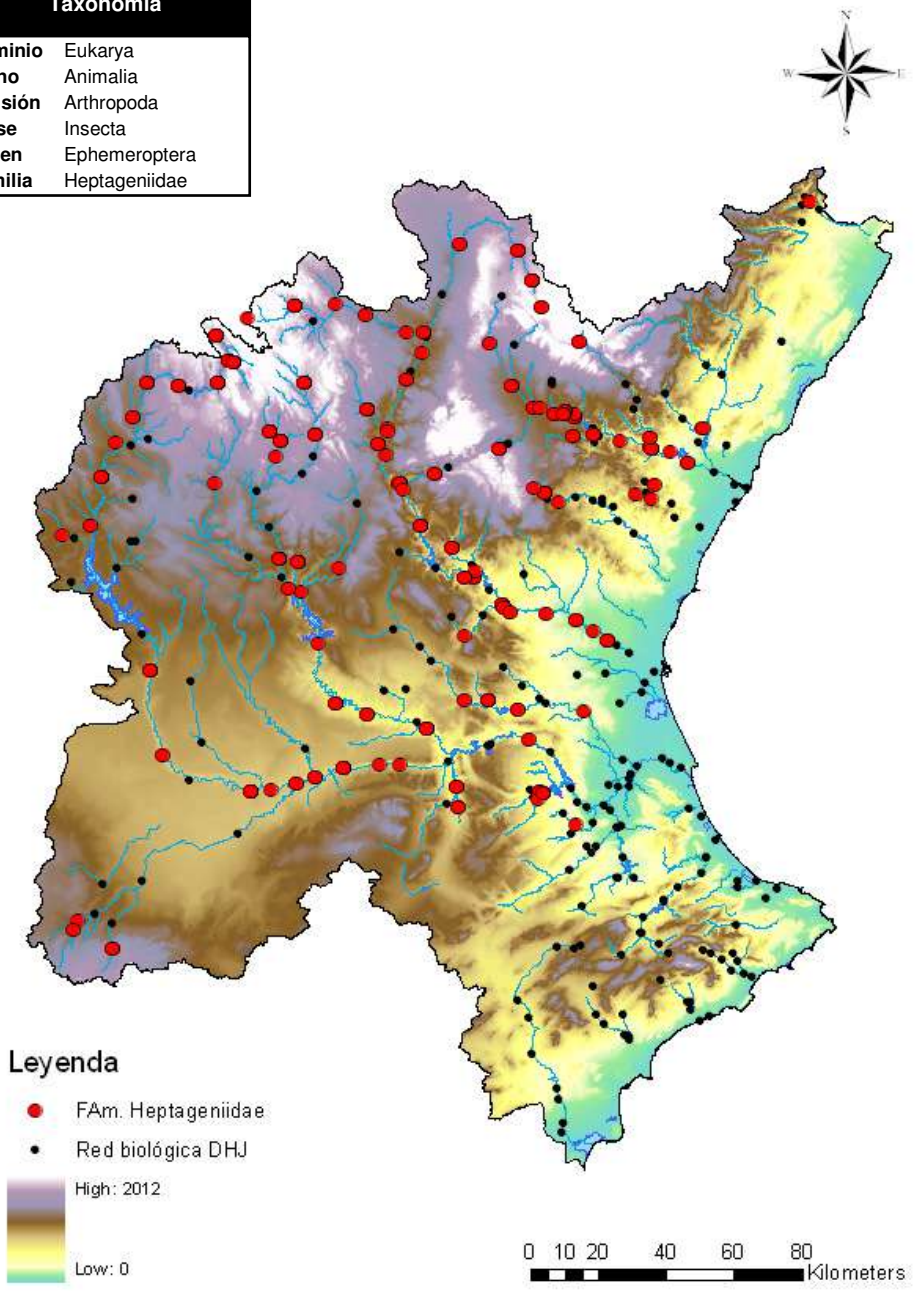


Figura A2-34. Atlas de distribución de la familia Heptageniidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.1.6 Fam. Leptophlebiidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Ephemeroptera
Familia	Leptophlebiidae

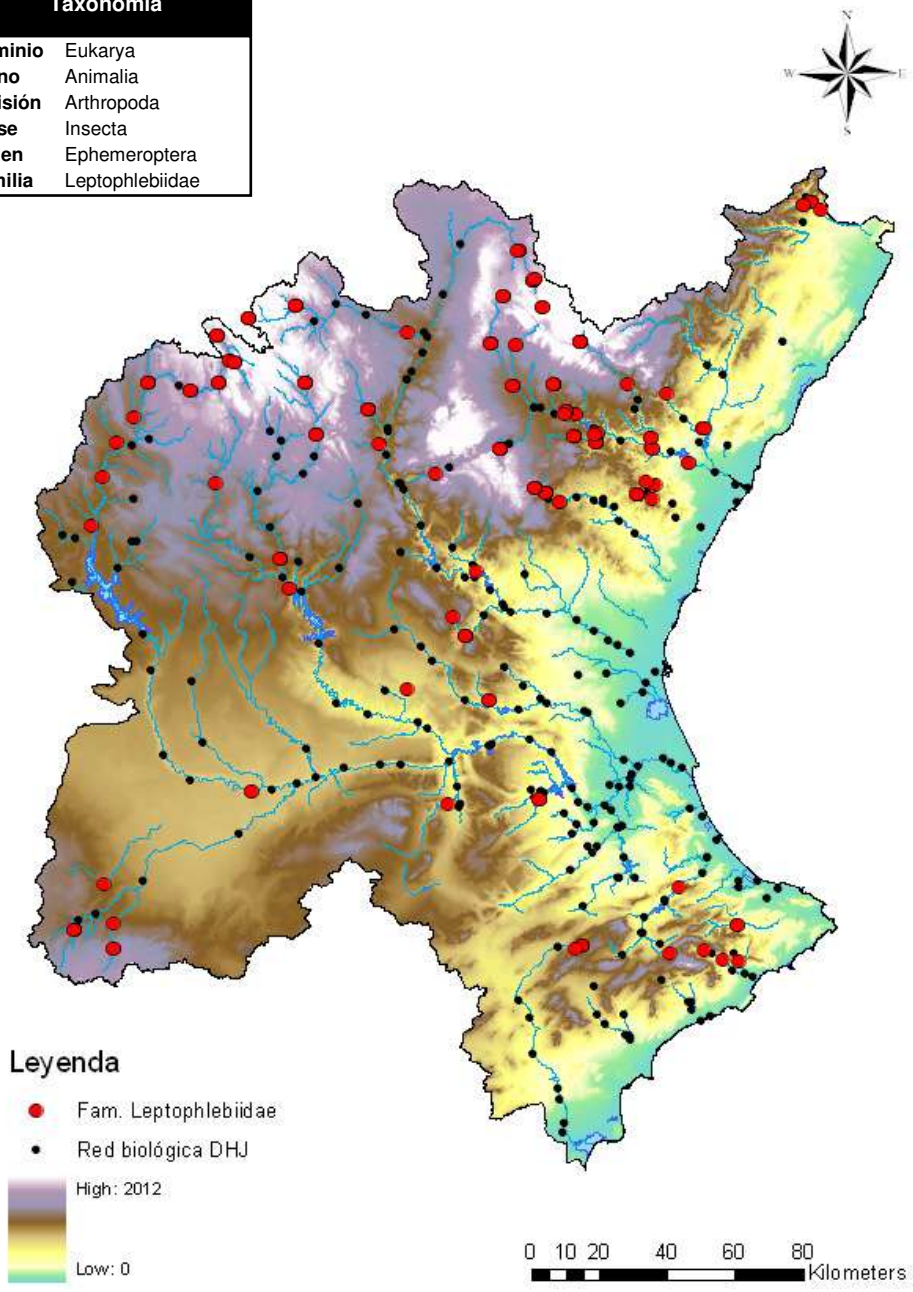


Figura A2-35. Atlas de distribución de la familia Leptophlebiidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.1.7 Fam. Oligoneuriidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Ephemeroptera
Familia	Oligoneuriidae

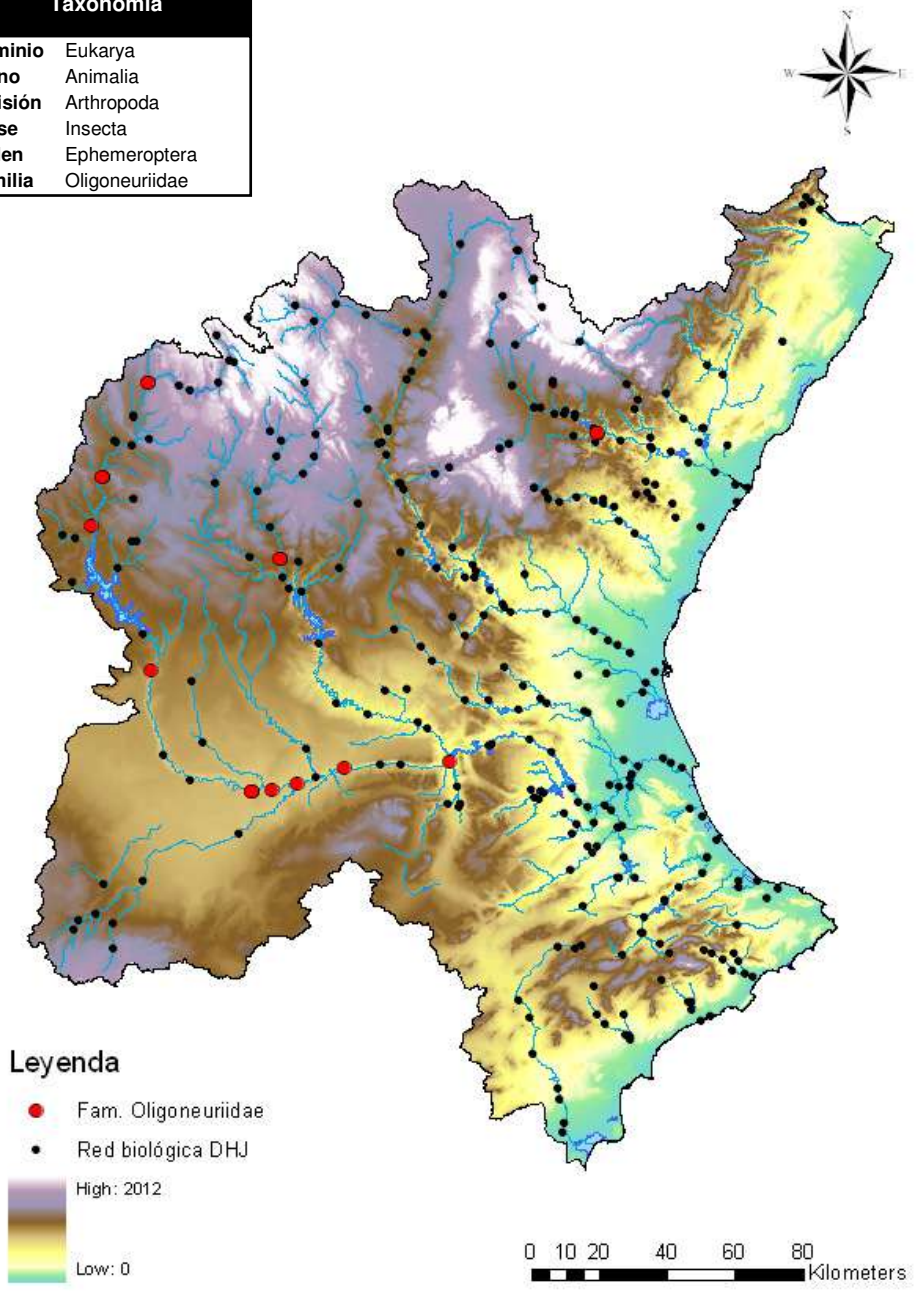


Figura A2-36. Atlas de distribución de la familia Oligoneuniidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.1.8 Fam. Polymitarcidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Ephemeroptera
Familia	Polymitarcidae

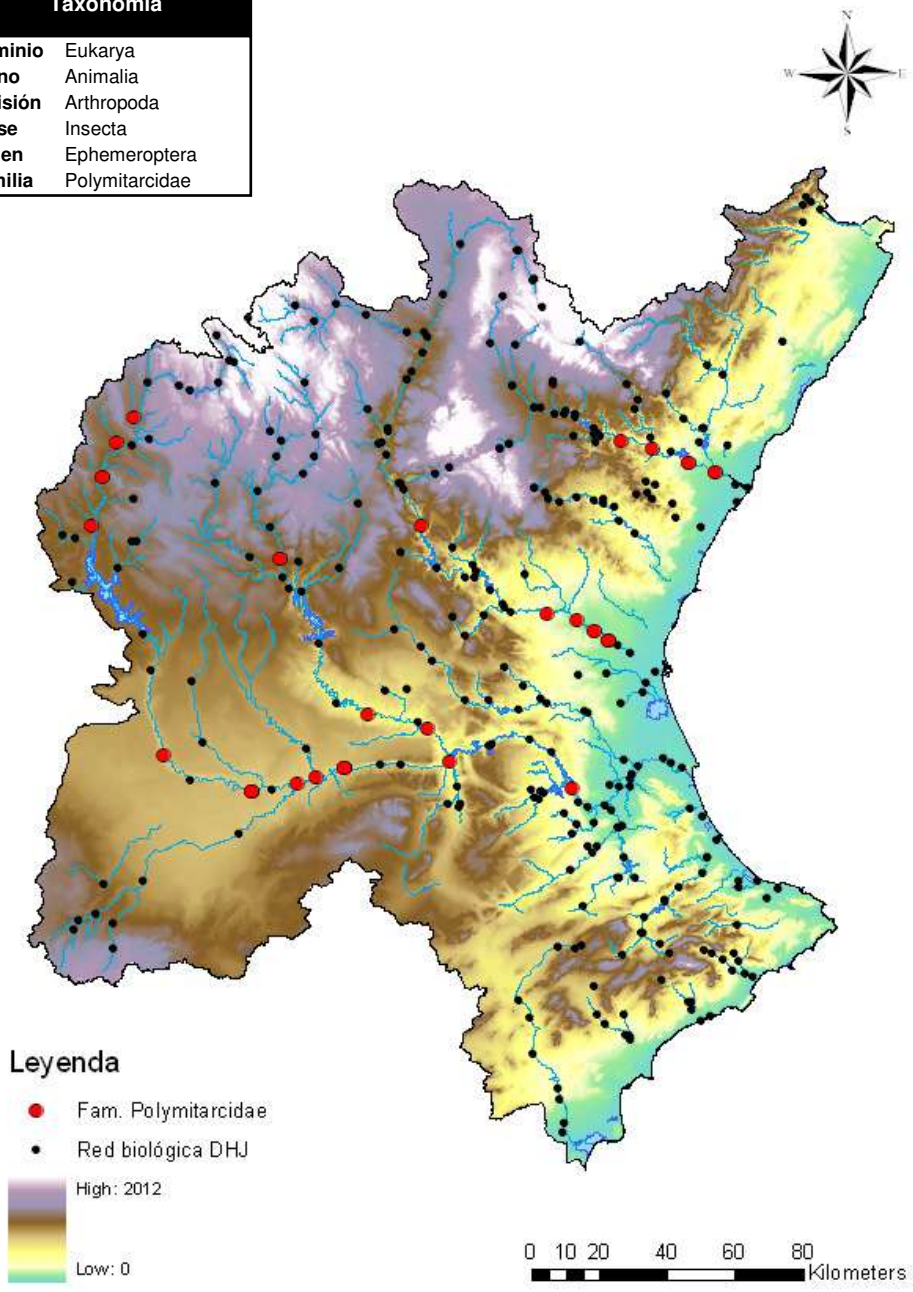


Figura A2-37. Atlas de distribución de la familia Polymitarcidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.1.9 Fam. Potamanthidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Ephemeroptera
Familia	Potamanthidae

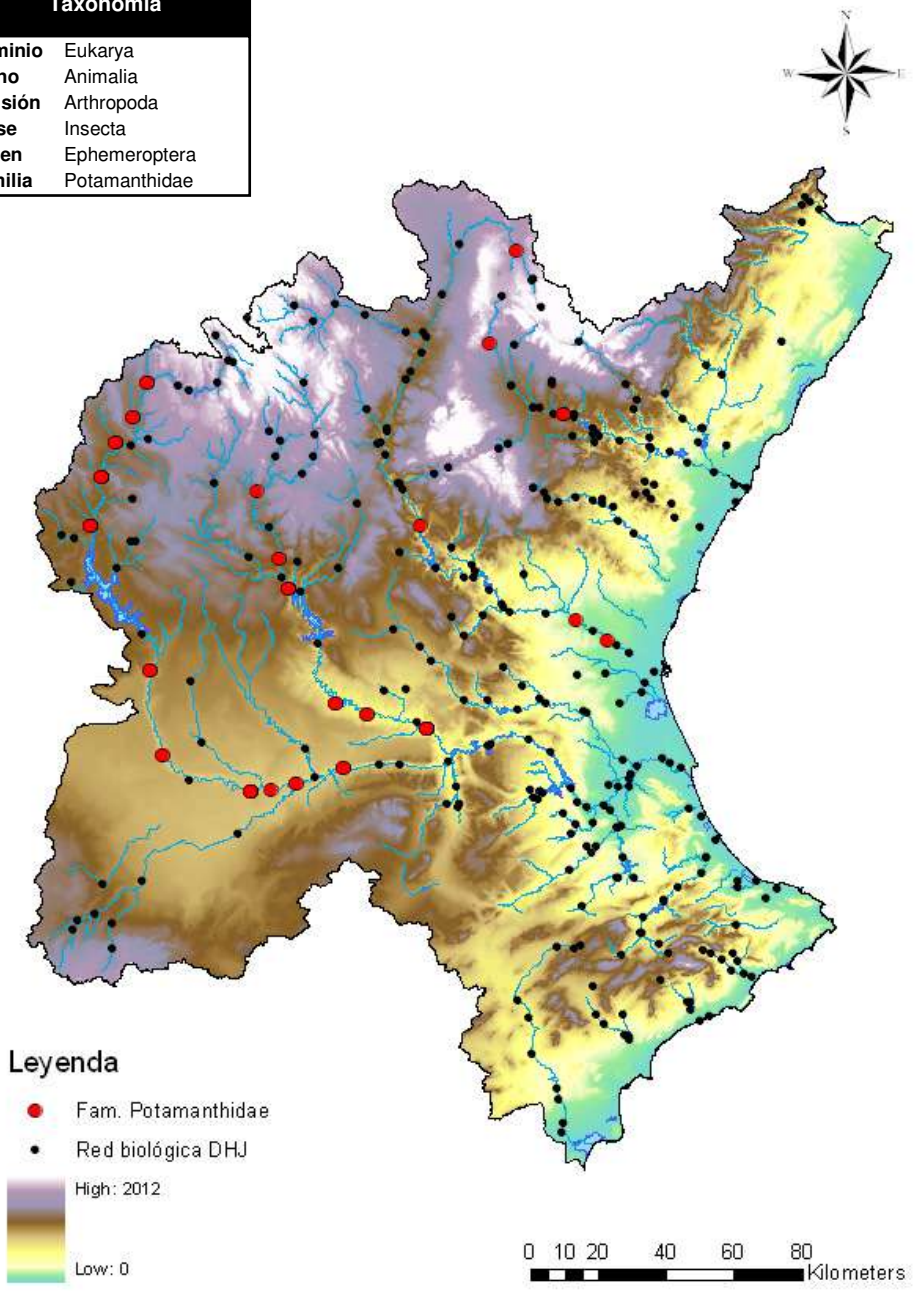


Figura A2-38. Atlas de distribución de la familia Potamanthidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.1.10 Fam. Prosopistomatidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Ephemeroptera
Familia	Prosopistomatidae

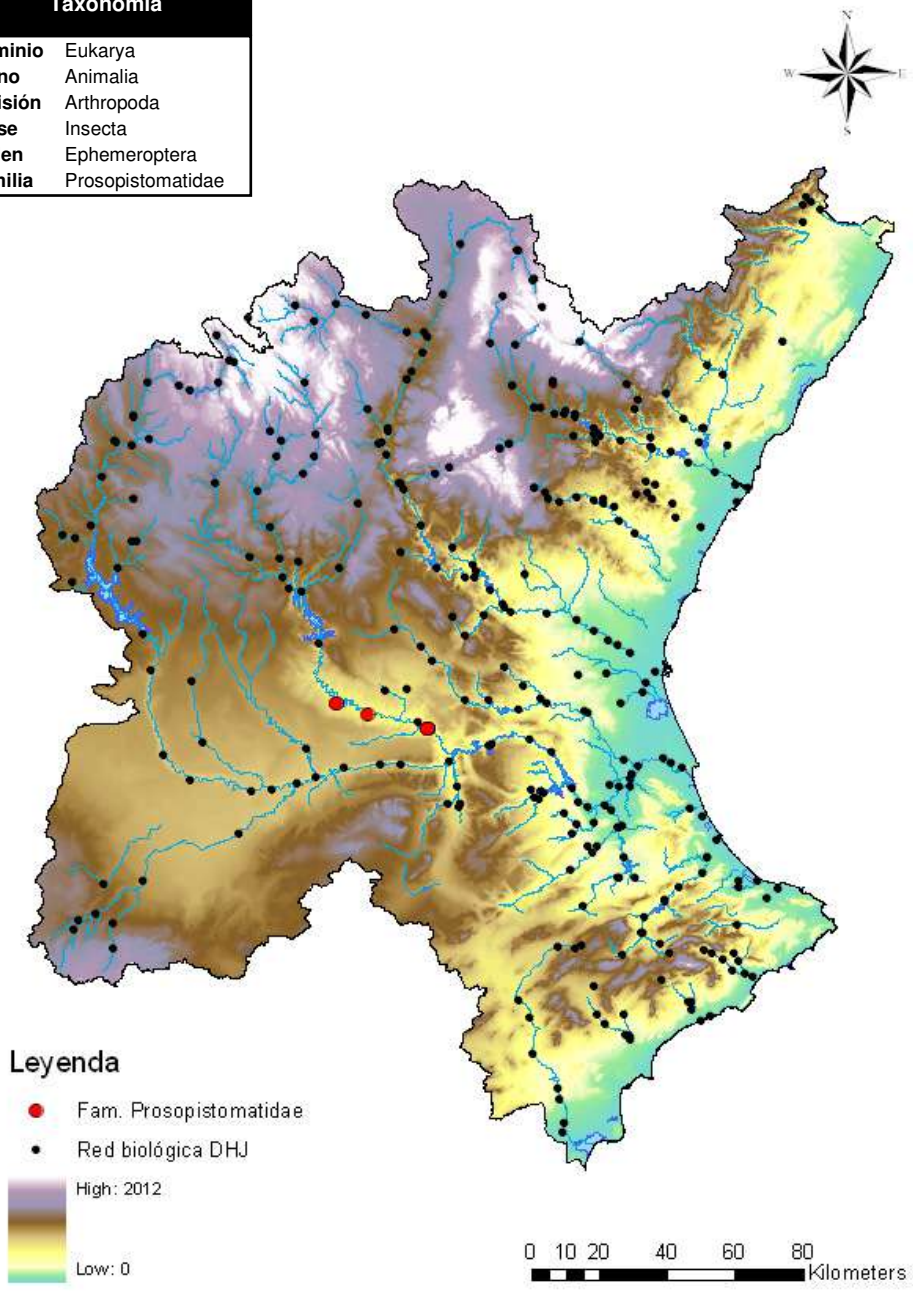


Figura A2-39. Atlas de distribución de la familia Prosopistomatidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.1.11 Fam. Siphlonuriidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Ephemeroptera
Familia	Siphlonuridae

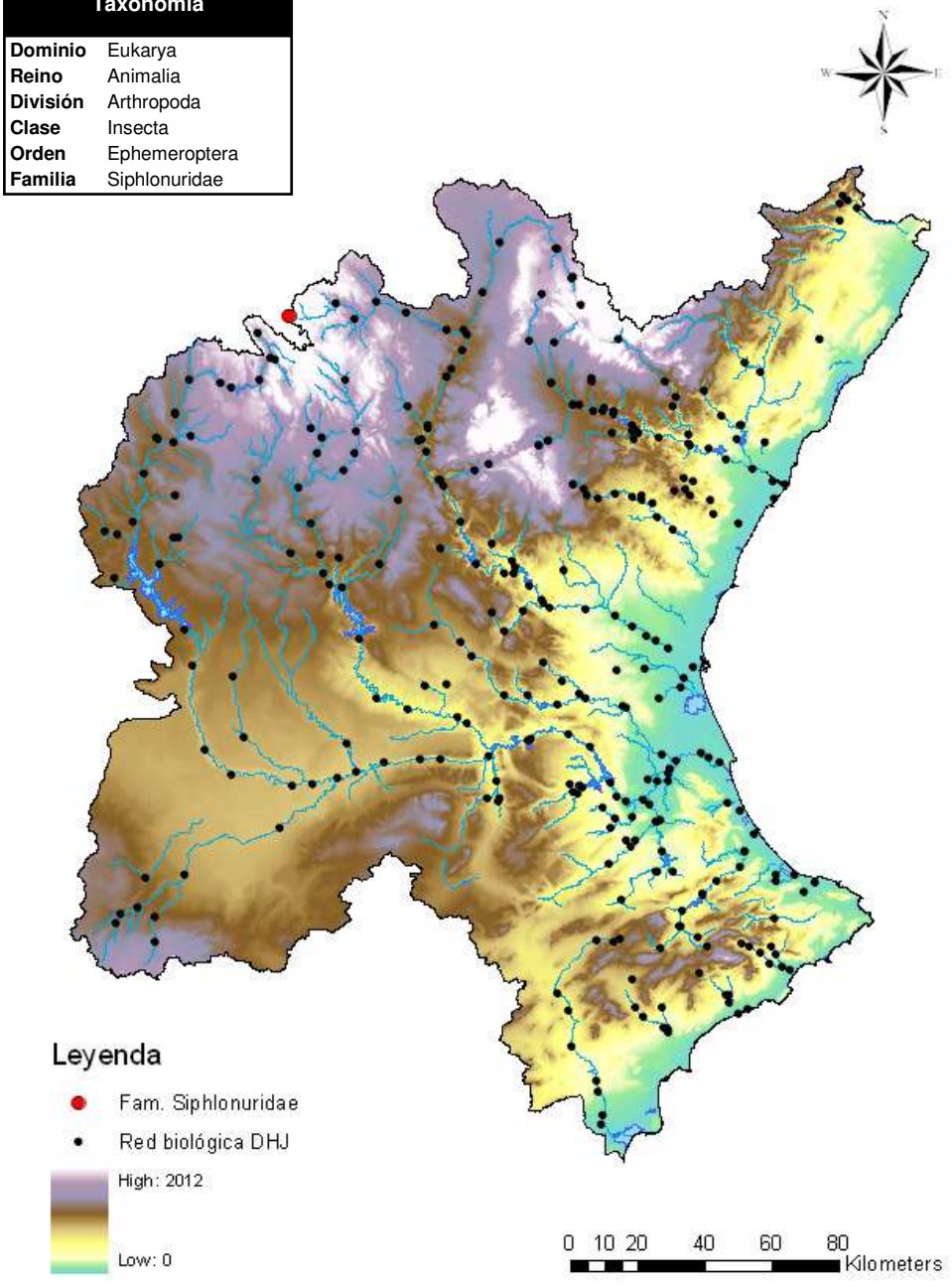


Figura A2-40. Atlas de distribución de la familia Siphlonuriidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.2 Orden Plecoptera

A2-7.2.1 Fam. Capniidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Plecoptera
Familia	Capniidae

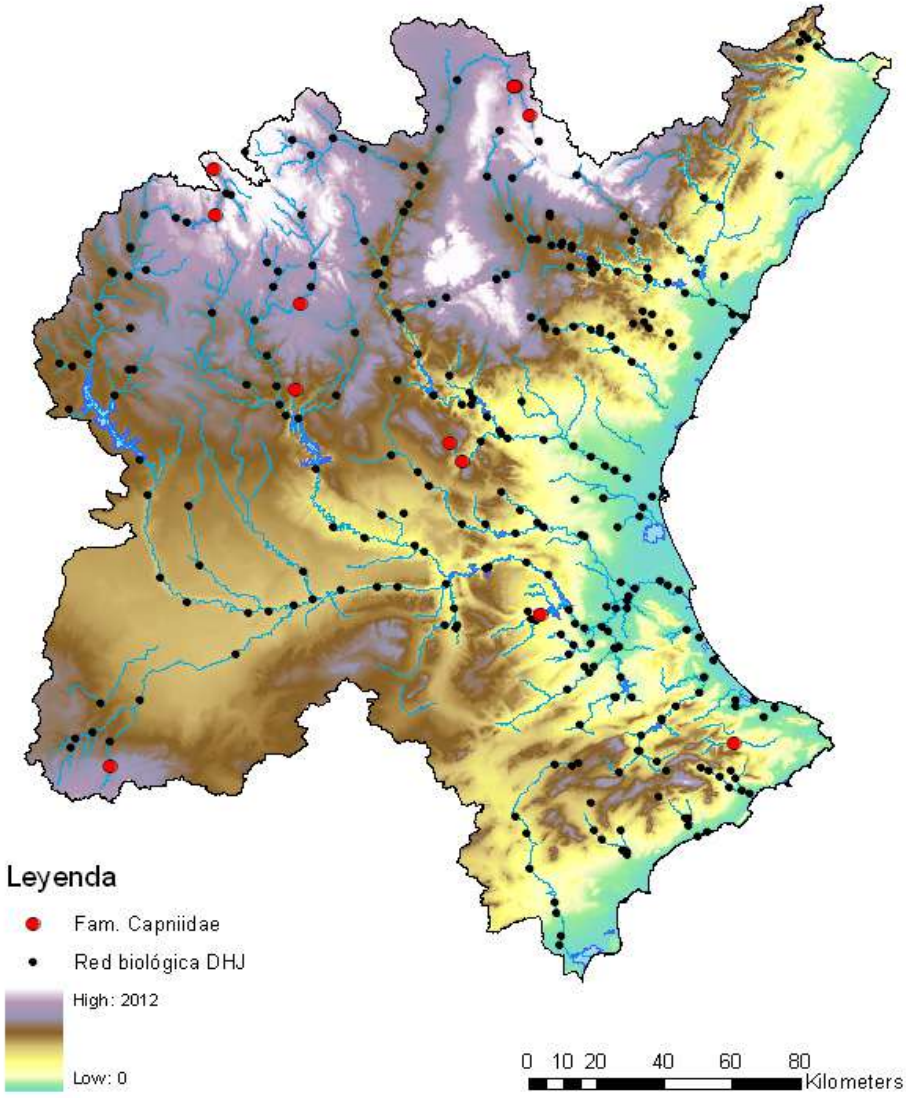


Figura A2-41. Atlas de distribución de la familia Capniidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.2.2 Fam. Chloroperlidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Plecoptera
Familia	Chloroperlidae

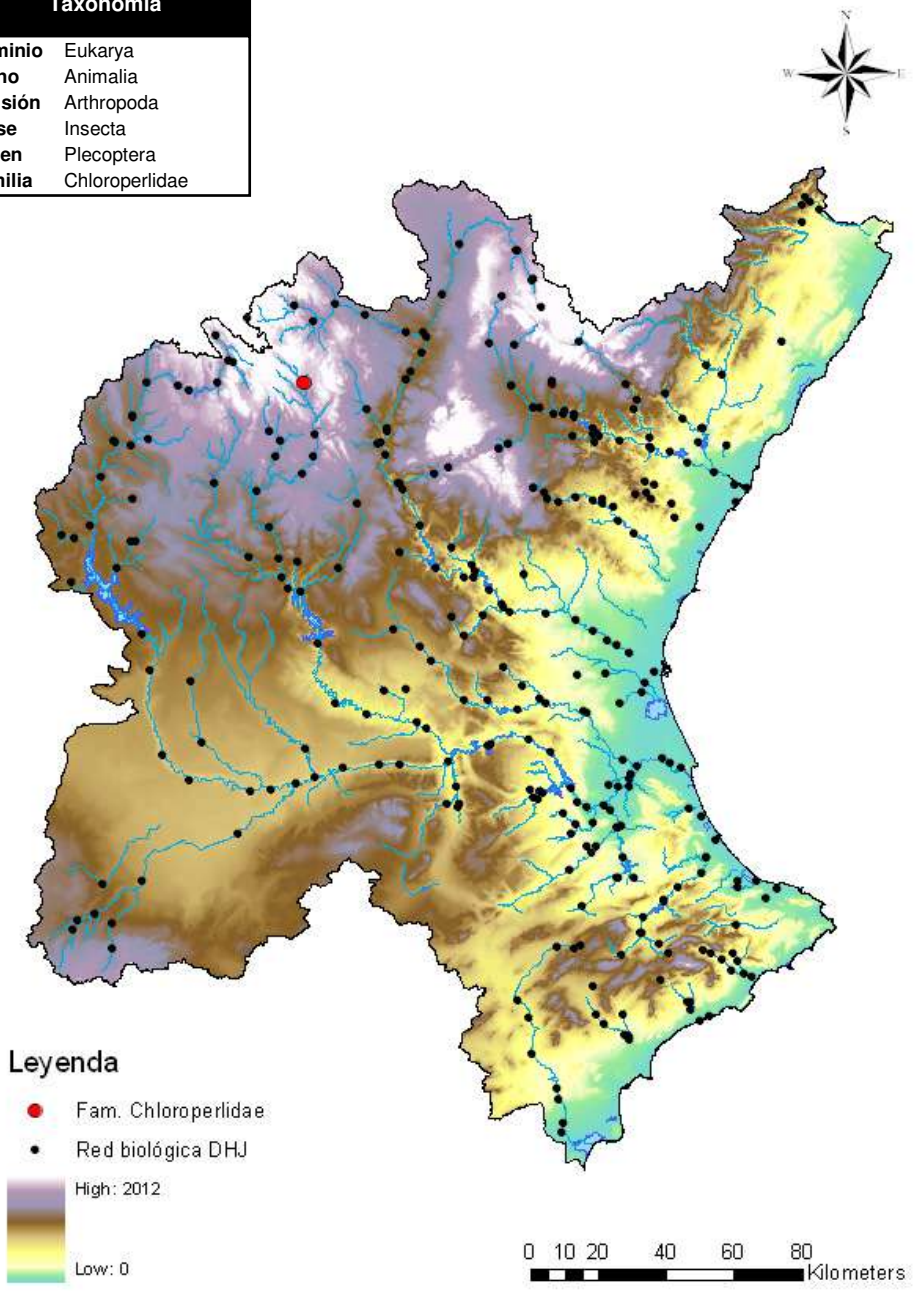


Figura A2-42. Atlas de distribución de la familia Chloroperlidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.2.3 Fam. Leuctridae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Plecoptera
Familia	Leuctridae

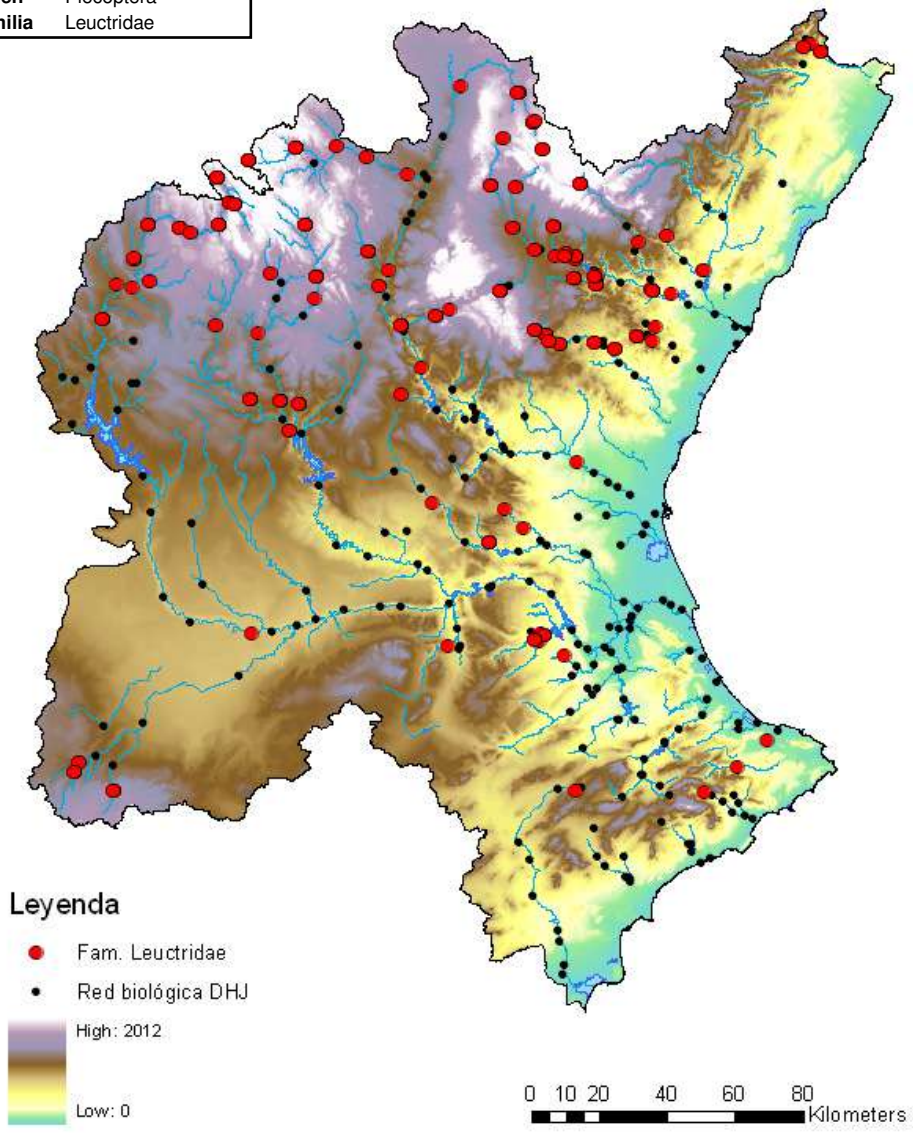


Figura A2-43. Atlas de distribución de la familia Leuctridae en la cuenca del Júcar.

A2-7.2.4 Fam. Nemouridae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Plecoptera
Familia	Nemouridae

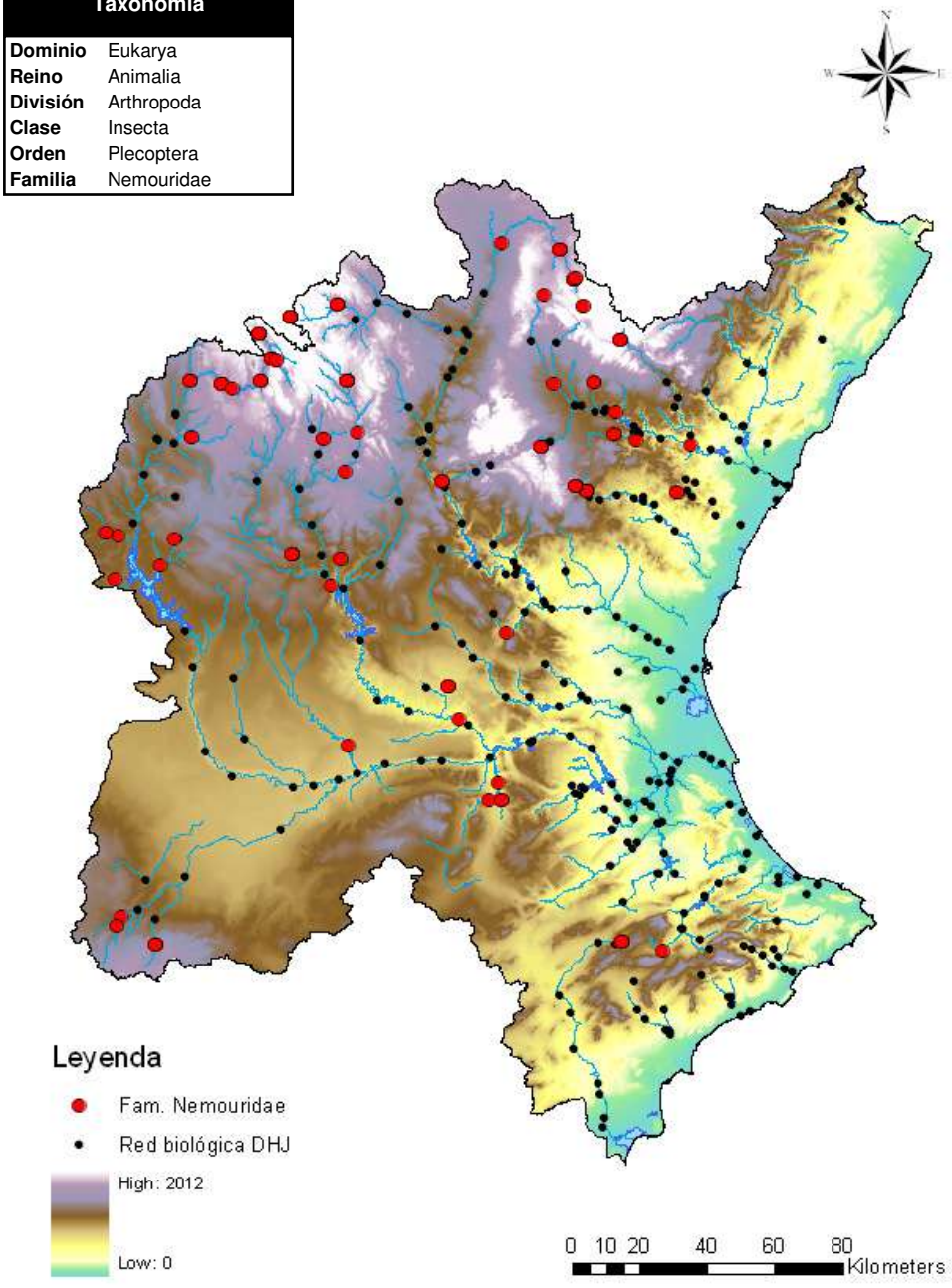


Figura A2-44. Atlas de distribución de la familia Nemouridae en la cuenca del Júcar.

A2-7.2.5 Fam. Perlidae

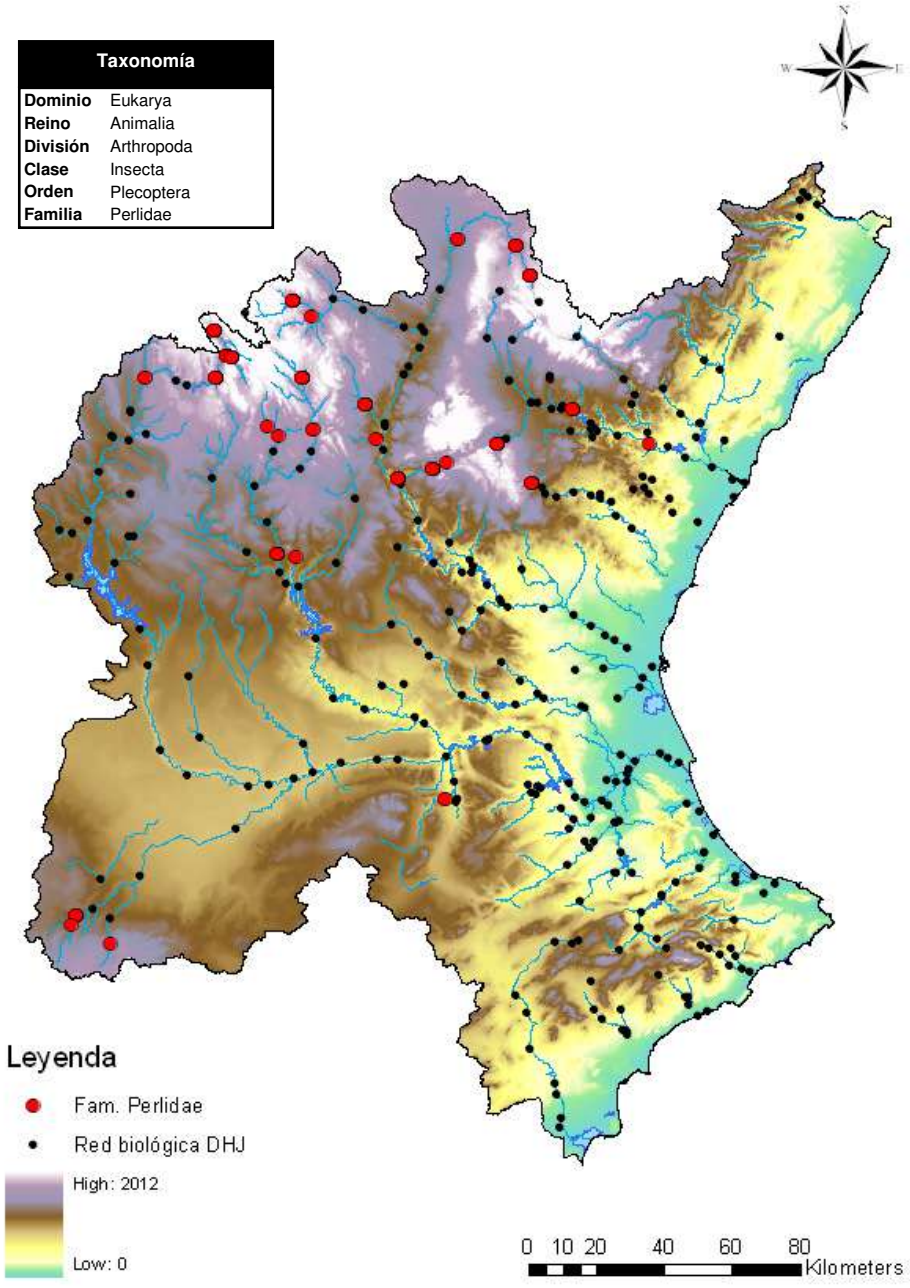


Figura A2-45. Atlas de distribución de la familia Perlidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.2.6 Fam. Perlodidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Plecoptera
Familia	Perlodidae

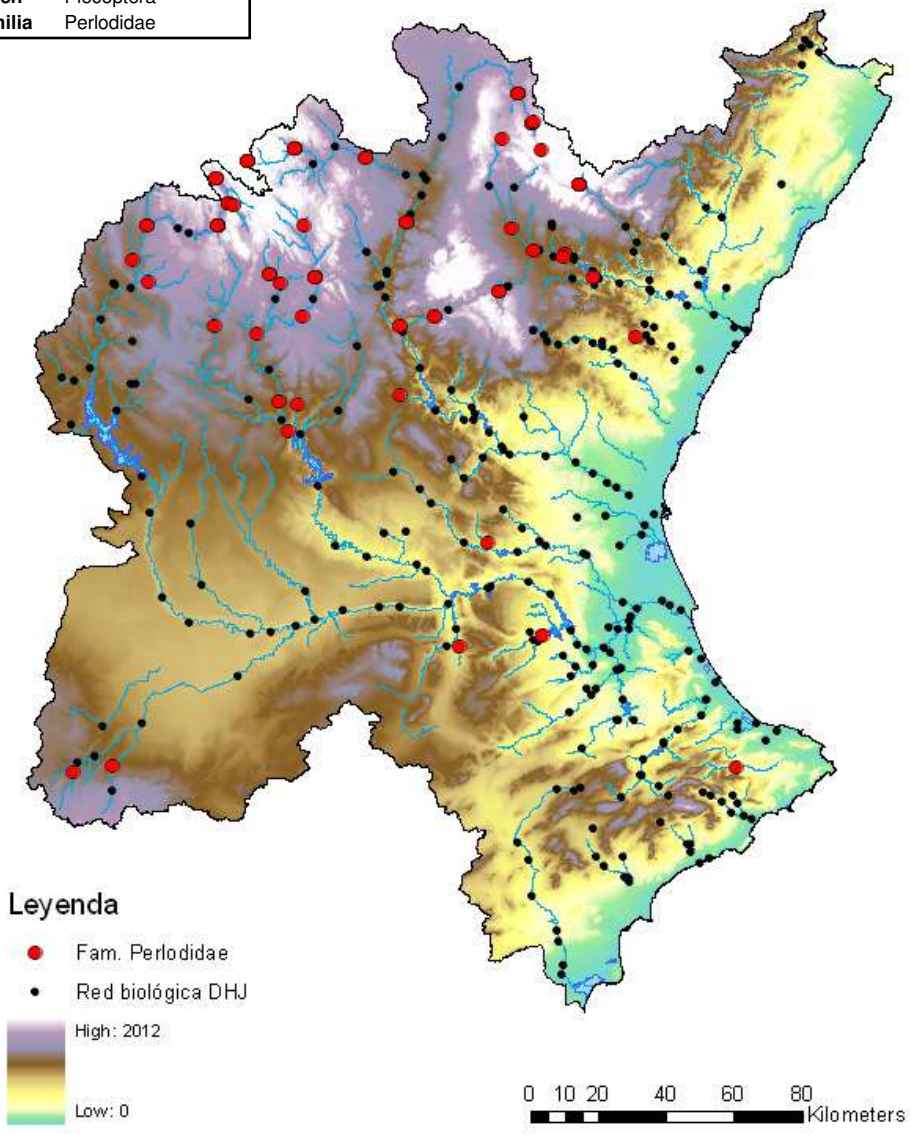


Figura A2-46. Atlas de distribución de la familia Perlodidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.2.7 Fam. Taeniopterygidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Plecoptera
Familia	Taeniopterygidae

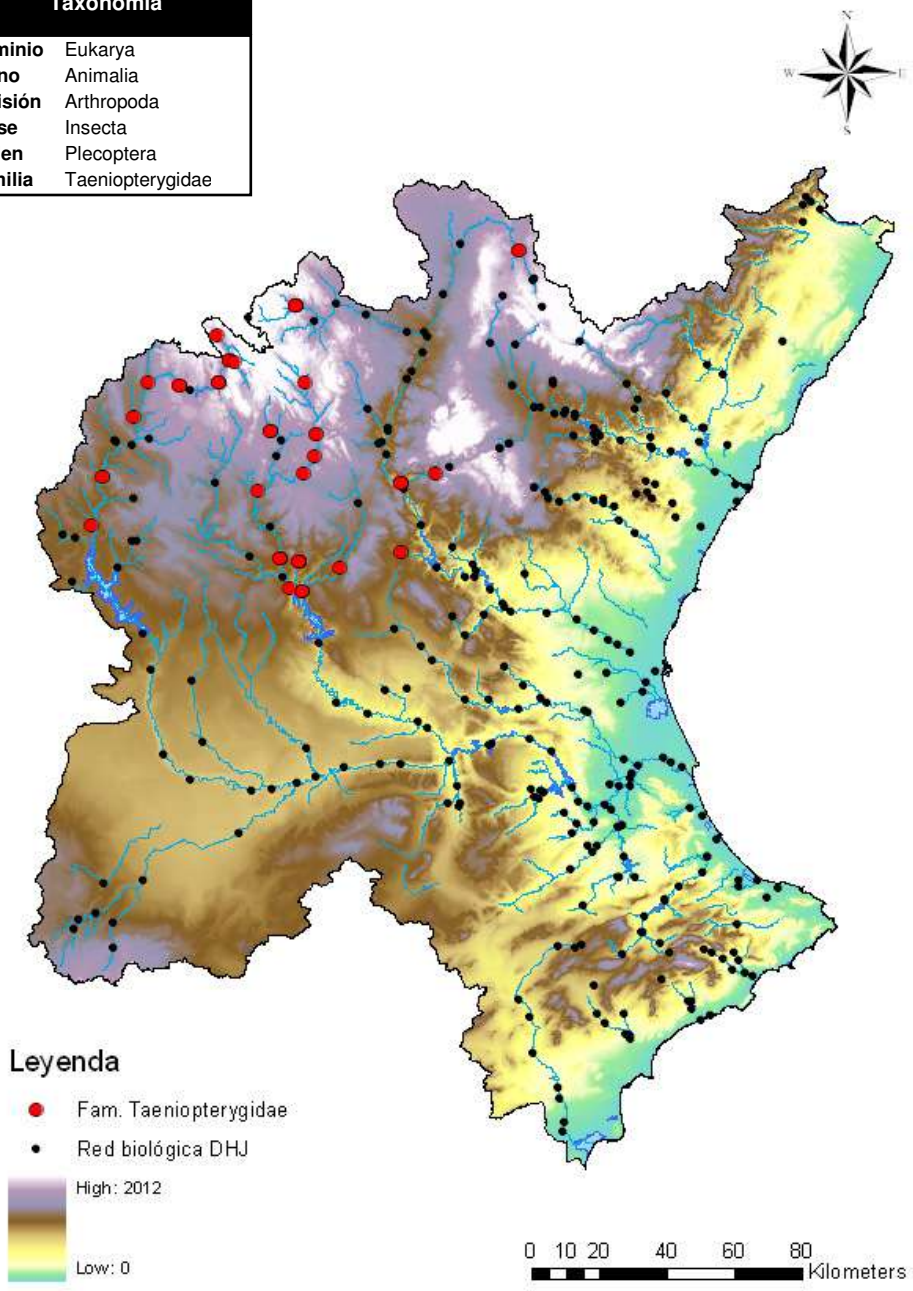


Figura A2-47. Atlas de distribución de la familia Taeniopterygidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.3 Orden Odonata

A2-7.3.1 Fam. Aeshnidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Odonata
Familia	Aeshnidae

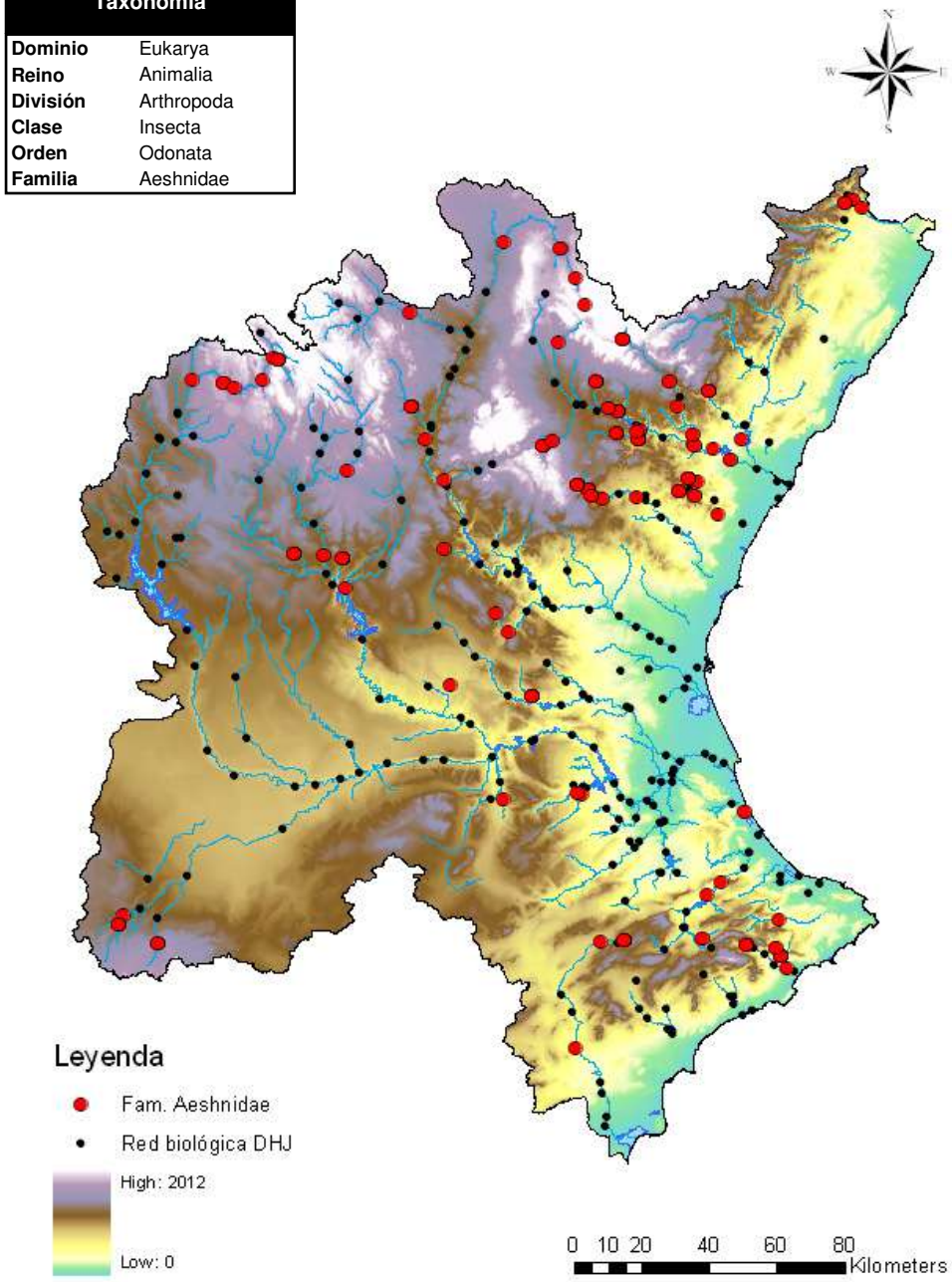


Figura A2-48. Atlas de distribución de la familia Aeschnidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.3.2 Fam. Calopterygidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Odonata
Familia	Calopterygidae

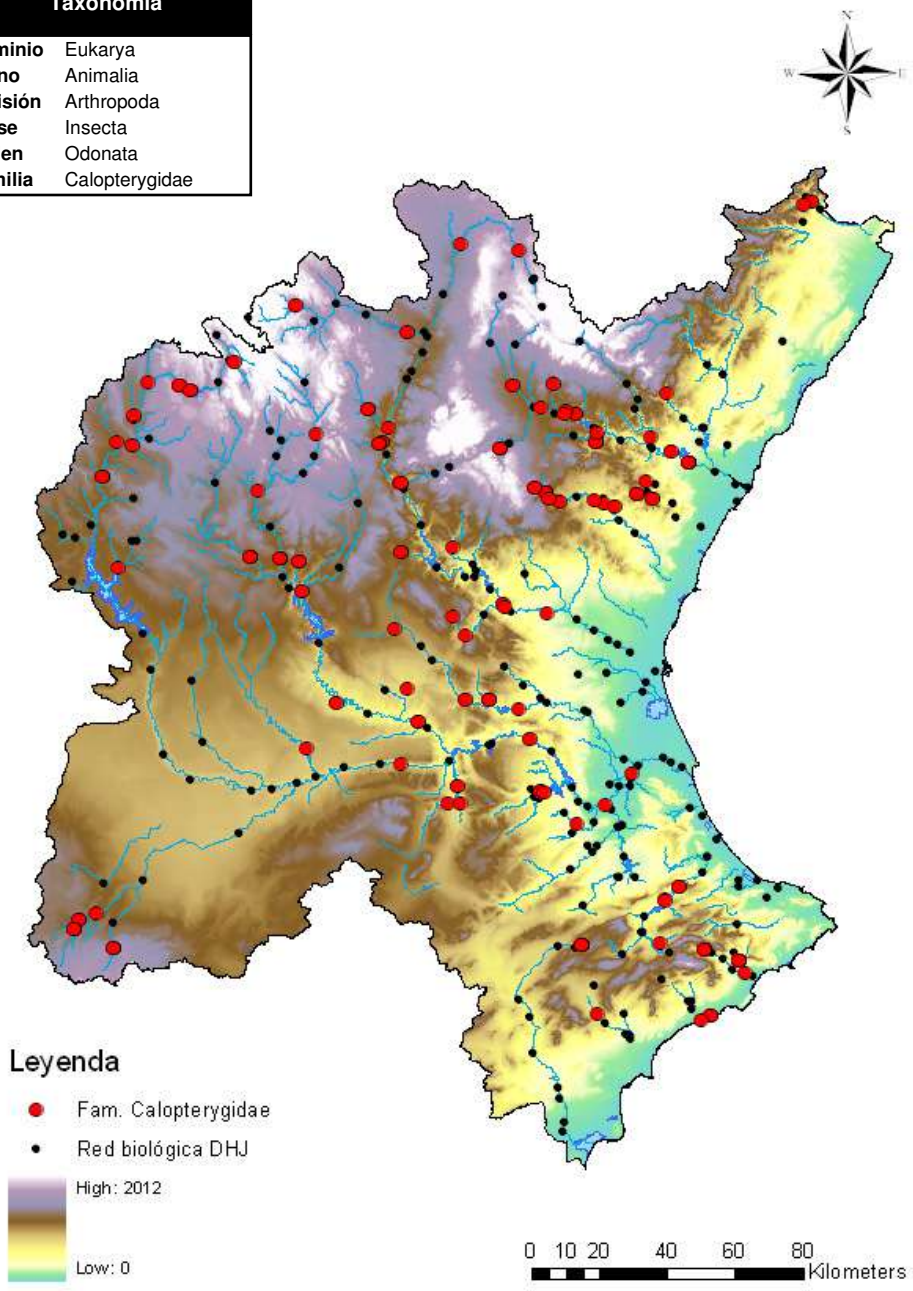


Figura A2-49. Atlas de distribución de la familia Calopterygidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.3.3 Fam. Coenagrionidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Odonata
Familia	Coenagrionidae

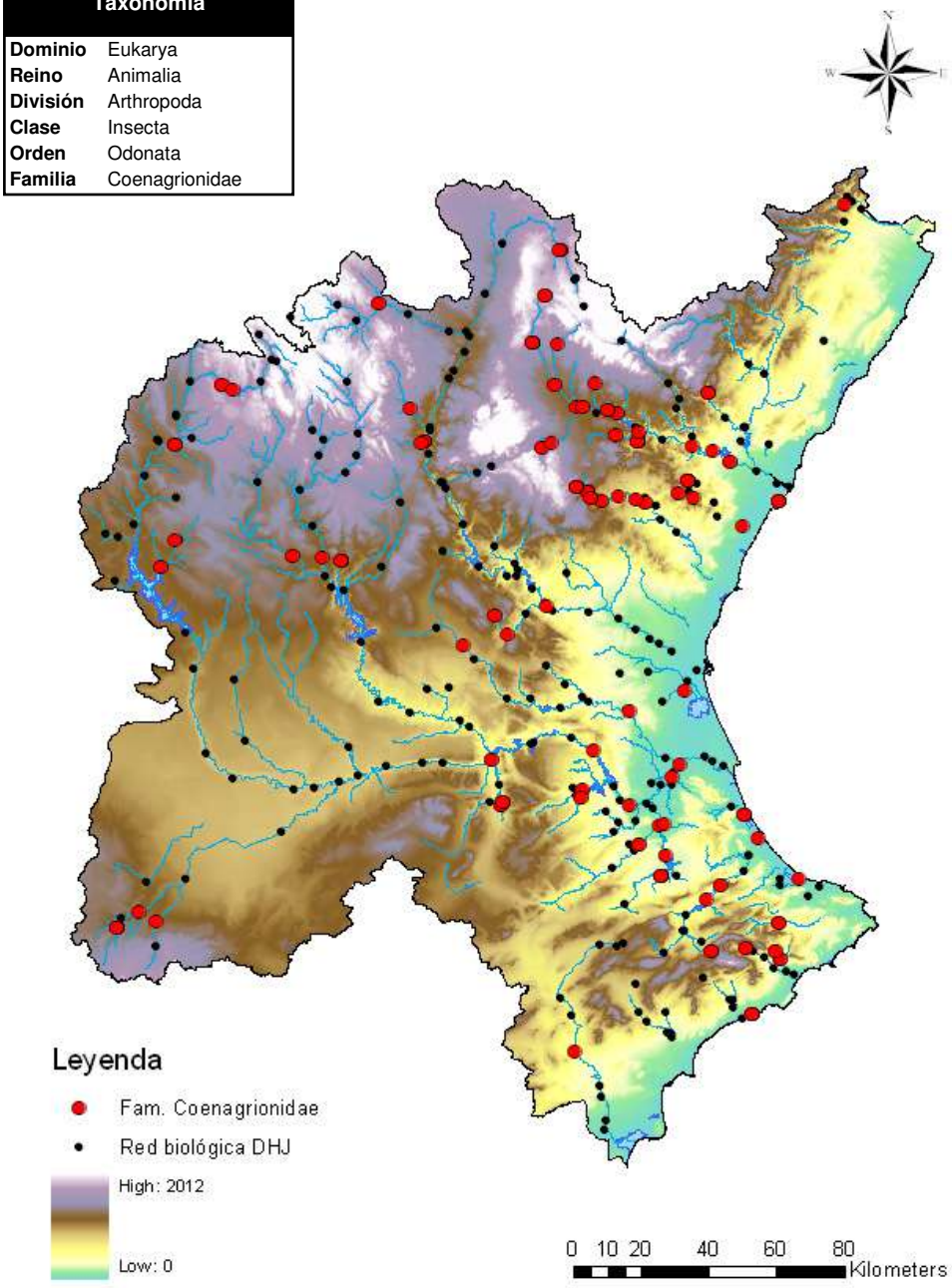


Figura A2-50. Atlas de distribución de la familia Coenagrionidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.3.4 Fam. Cordulegastridae

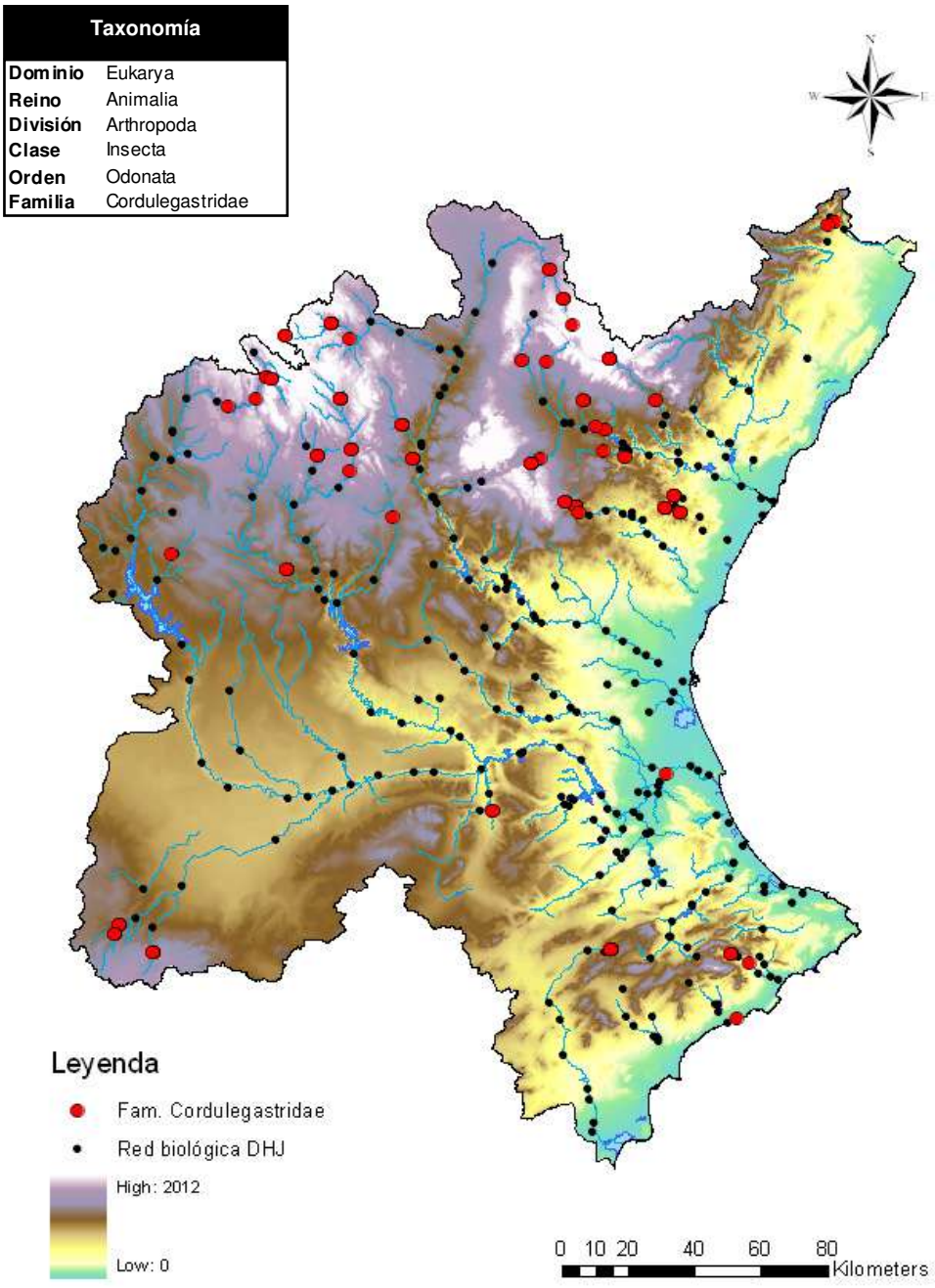


Figura A2-51. Atlas de distribución de la familia Cordulegasteridae en la cuenca del Júcar.

A2-7.3.5 Fam. Corduliidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Odonata
Familia	Corduliidae

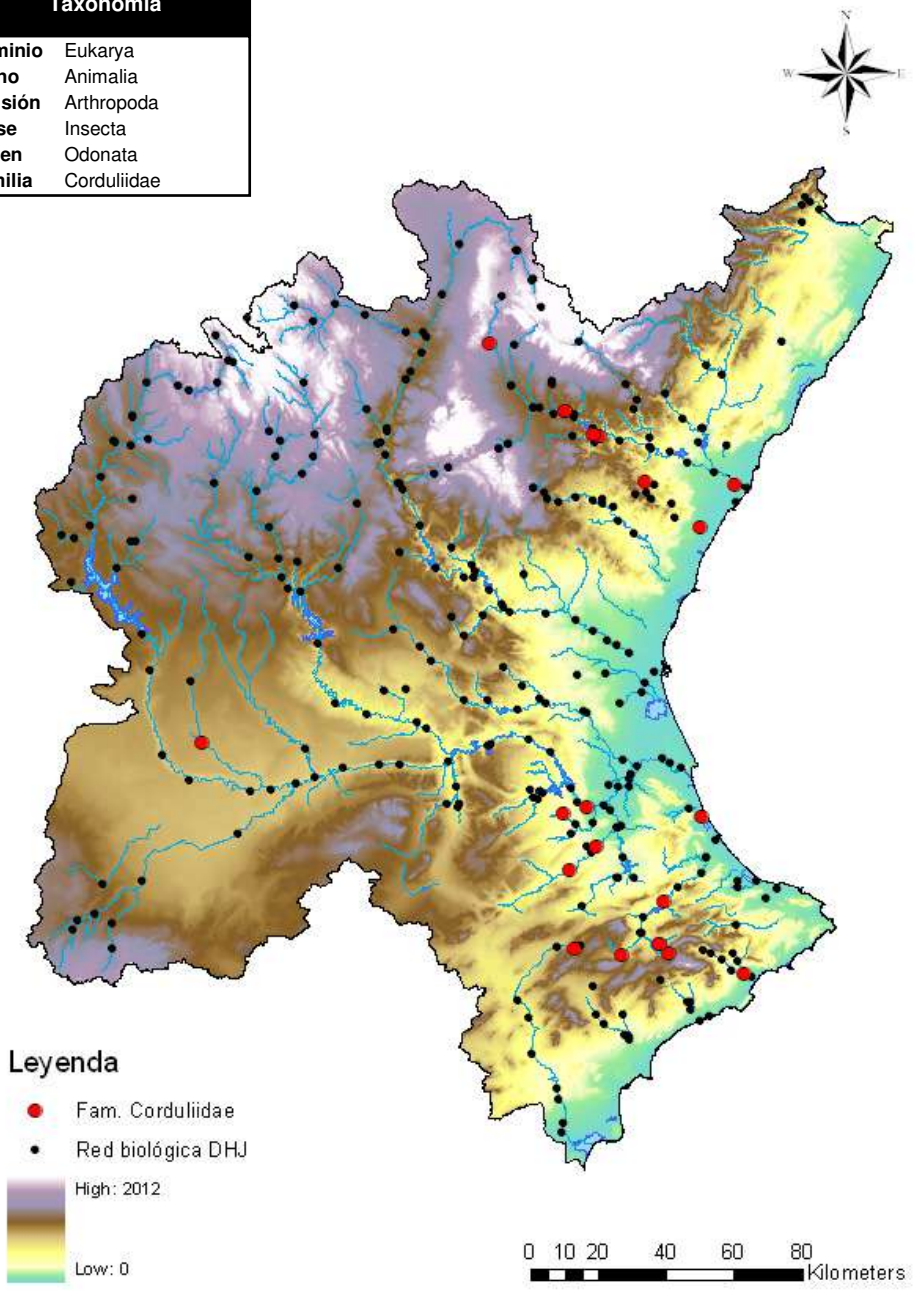


Figura A2-52. Atlas de distribución de la familia Corduliidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.3.6 Fam. Gomphidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Odonata
Familia	Gomphidae

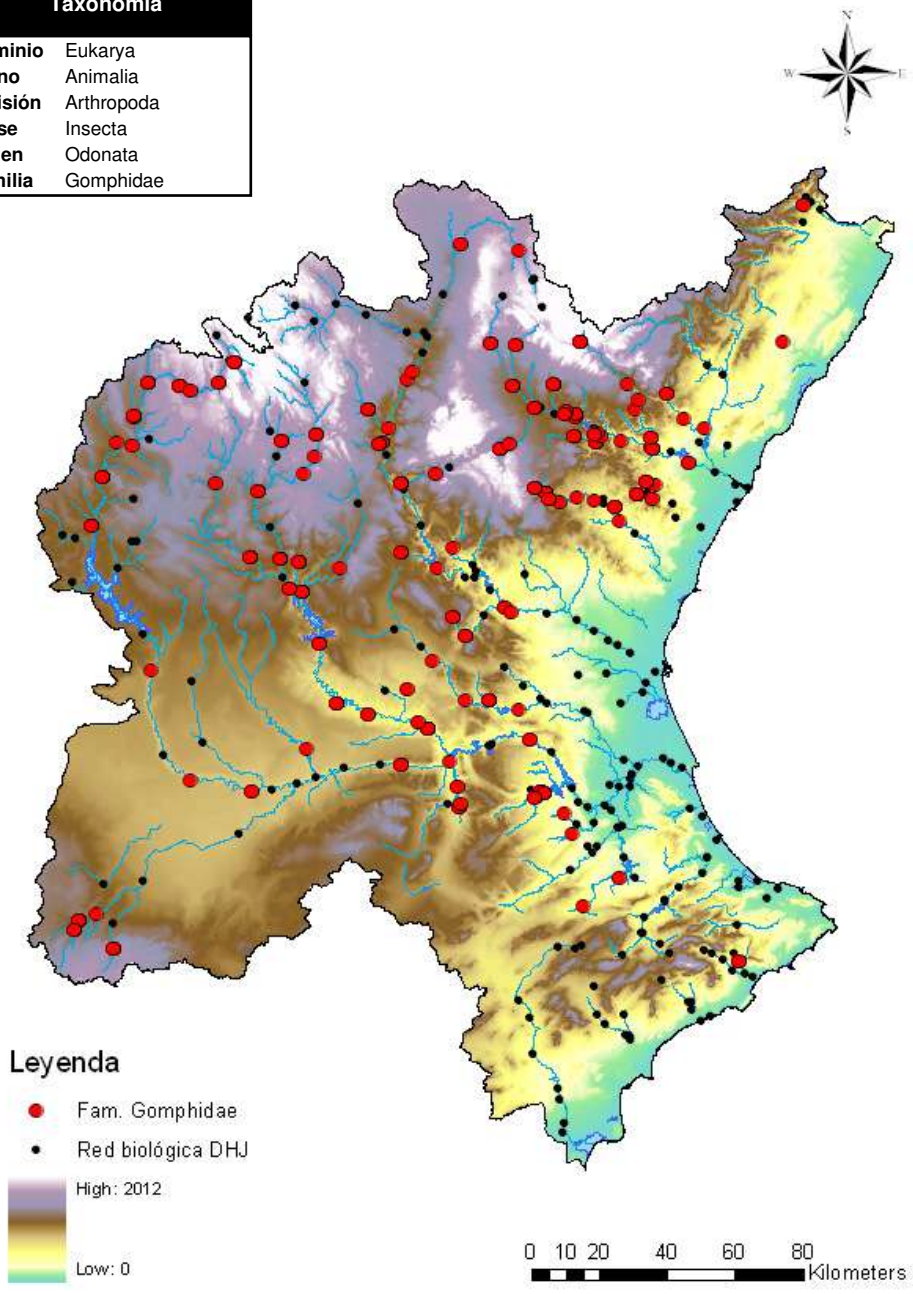


Figura A2-53. Atlas de distribución de la familia Gomphidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.3.7 Fam. Lestidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Odonata
Familia	Lestidae

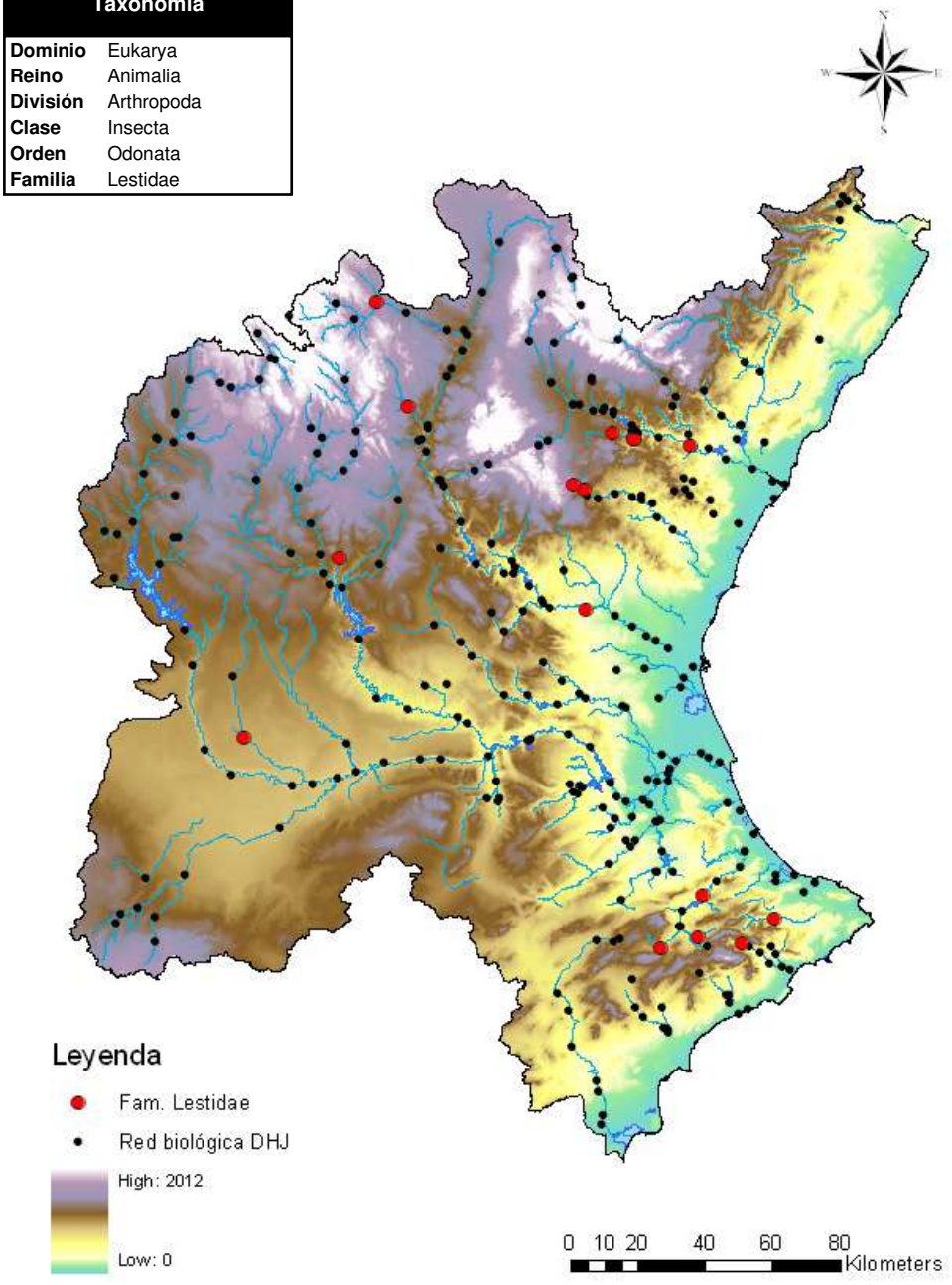


Figura A2-54. Atlas de distribución de la familia Lestidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.3.8 Fam. Libellulidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Odonata
Familia	Libellulidae

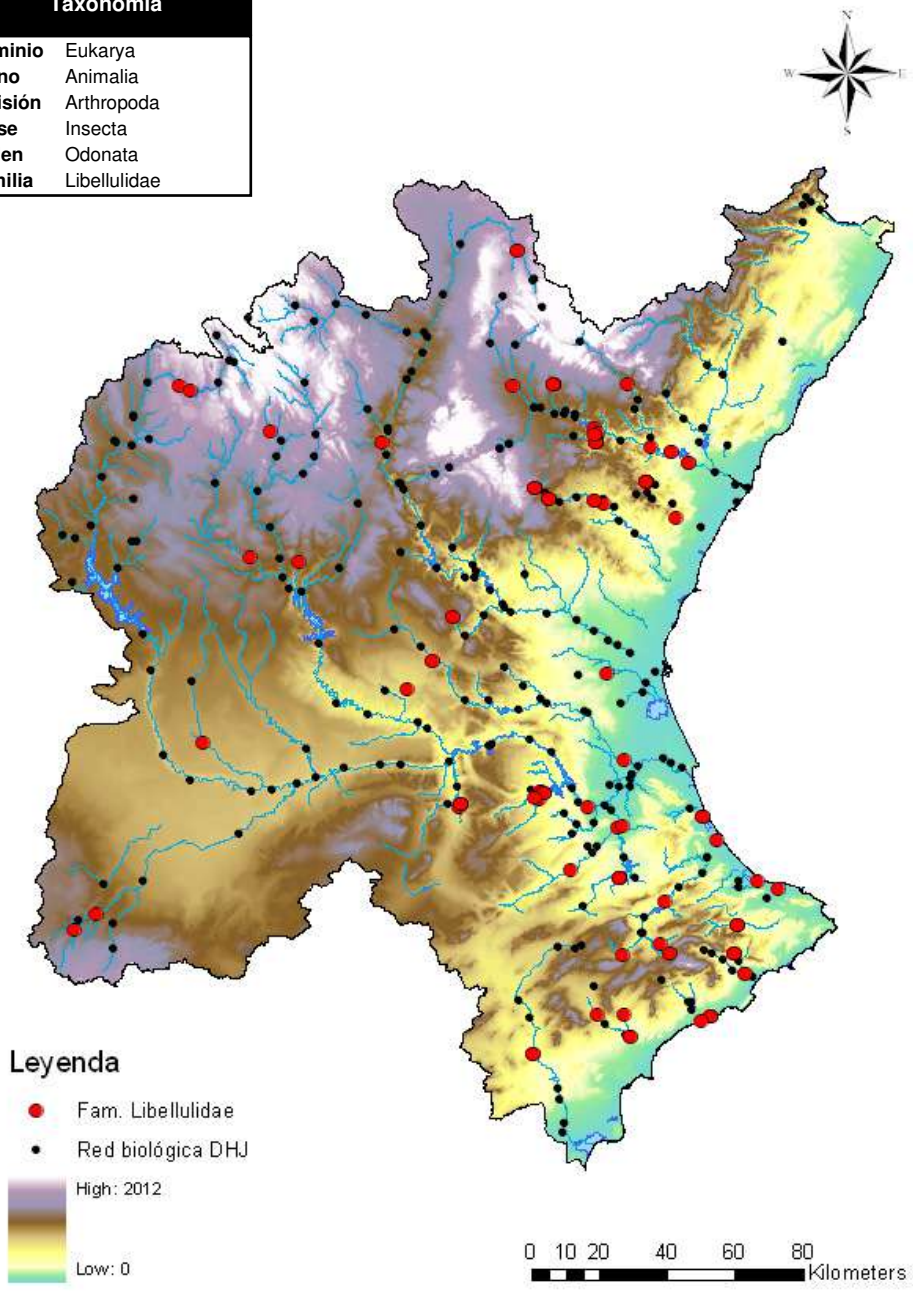


Figura A2-55. Atlas de distribución de la familia Libellulidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.3.9 Fam. Platycnemididae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Odonata
Familia	Platycnemididae

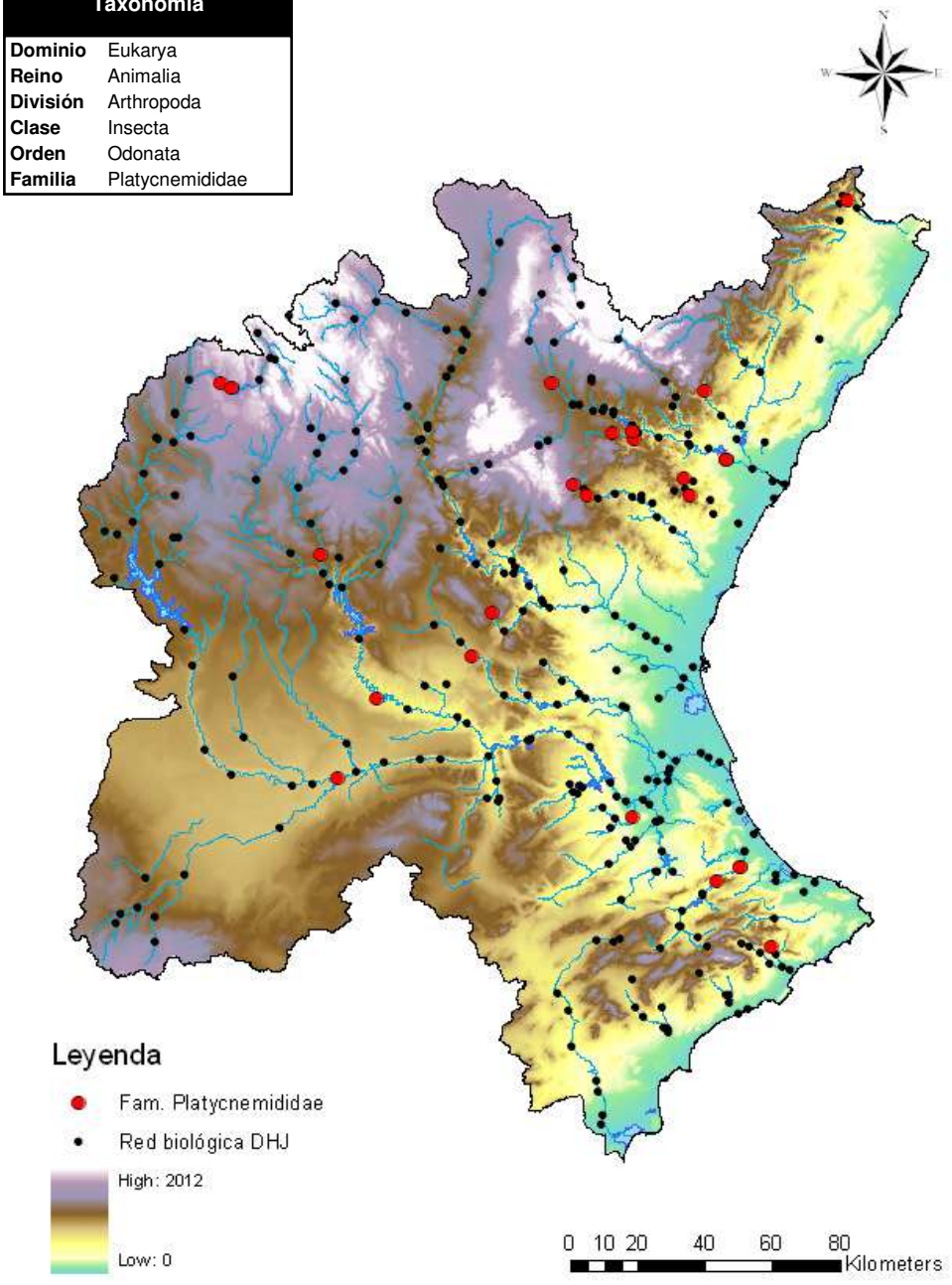


Figura A2-56. Atlas de distribución de la familia Platycnemididae en la cuenca del Júcar.

A2-7.4 Orden Heteroptera

A2-7.4.1 Fam. Corixidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Hemiptera
Familia	Corixidae

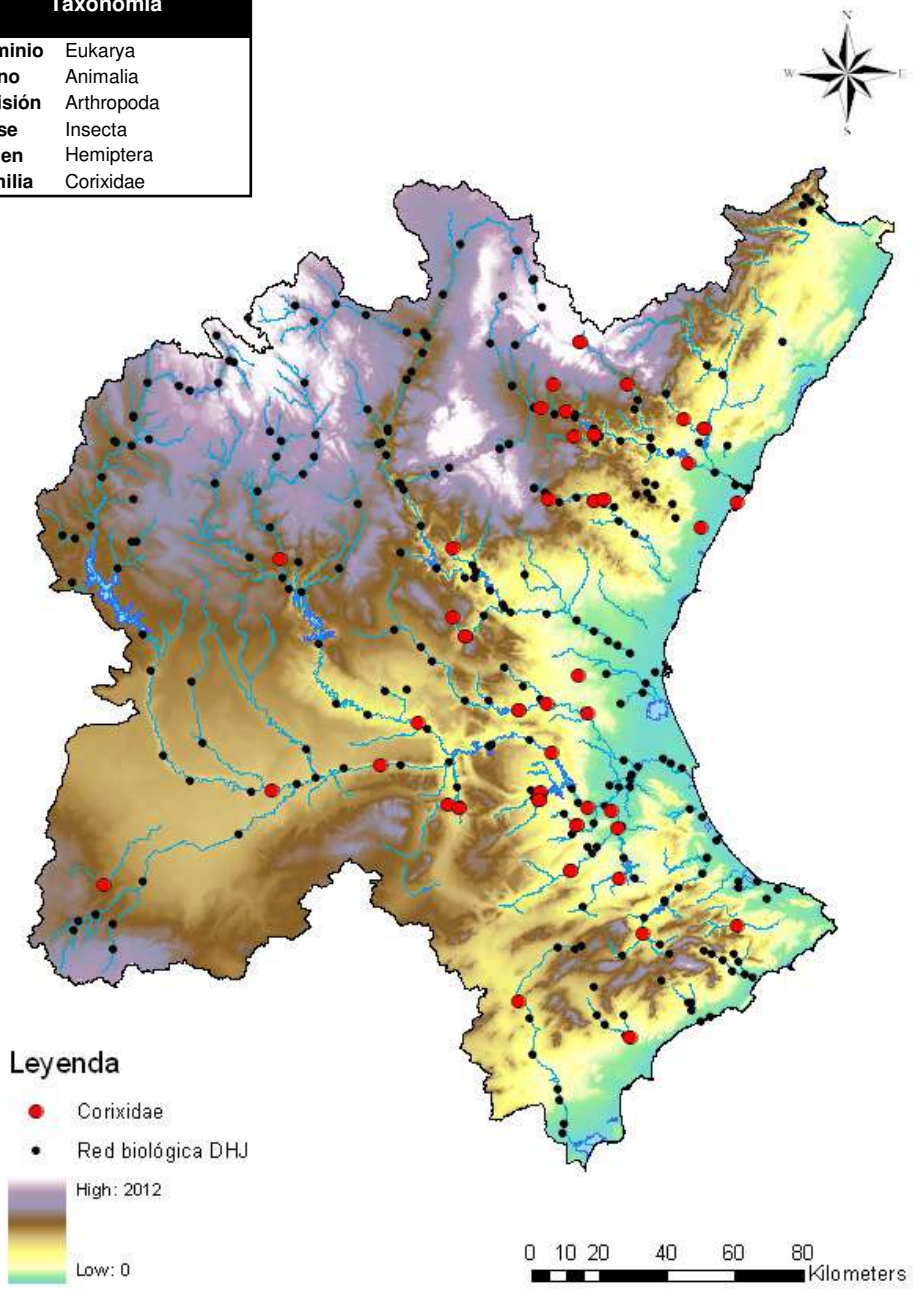


Figura A2-57. Atlas de distribución de la familia Corixidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.4.2 Fam. Gerridae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Hemiptera
Familia	Gerridae

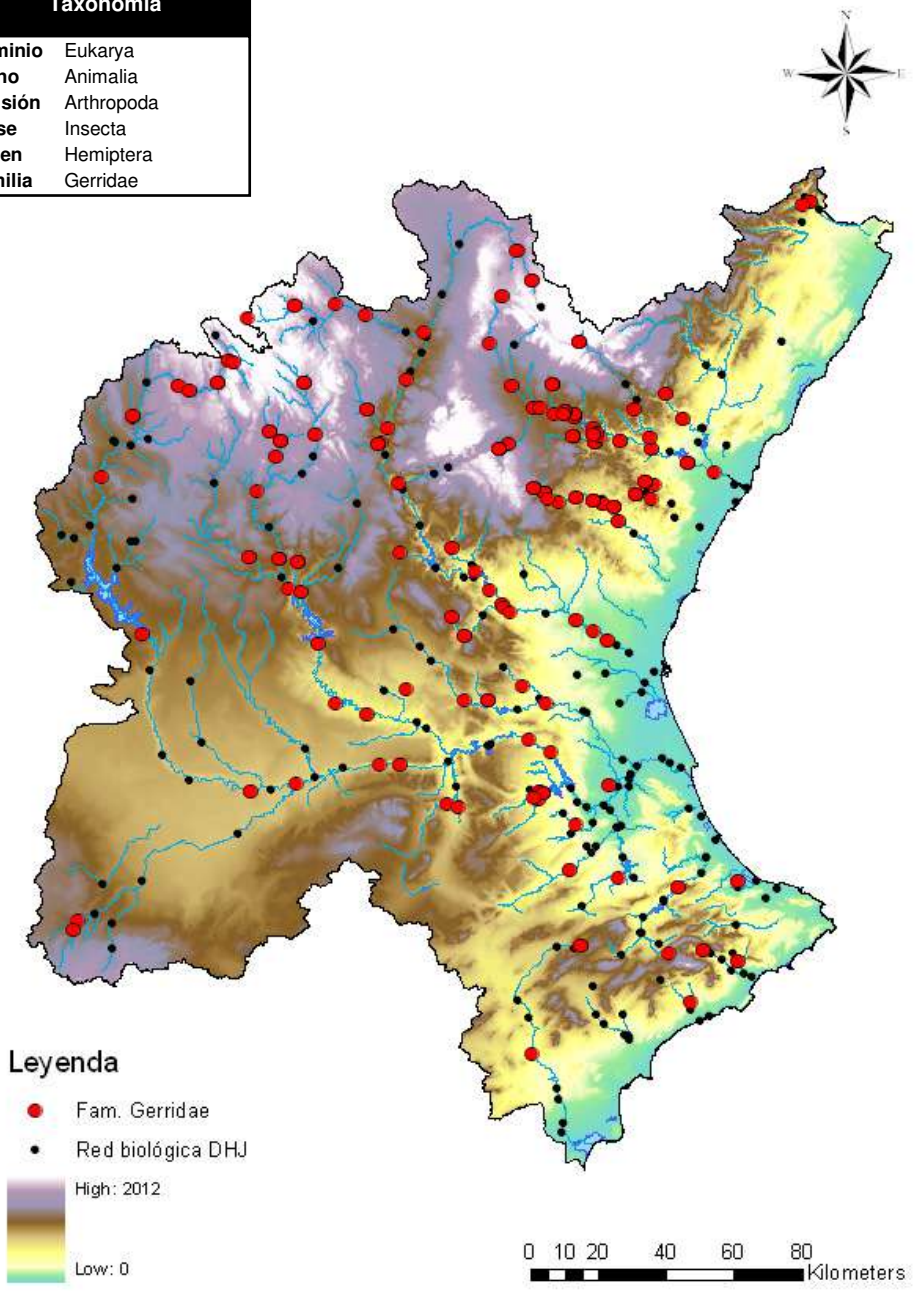


Figura A2-58. Atlas de distribución de la familia Gerridae en la cuenca del Júcar.

A2-7.4.3 Fam. Hydrometridae

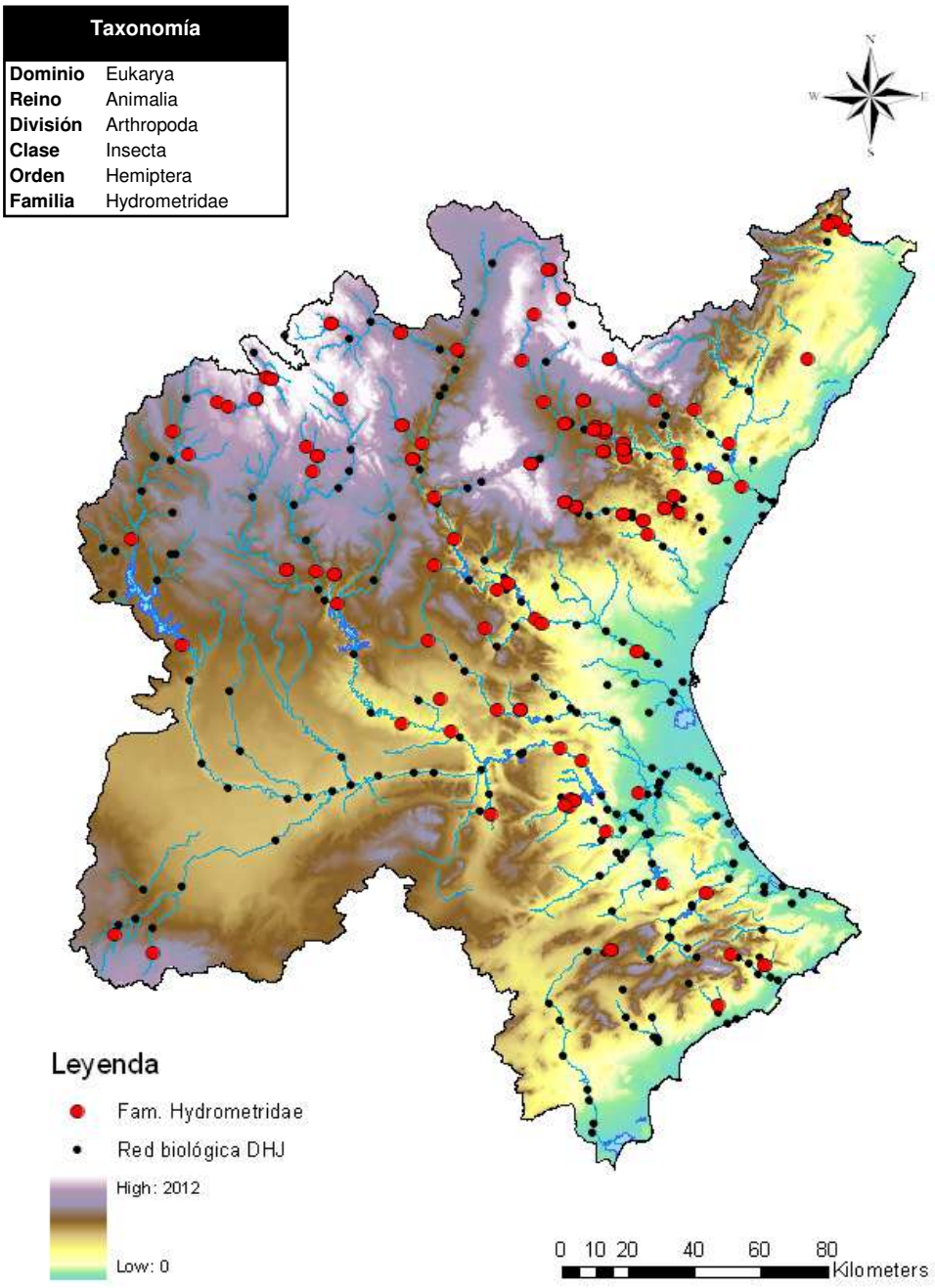


Figura A2-59. Atlas de distribución de la familia Hydrometridae en la cuenca del Júcar.

A2-7.4.4 Fam. Mesoveliidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Hemiptera
Familia	Mesoveliidae

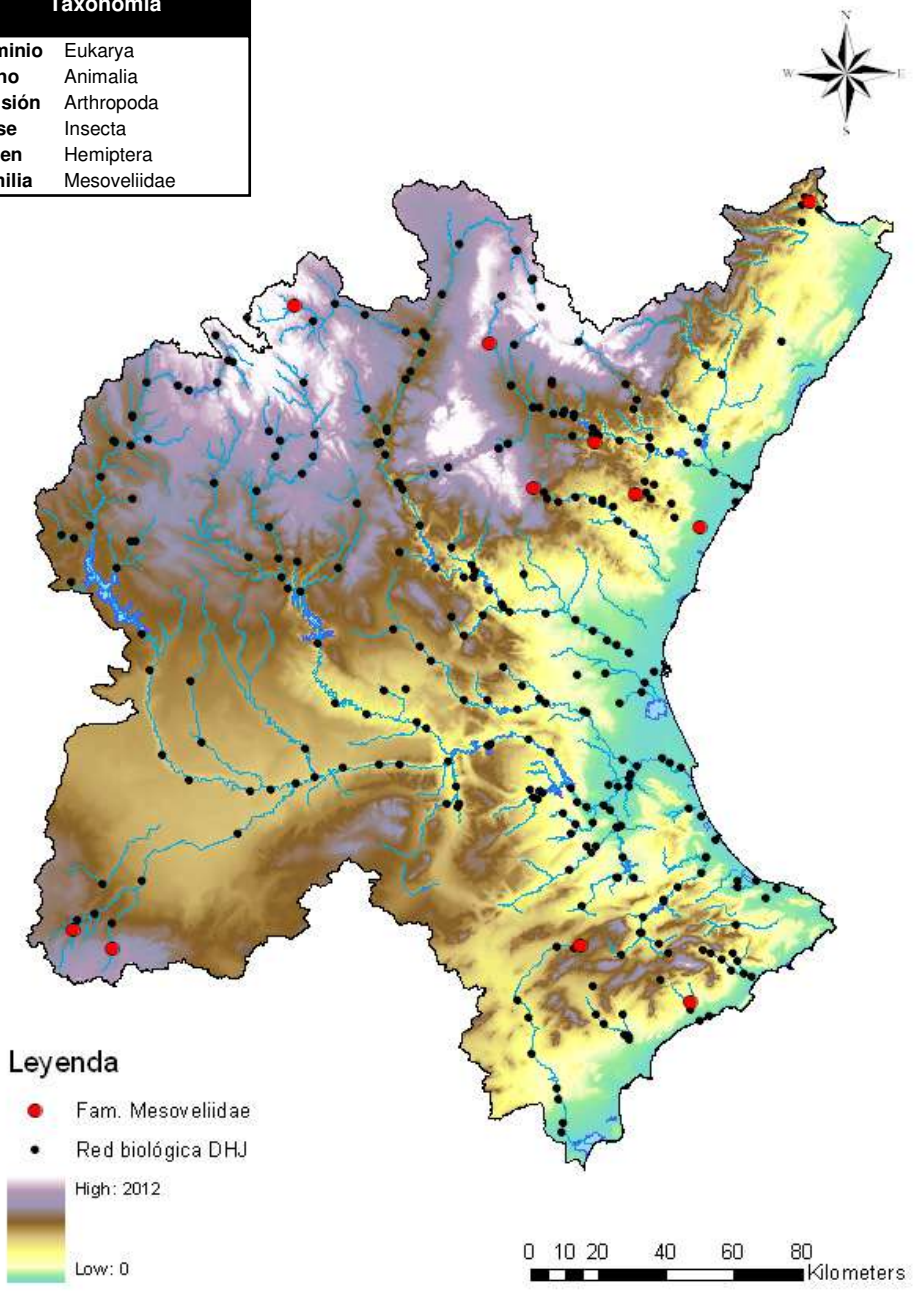


Figura A2-60. Atlas de distribución de la familia Mesoveliidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.4.5 Fam. Naucoridae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Hemiptera
Familia	Naucoridae

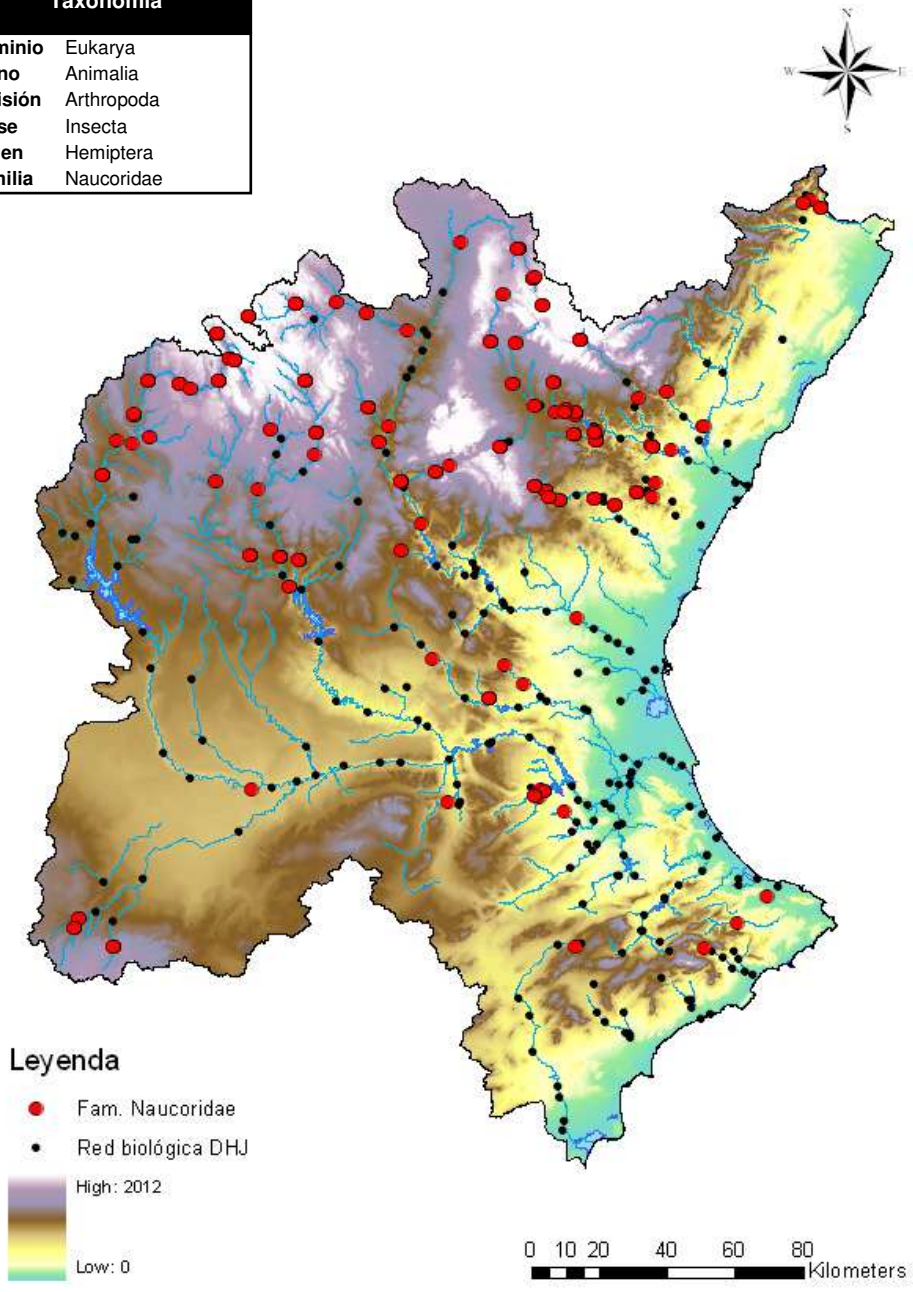


Figura A2-61. Atlas de distribución de la familia Naucoridae en la cuenca del Júcar.

A2-7.4.6 Fam. Nepidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Hemiptera
Familia	Nepidae

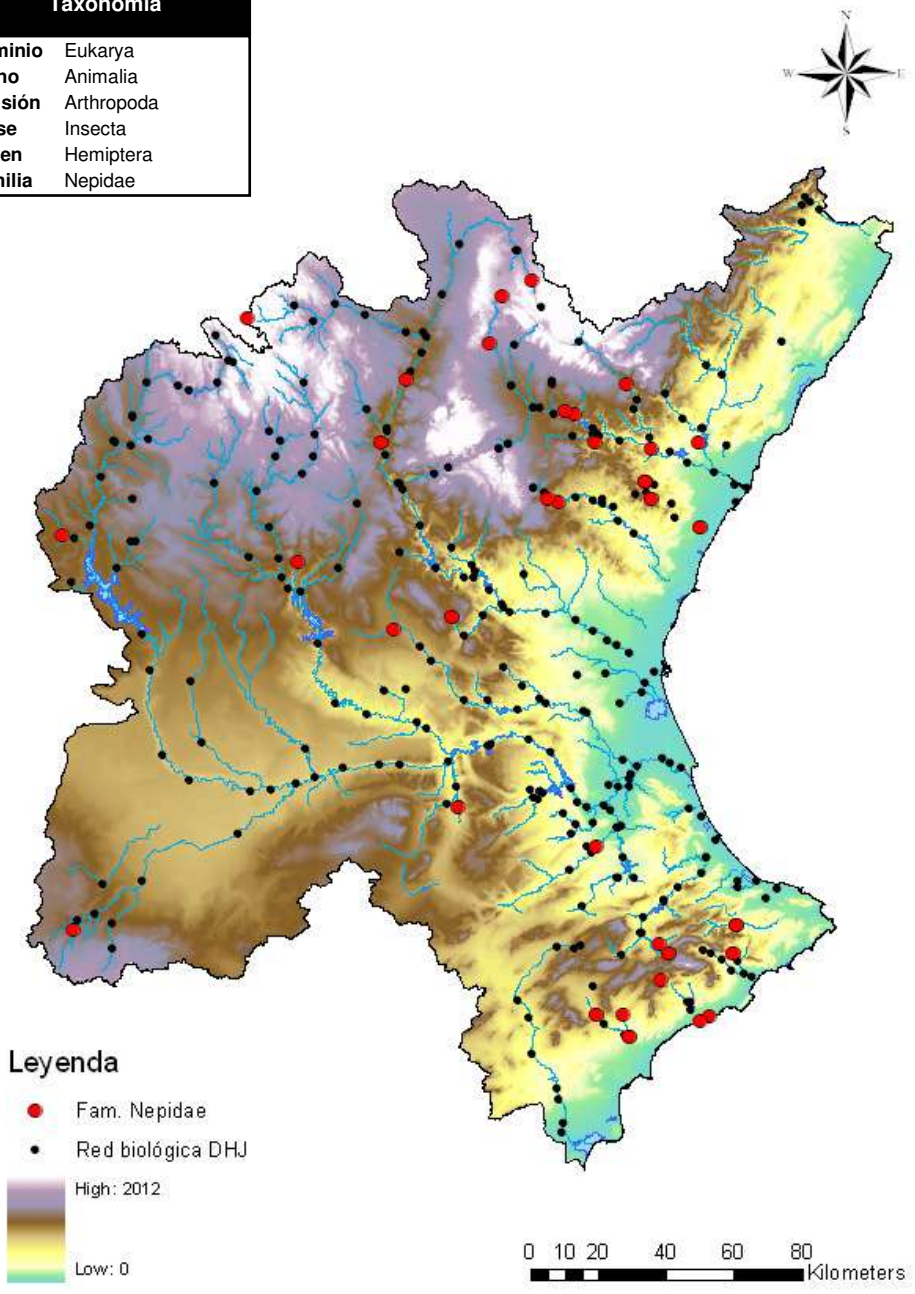


Figura A2-62. Atlas de distribución de la familia Nepidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.4.7 Fam. Notonectidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Hemiptera
Familia	Notonectidae

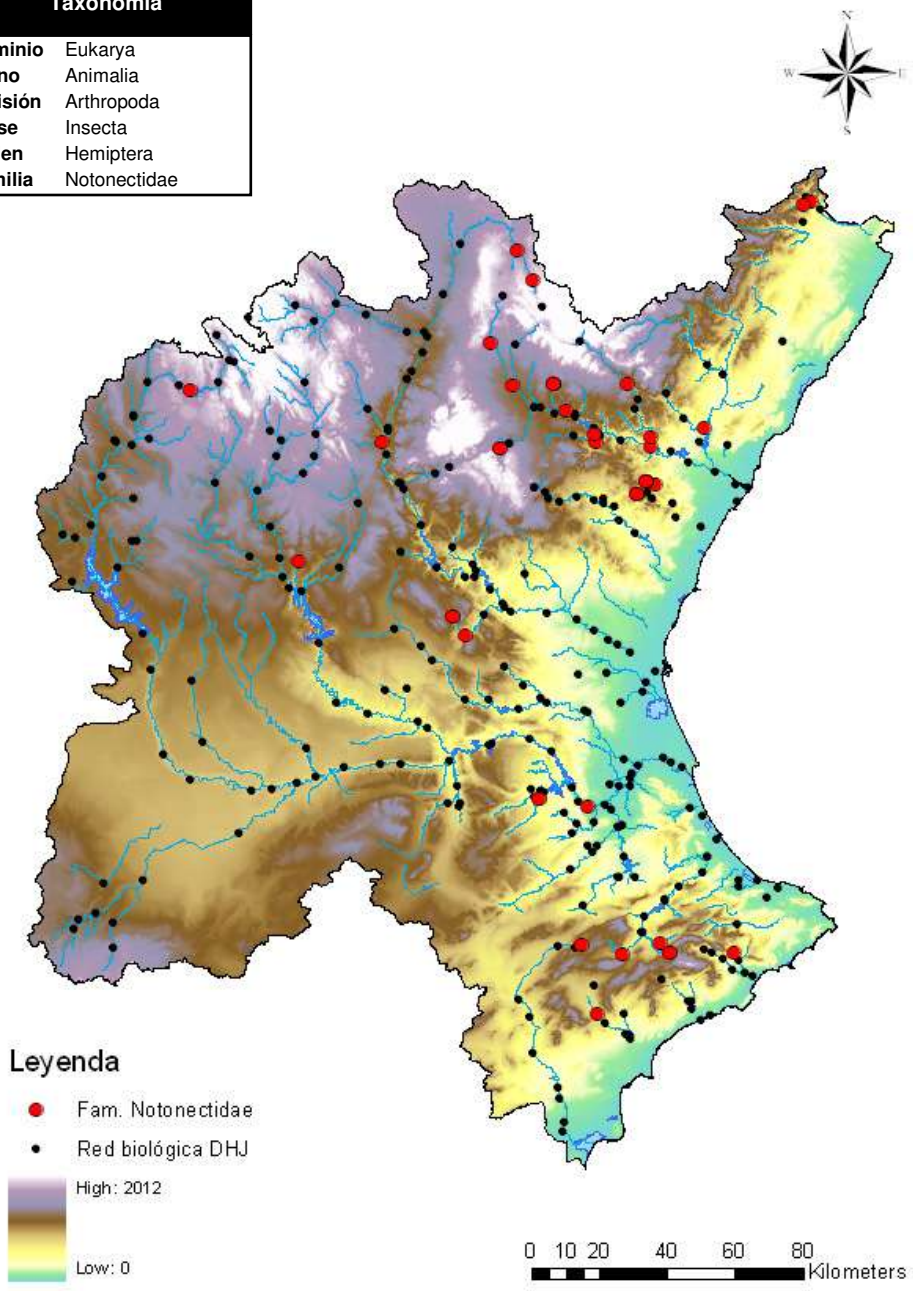


Figura A2-63. Atlas de distribución de la familia Notonectidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.4.8 Fam. Pleidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Hemiptera
Familia	Pleidae

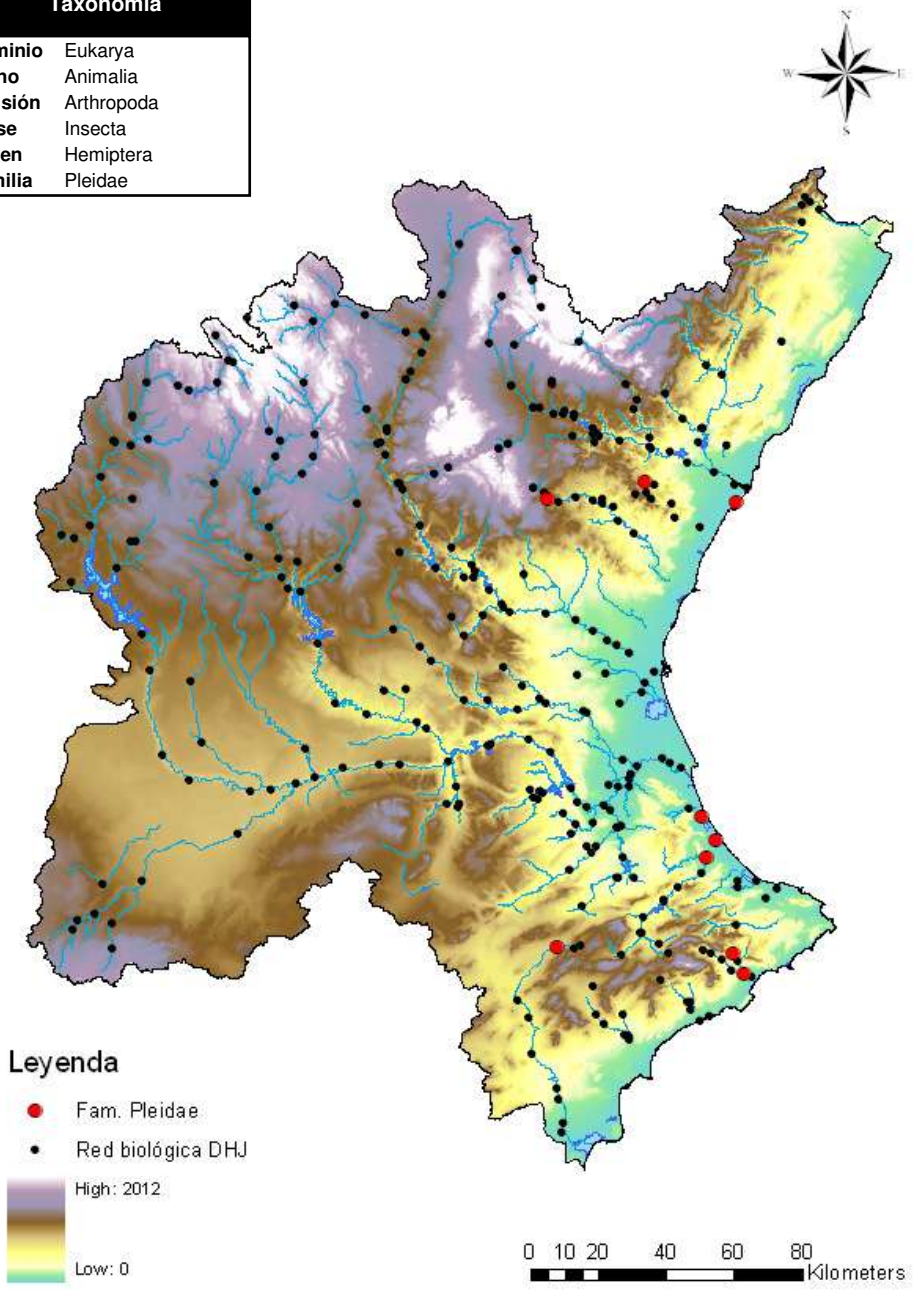


Figura A2-64. Atlas de distribución de la familia Pleidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.4.9 Fam. Veliidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Hemiptera
Familia	Veliidae

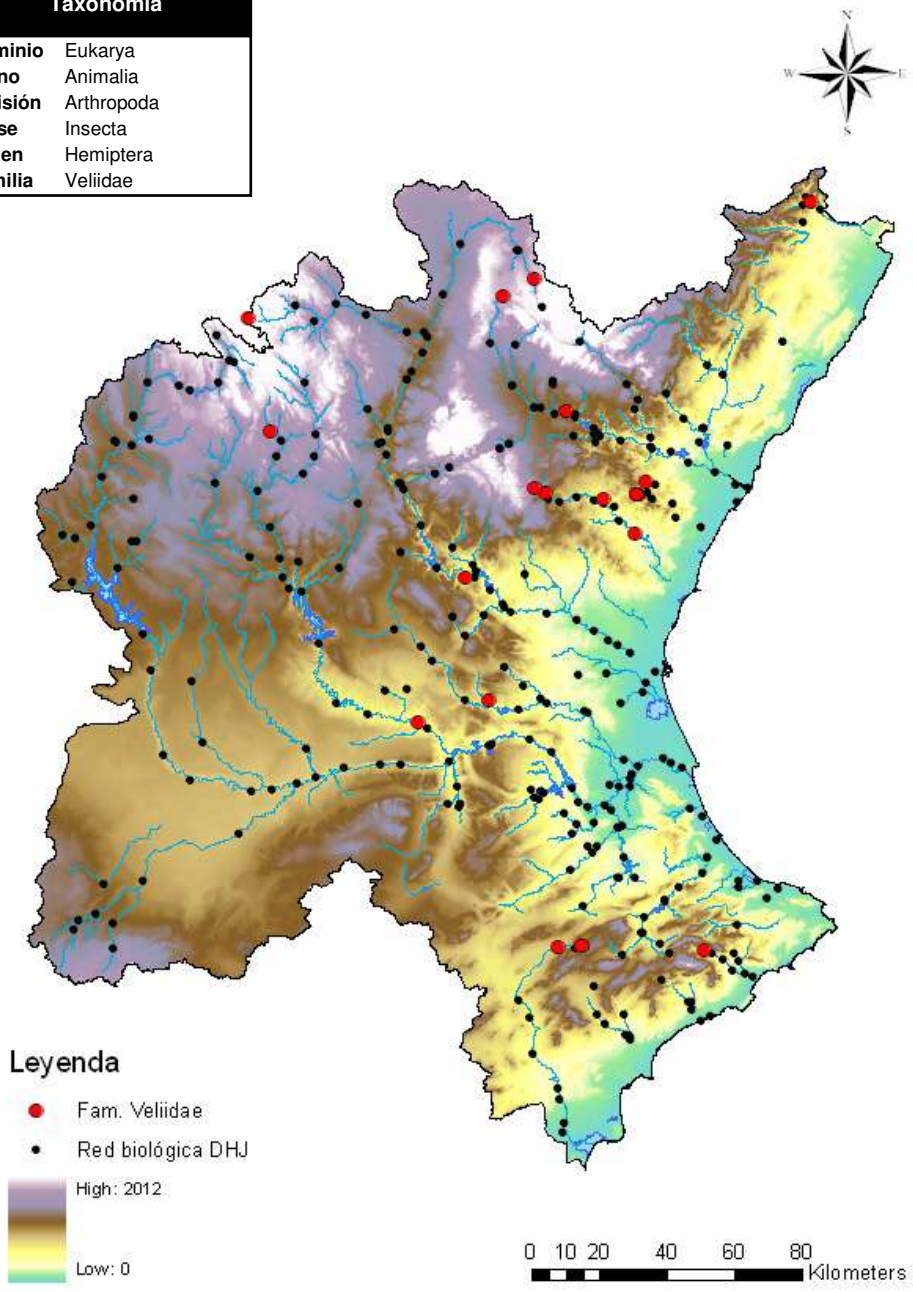


Figura A2-65. Atlas de distribución de la familia Veliidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.5 Orden Megaloptera

A2-7.5.1 Fam. Sialidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Megaloptera
Familia	Sialidae

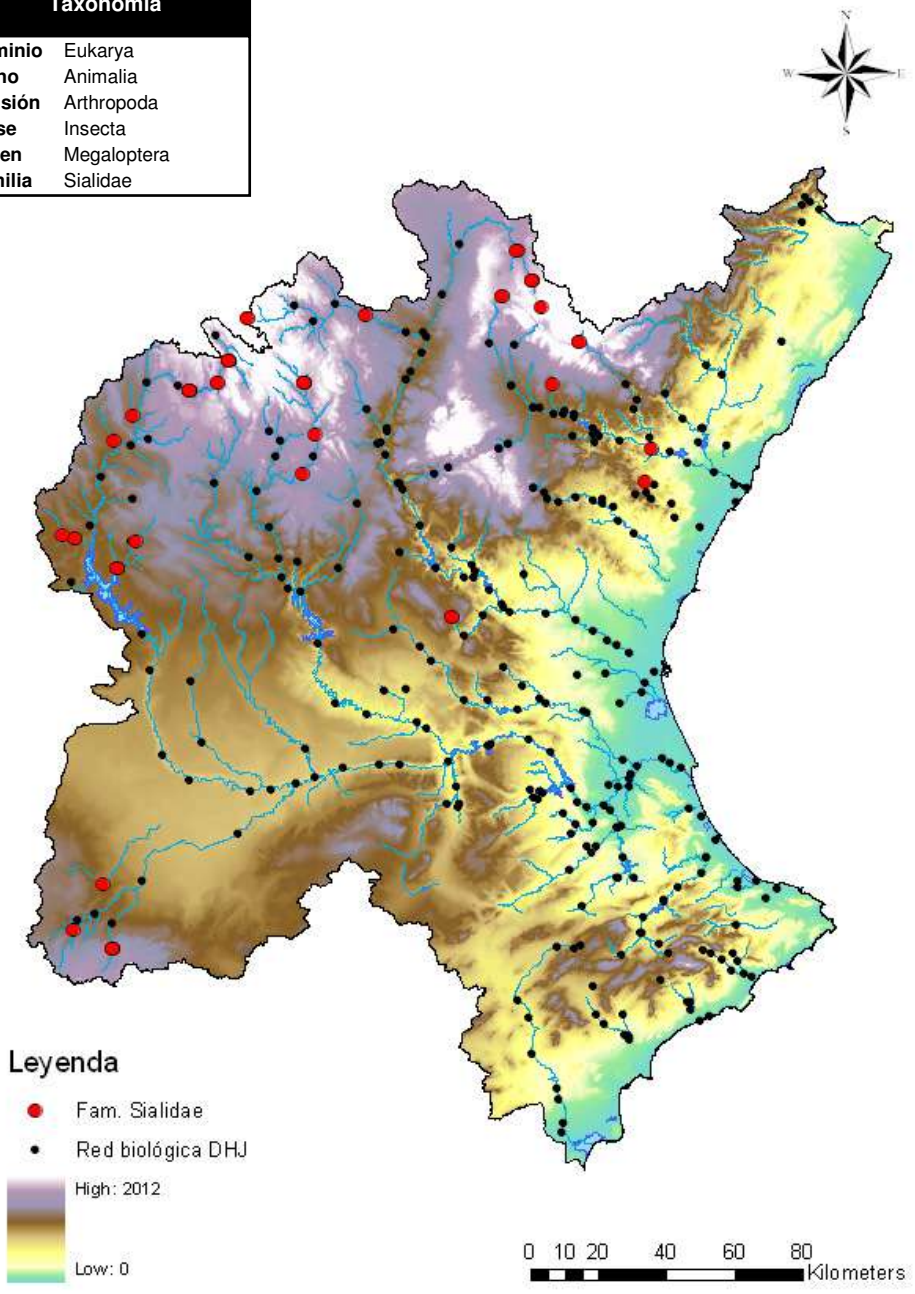


Figura A2-66. Atlas de distribución de la familia Sialidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.6 Orden Lepidoptera

A2-7.6.1 Fam. Crambidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Lepidoptera
Familia	Crambidae

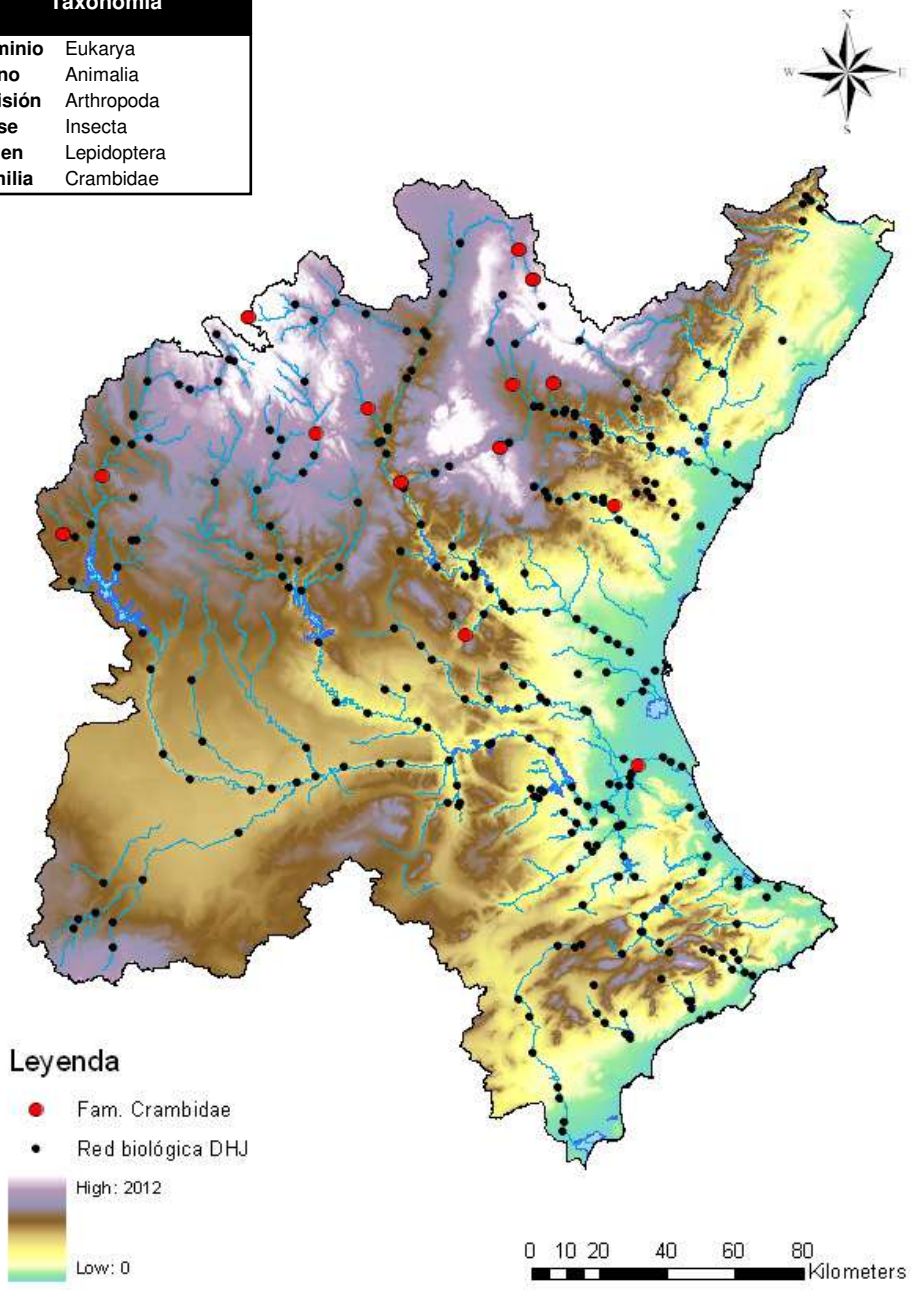


Figura A2-67. Atlas de distribución de la familia Crambidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.7 Orden Coleoptera

A2-7.7.1 Fam. Curculionidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Coleoptera
Familia	Curculionidae

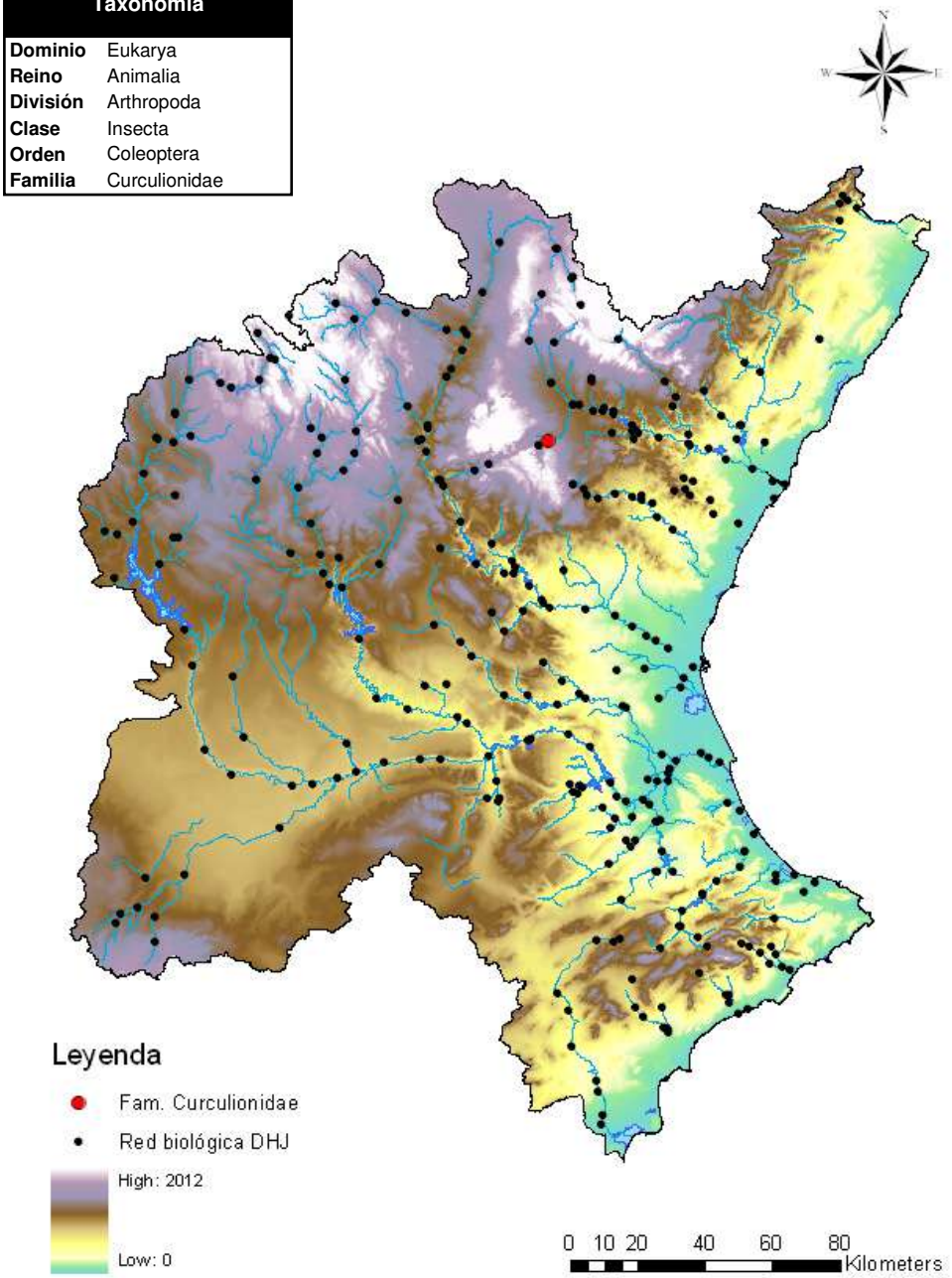


Figura A2-68. Atlas de distribución de la familia Curculionidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.7.2 Fam. Dryopidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Coleoptera
Familia	Dryopidae

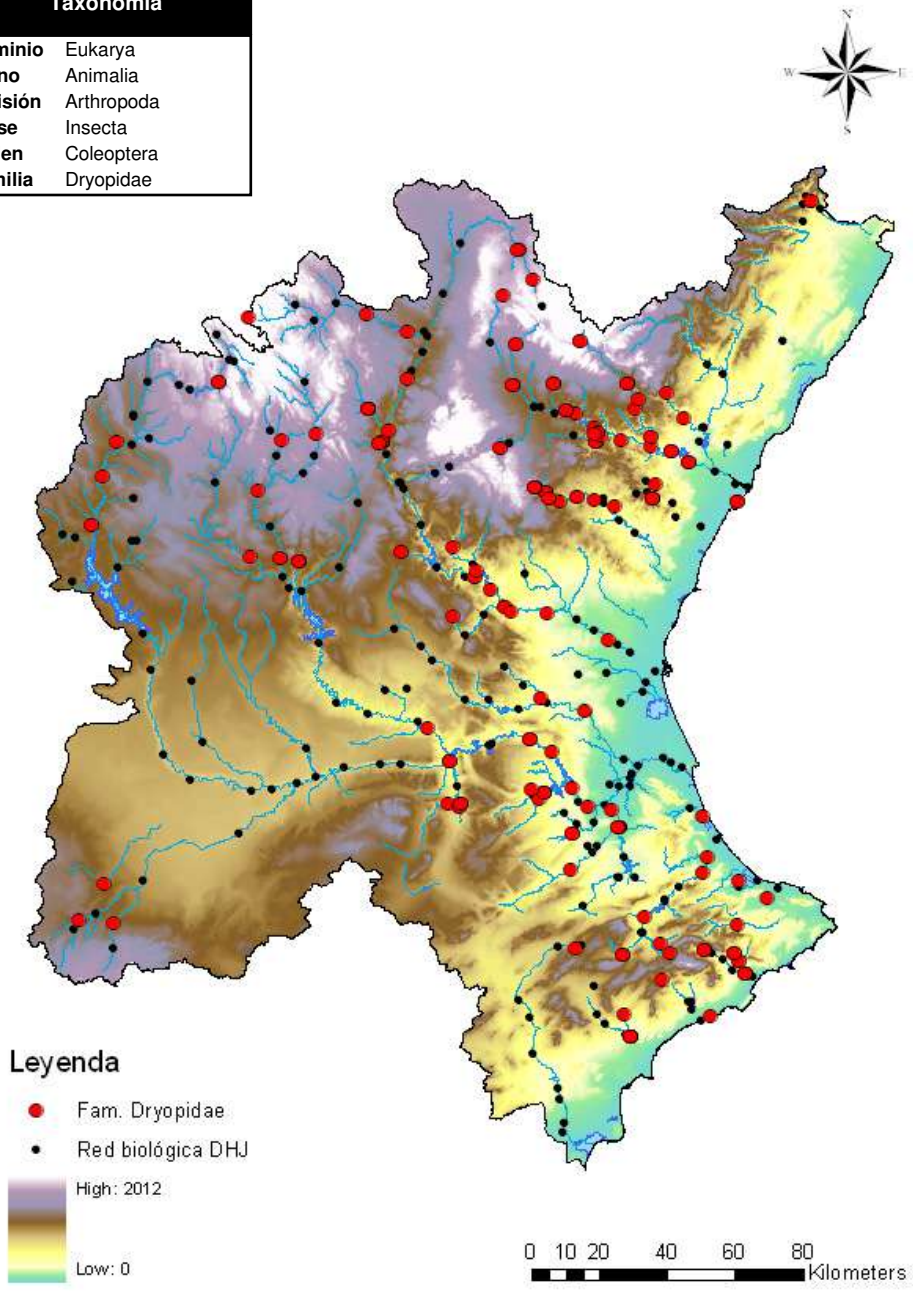


Figura A2-69. Atlas de distribución de la familia Dryopidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.7.3 Fam. Dytiscidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Coleoptera
Familia	Dytiscidae

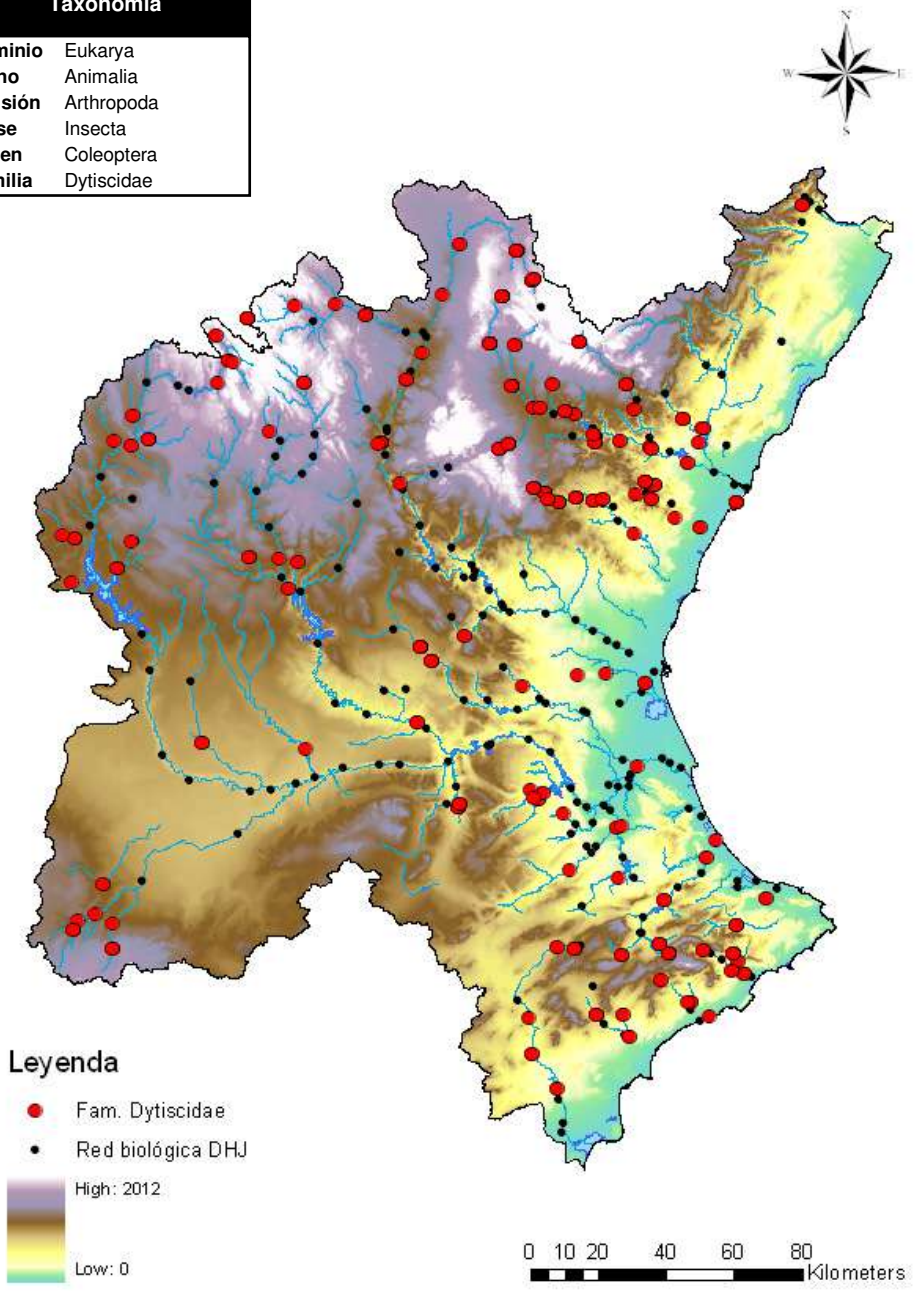


Figura A2-70. Atlas de distribución de la familia Dytiscidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.7.4 Fam. Elmidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Coleoptera
Familia	Elmidae

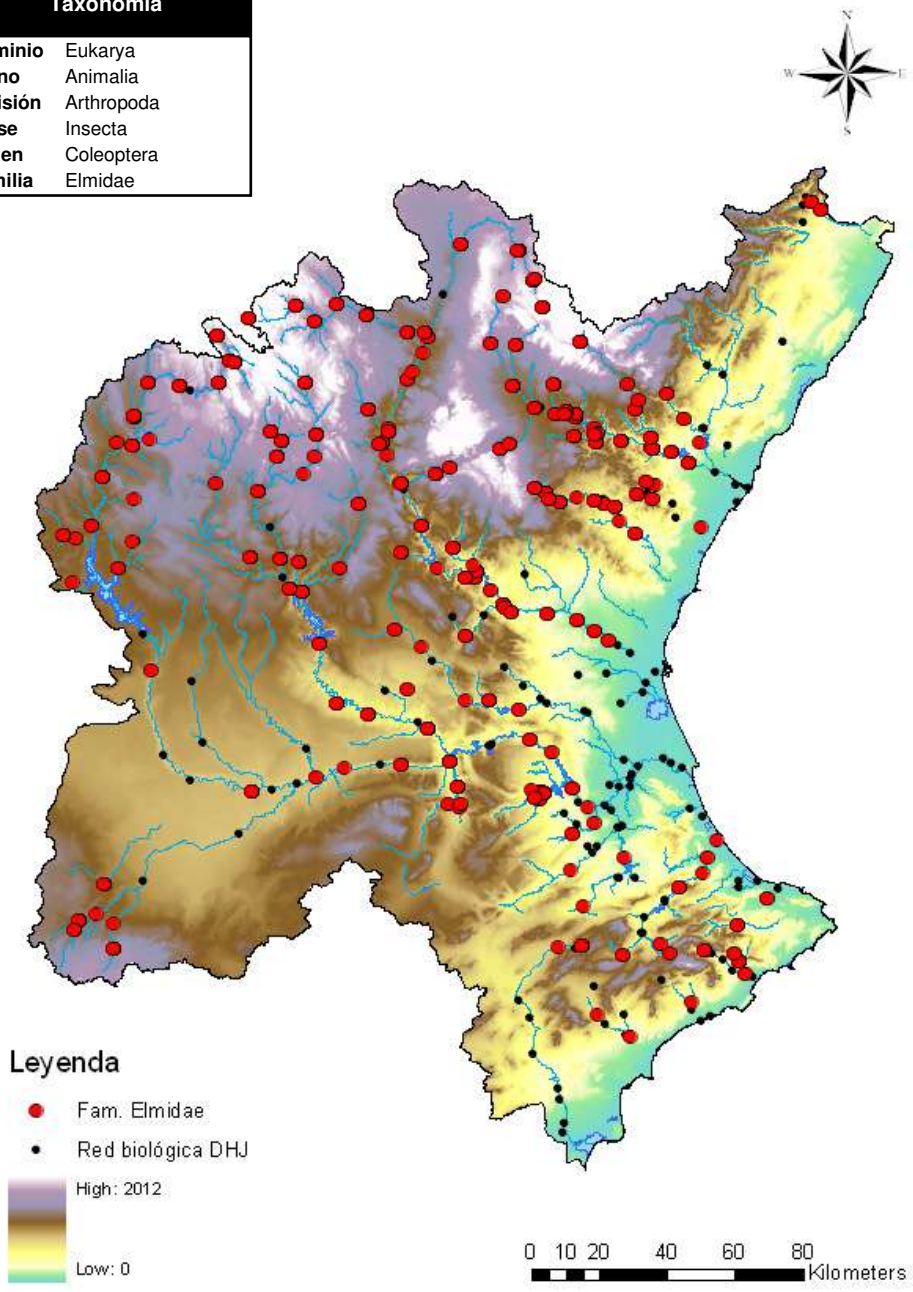


Figura A2-71. Atlas de distribución de la familia Elmidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.7.5 Fam. Gyrinidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Coleoptera
Familia	Gyrinidae

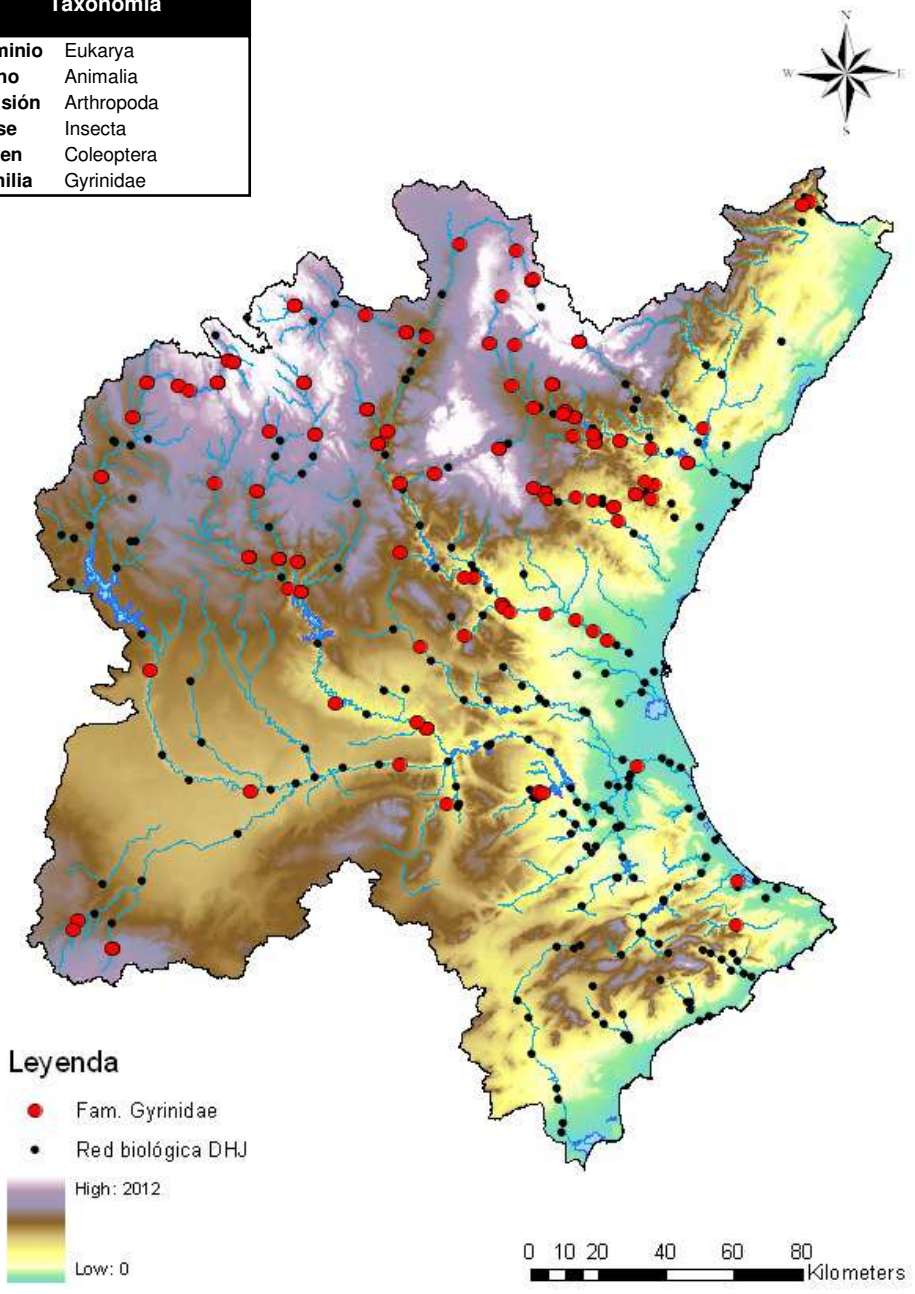


Figura A2-72. Atlas de distribución de la familia Gyrinidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.7.6 Fam. Haliplidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Coleoptera
Familia	Haliplidae

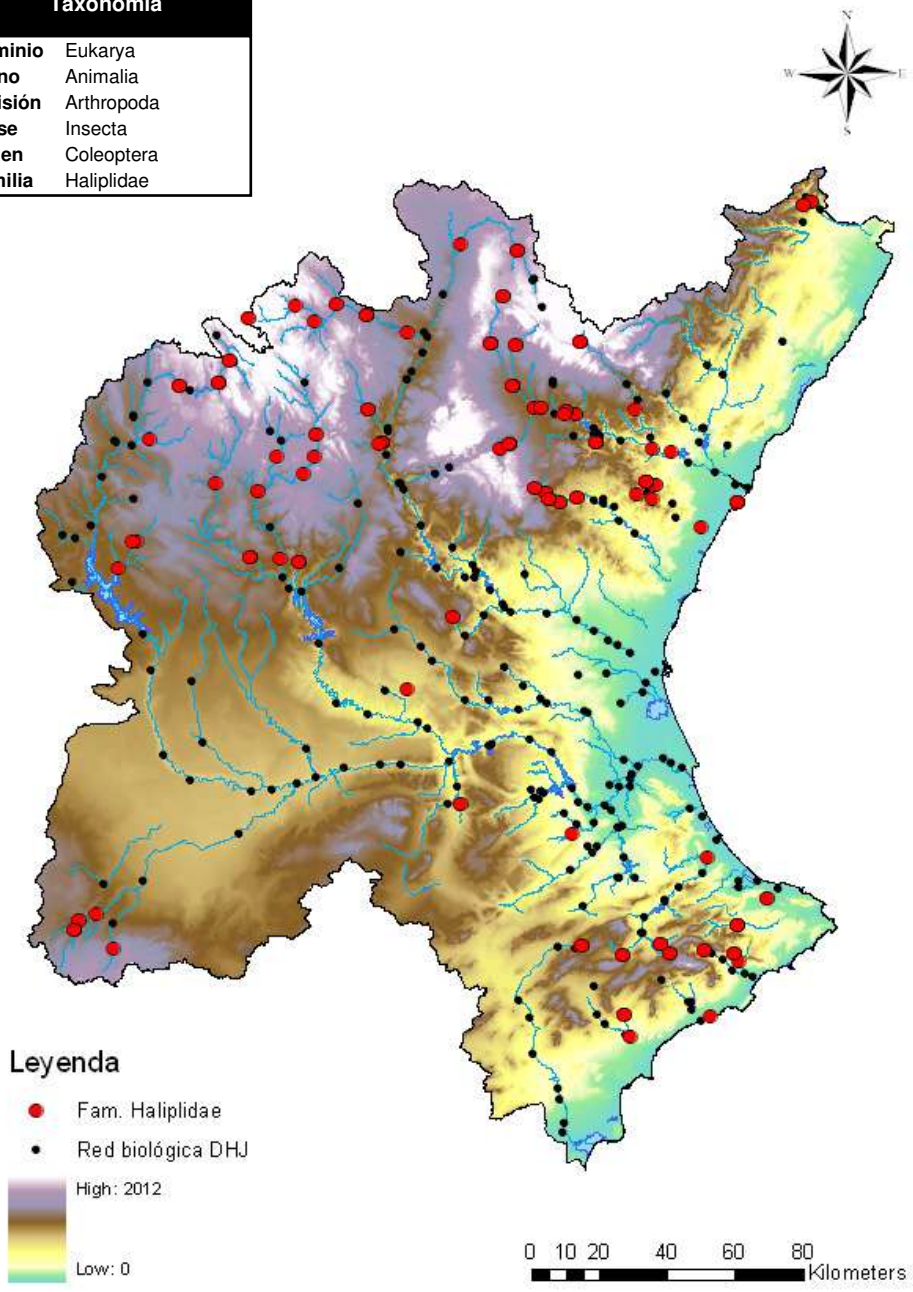


Figura A2-73. Atlas de distribución de la familia Haliplidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.7.7 Fam. Helophoridae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Coleoptera
Familia	Helophoridae

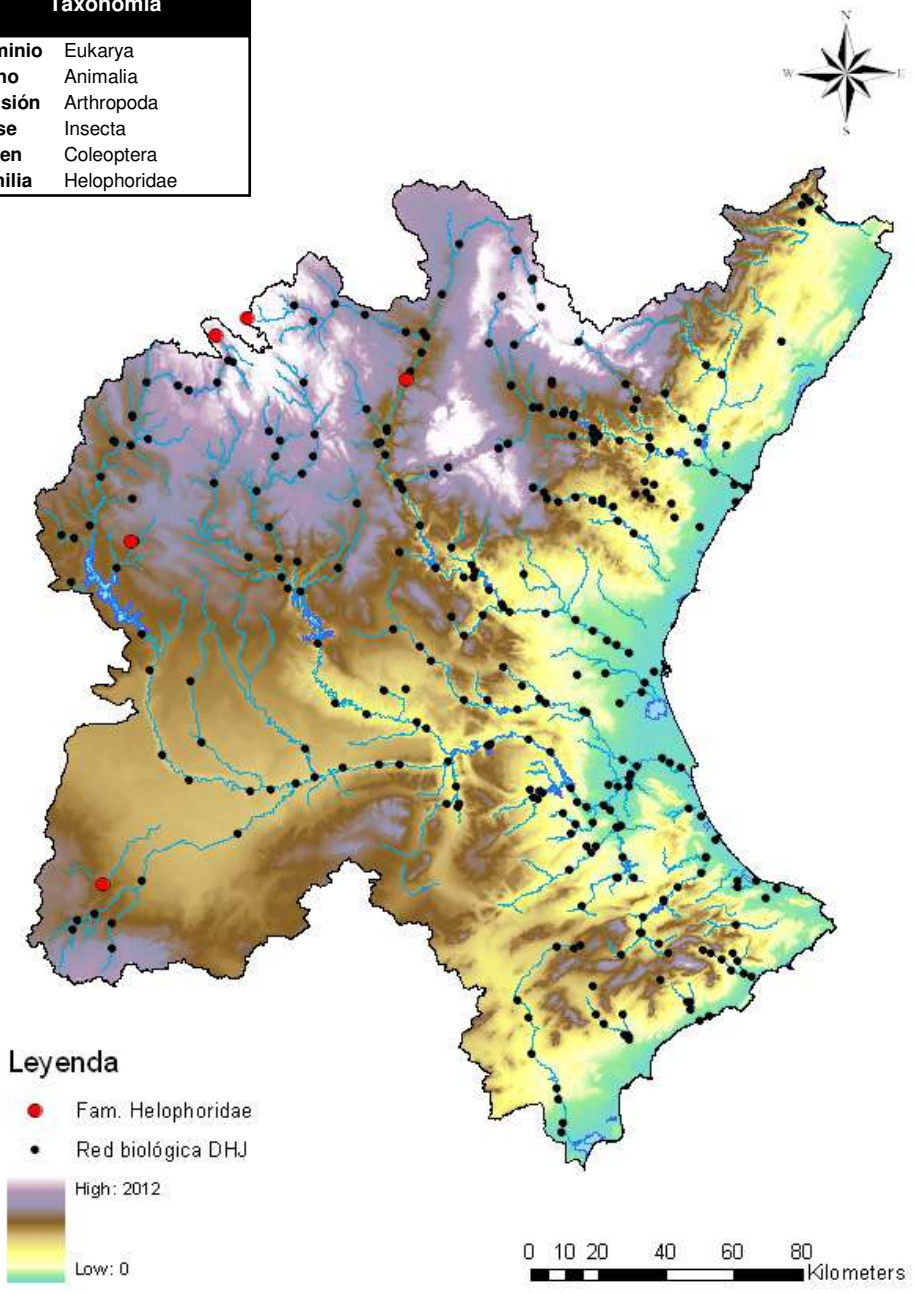


Figura A2-74. Atlas de distribución de la familia Helophoridae en la cuenca del Júcar.

A2-7.7.8 Fam. Hydraenidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Coleoptera
Familia	Hydraenidae

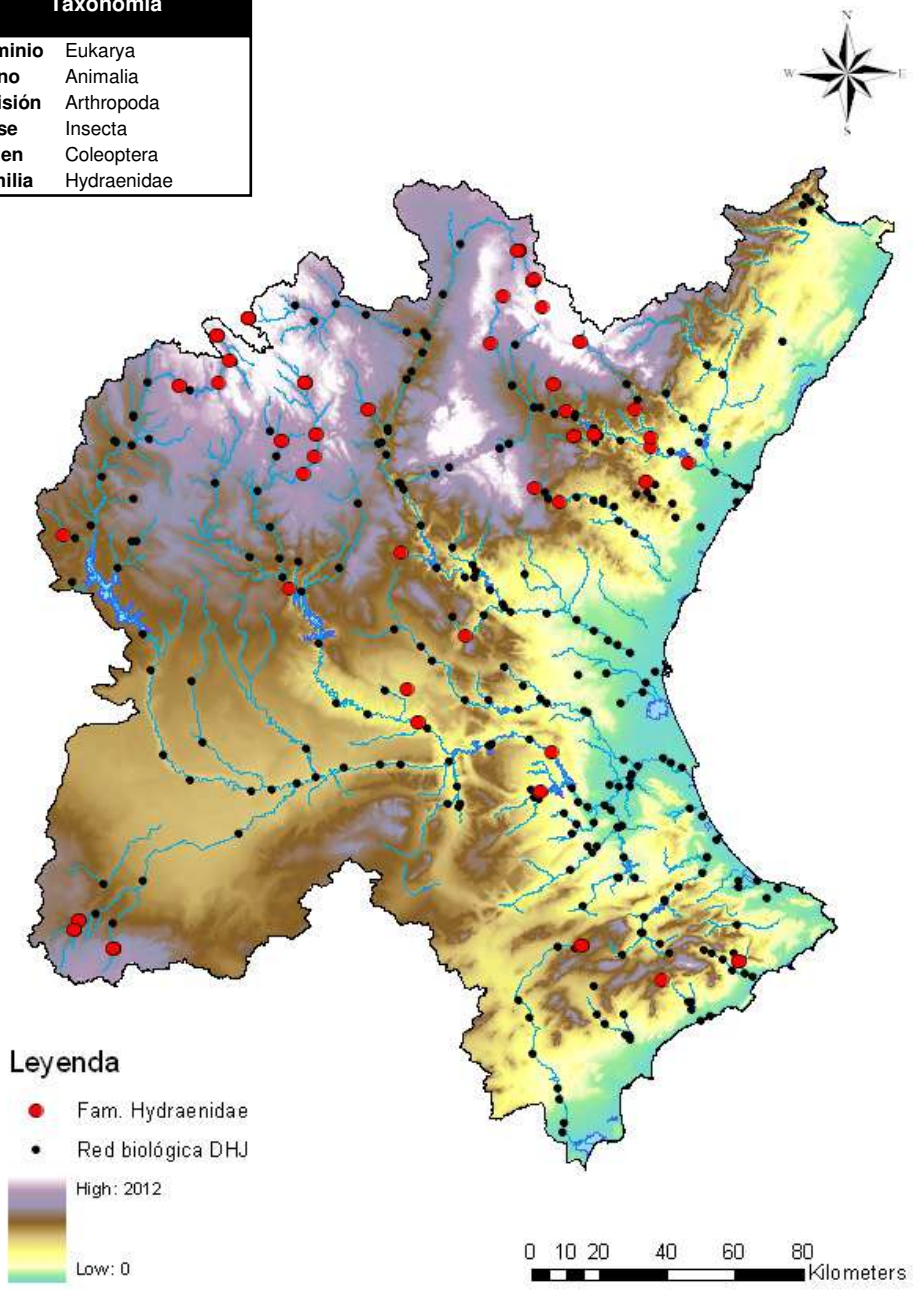


Figura A2-75. Atlas de distribución de la familia Hydraenidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.7.9 Fam. Hydrophilidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Coleoptera
Familia	Hydrophilidae

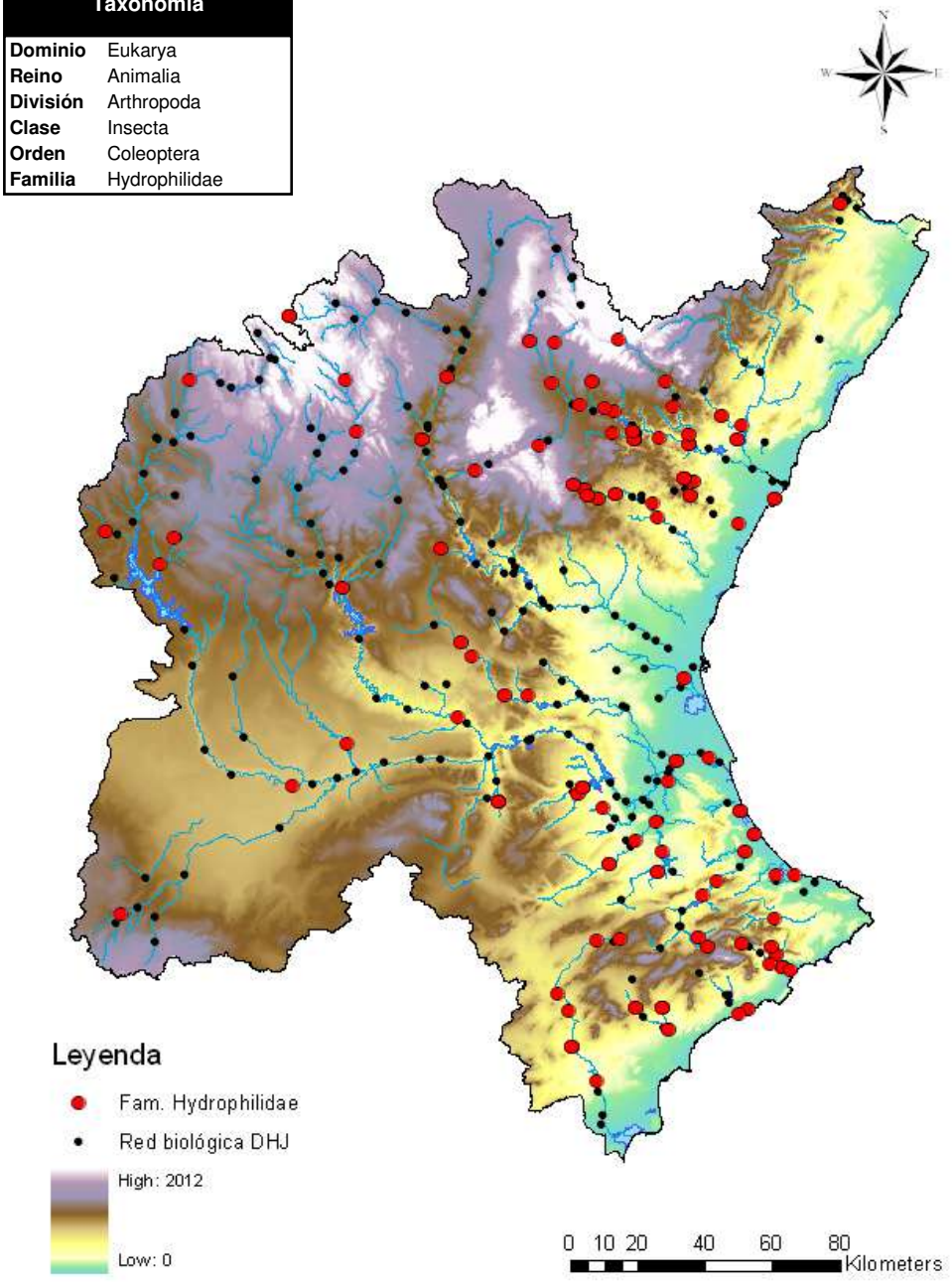


Figura A2-76. Atlas de distribución de la familia Hydrophilidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.7.10 Fam. Noteridae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Coleoptera
Familia	Noteridae

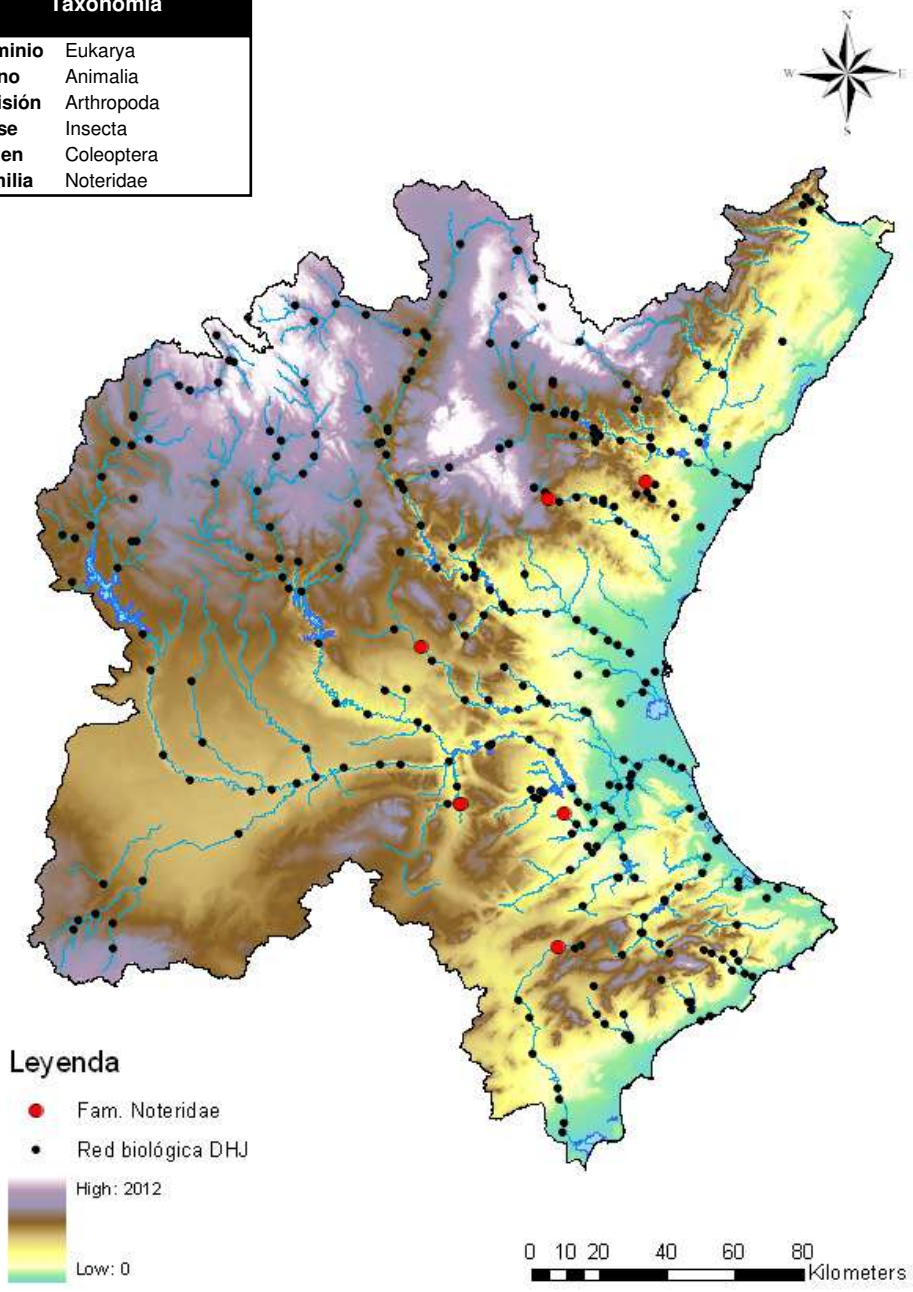


Figura A2-77. Atlas de distribución de la familia Noteridae en la cuenca del Júcar.

A2-7.7.11 Fam. Scirtidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Coleoptera
Familia	Scirtidae

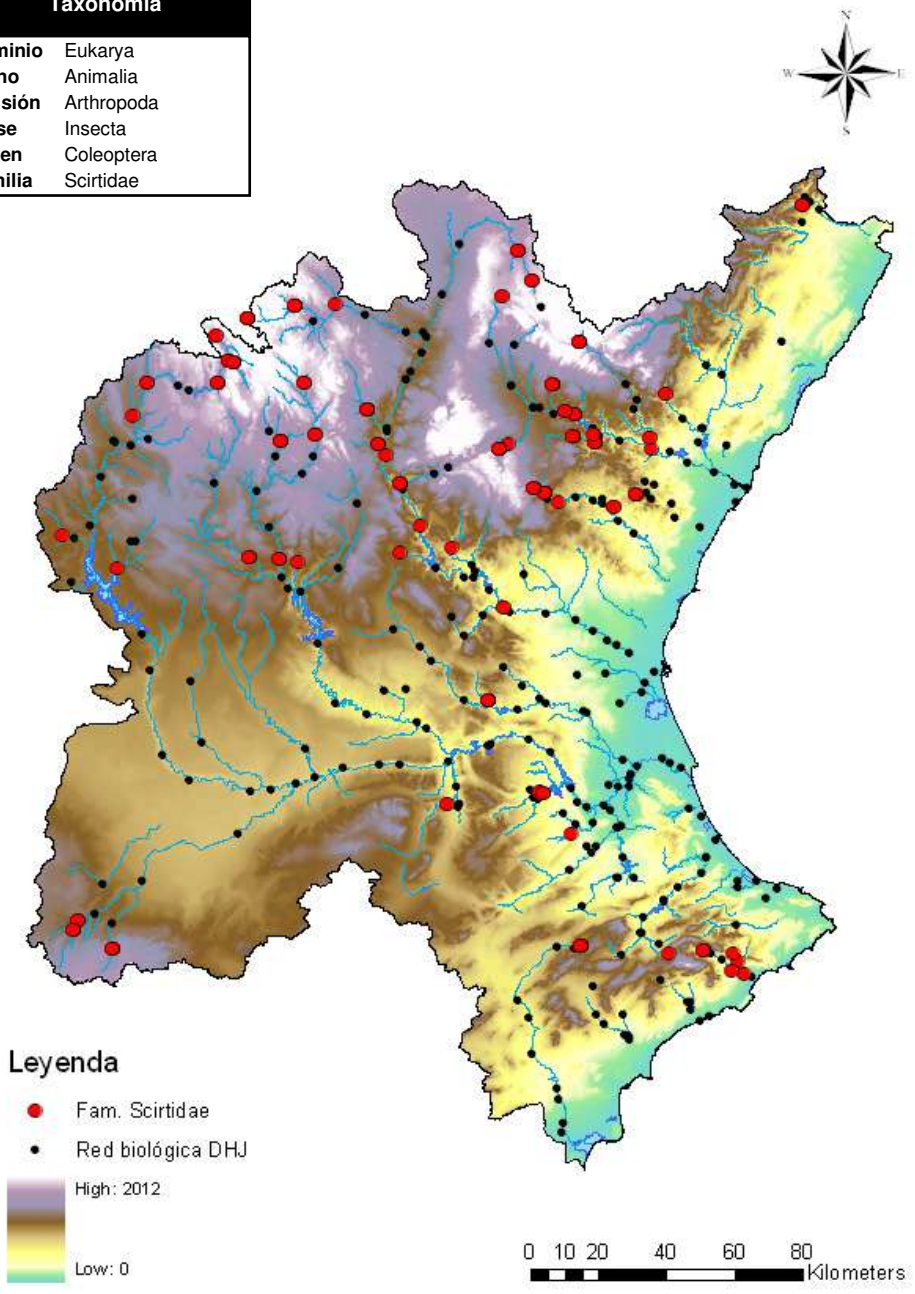


Figura A2-78. Atlas de distribución de la familia Scirtidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.8 Orden Trichoptera

A2-7.8.1 Fam. Apataniidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Trichoptera
Familia	Apataniidae

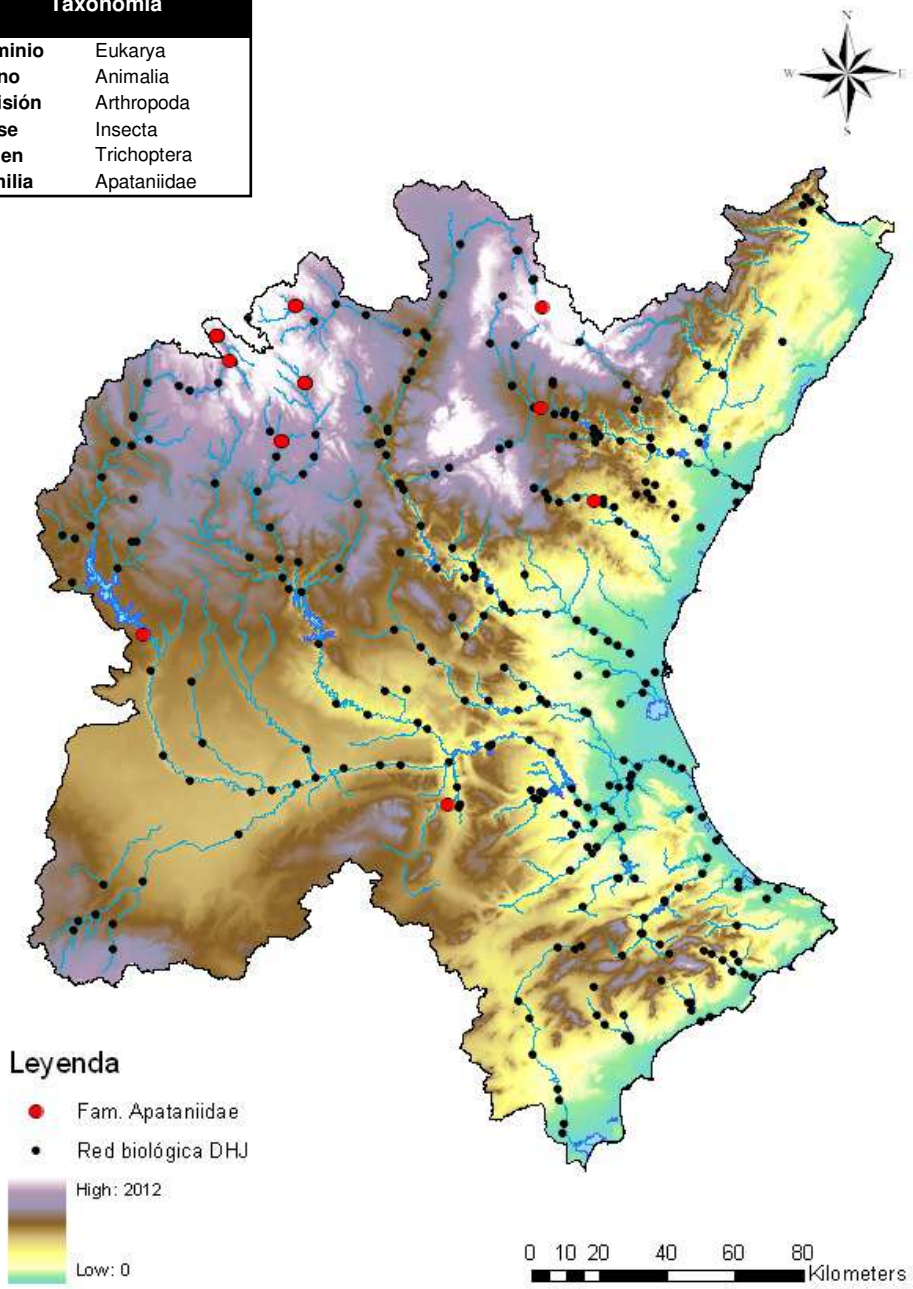


Figura A2-79. Atlas de distribución de la familia Apataniidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.8.2 Fam. Beraeidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Trichoptera
Familia	Beraeidae

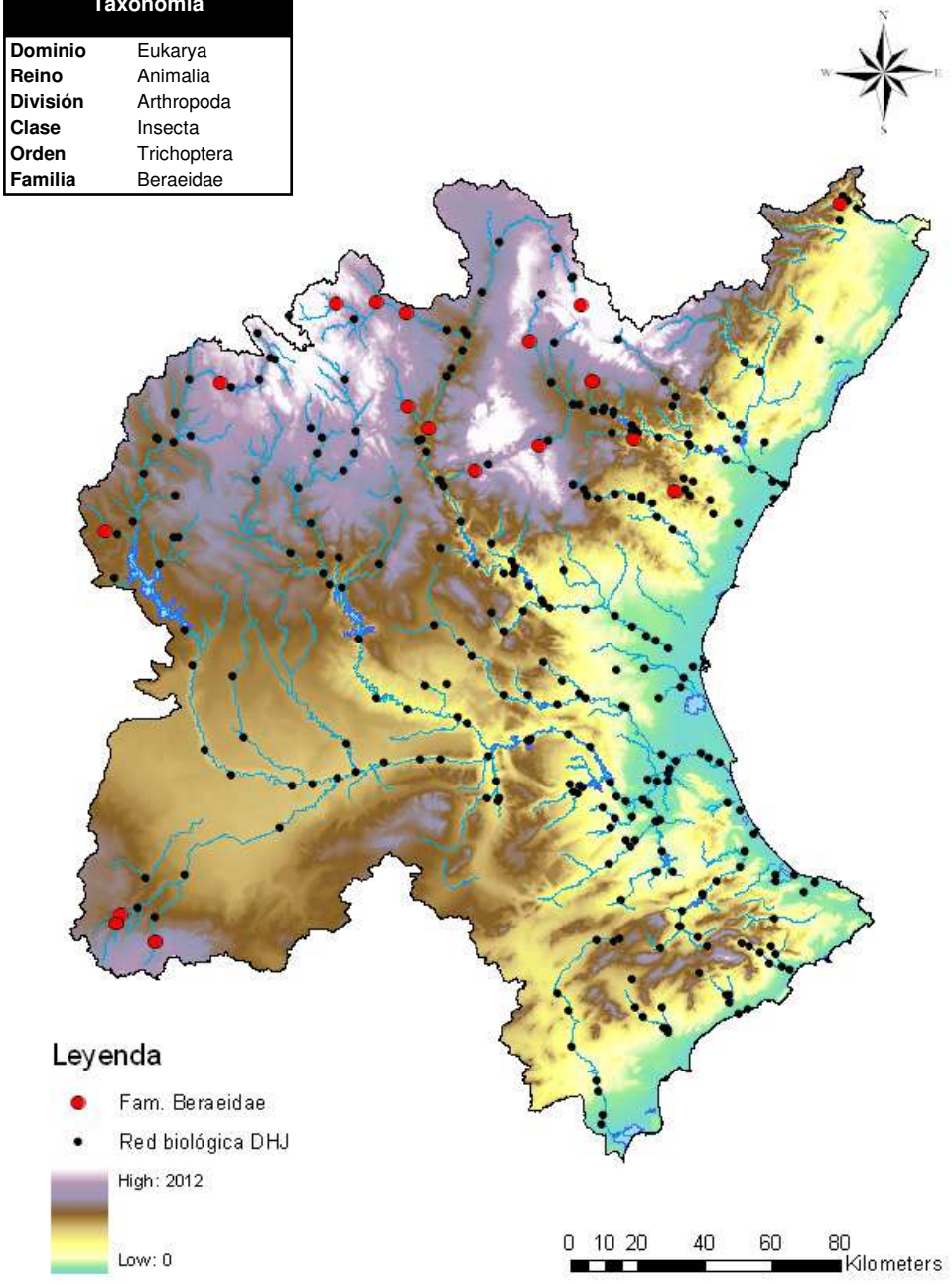


Figura A2-80. Atlas de distribución de la familia Beraeidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.8.3 Fam. Brachycentridae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Trichoptera
Familia	Brachycentridae

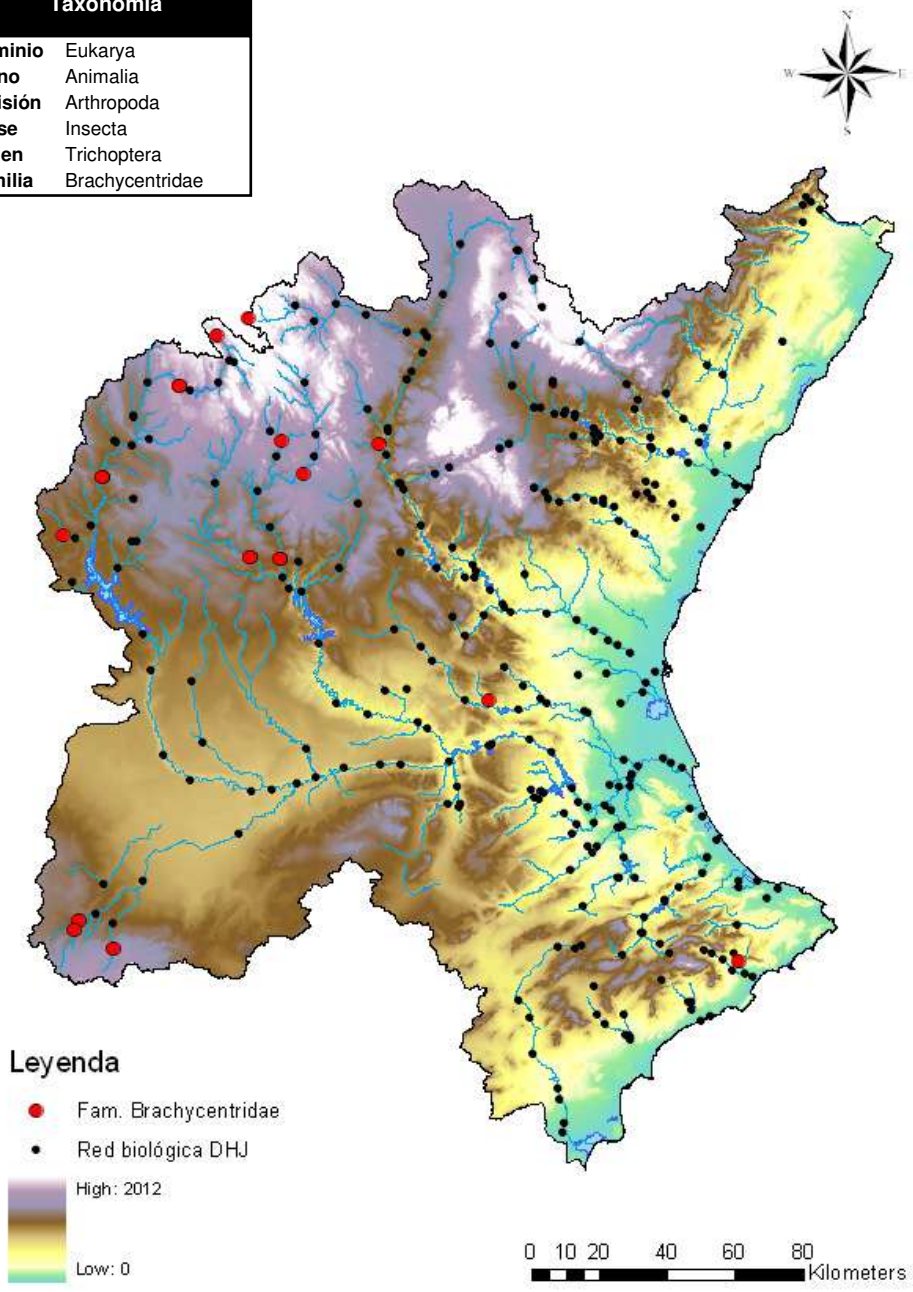


Figura A2-81. Atlas de distribución de la familia Brachycentridae en la cuenca del Júcar.

A2-7.8.4 Fam. Calamoceratidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Trichoptera
Familia	Calamoceratidae

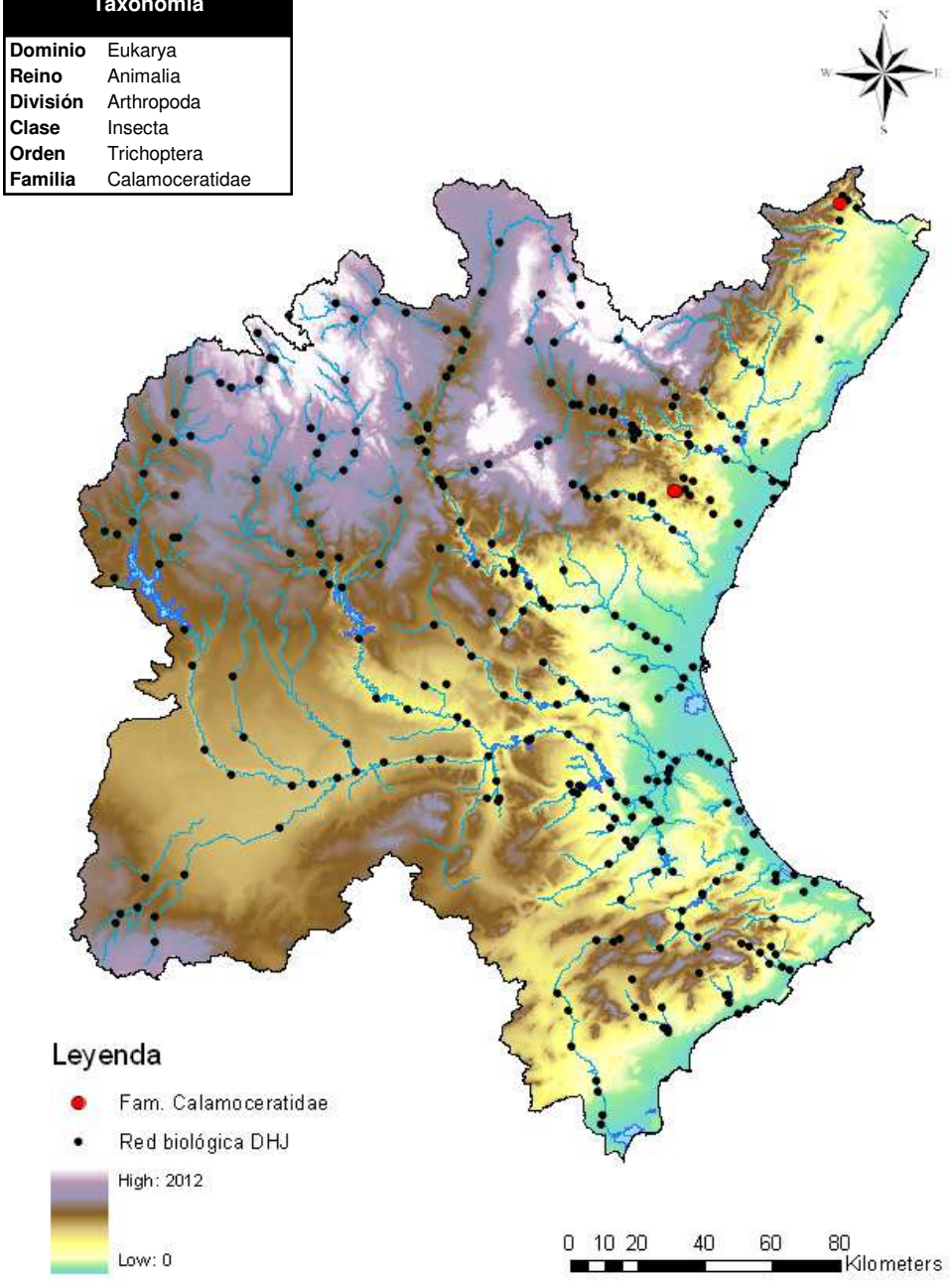


Figura A2-82. Atlas de distribución de la familia Calamoceratidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.8.5 Fam. Ecnomidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Trichoptera
Familia	Ecnomidae

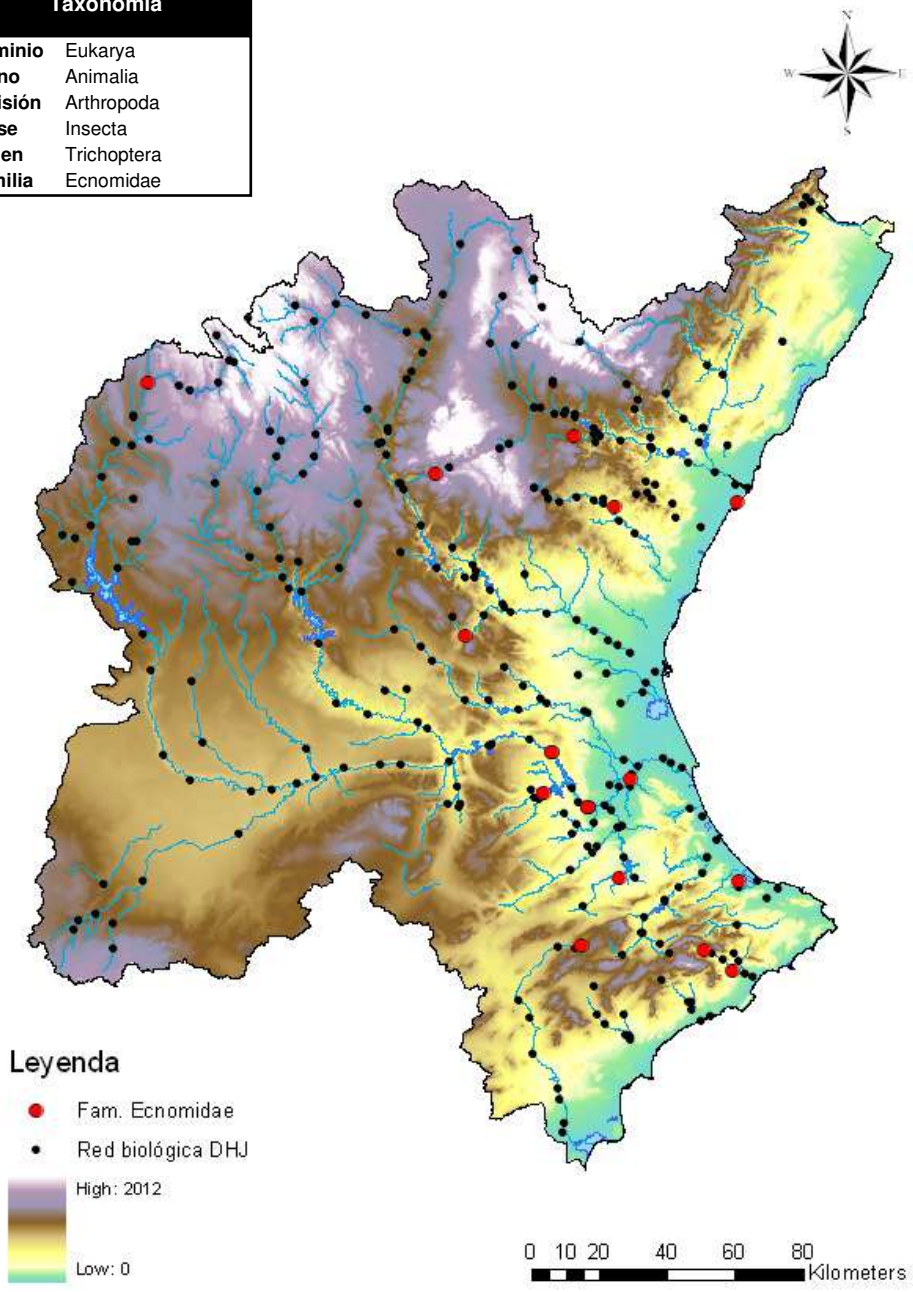


Figura A2-83. Atlas de distribución de la familia Ecnomidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.8.6 Fam. Glossosomatidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Trichoptera
Familia	Glossosomatidae

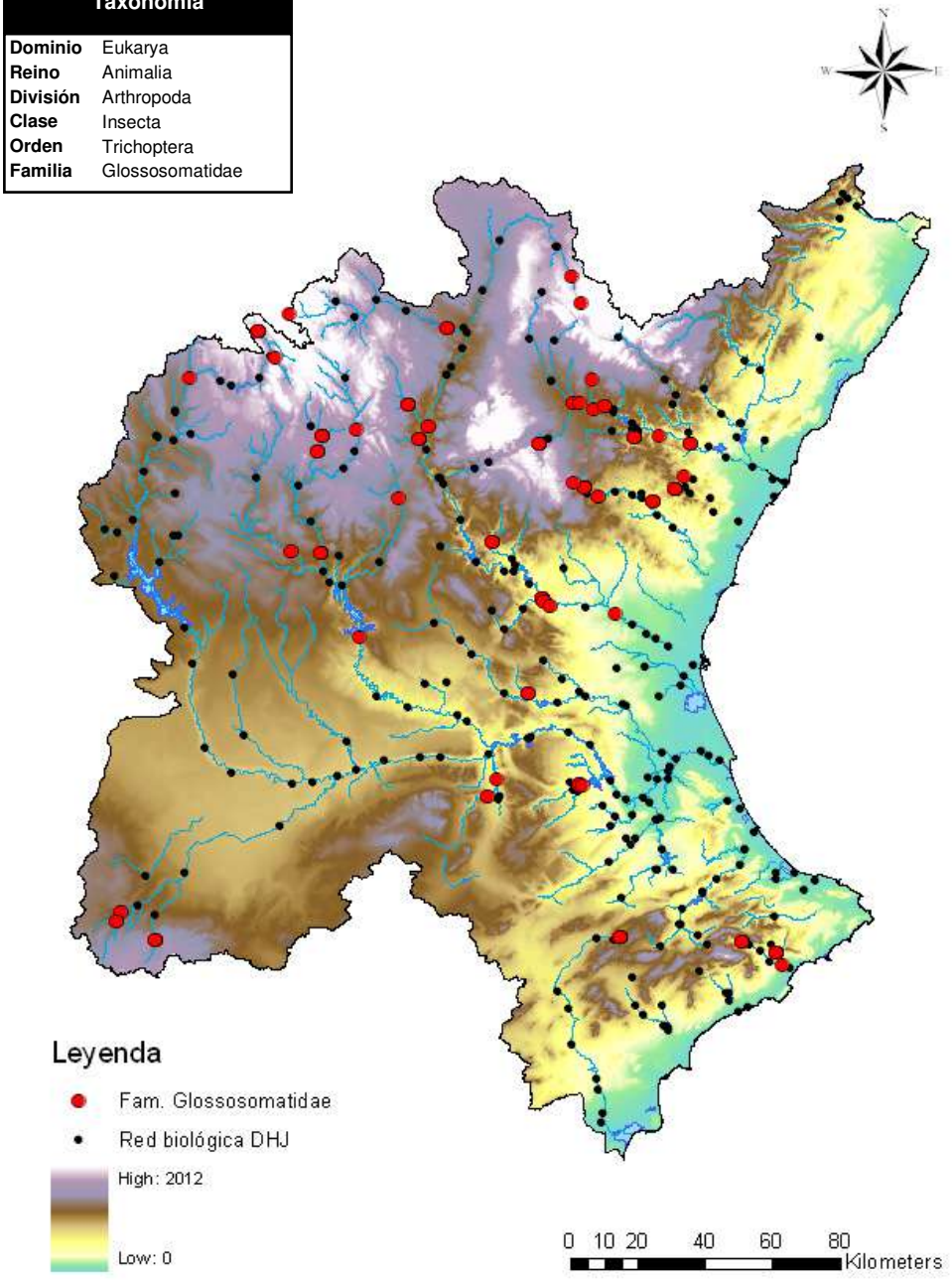


Figura A2-84. Atlas de distribución de la familia Glossosomatidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.8.7 Fam. Hydropsychidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Trichoptera
Familia	Hydropsychidae

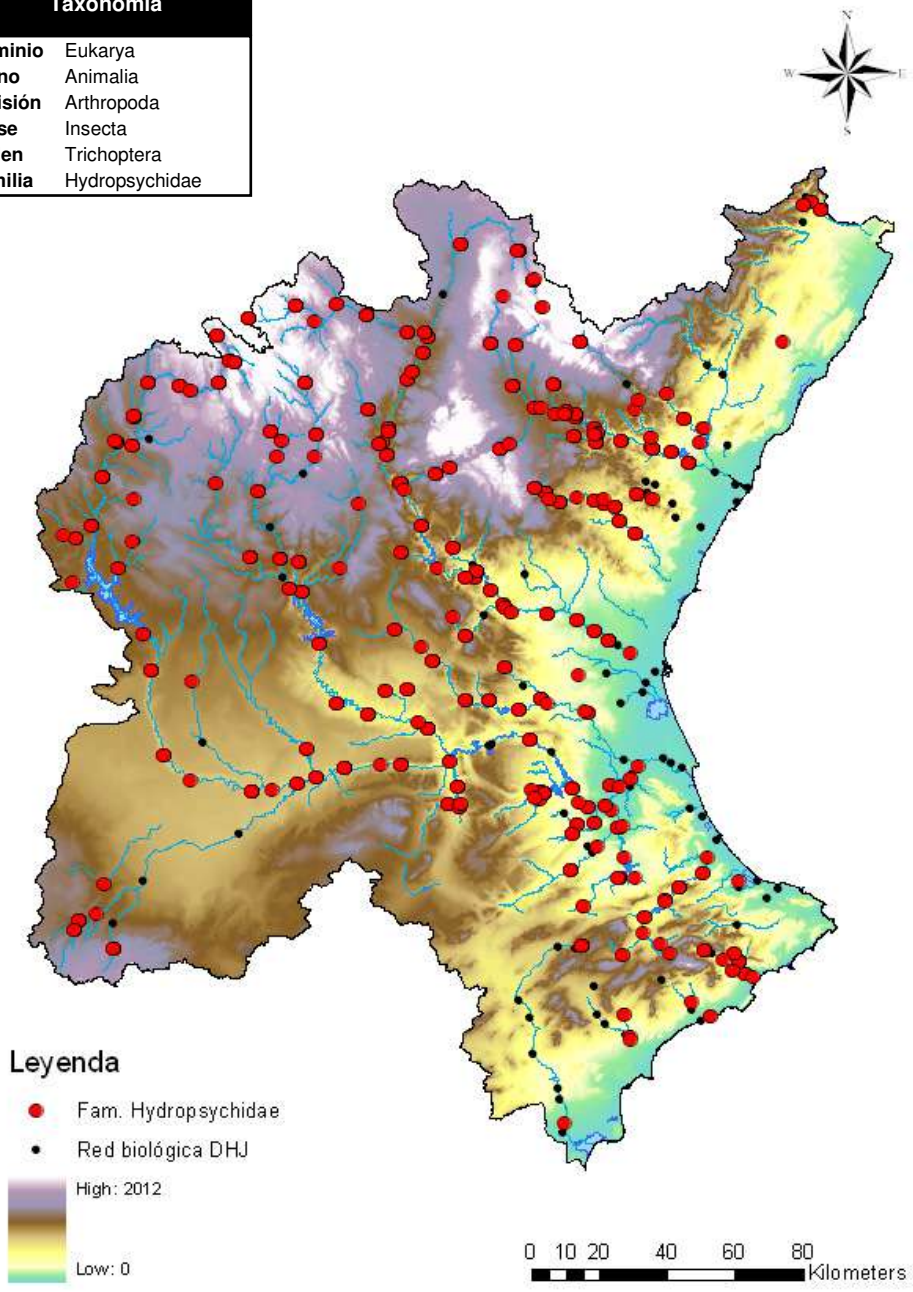


Figura A2-85. Atlas de distribución de la familia Hydropsychidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.8.8 Fam. Hydroptilidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Trichoptera
Familia	Hydroptilidae

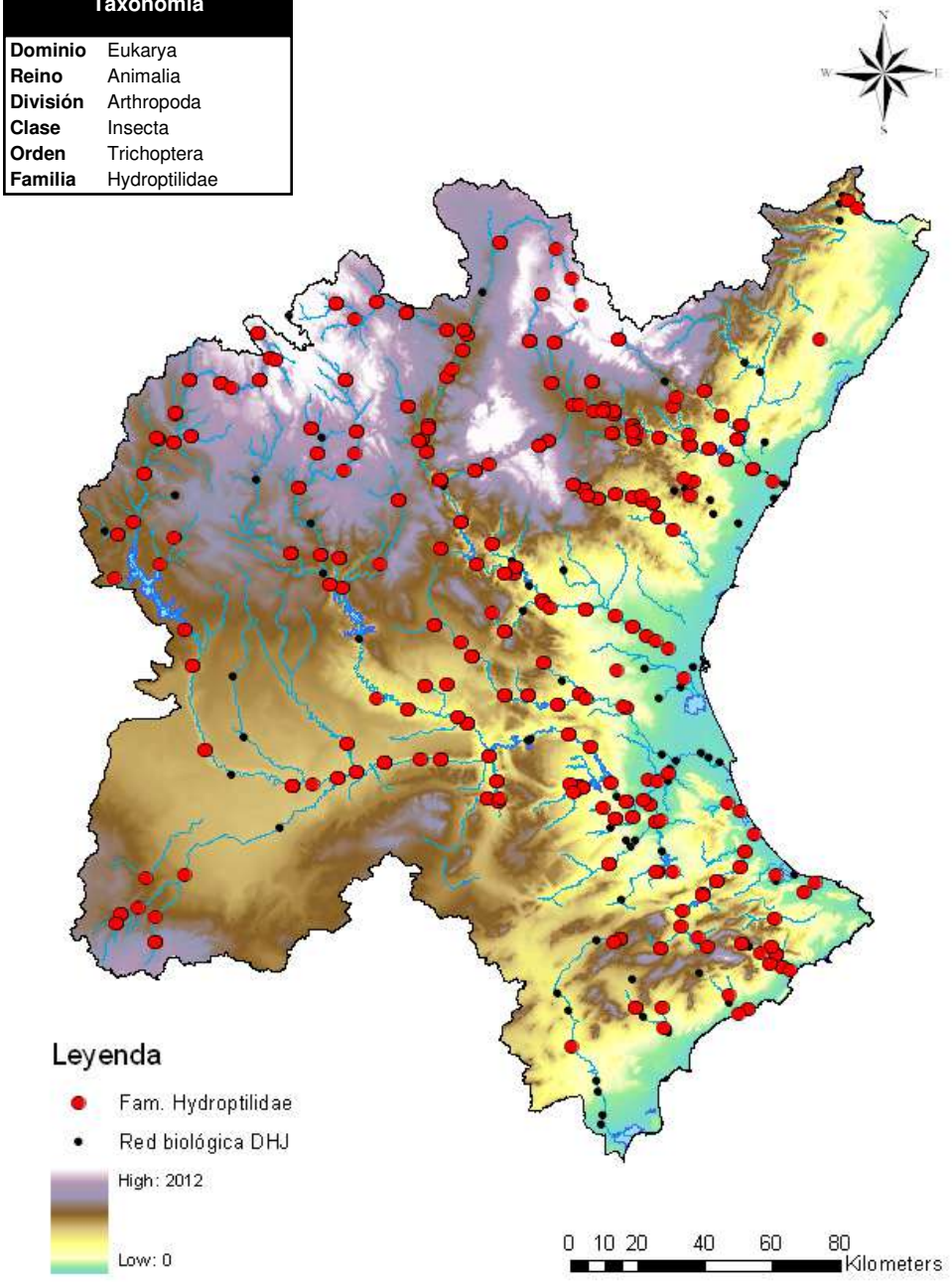


Figura A2-86. Atlas de distribución de la familia Hydroptilidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.8.9 Fam. Lepidostomatidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Trichoptera
Familia	Lepidostomatidae

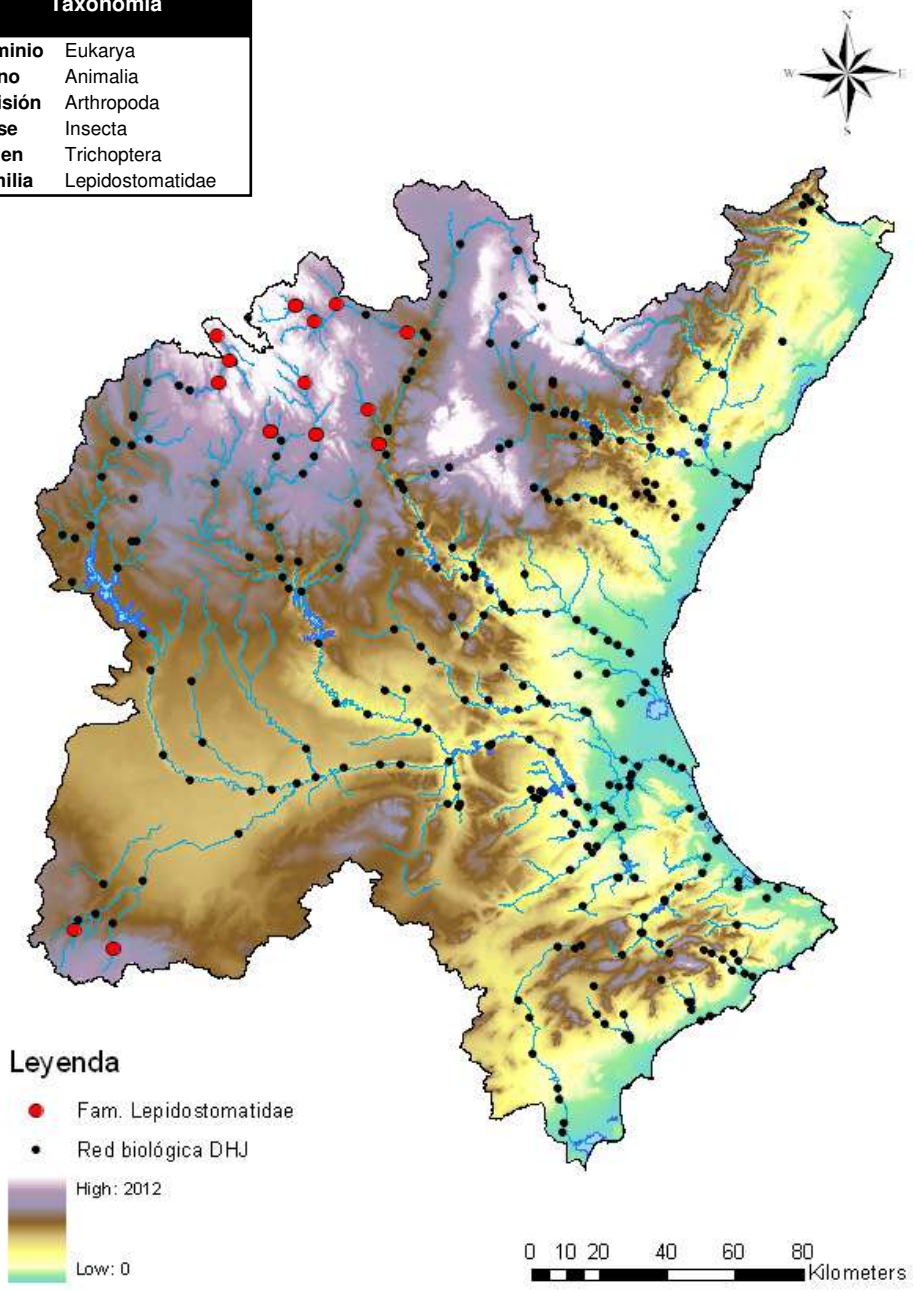


Figura A2-87. Atlas de distribución de la familia Lepidostomatidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.8.10 Fam. Leptoceridae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Trichoptera
Familia	Leptoceridae

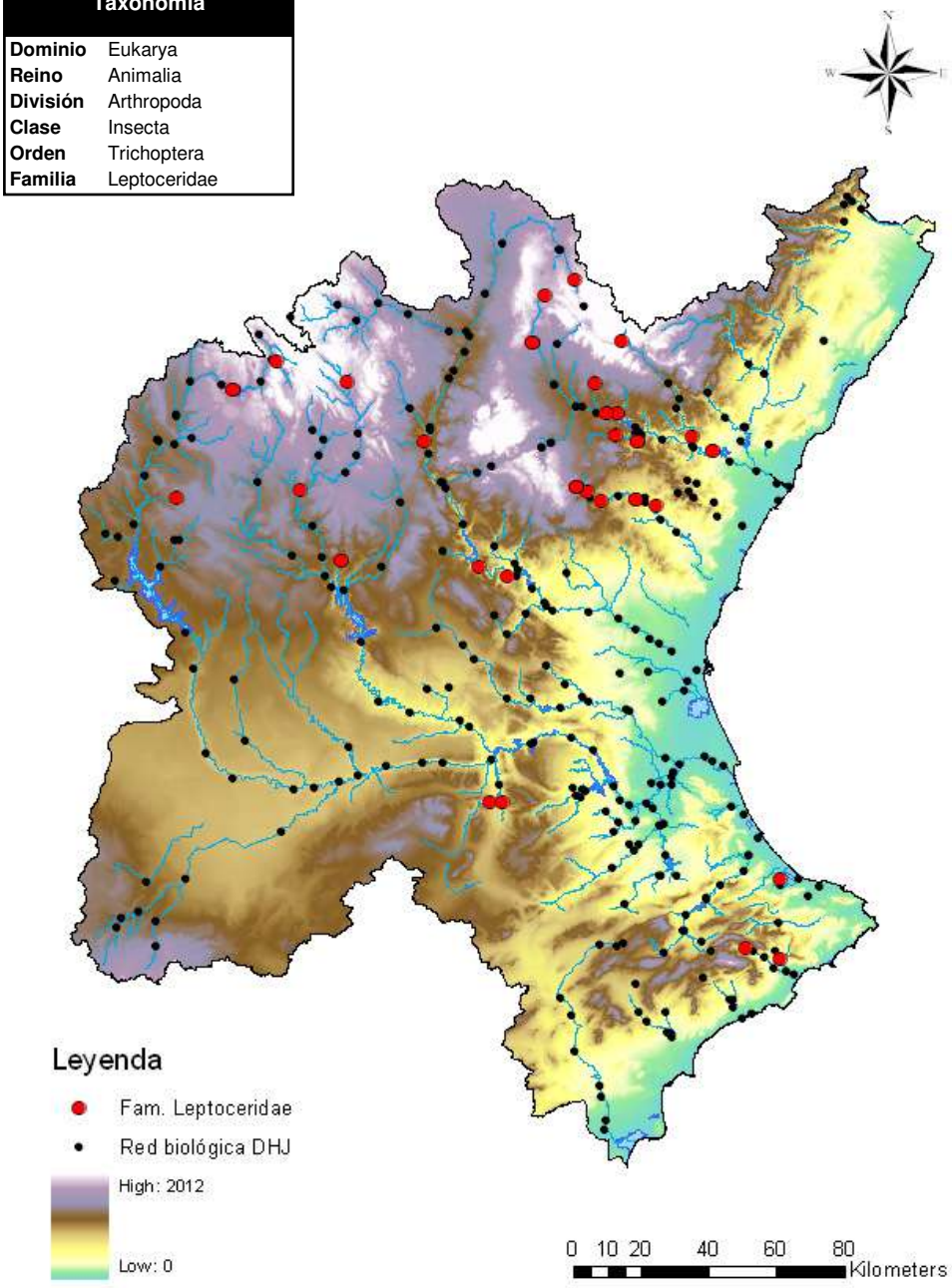


Figura A2-88. Atlas de distribución de la familia Leptoceridae en la cuenca del Júcar.

A2-7.8.11 Fam. Limnephilidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Trichoptera
Familia	Limnephilidae

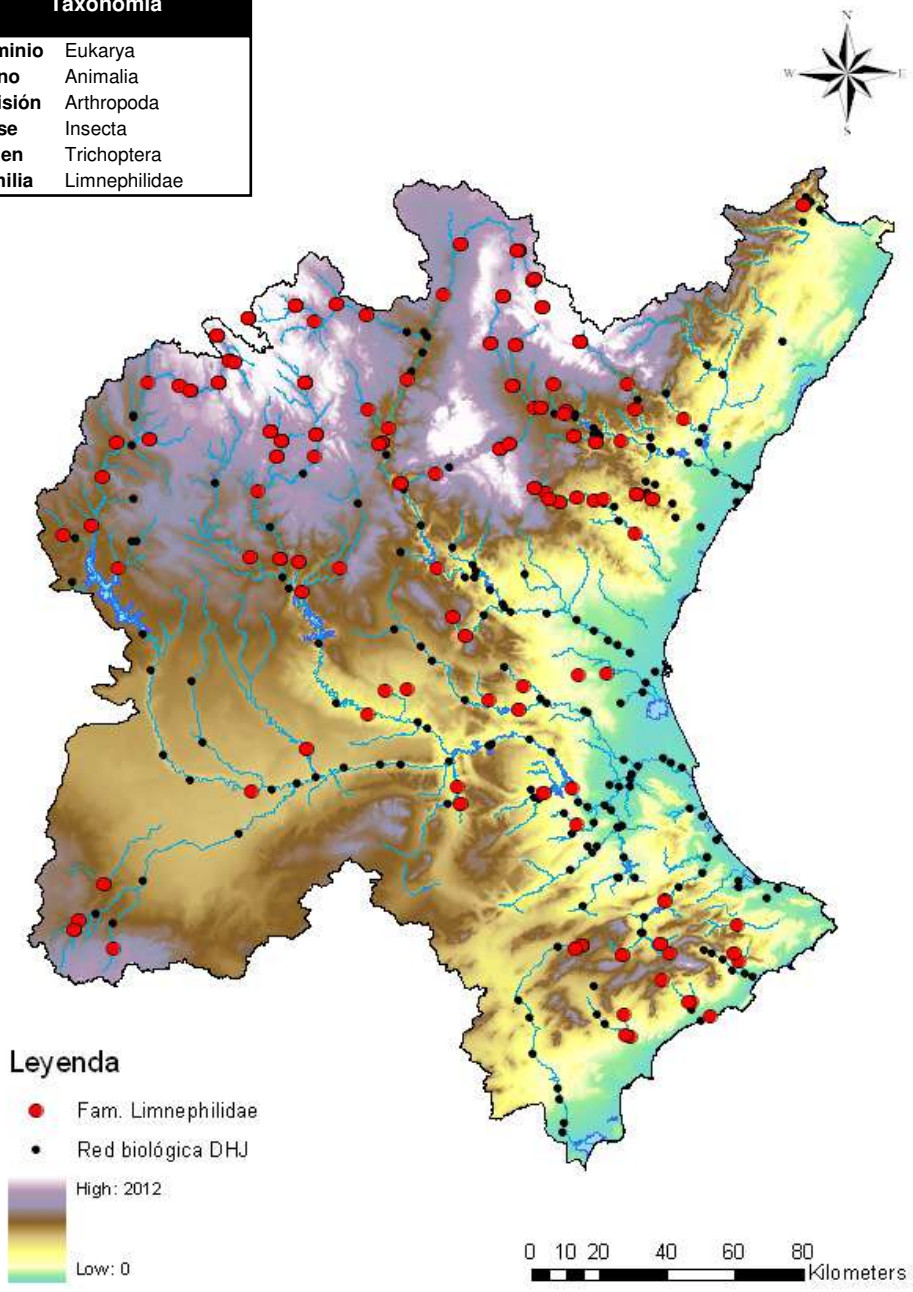


Figura A2-89. Atlas de distribución de la familia Limnephilidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.8.12 Fam. Philopotamidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Trichoptera
Familia	Philopotamidae

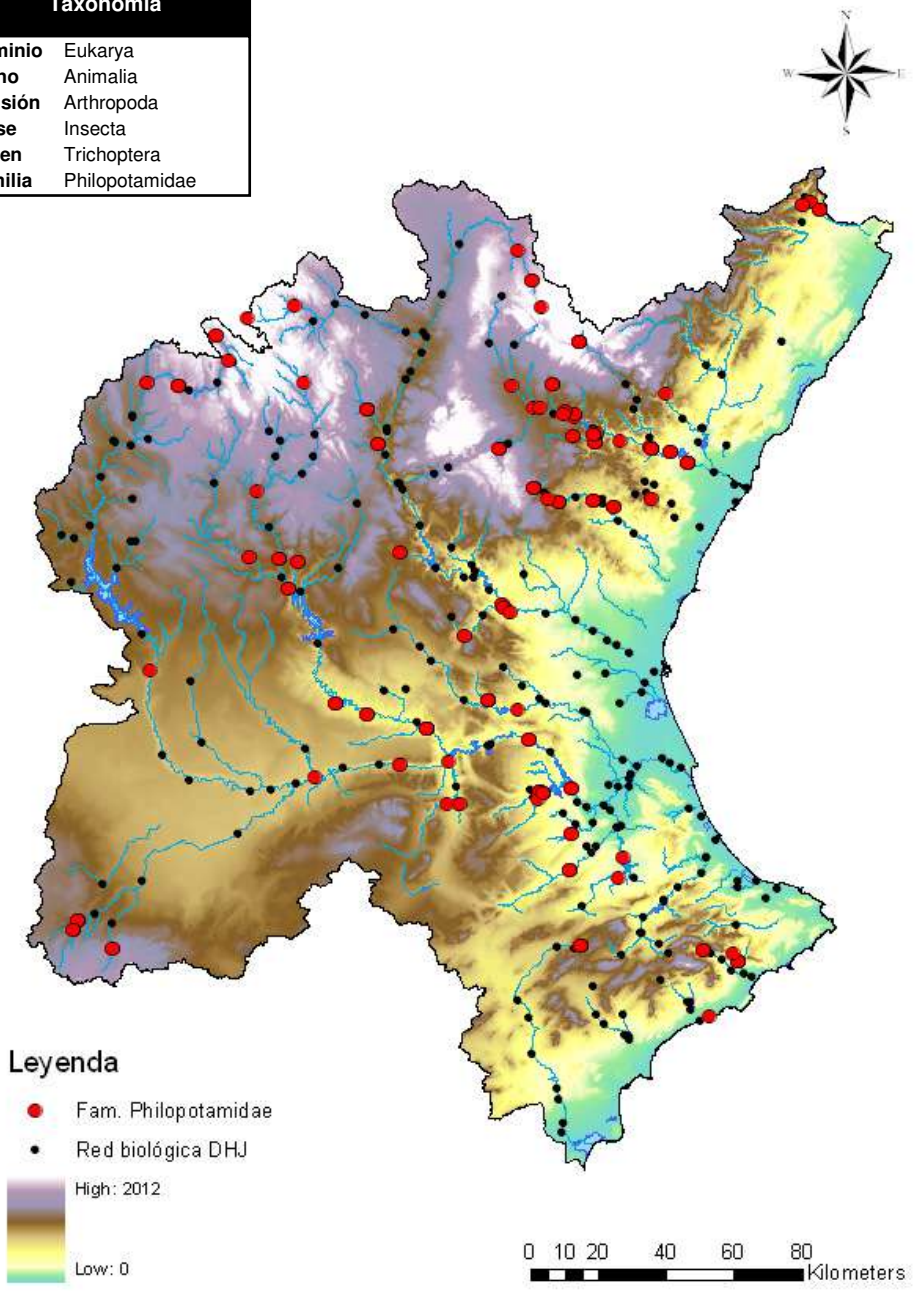


Figura A2-90. Atlas de distribución de la familia Philopotamidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.8.13 Fam. Phryganeidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Trichoptera
Familia	Phryganeidae

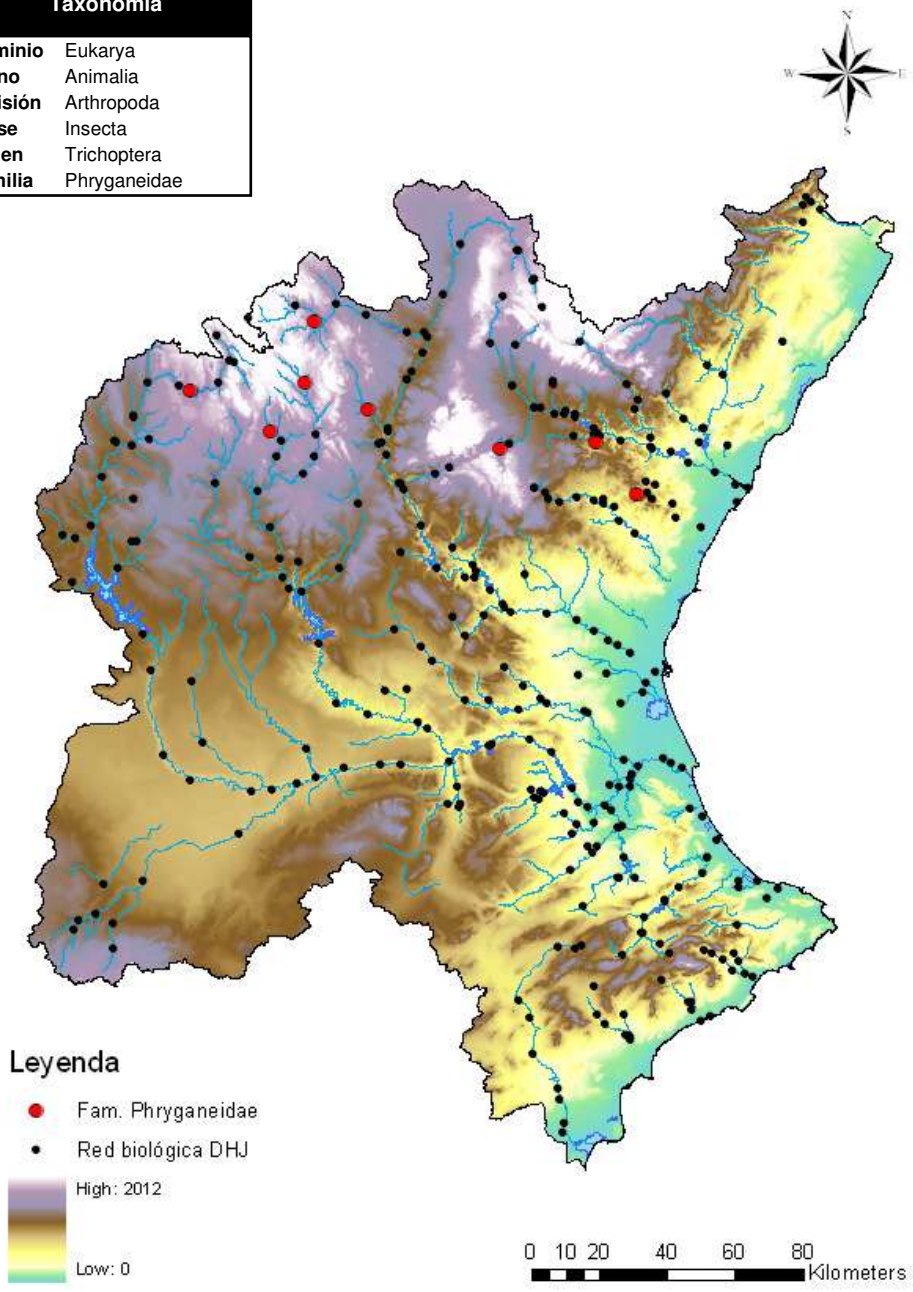


Figura A2-91. Atlas de distribución de la familia Phryganeidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.8.14 Fam. Polycentropodidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Trichoptera
Familia	Polycentropodidae

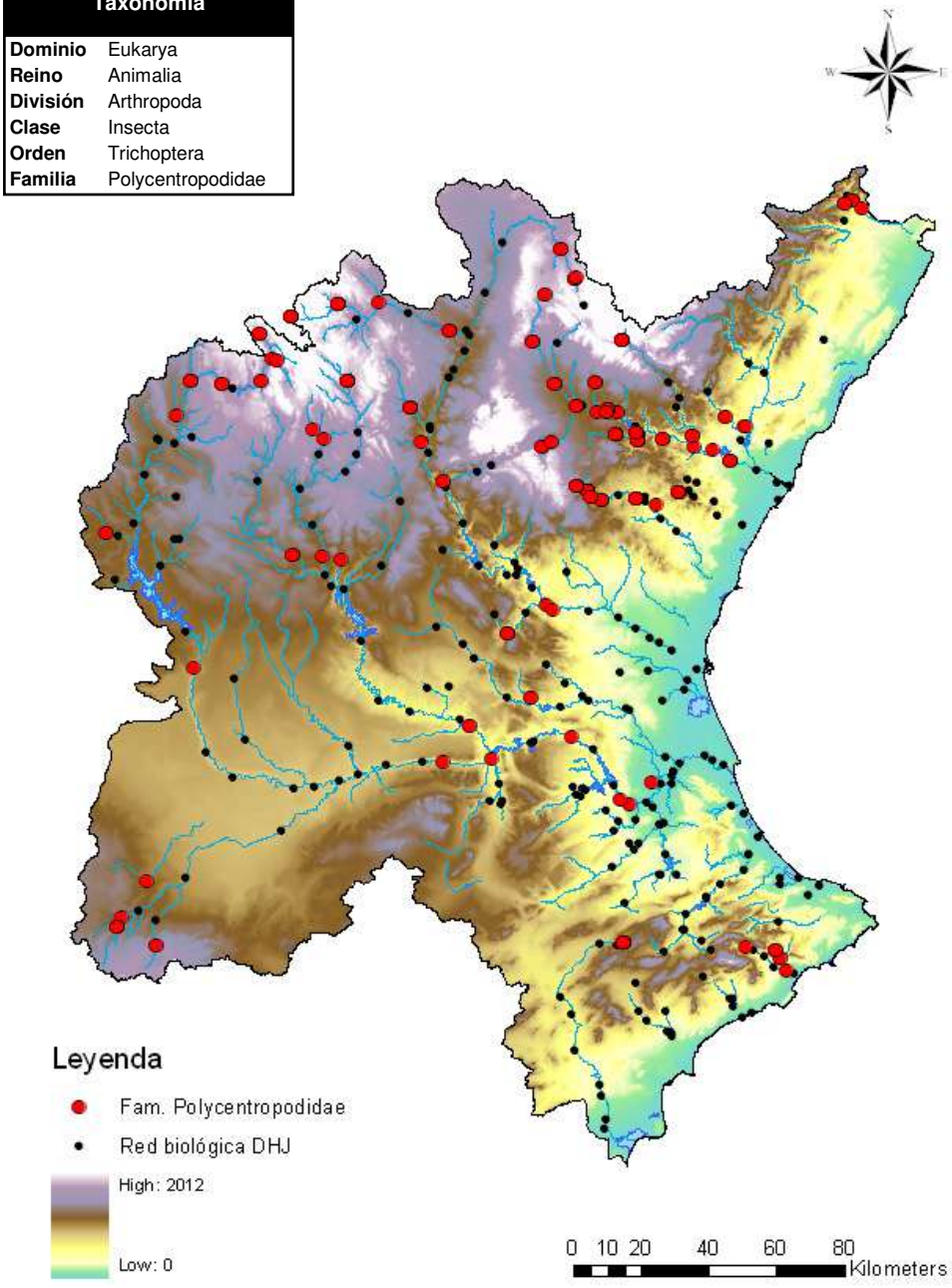


Figura A2-92. Atlas de distribución de la familia Polycentropodidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.8.15 Fam. Psychomyiidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Trichoptera
Familia	Psychomyiidae

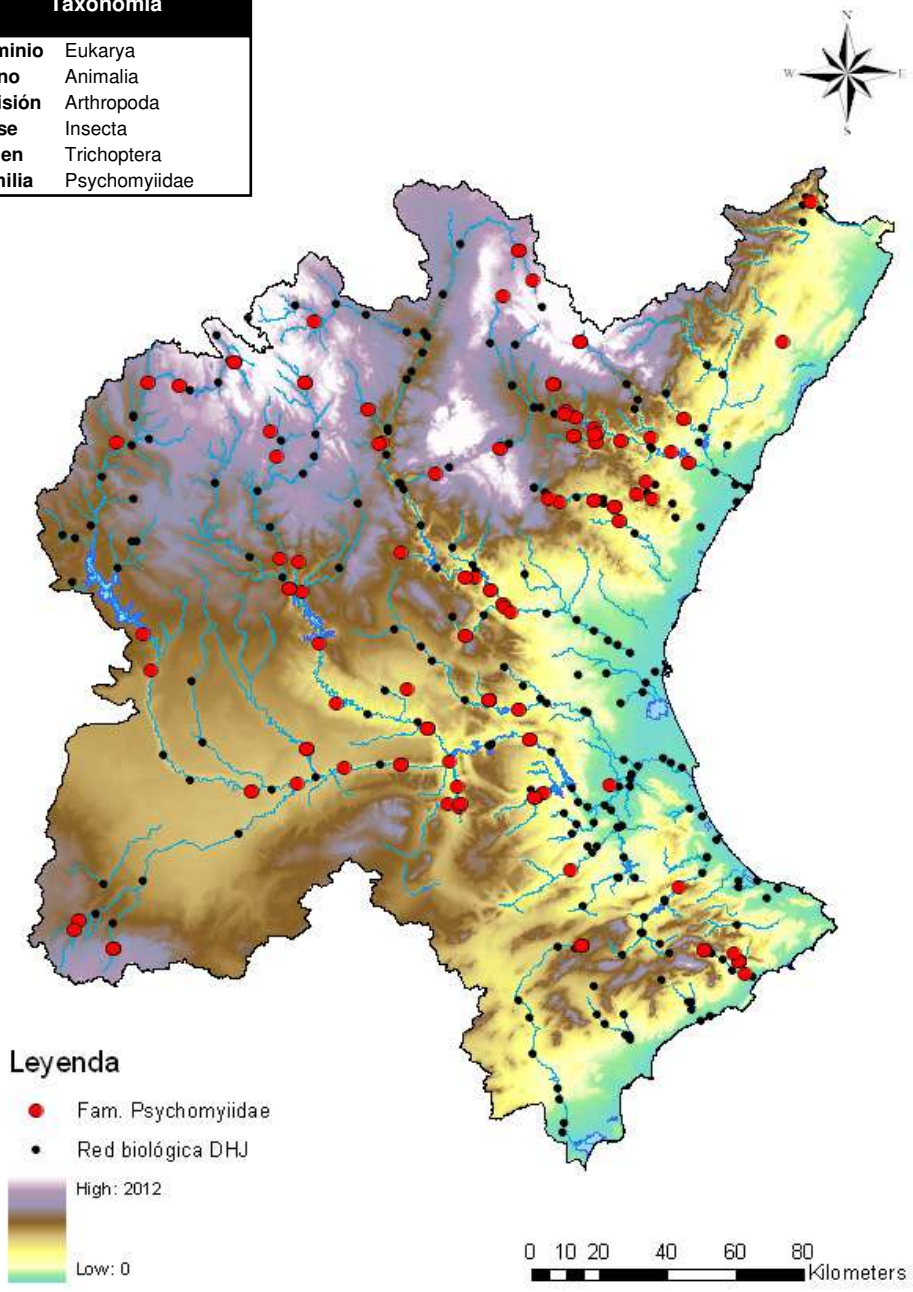


Figura A2-93. Atlas de distribución de la familia Psychomyiidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.8.16 Fam. Rhyacophilidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Trichoptera
Familia	Rhyacophilidae

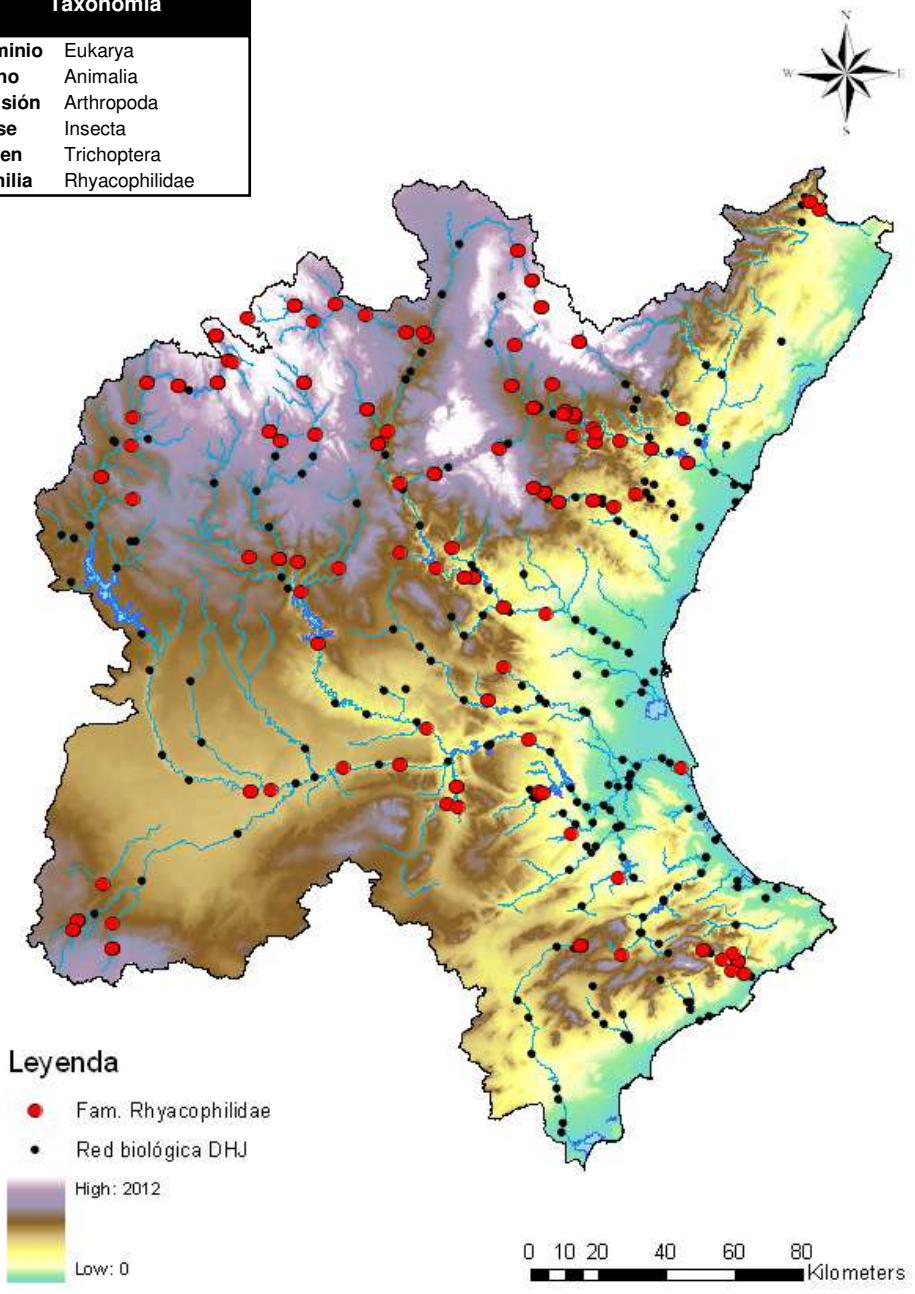


Figura A2-94. Atlas de distribución de la familia Rhyacophilidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.8.17 Fam. Sericostomatidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Trichoptera
Familia	Sericostomatidae

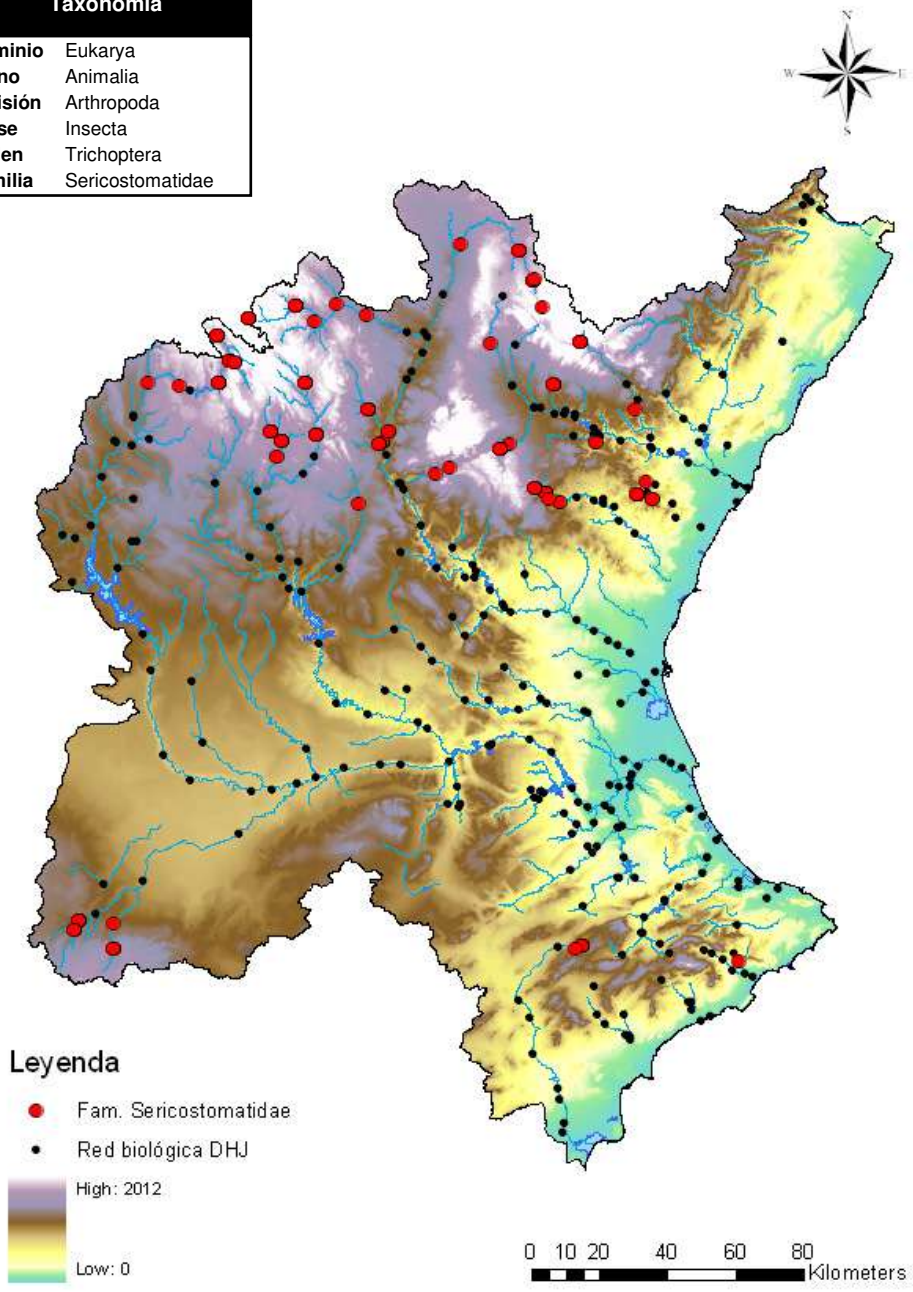


Figura A2-95. Atlas de distribución de la familia Sericostomatidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.9 Orden Diptera

A2-7.9.1 Fam. Anthomyiidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Diptera
Familia	Anthomyiidae

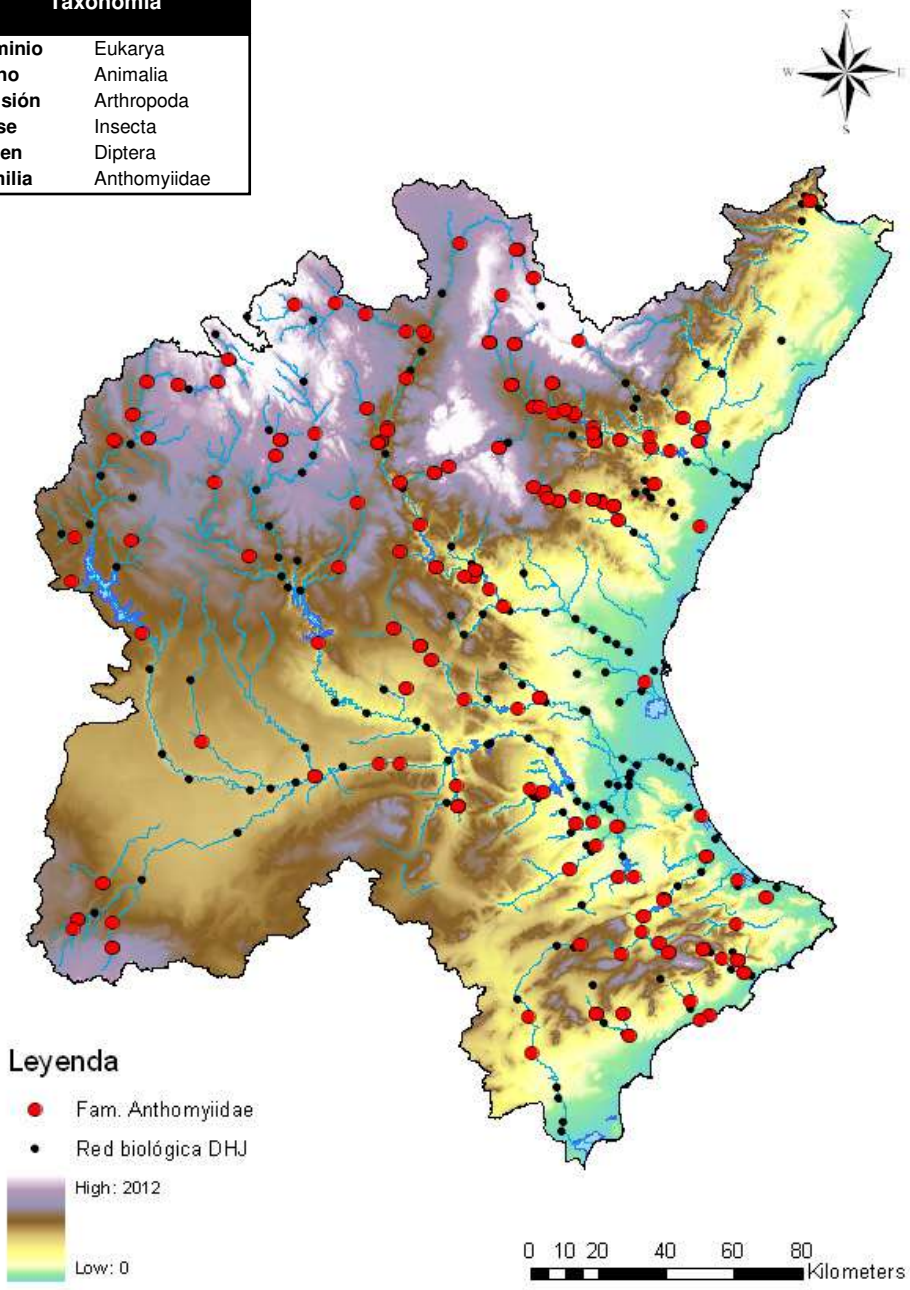


Figura A2-96. Atlas de distribución de la familia Diptera en la cuenca del Júcar.

A2-7.9.2 Fam. Athericidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Diptera
Familia	Athericidae

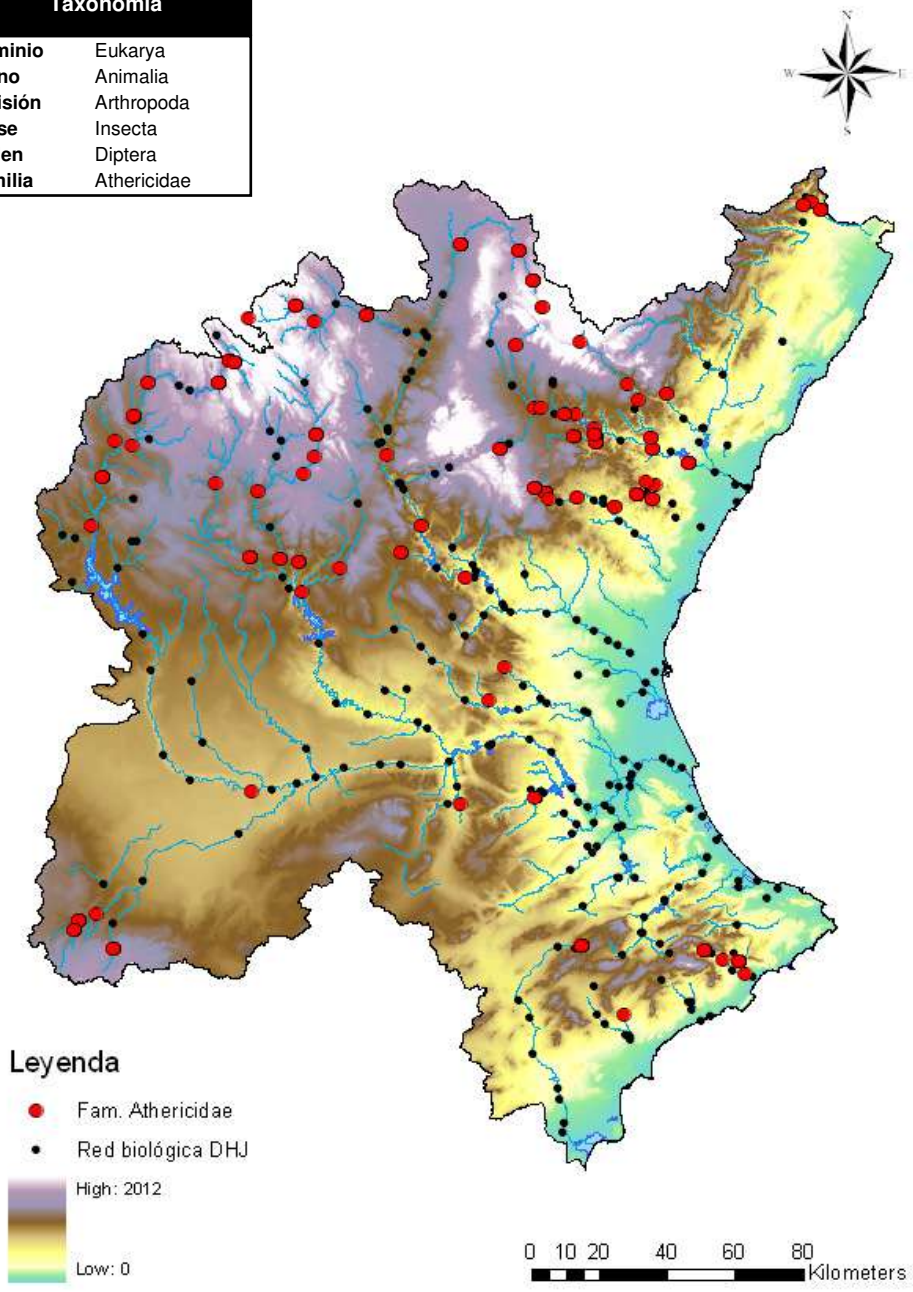


Figura A2-97. Atlas de distribución de la familia Athericidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.9.3 Fam. Ceratopogonidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Diptera
Familia	Ceratopogonidae

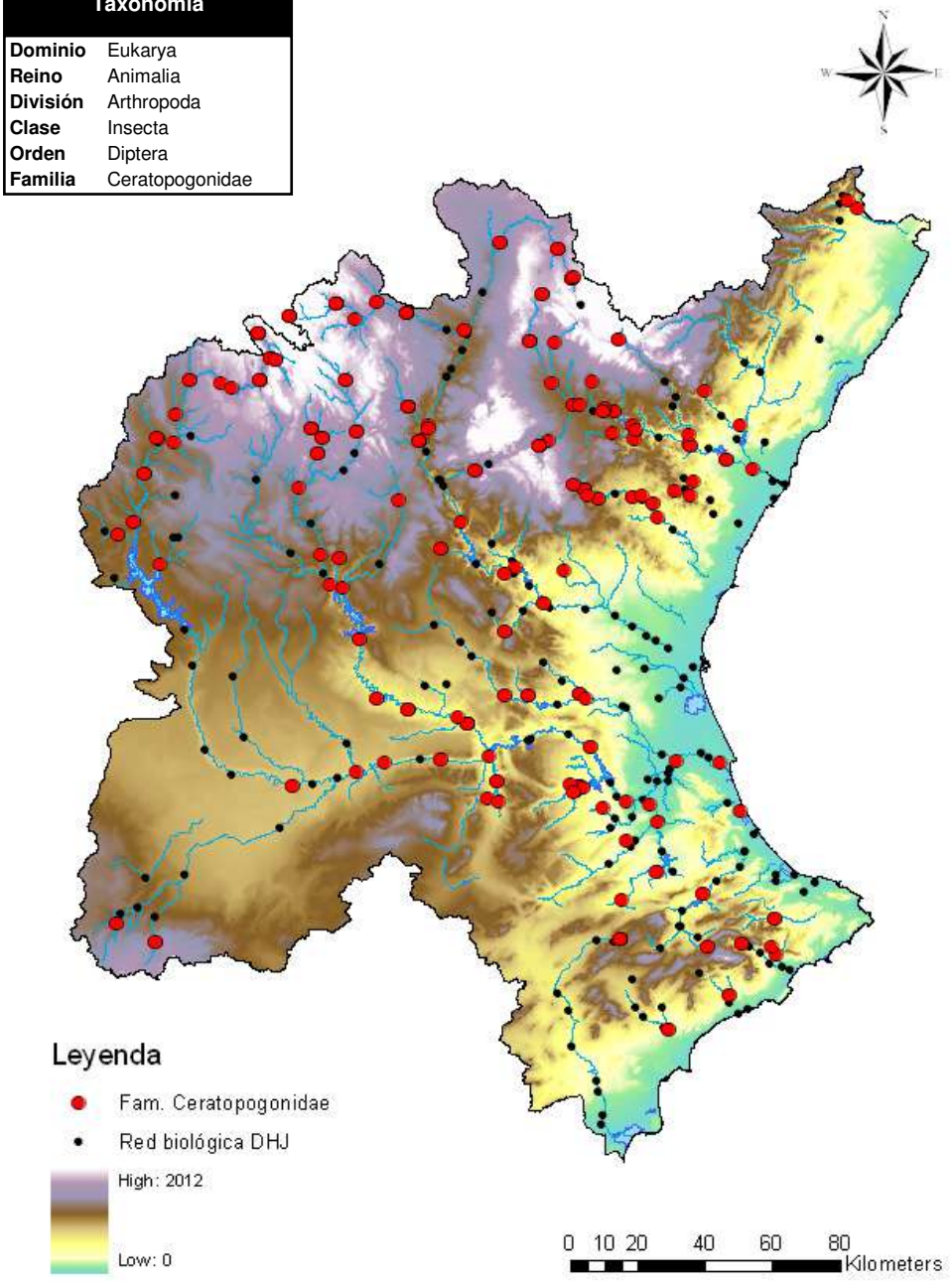


Figura A2-98. Atlas de distribución de la familia Ceratopogonidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.9.4 Fam. Culicidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Diptera
Familia	Culicidae

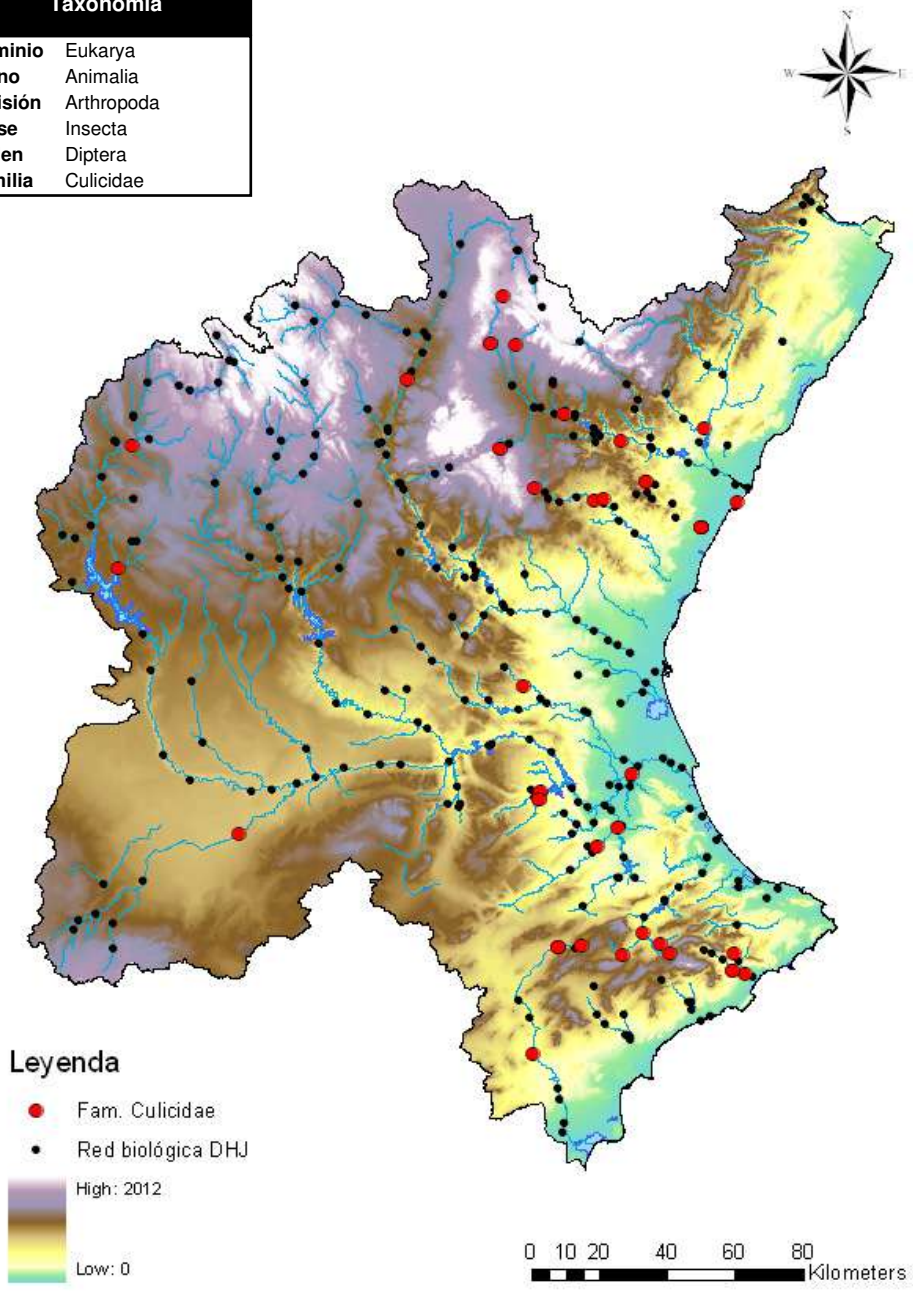


Figura A2-99. Atlas de distribución de la familia Culicidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.9.5 Fam. Chironomidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Diptera
Familia	Chironomidae

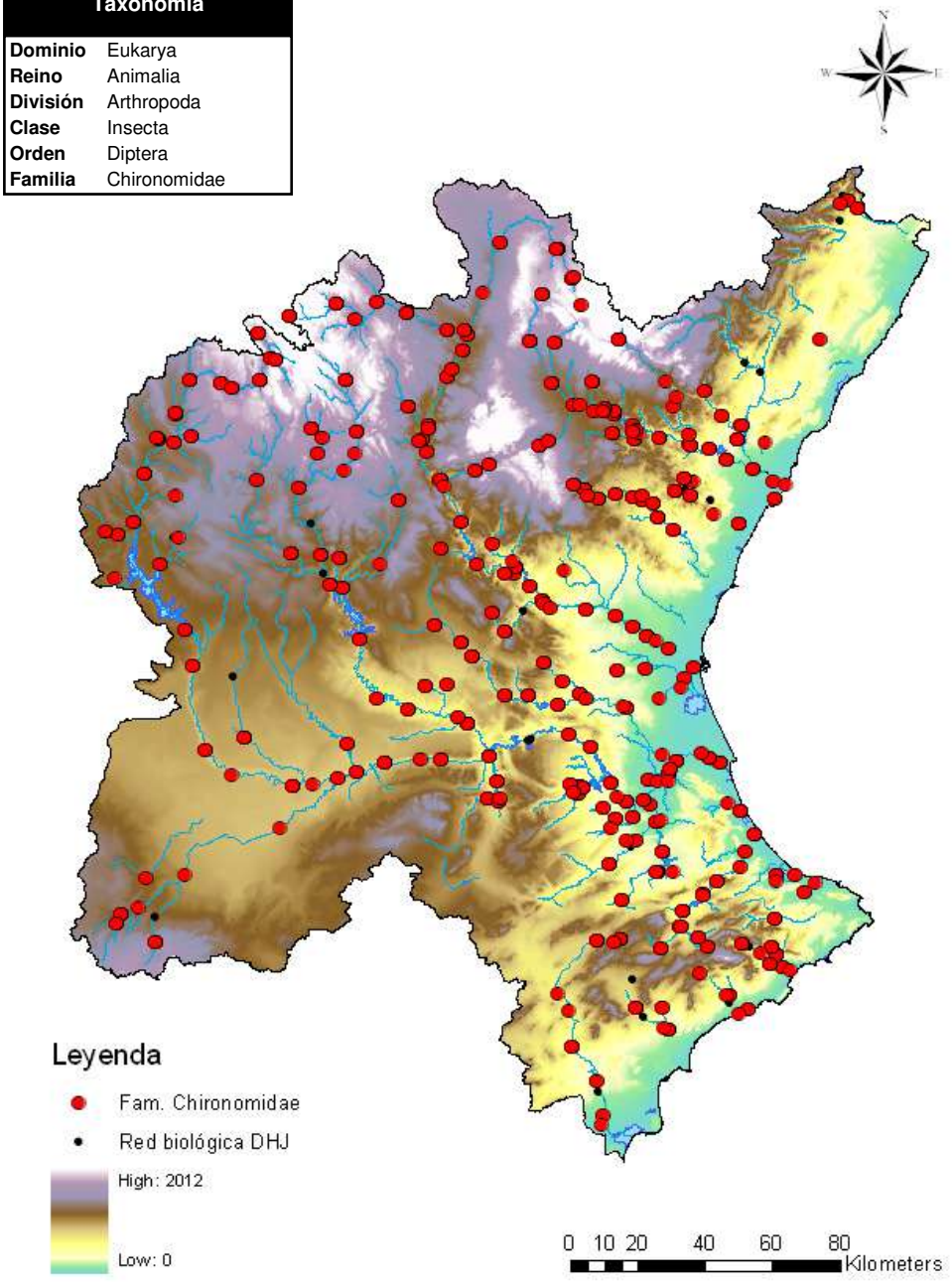


Figura A2-100. Atlas de distribución de la familia Culicidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.9.6 Fam. Dixidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Diptera
Familia	Dixidae

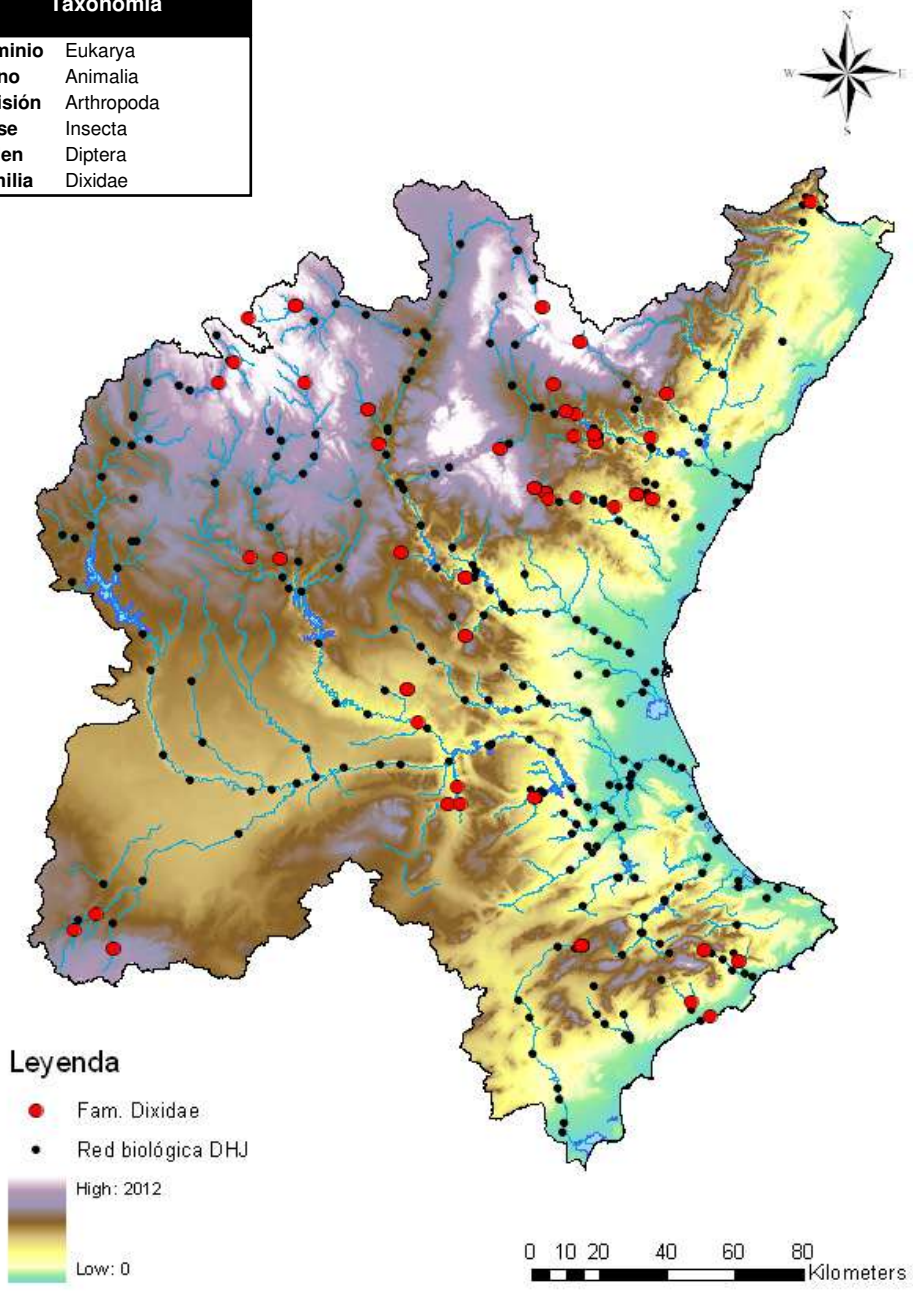


Figura A2-101. Atlas de distribución de la familia Dixidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.9.7 Fam. Dolichopodidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Diptera
Familia	Dolichopodidae

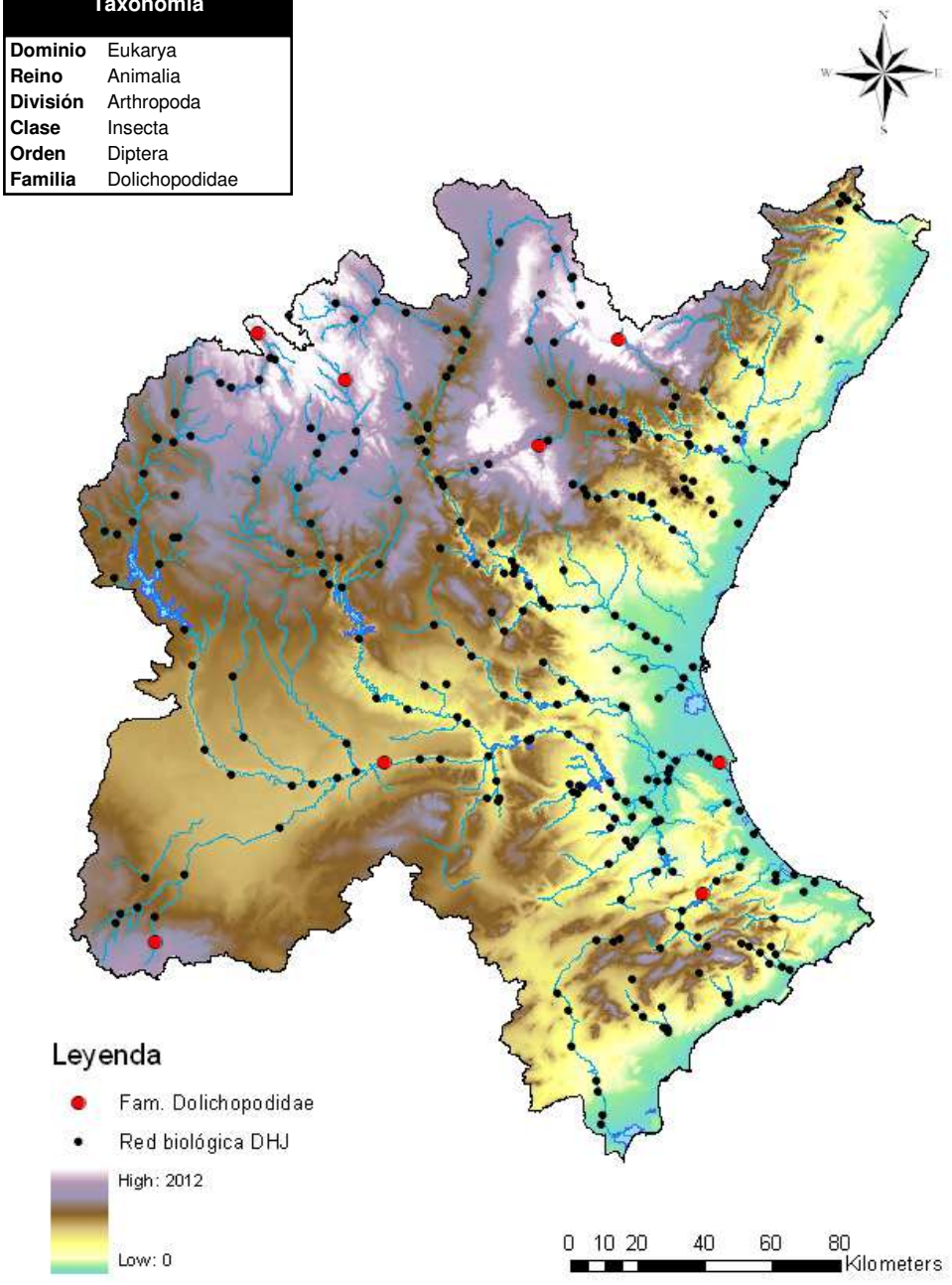


Figura A2-102. Atlas de distribución de la familia Dolichopodidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.9.8 Fam. Empididae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Diptera
Familia	Empididae

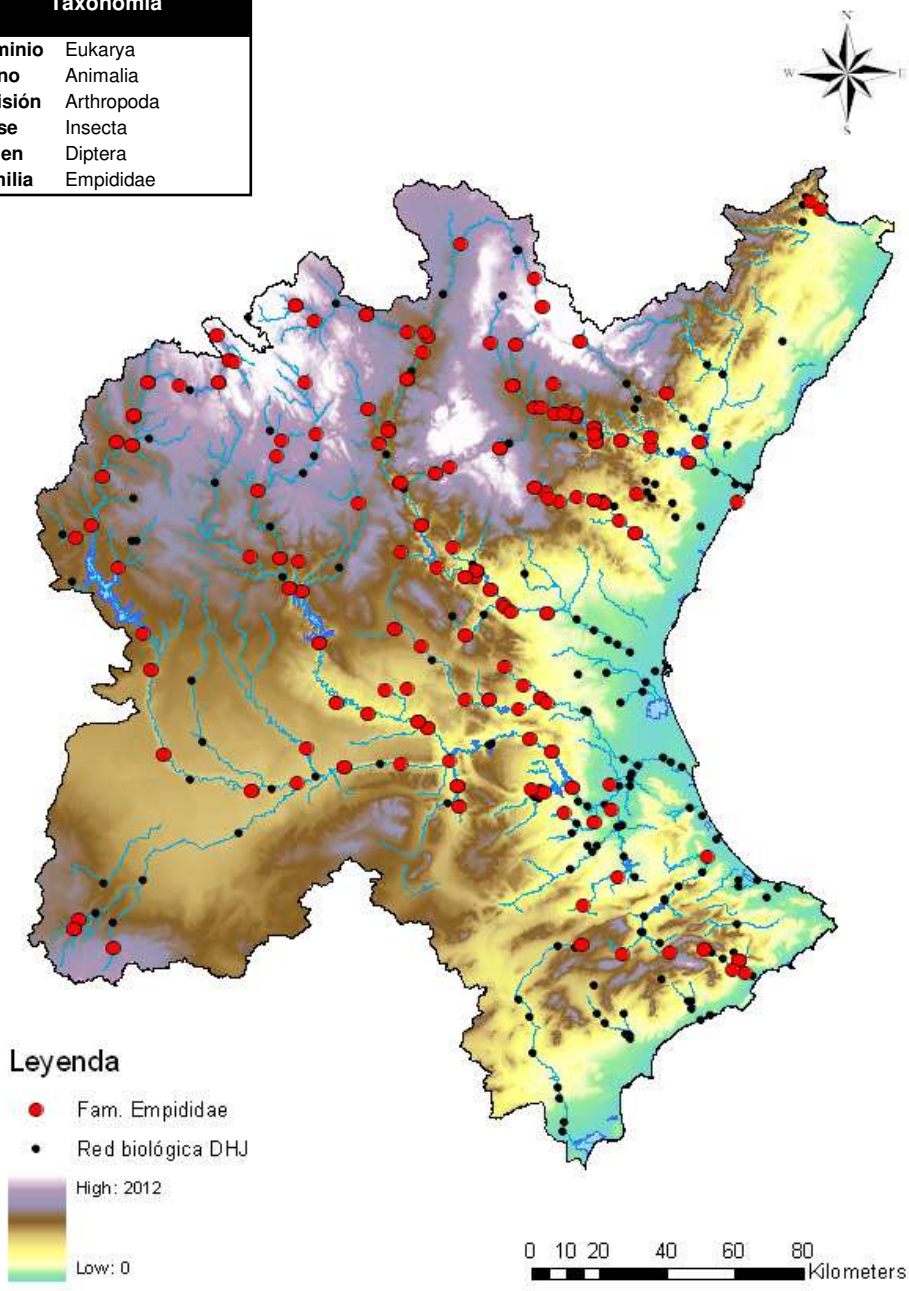


Figura A2-103. Atlas de distribución de la familia Empididae en la cuenca del Júcar.

A2-7.9.9 Fam. Ephydridae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Diptera
Familia	Ephydridae

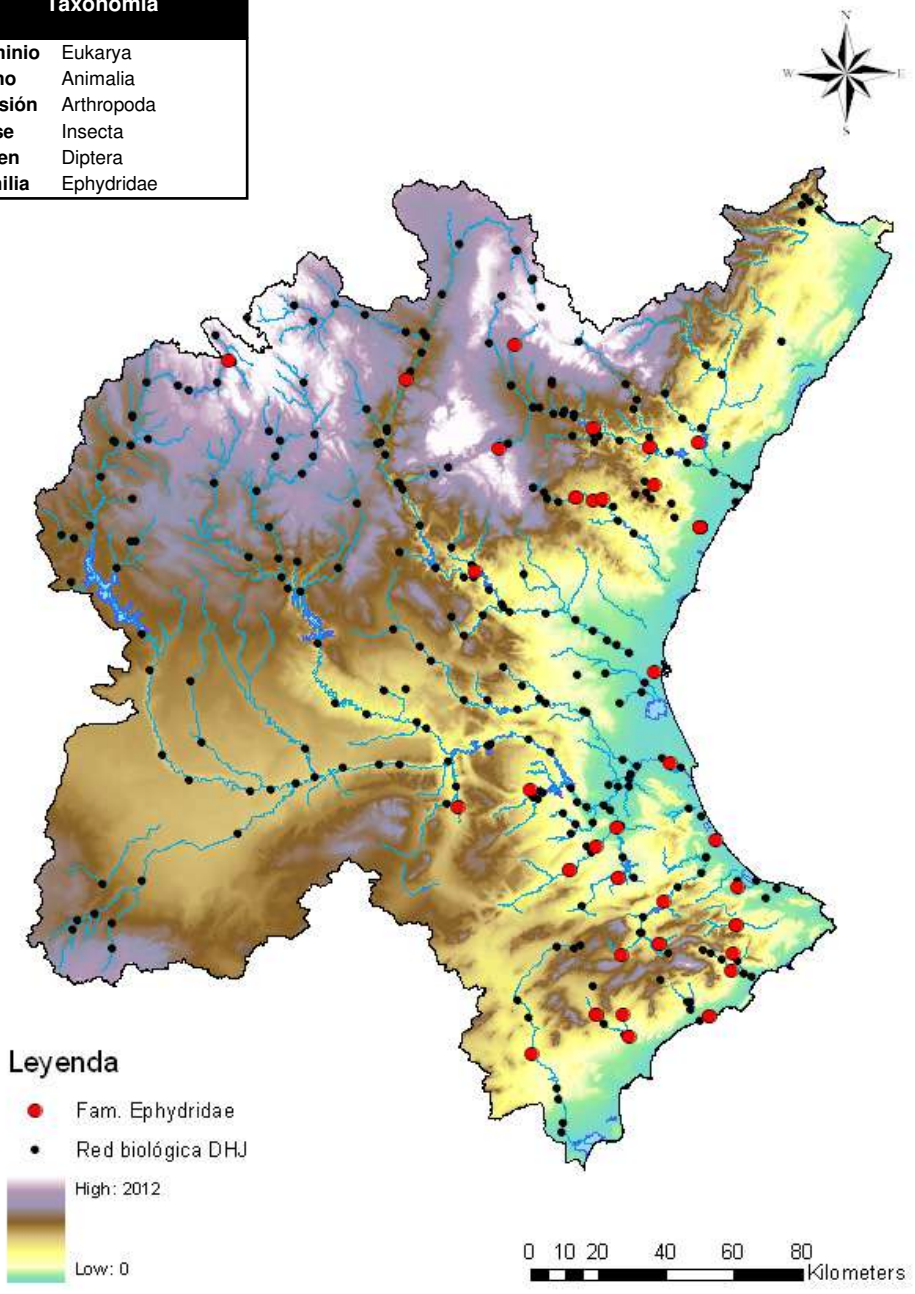


Figura A2-104. Atlas de distribución de la familia Ephydridae en la cuenca del Júcar.

A2-7.9.10 Fam. Limoniidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Diptera
Familia	Limoniidae

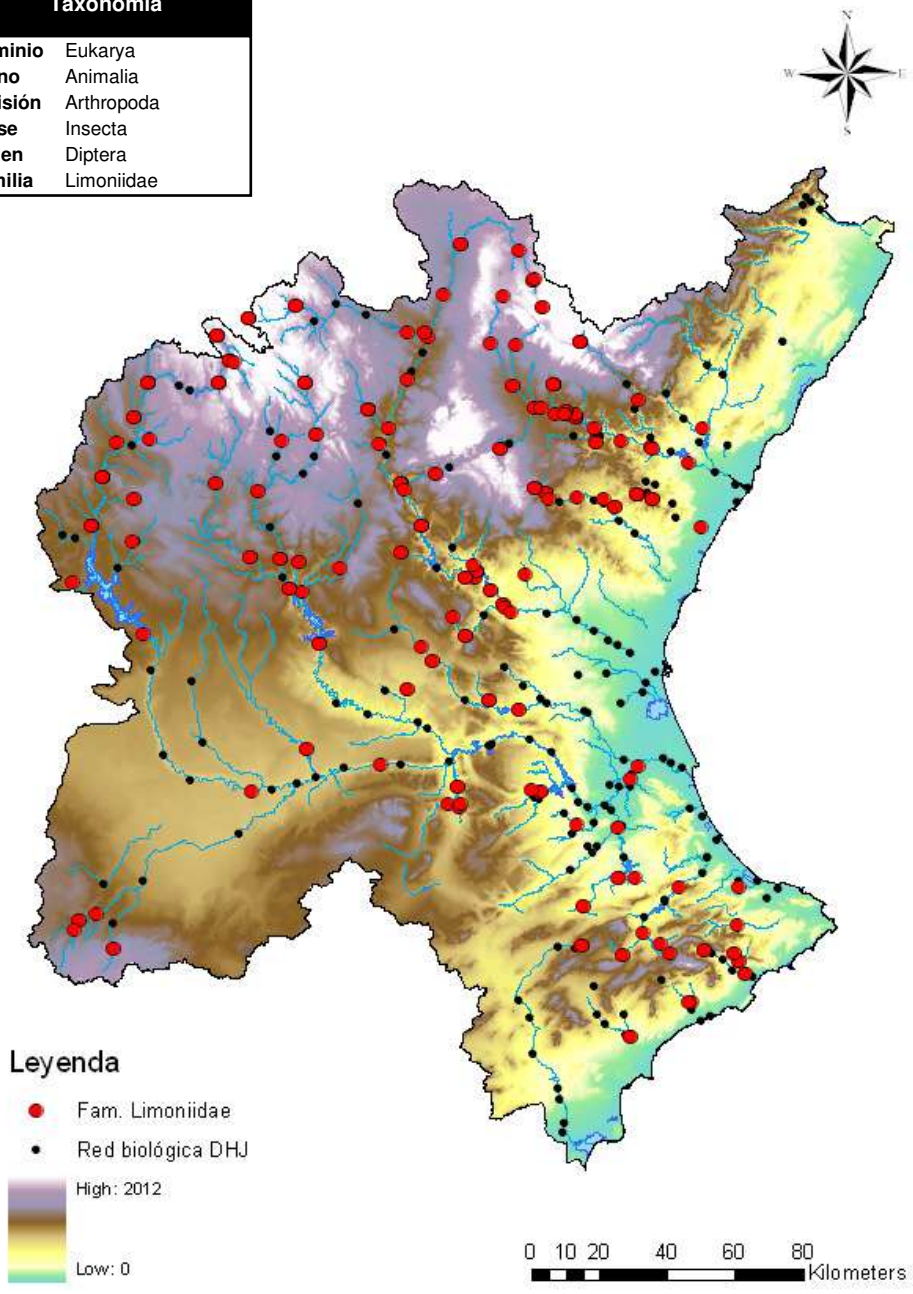


Figura A2-105. Atlas de distribución de la familia Limoniidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.9.11 Fam. Muscidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Diptera
Familia	Muscidae

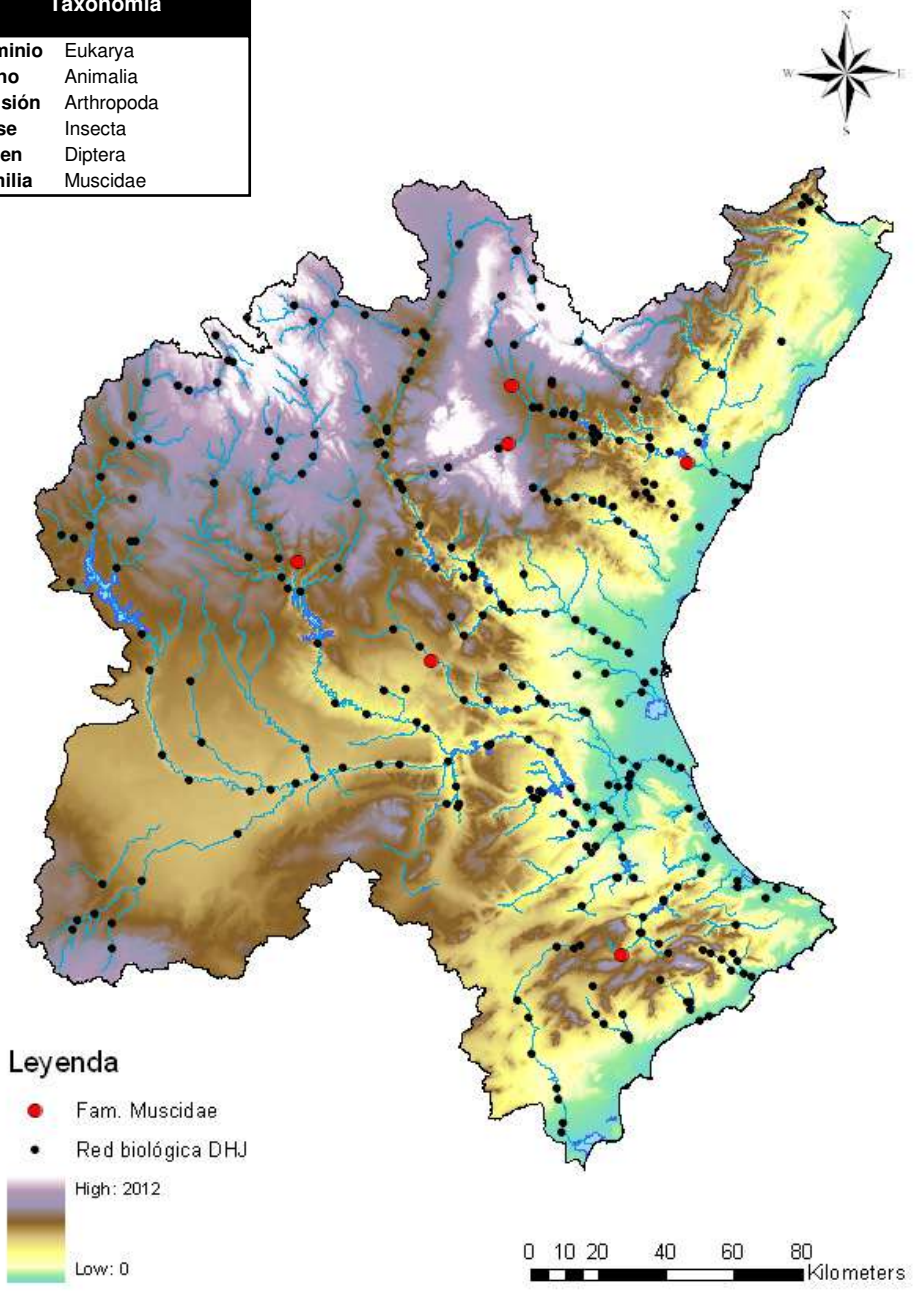


Figura A2-106. Atlas de distribución de la familia Muscidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.9.12 Fam. Pediciidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Diptera
Familia	Pediciidae

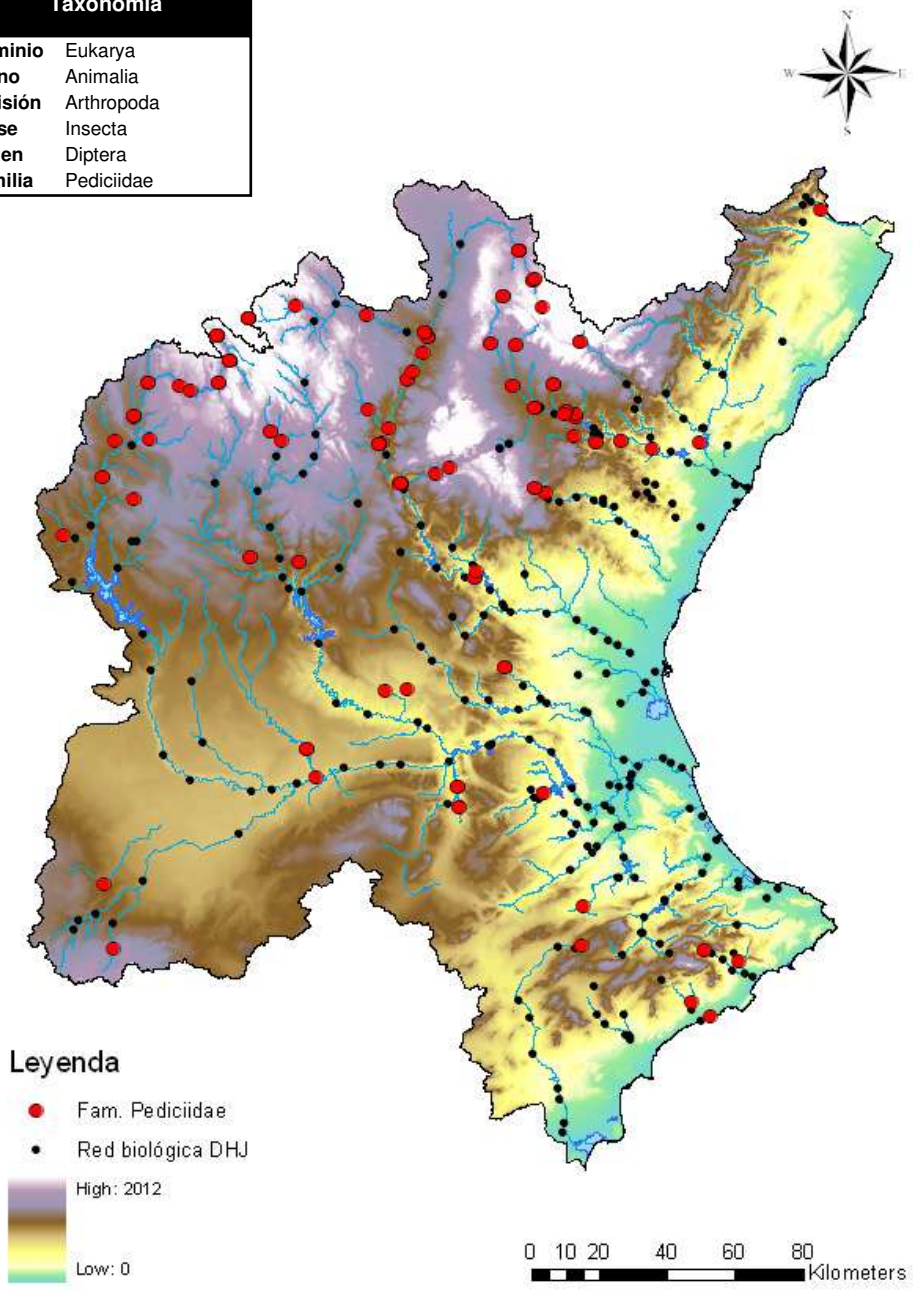


Figura A2-107. Atlas de distribución de la familia Pediciidae en la cuenca del Júcar.

A2-7.9.13 Fam. Psychodidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Diptera
Familia	Psychodidae

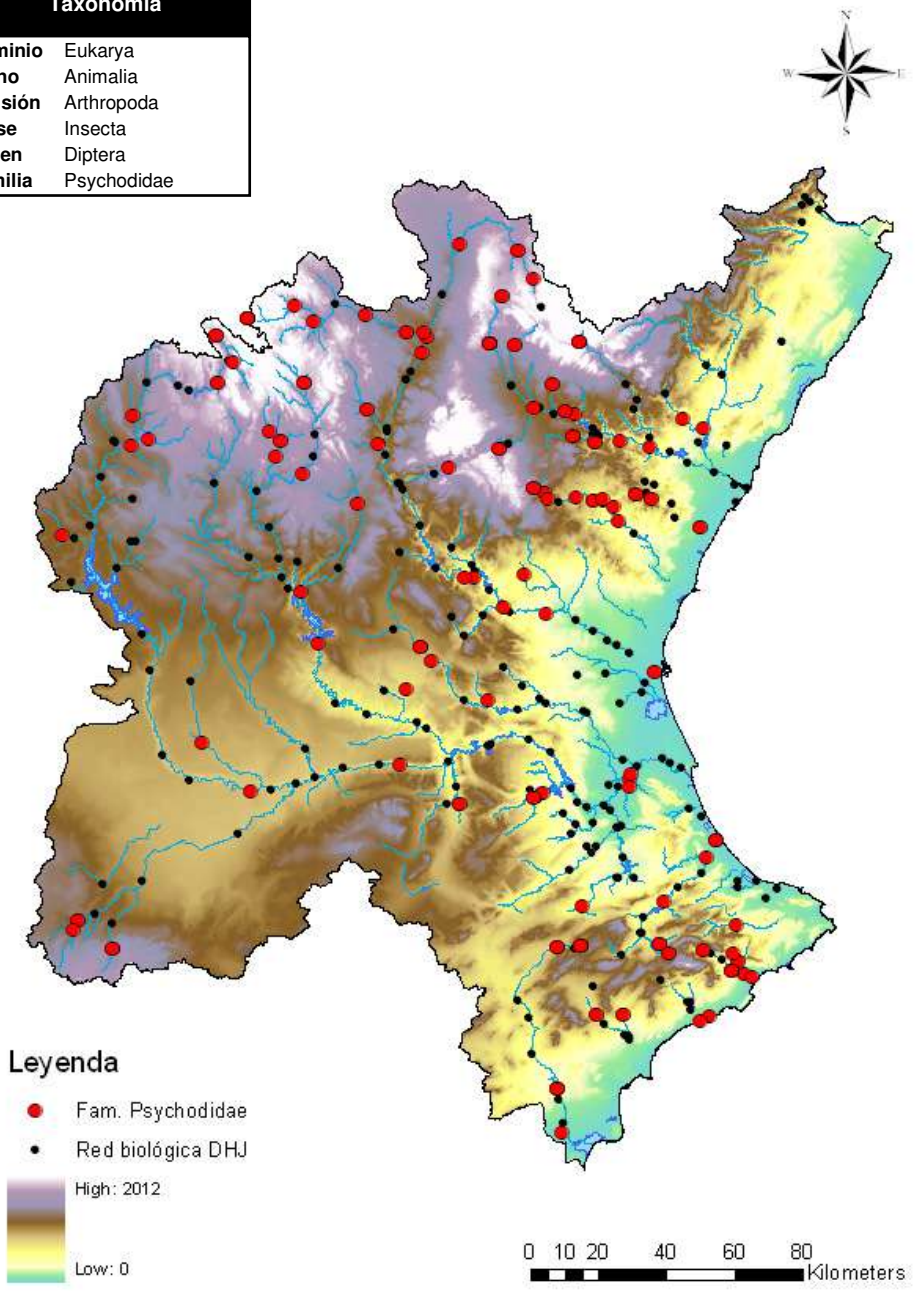


Figura A2-108. Atlas de distribución de la familia Psychodidae la cuenca del Júcar.

A2-7.9.14 Fam. Ptychopteridae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Diptera
Familia	Ptychopteridae

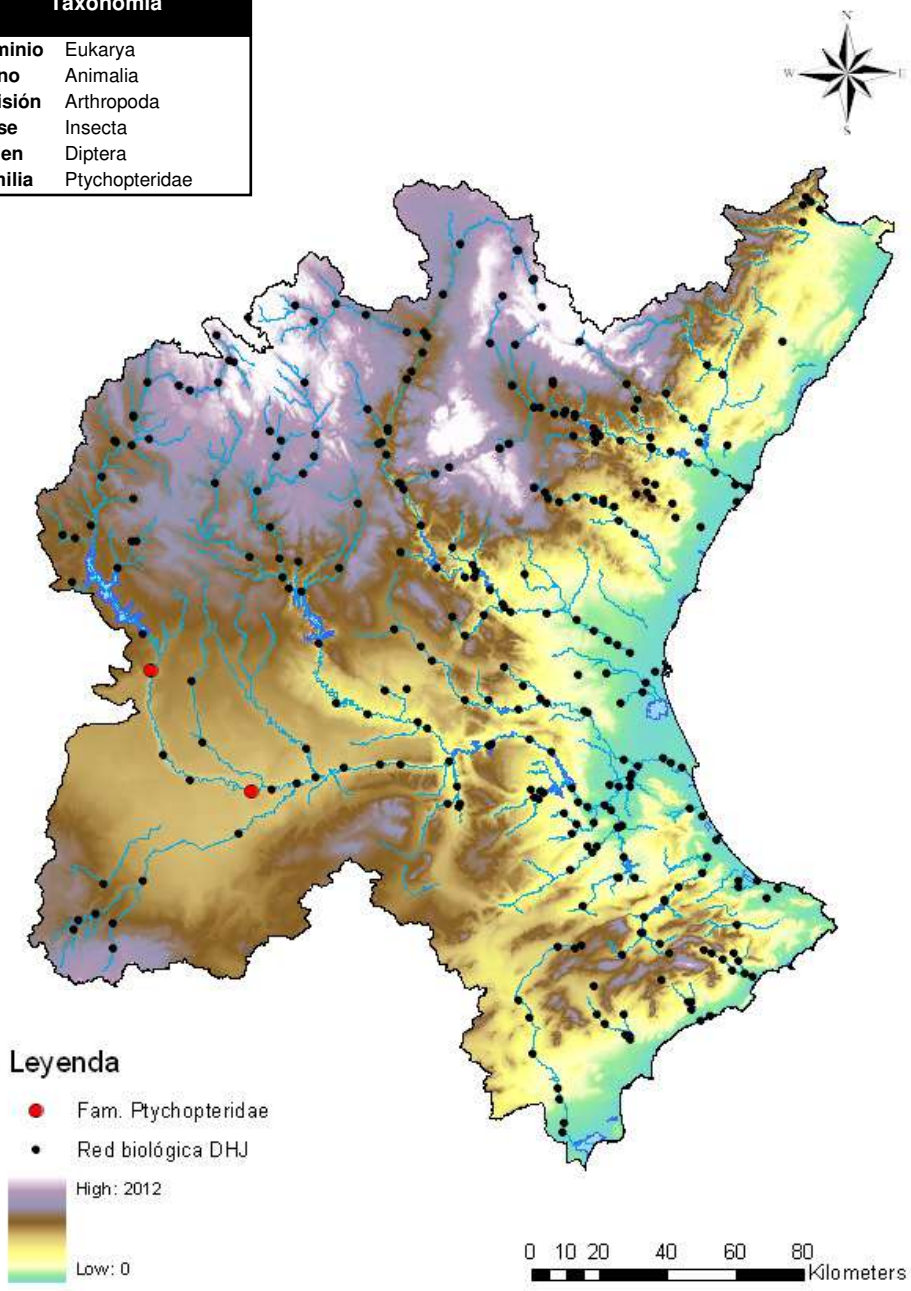


Figura A2-109. Atlas de distribución de la familia Ptychopteridae la cuenca del Júcar.

A2-7.9.15 Fam. Rhagionidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Diptera
Familia	Rhagionidae

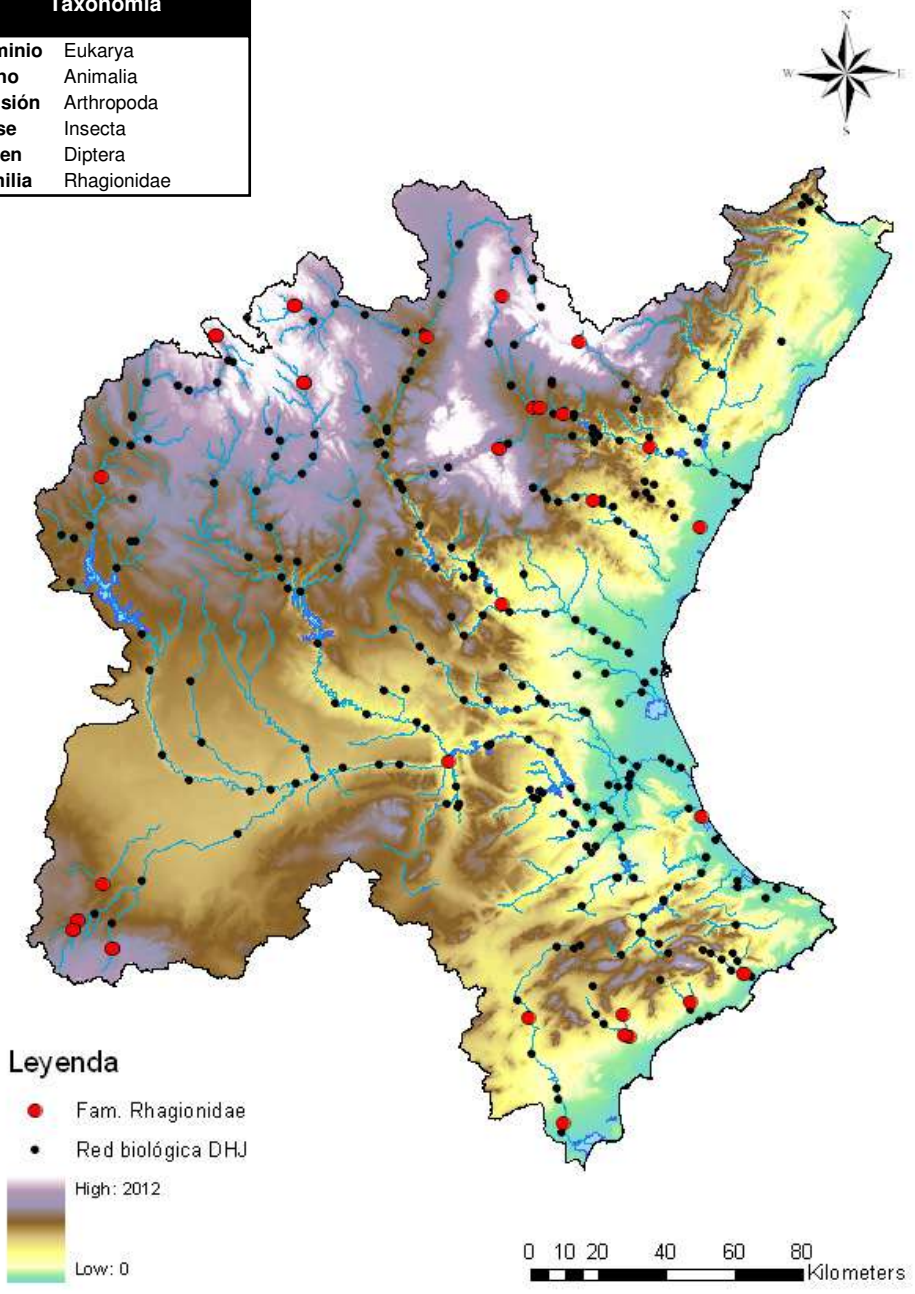


Figura A2-110. Atlas de distribución de la familia Rhagionidae la cuenca del Júcar.

A2-7.9.16 Fam. Sciomyzidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Diptera
Familia	Sciomyzidae

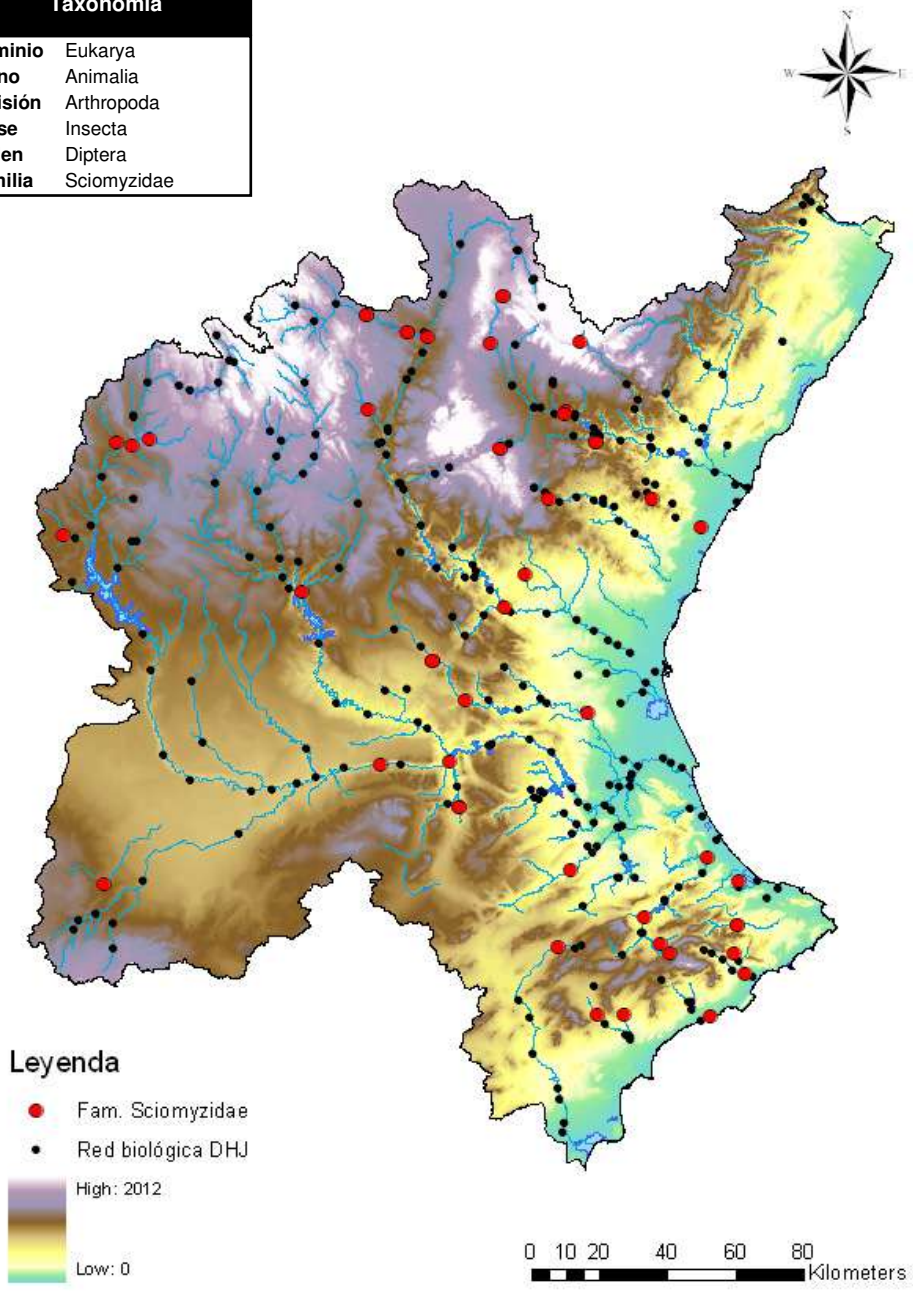


Figura A2-111. Atlas de distribución de la familia Sciomyzidae la cuenca del Júcar.

A2-7.9.17 Fam. Simuliidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Diptera
Familia	Simuliidae

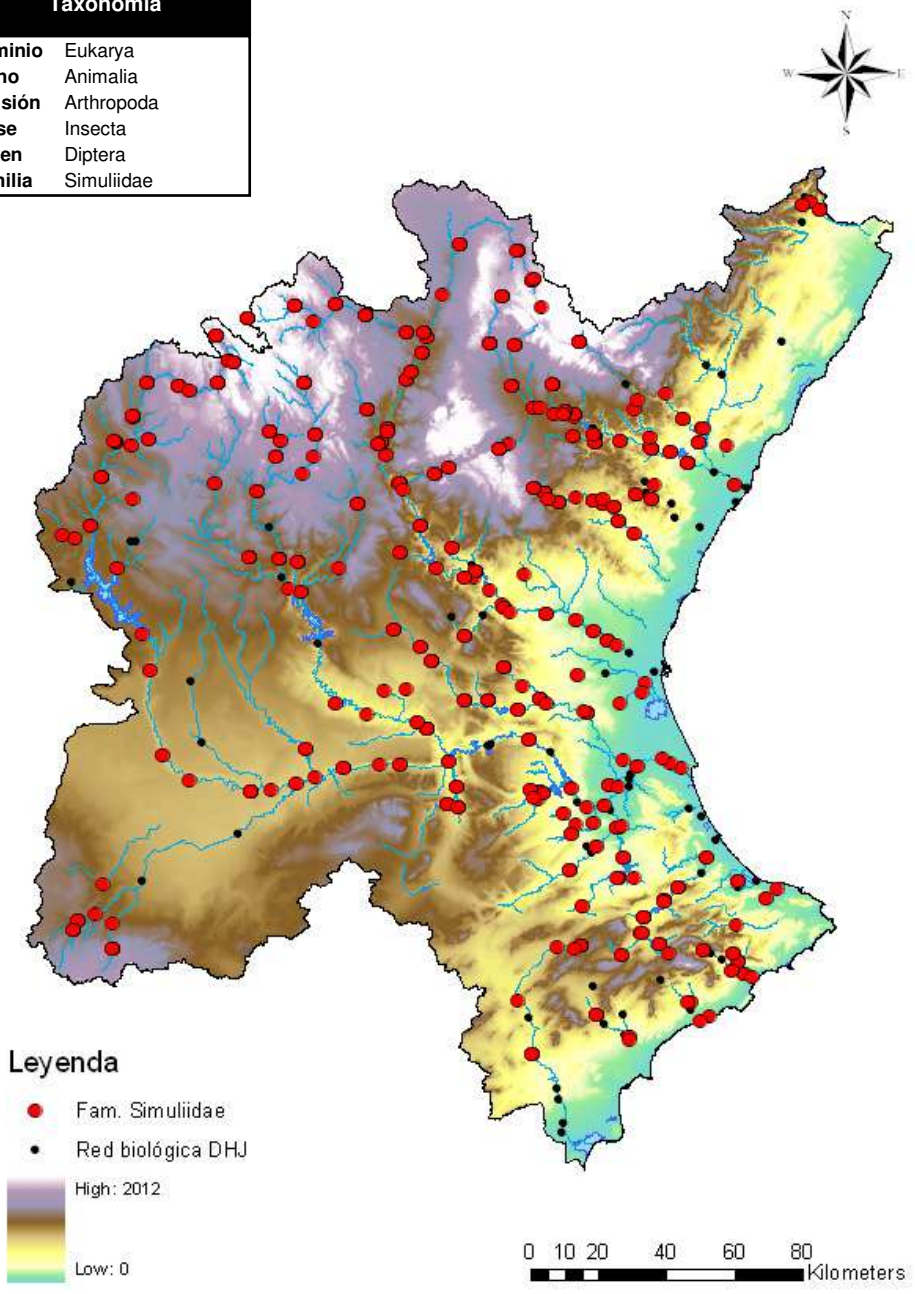


Figura A2-112. Atlas de distribución de la familia Simuliidae la cuenca del Júcar.

A2-7.9.18 Fam. Stratiomyidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Diptera
Familia	Stratiomyidae

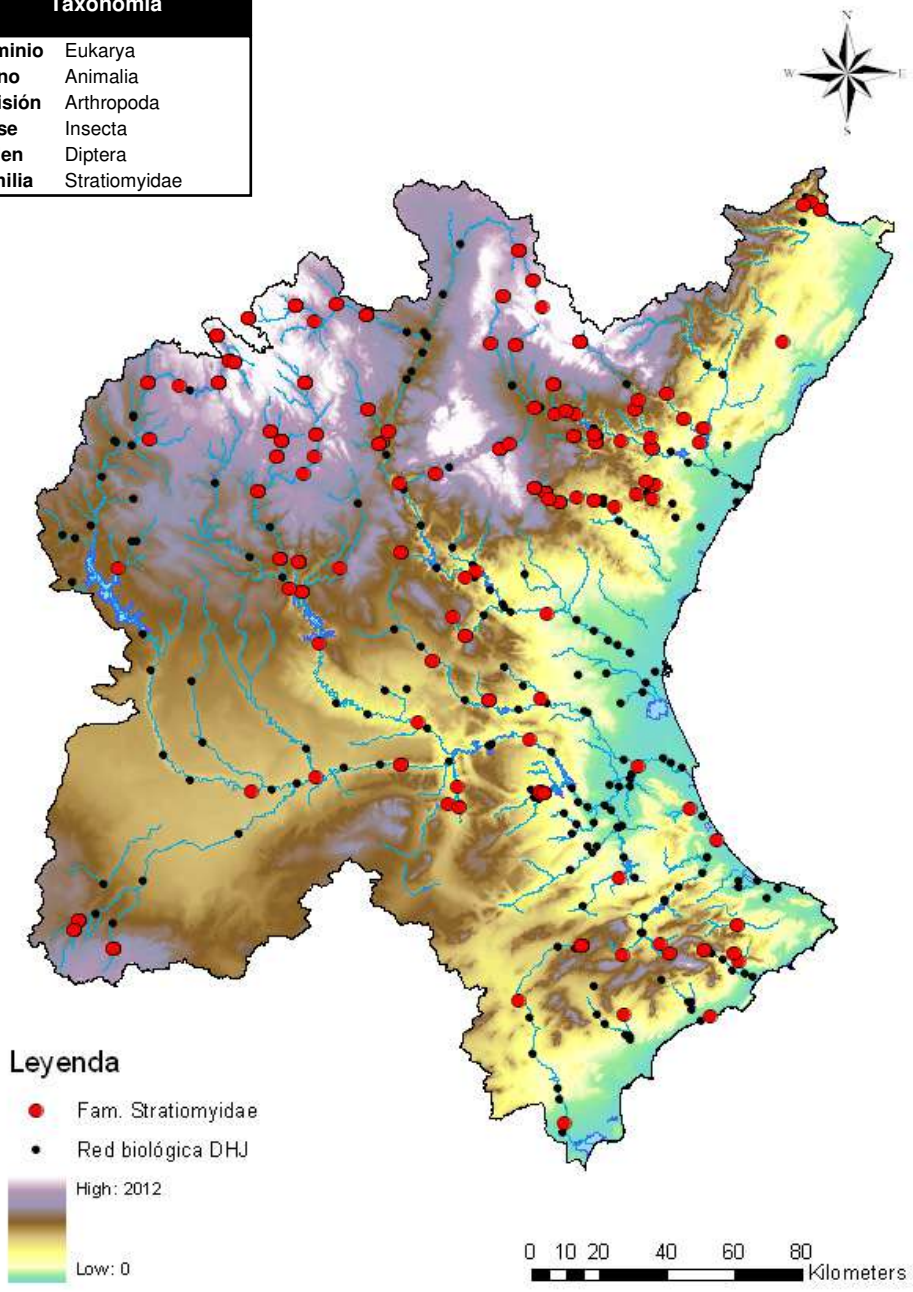


Figura A2-113. Atlas de distribución de la familia Stratiomyidae la cuenca del Júcar.

A2-7.9.19 Fam. Syrphidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Diptera
Familia	Syrphidae

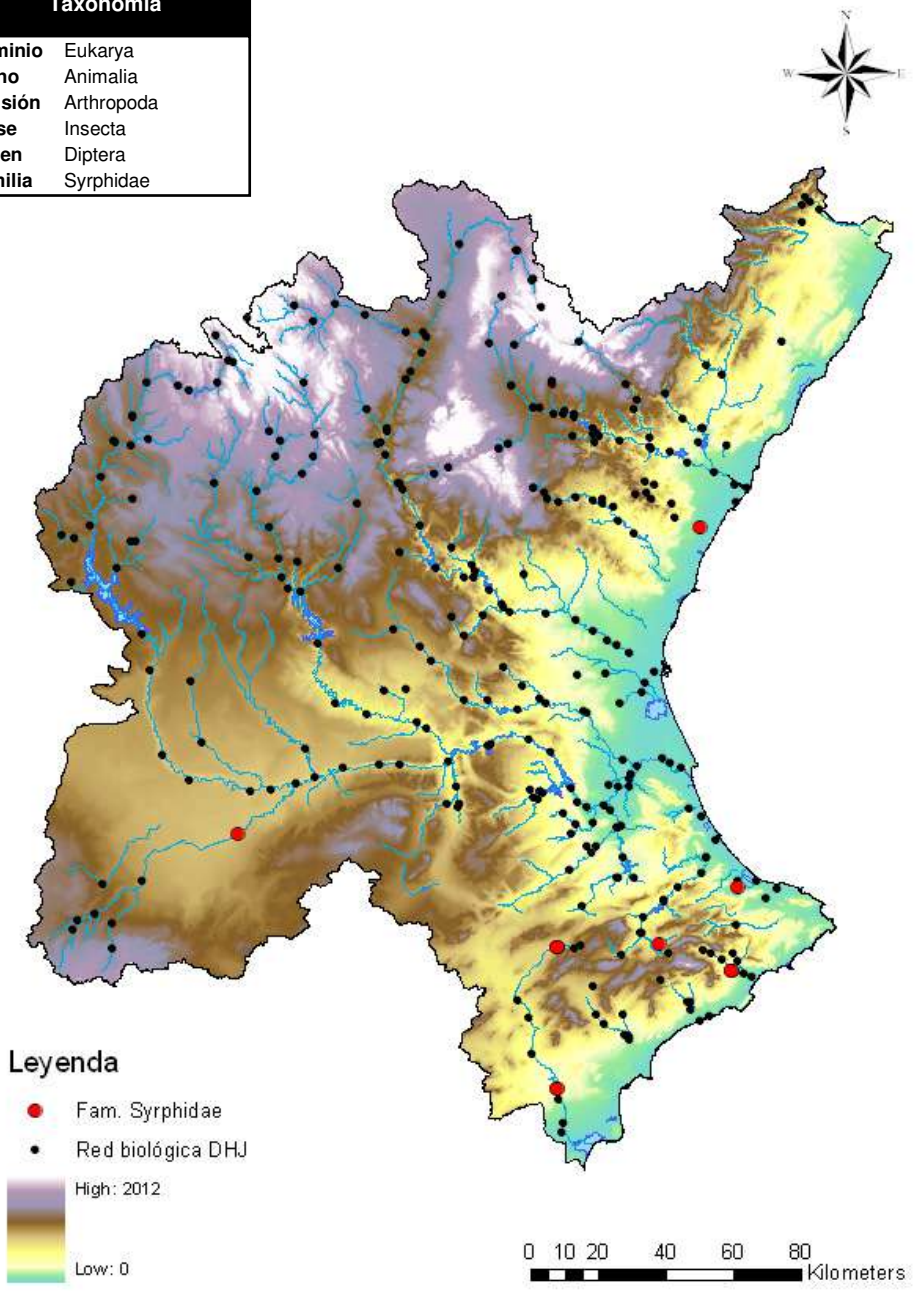


Figura A2-114. Atlas de distribución de la familia Syrphidae la cuenca del Júcar.

A2-7.9.20 Fam. Tabanidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Diptera
Familia	Tabanidae

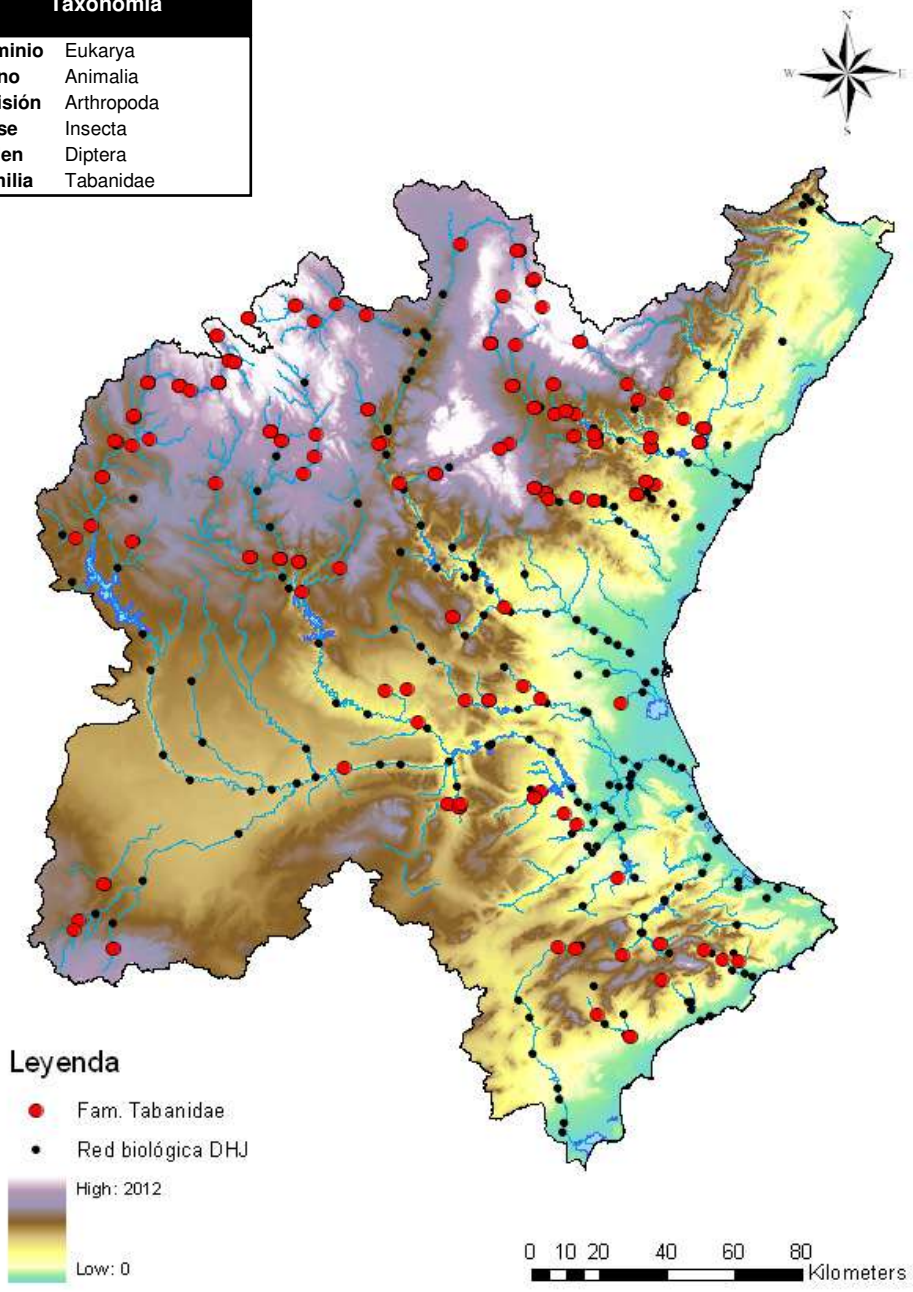


Figura A2-115. Atlas de distribución de la familia Tabanidae la cuenca del Júcar.

A2-7.9.21 Fam. Tipulidae

Taxonomía	
Dominio	Eukarya
Reino	Animalia
División	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Diptera
Familia	Tipulidae

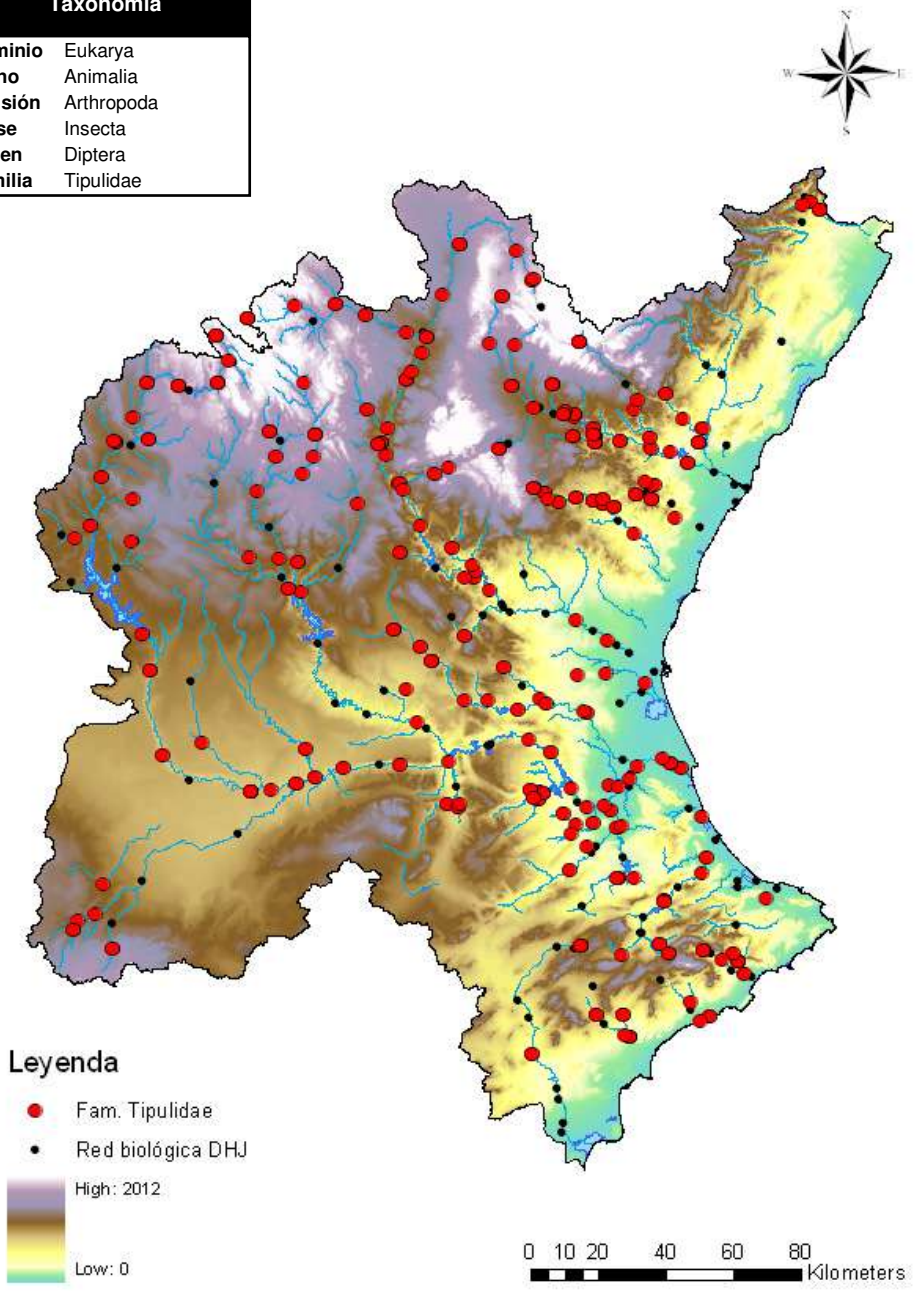


Figura A2-116. Atlas de distribución de la familia Tipulidae la cuenca del Júcar

A3- ANEXO III. ÓPTIMOS ECOLÓGICOS DE TAXONES (FAMILIAS) DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN LA CUENCA DEL JÚCAR PARA CADA VARIABLE

A3-1 ALCALINIDAD TOTAL

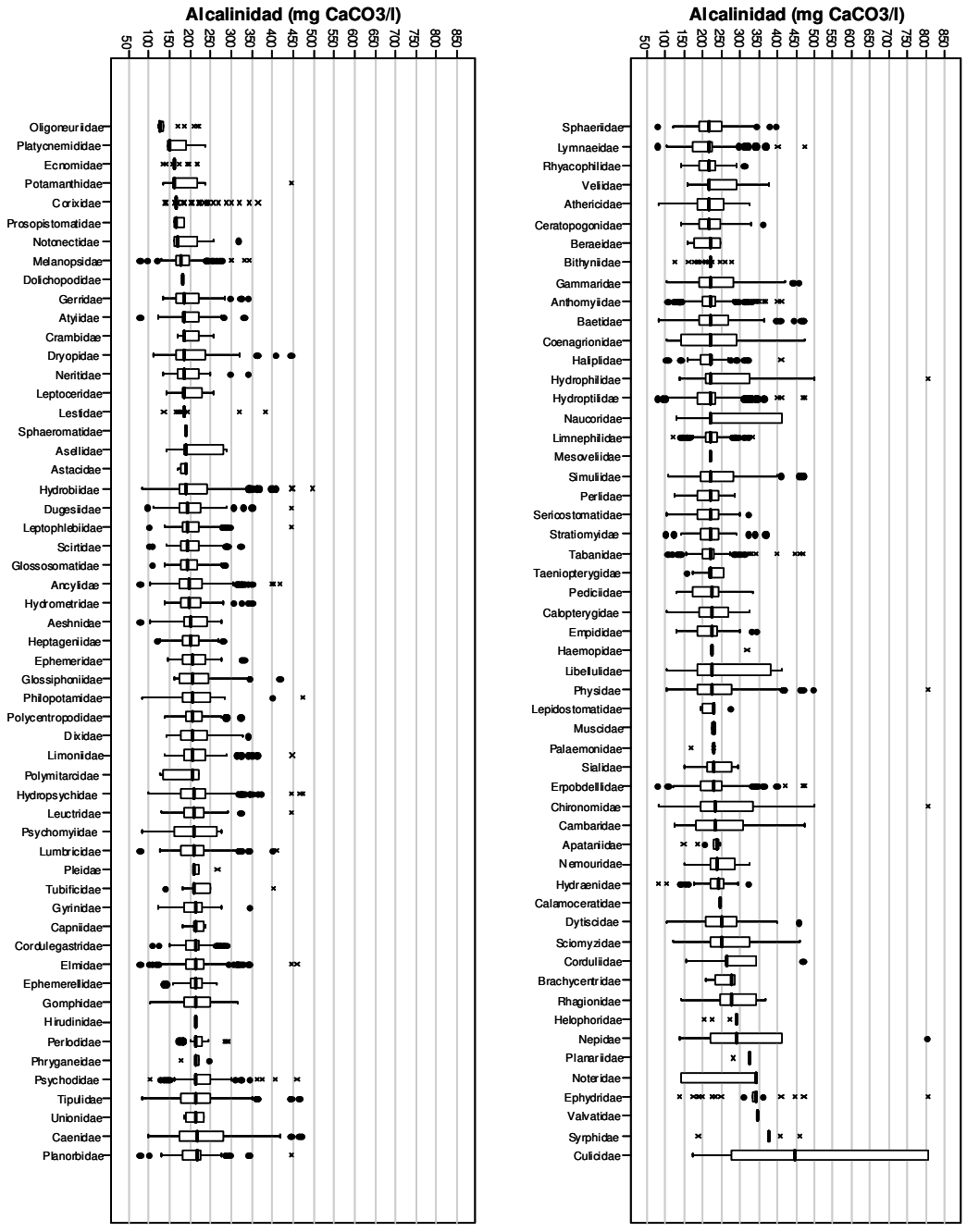


Figura A3-1. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable Alcalinidad total.

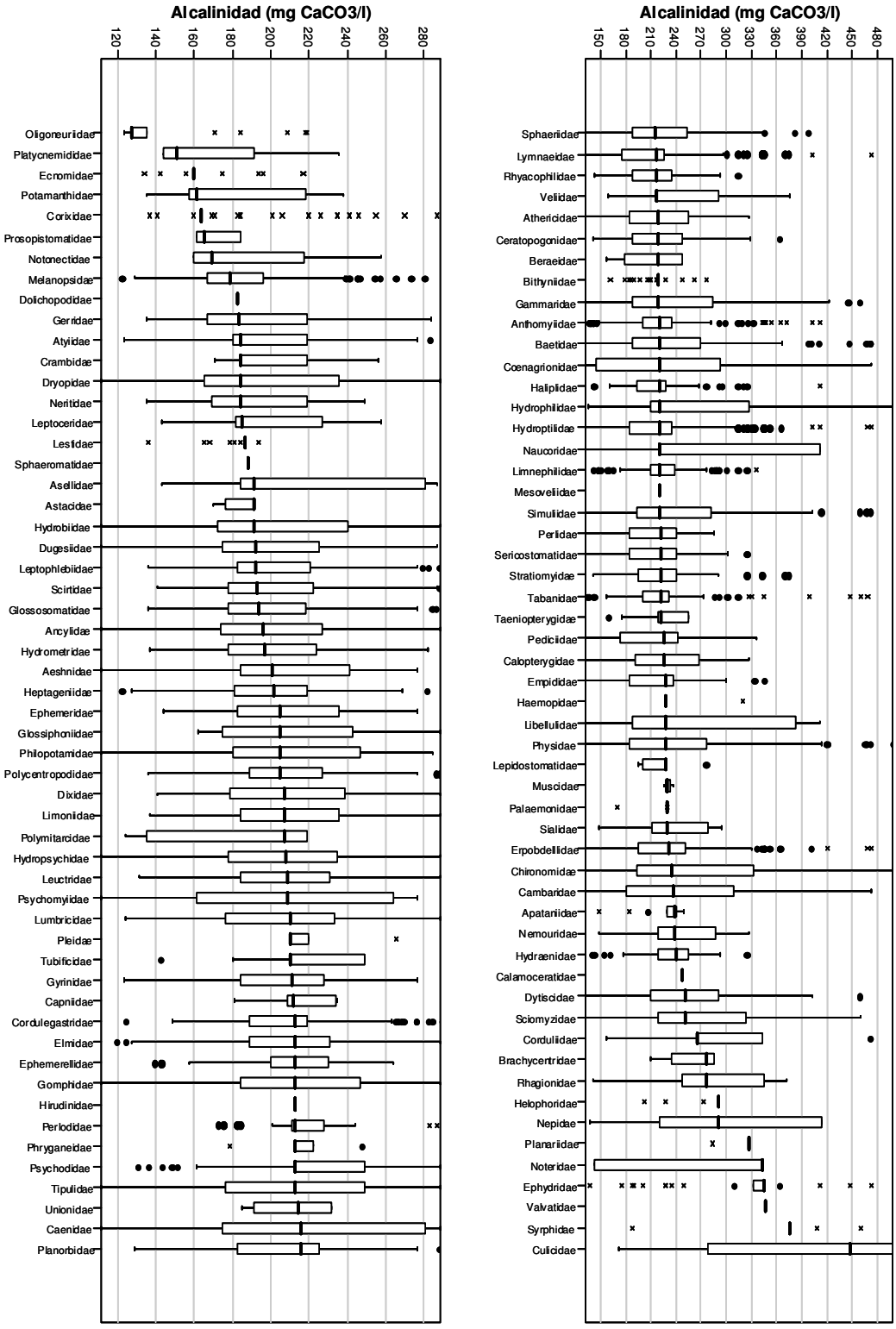


Figura A3-2. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable Alcalinidad total, recortados.

A3-2 ALTITUD

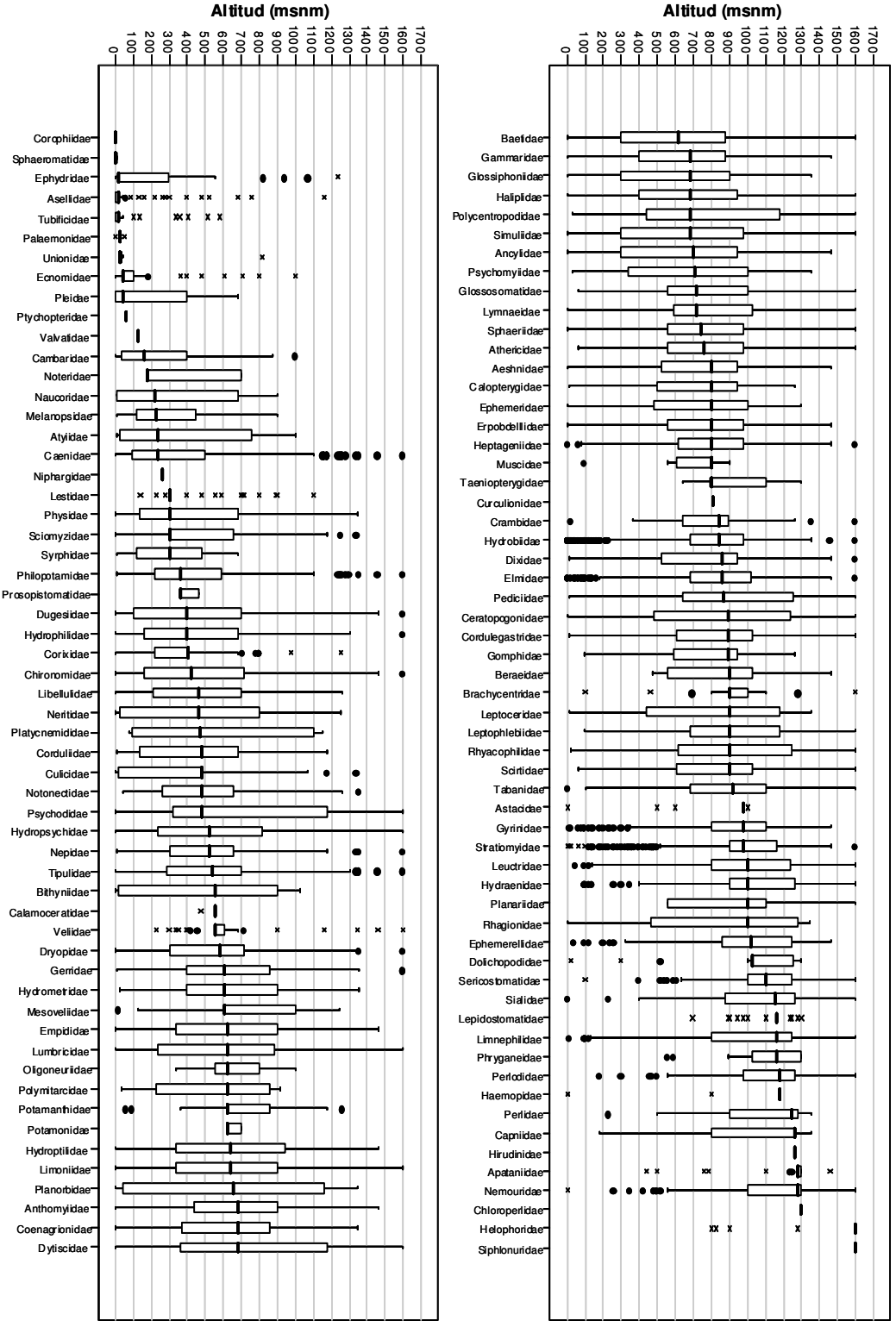


Figura A3-3. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable Altitud

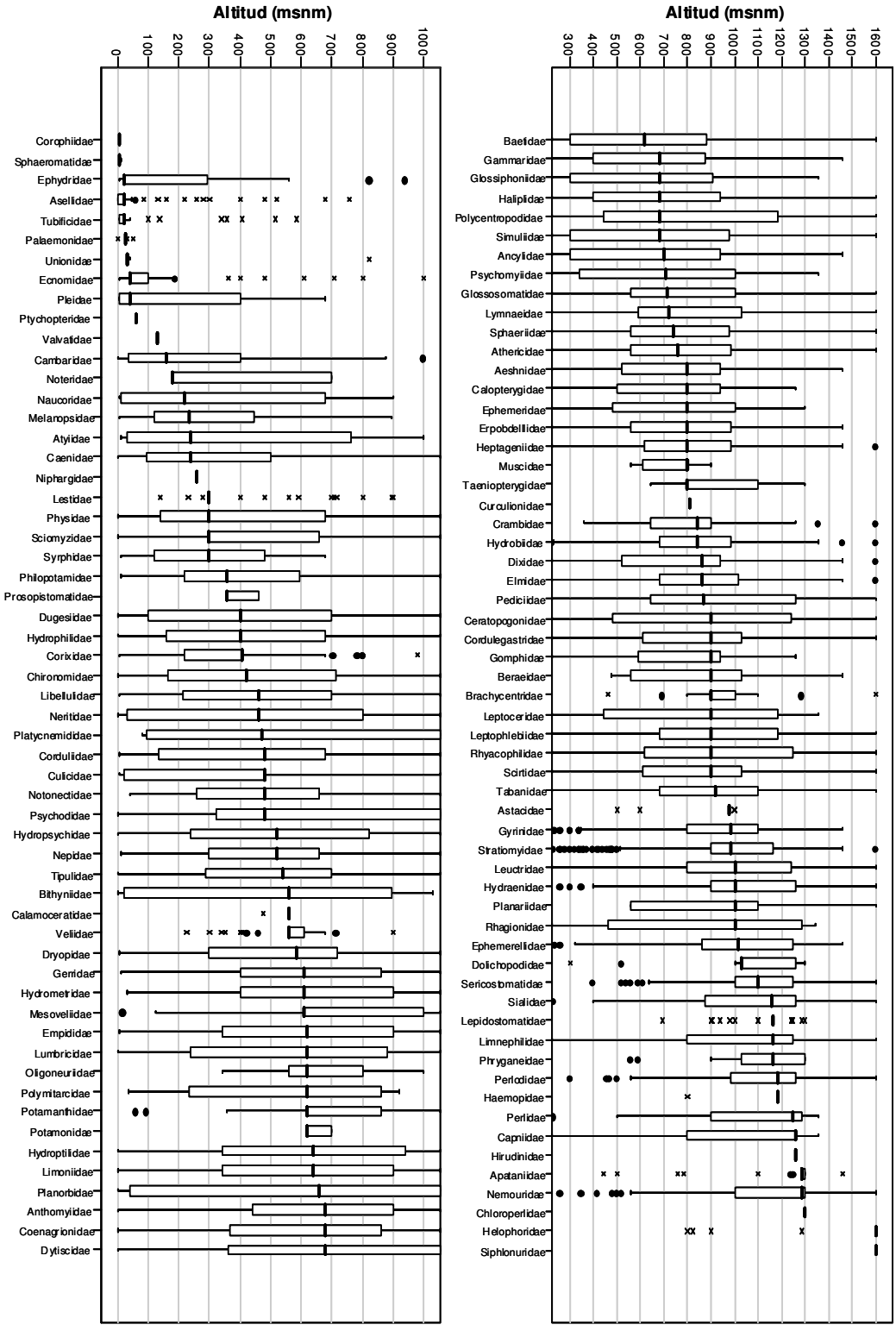


Figura A3-4 Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable Altitud, recortados

A3-3 AMONIO

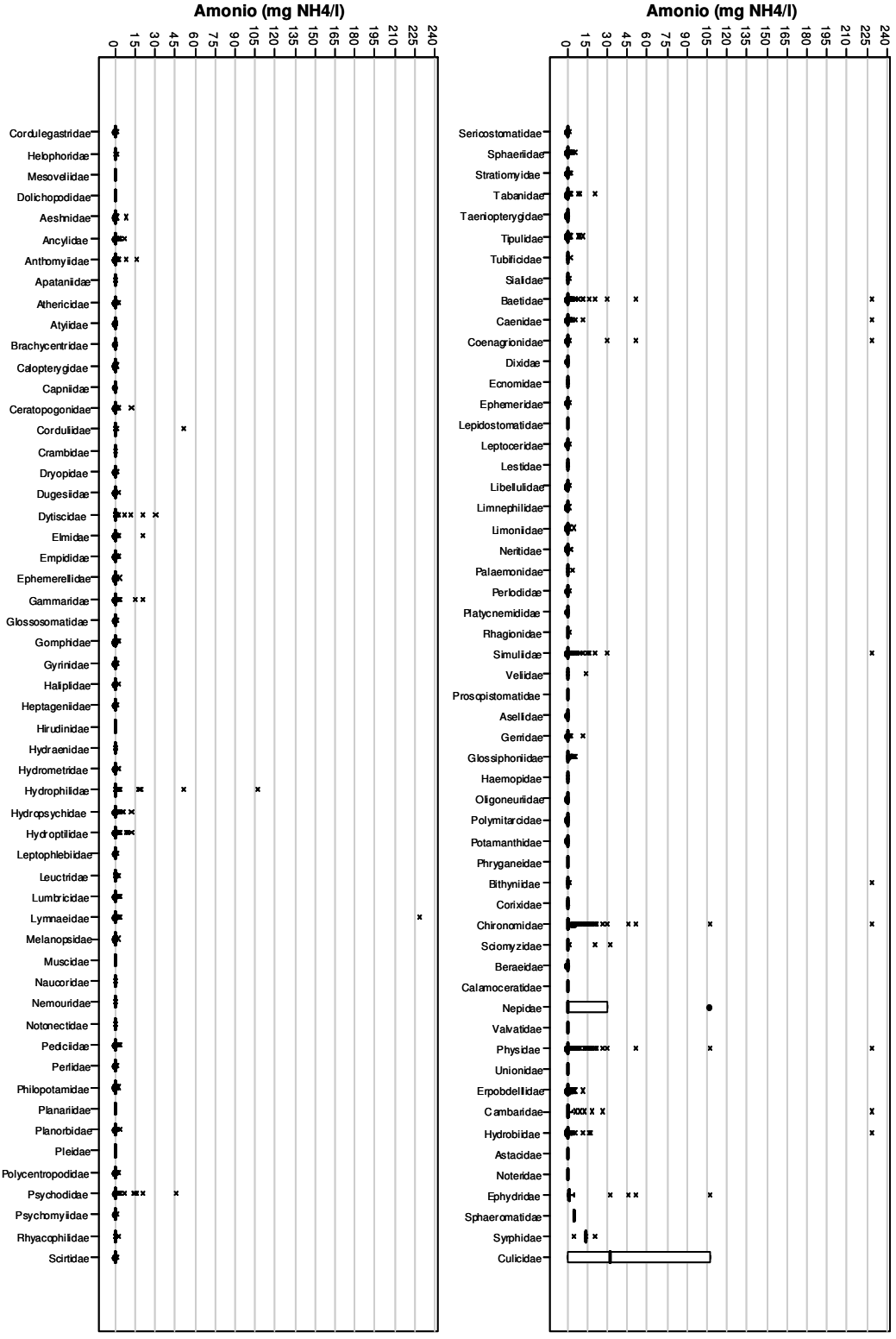


Figura A3-5. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable Amonio

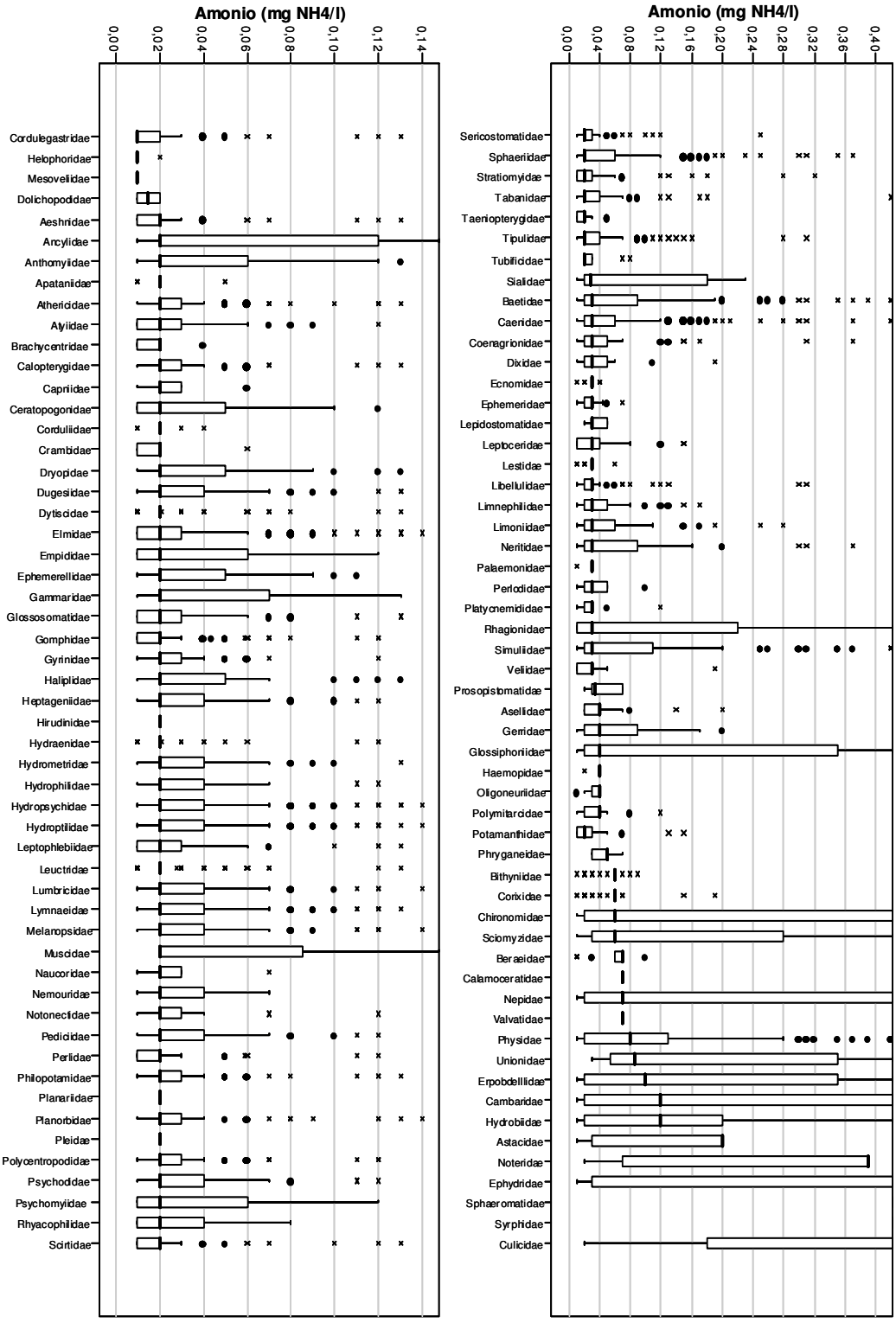


Figura A3-6. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable Amonio, recortados

A3-4 ANCHURA MEDIA

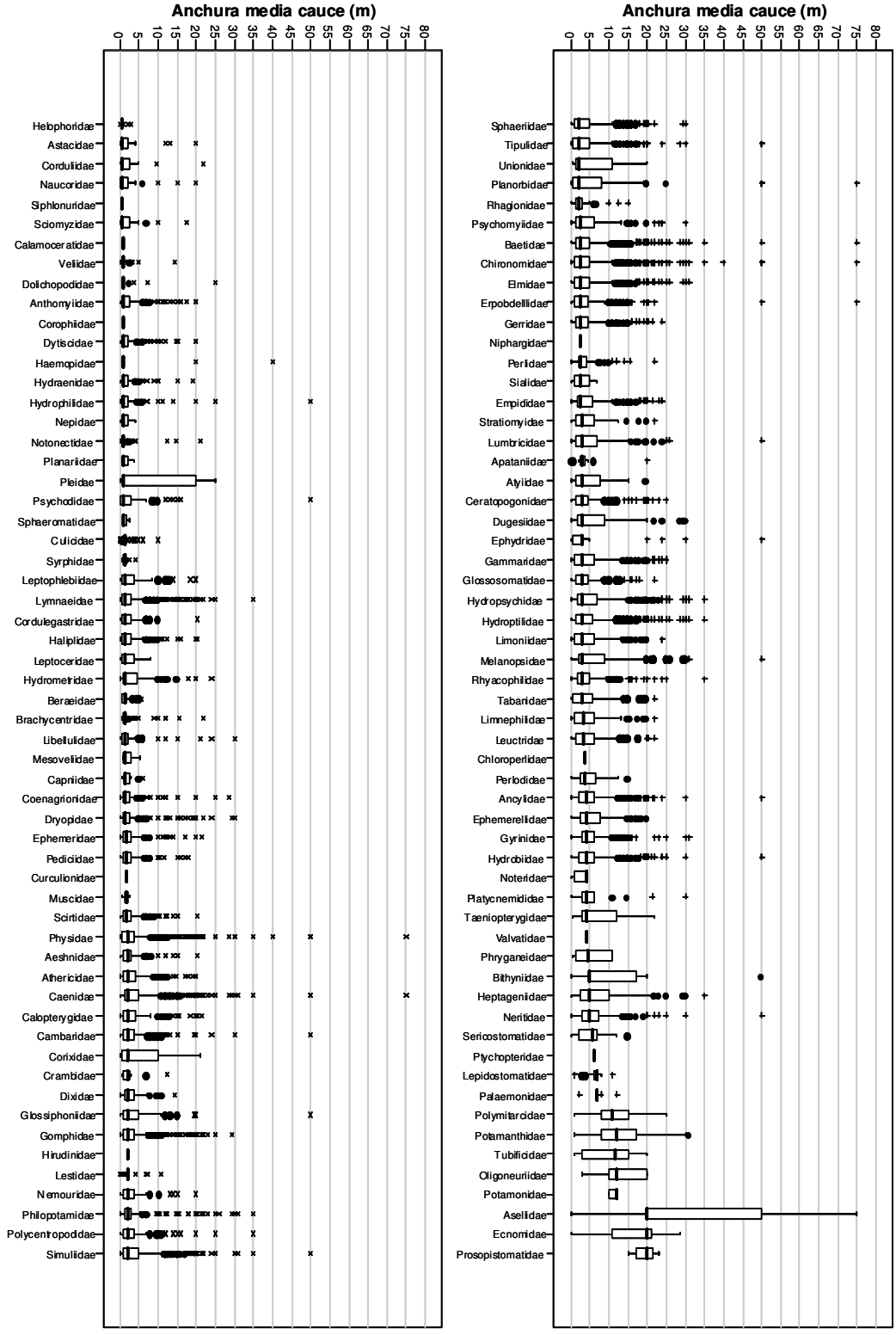


Figura A3-7. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable Anchura media

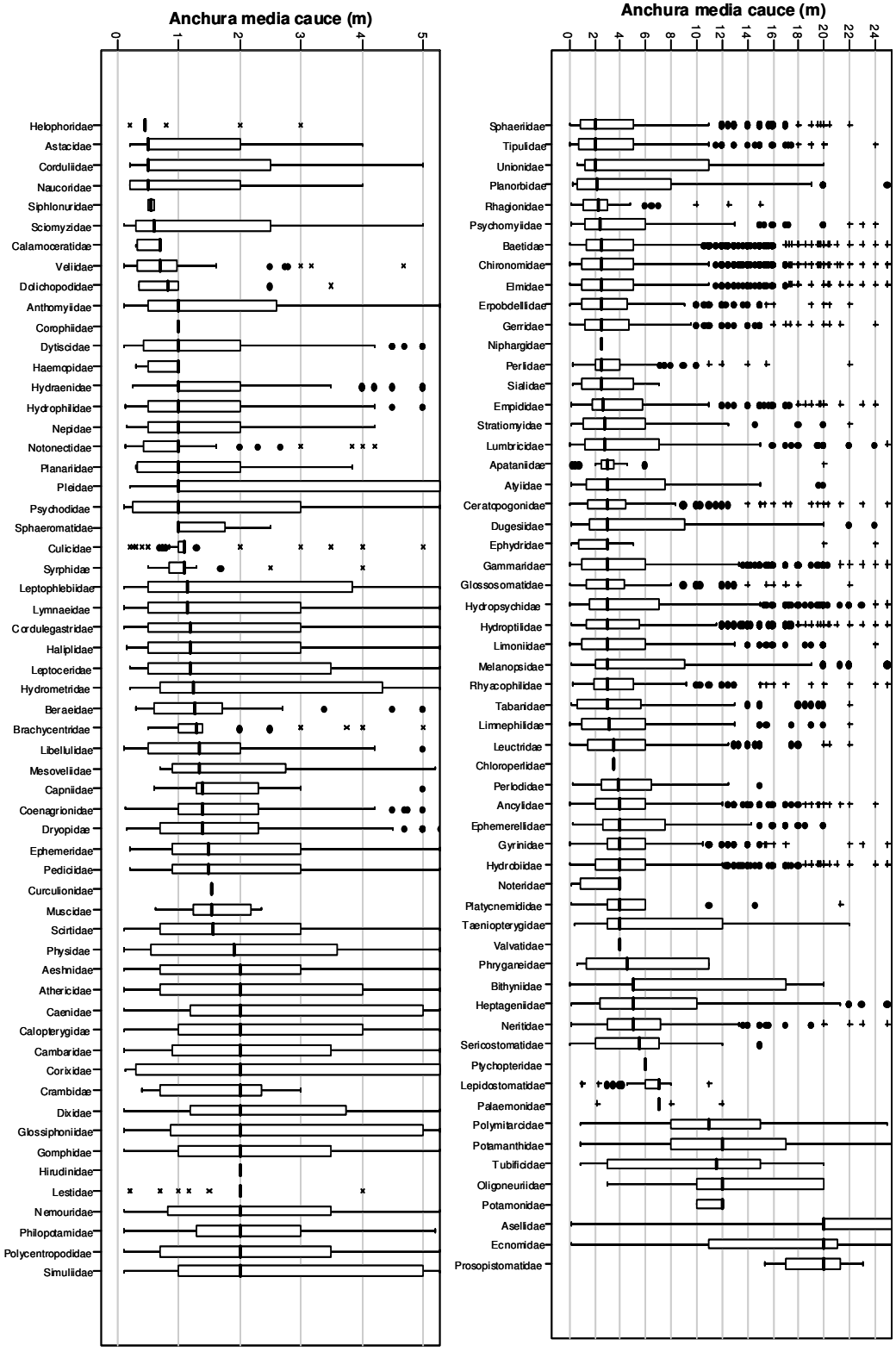


Figura A3-8. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable Anchura media, recortados

A3-5 ÁREA

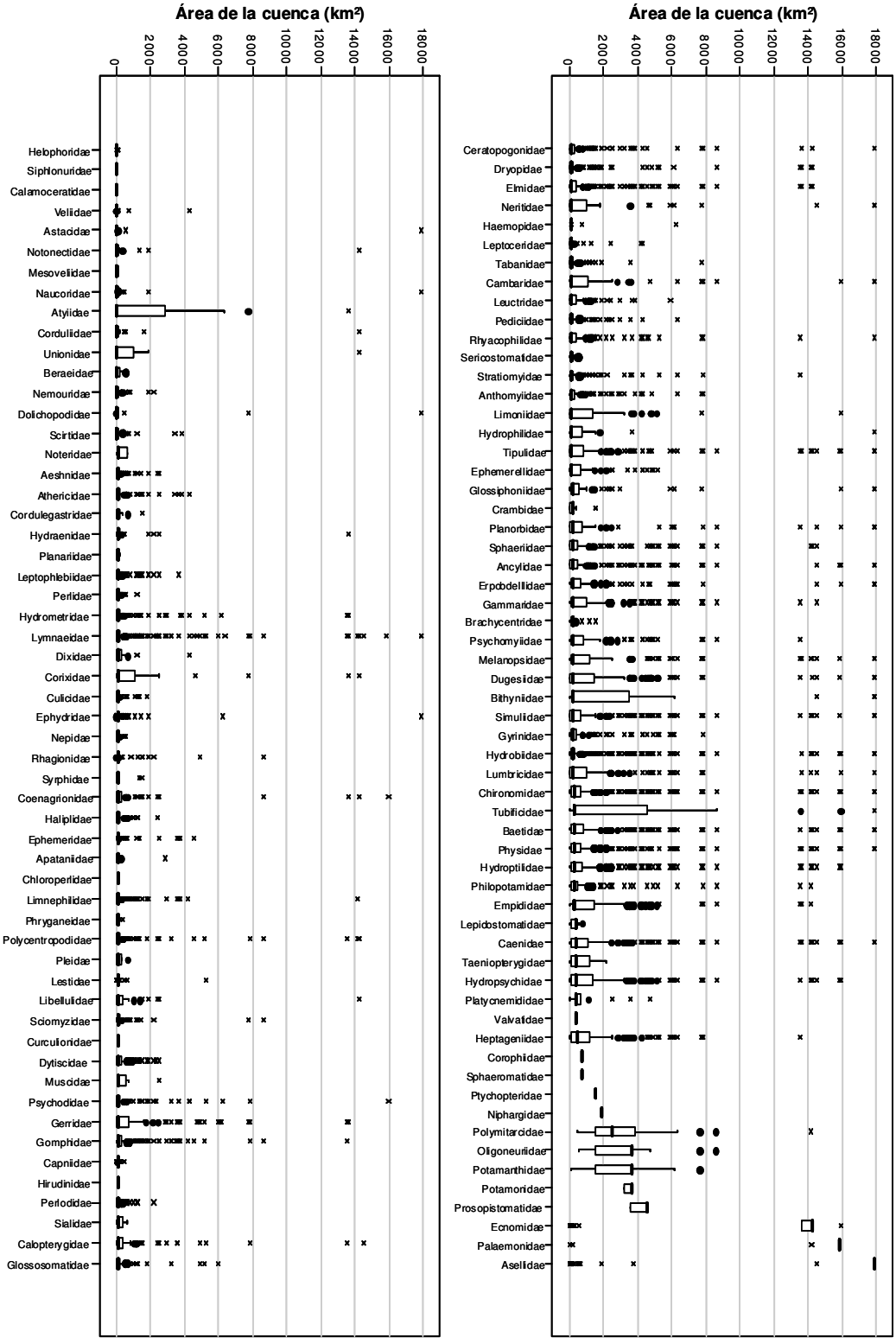


Figura A3-9. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable Área

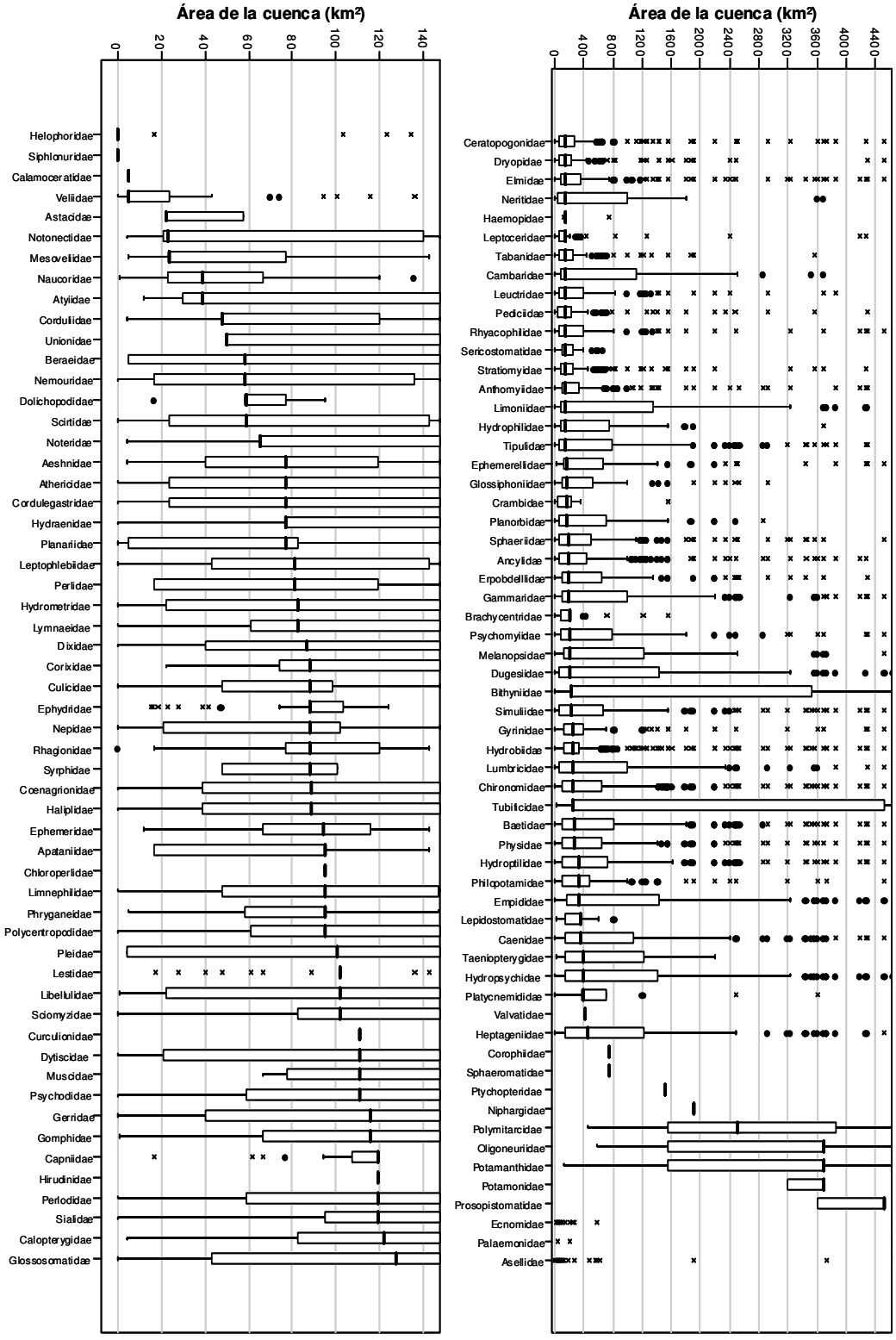


Figura A3-10. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable Área, recortados

A3-6 CAUDAL

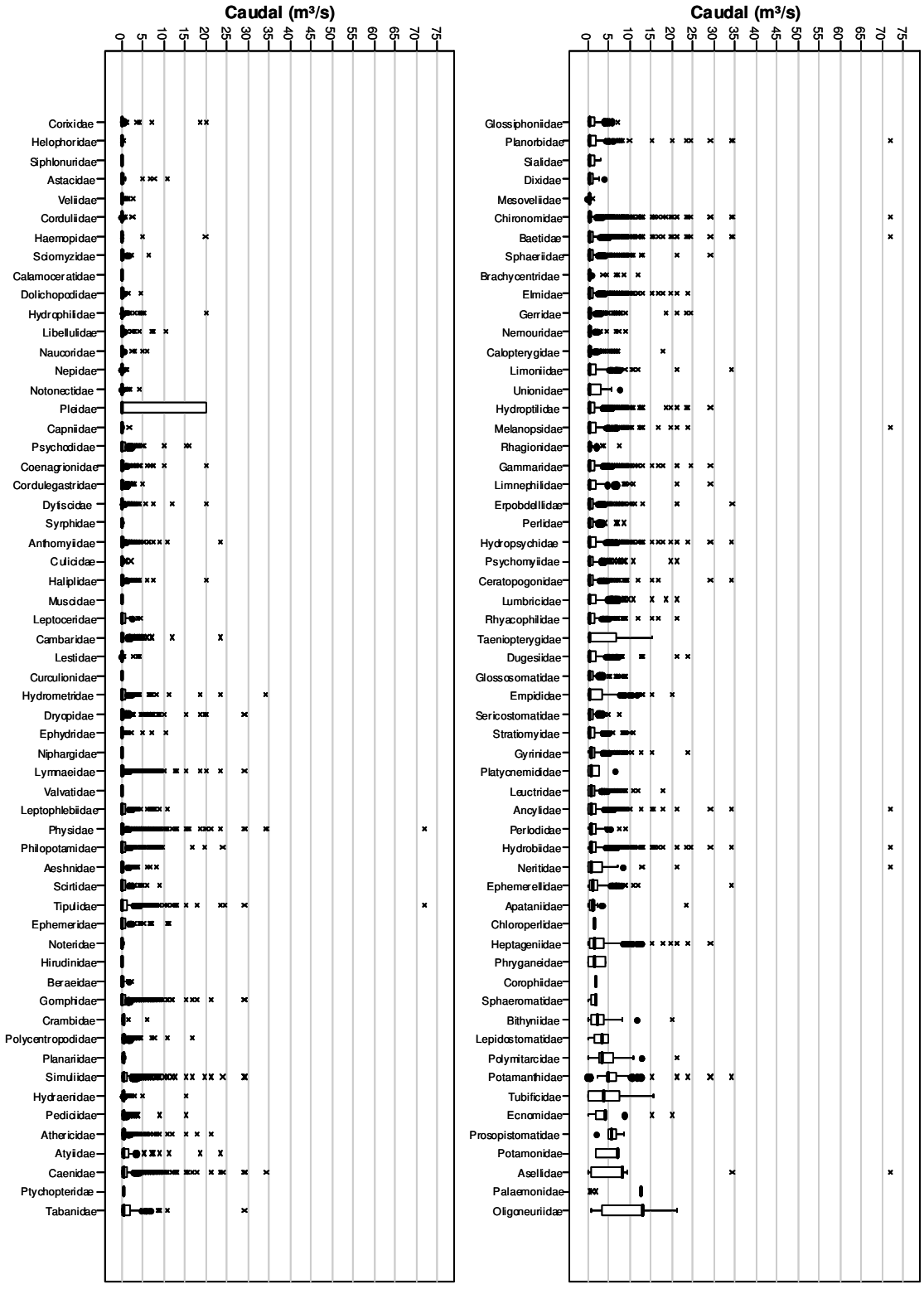


Figura A3-11. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable Caudal

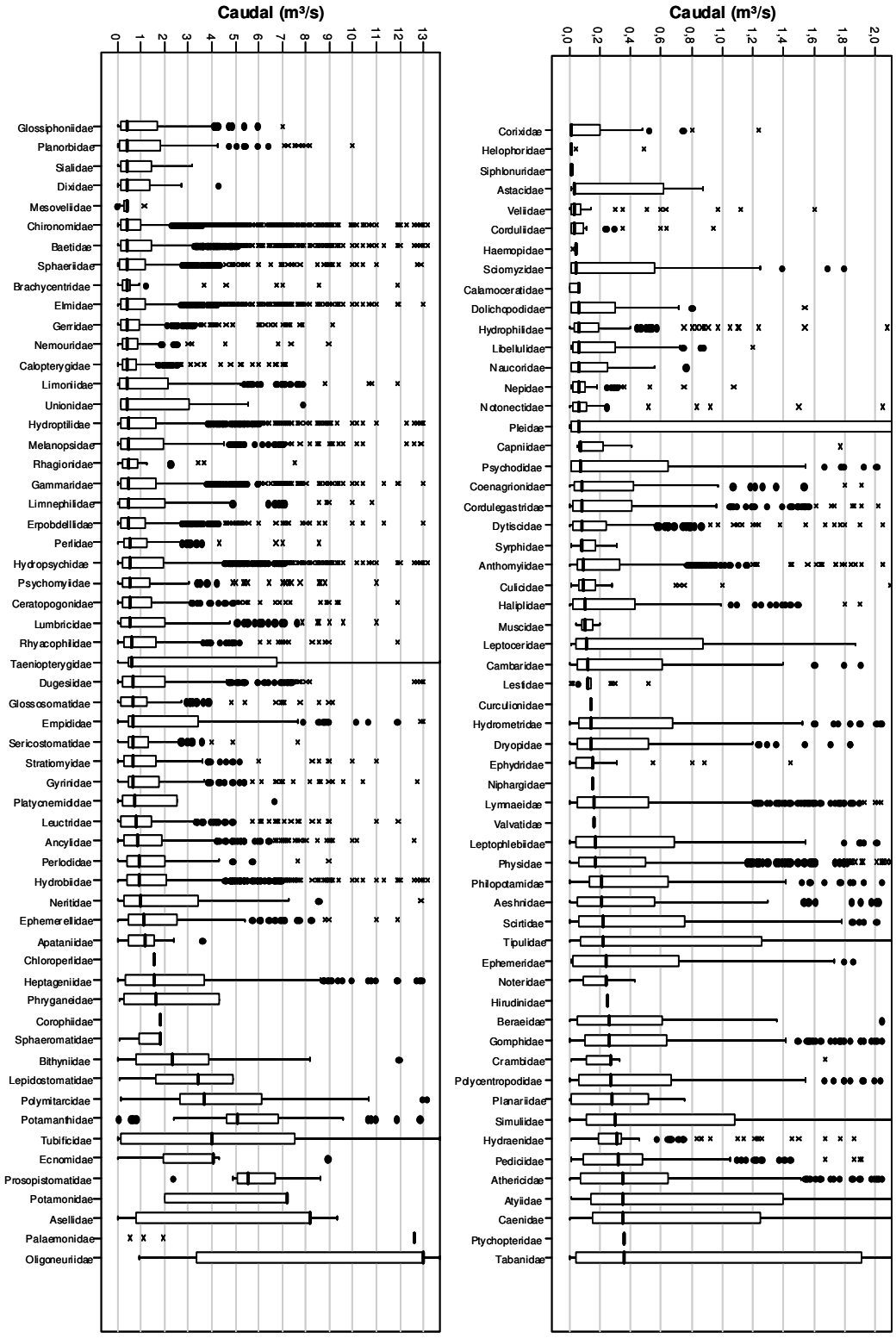


Figura A3-12. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable Caudal, recortados

A3-7 CONDUCTIVIDAD

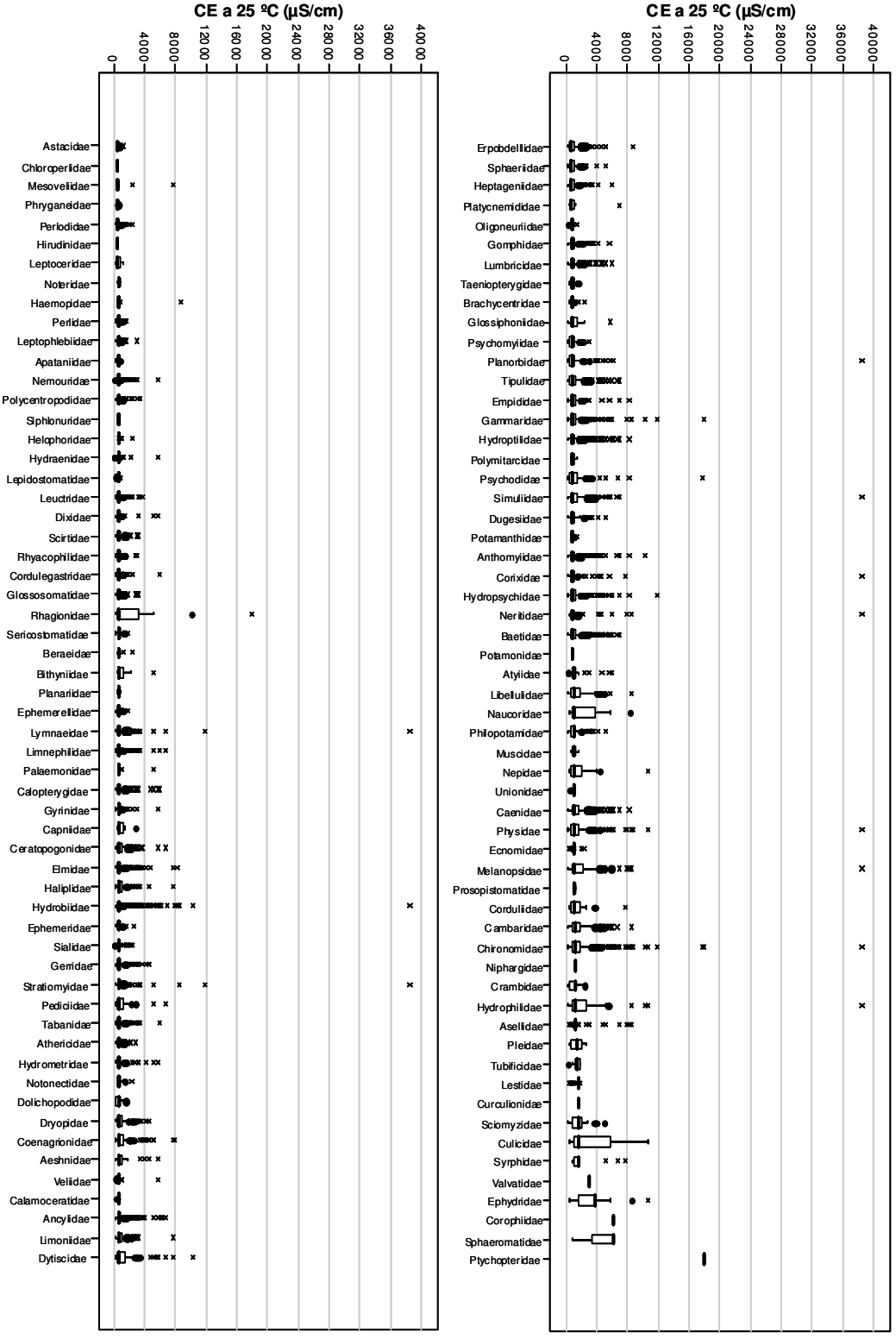


Figura A3-13. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable Conductividad

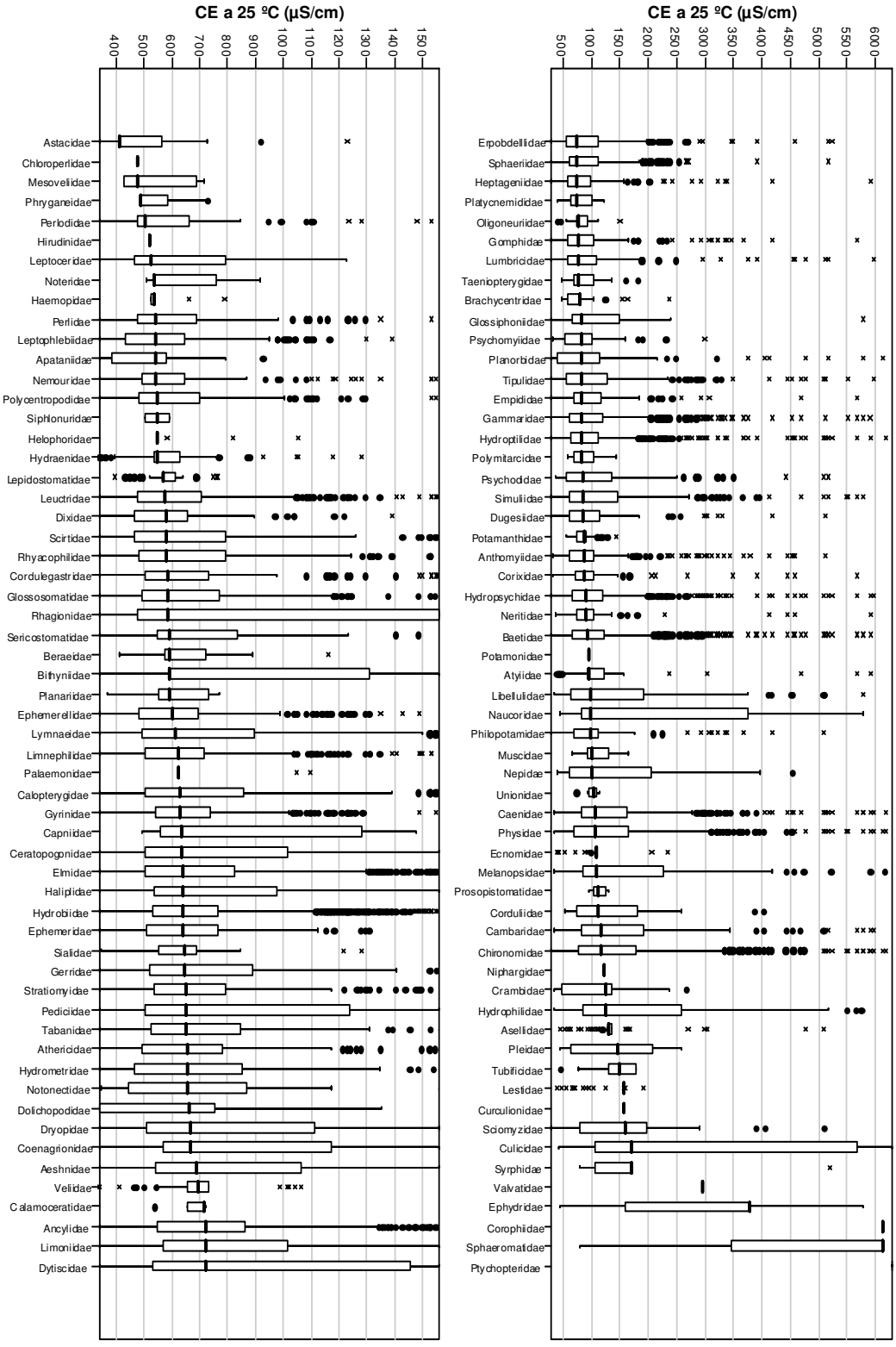


Figura A3-14. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable Conductividad, recortados

A3-8 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DBO_5)

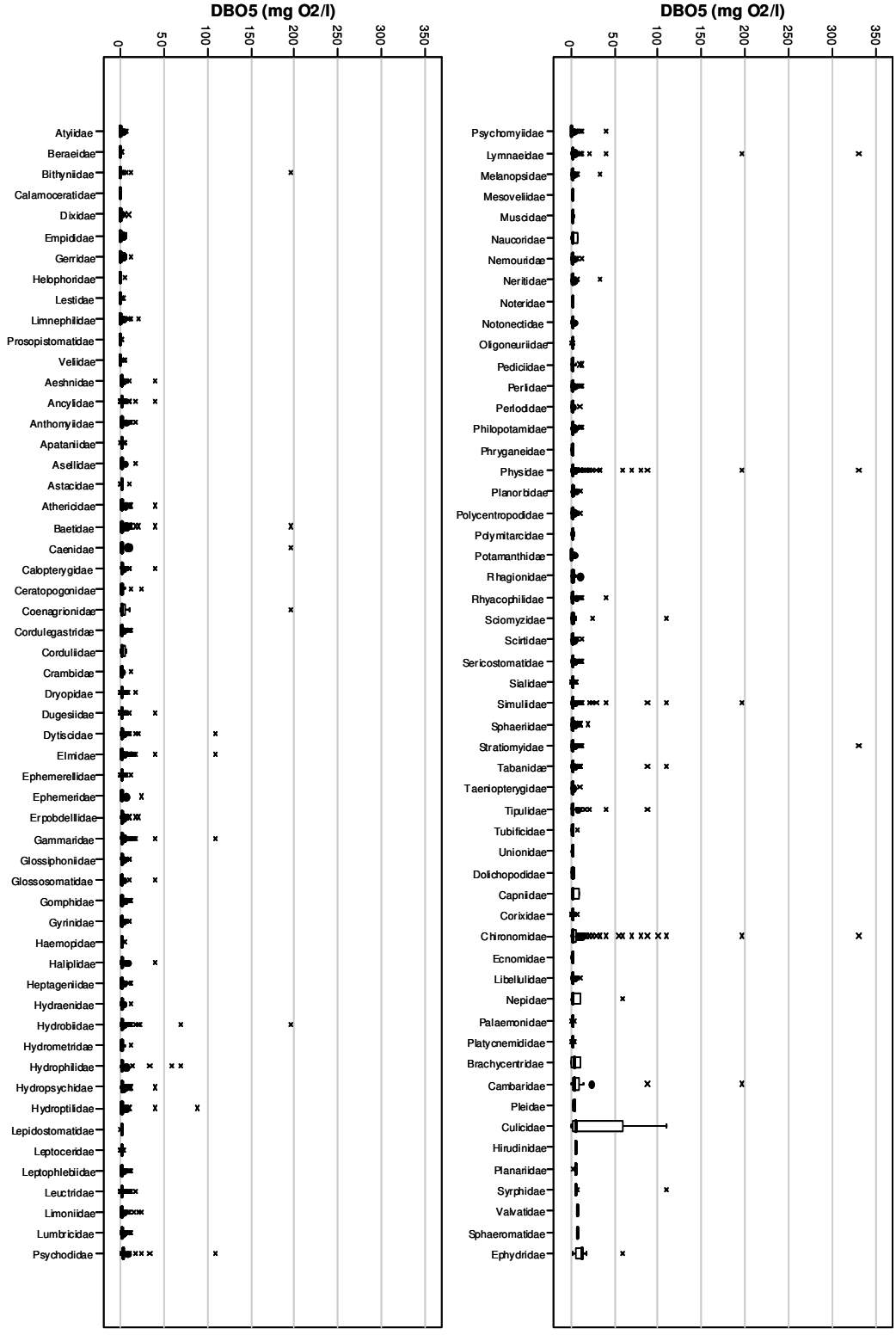


Figura A3-15. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable DBO_5

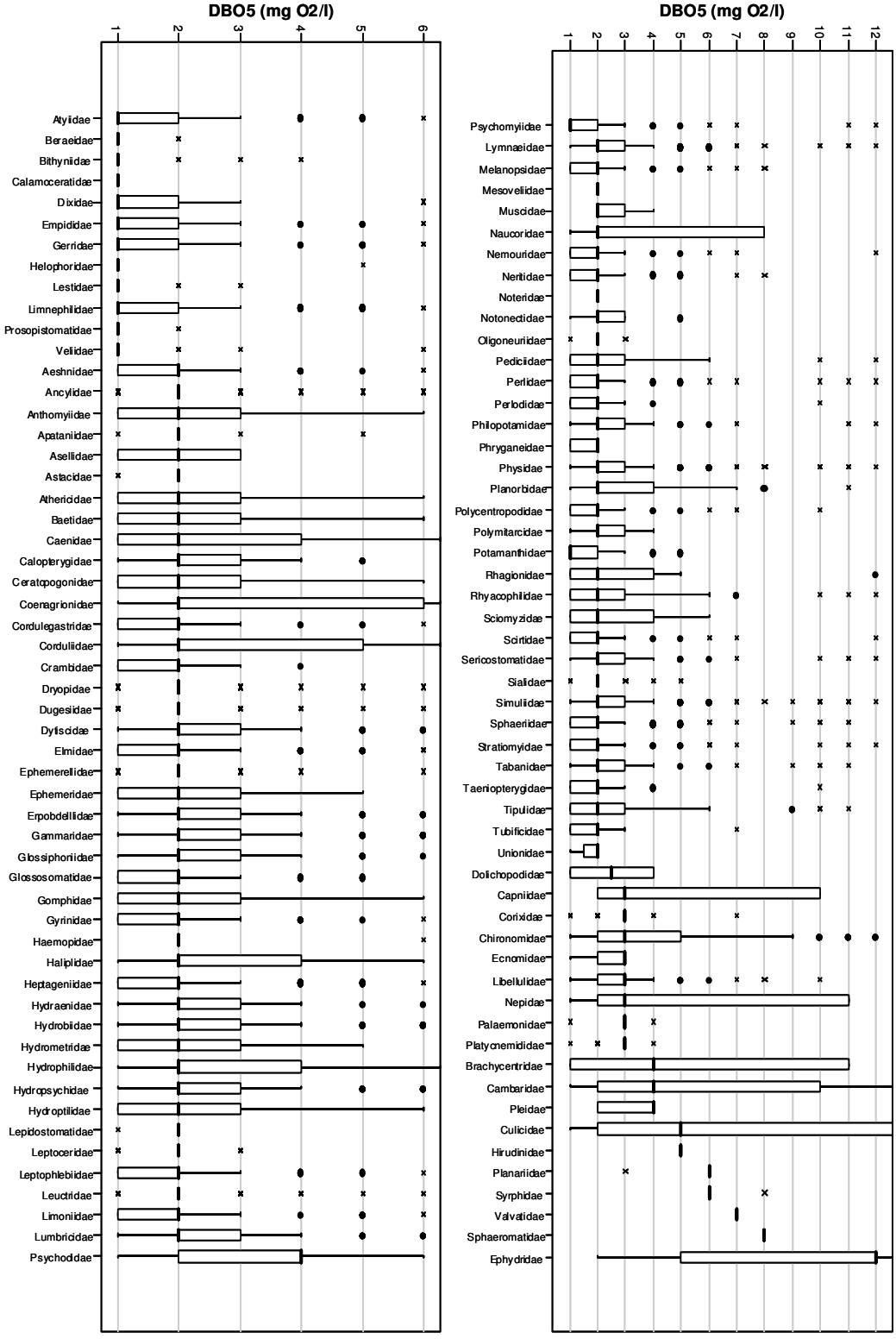


Figura A3-16. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable DBO_5, recortados

A3-9 NÚMERO DE DÍAS CON CAUDAL CERO

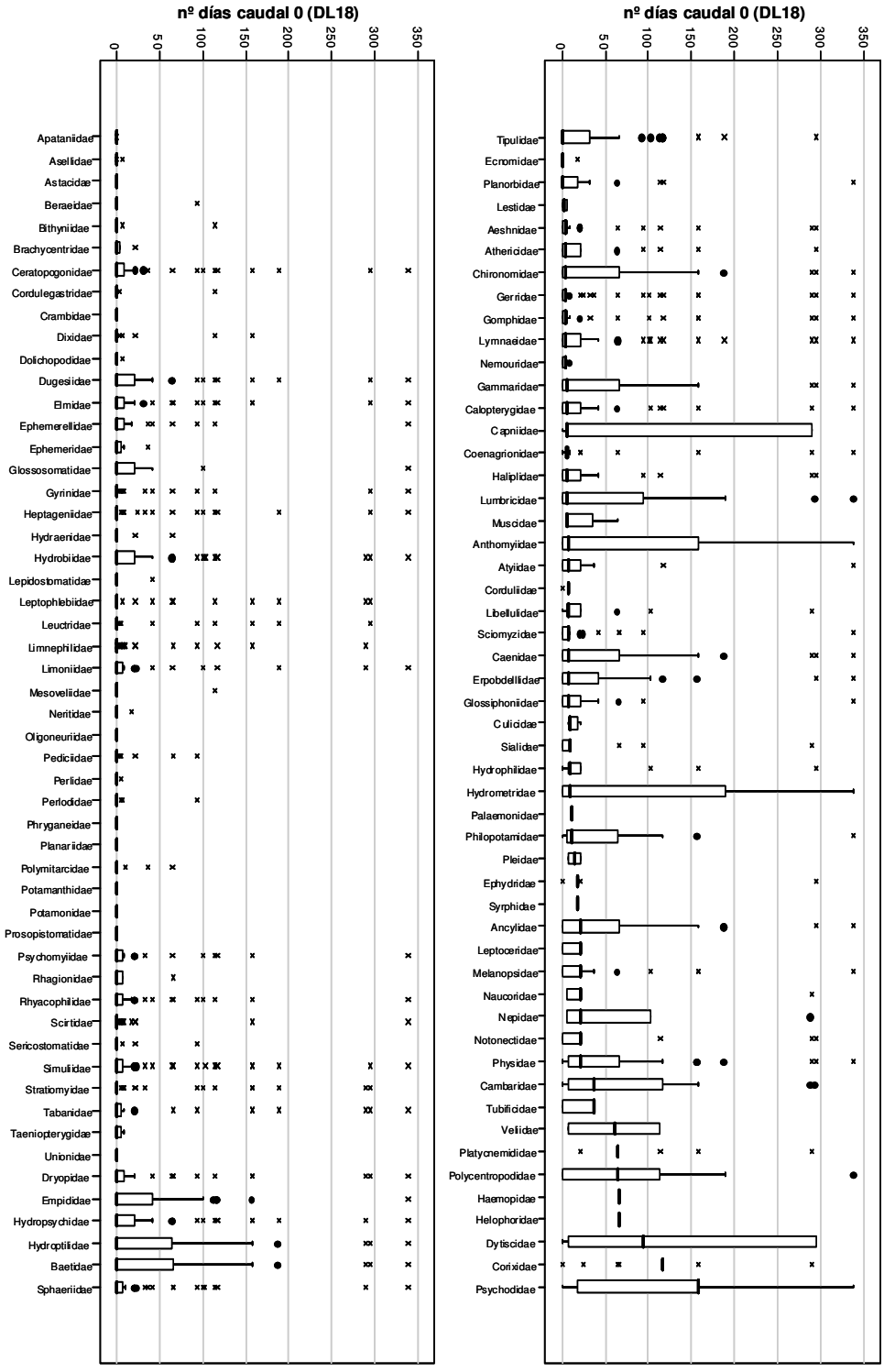


Figura A3-17. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable Número de días con caudal cero

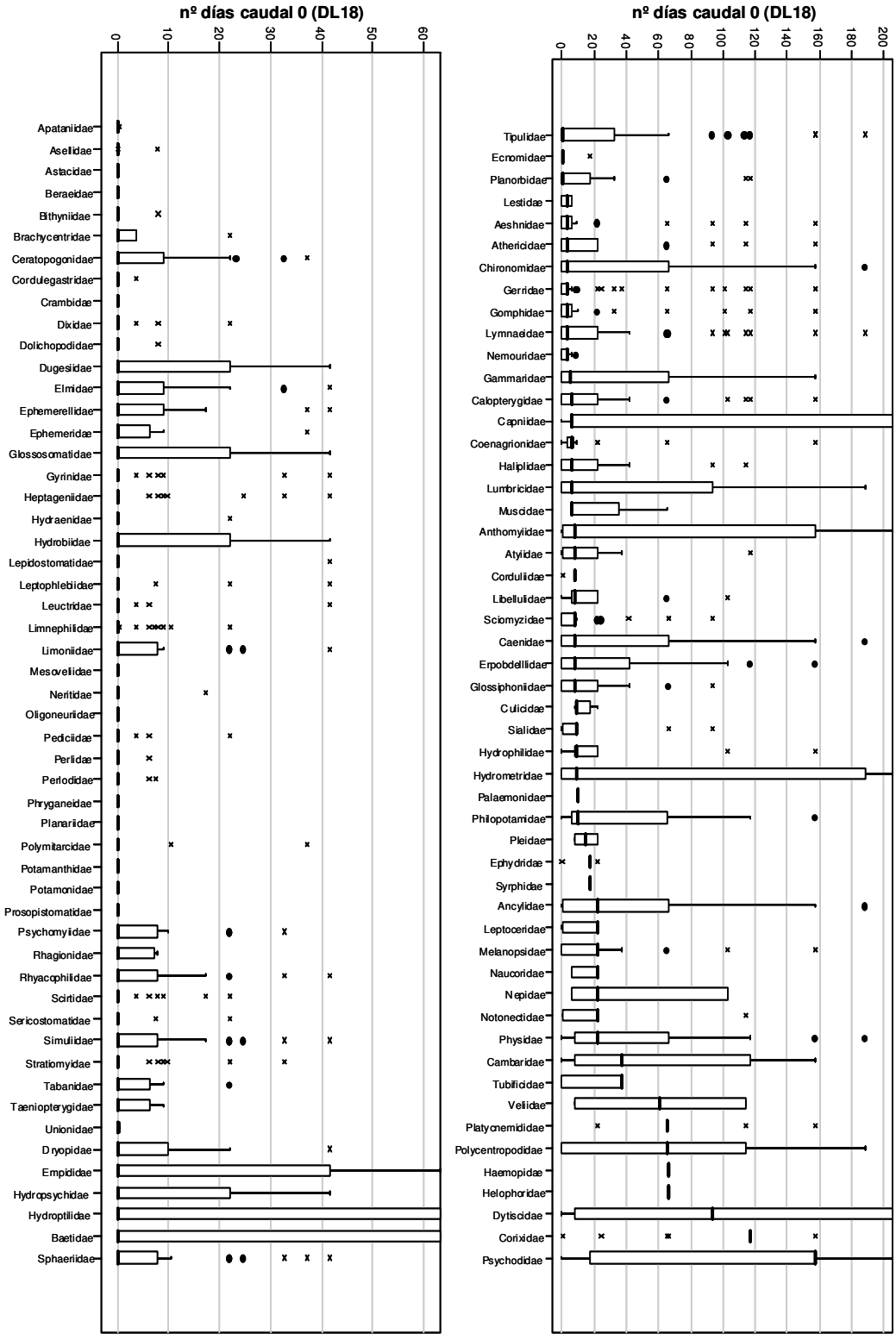


Figura A3-18. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable Número de días con caudal cero, recortados

A3-10 DISTANCIA A LA DIVISORIA DE AGUAS

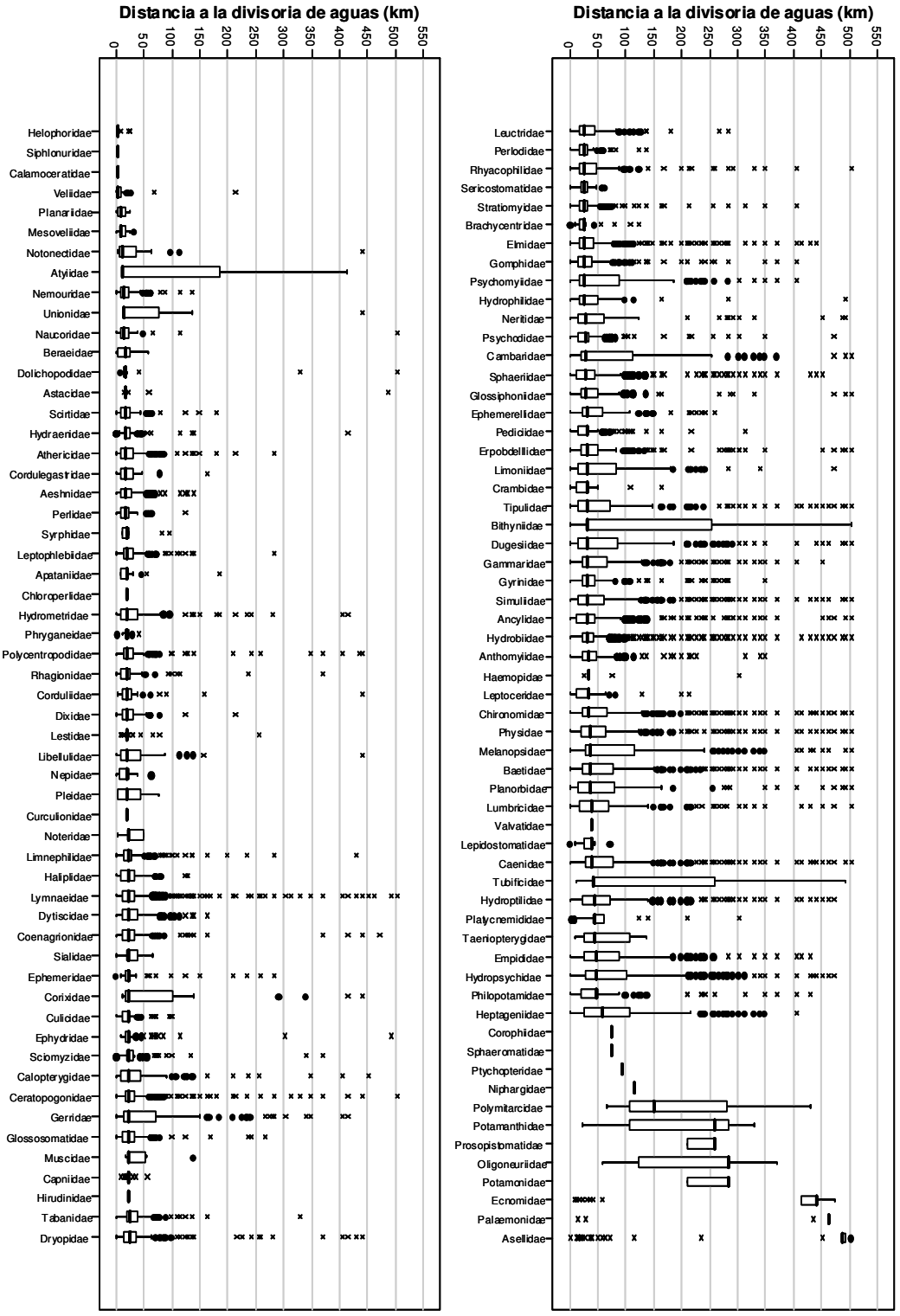


Figura A3-19. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable Distancia a la divisoria de aguas

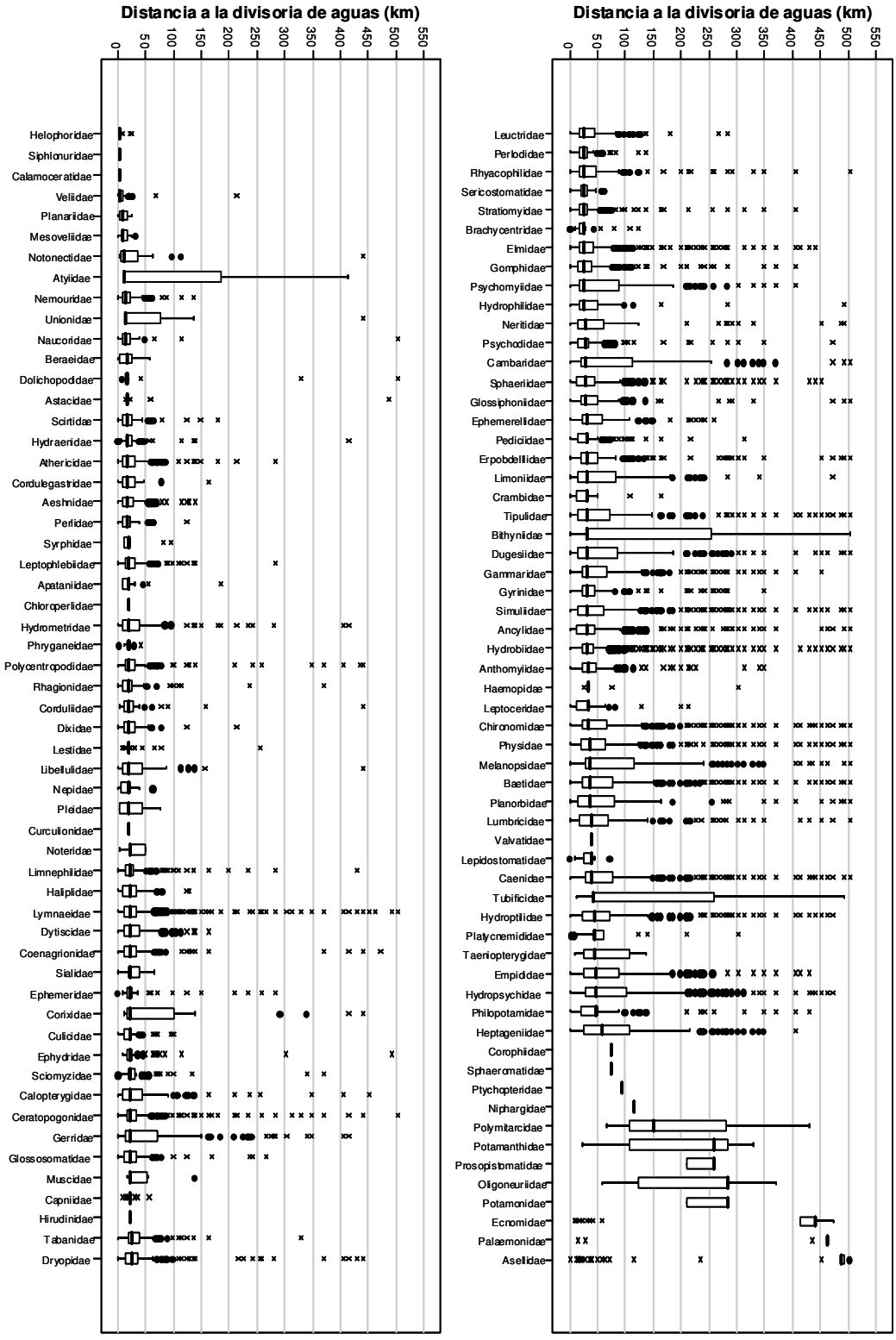


Figura A3-20. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable Distancia a la divisoria de aguas, recortados

A3-11 FOSFATOS

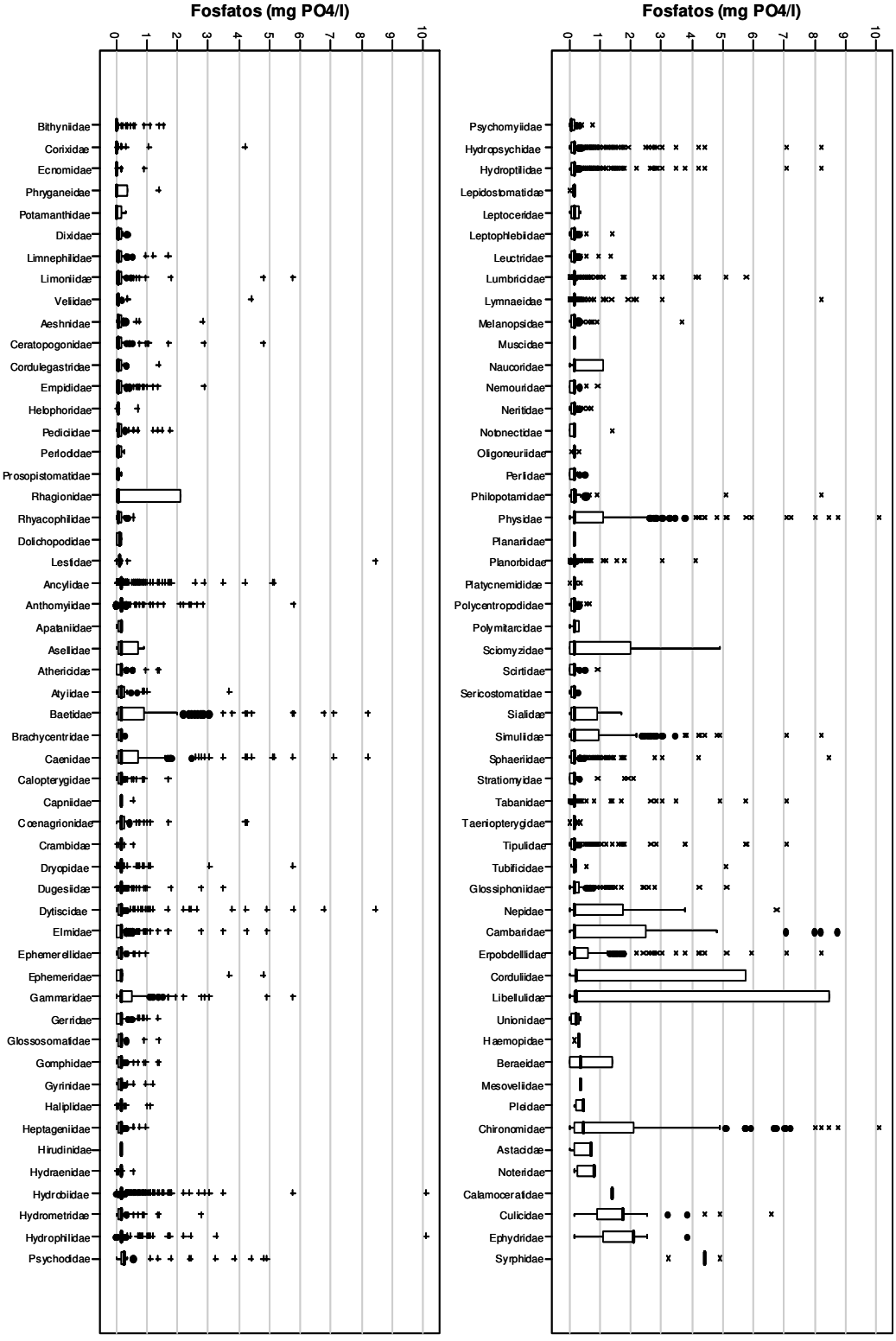


Figura A3-21. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable Fosfatos

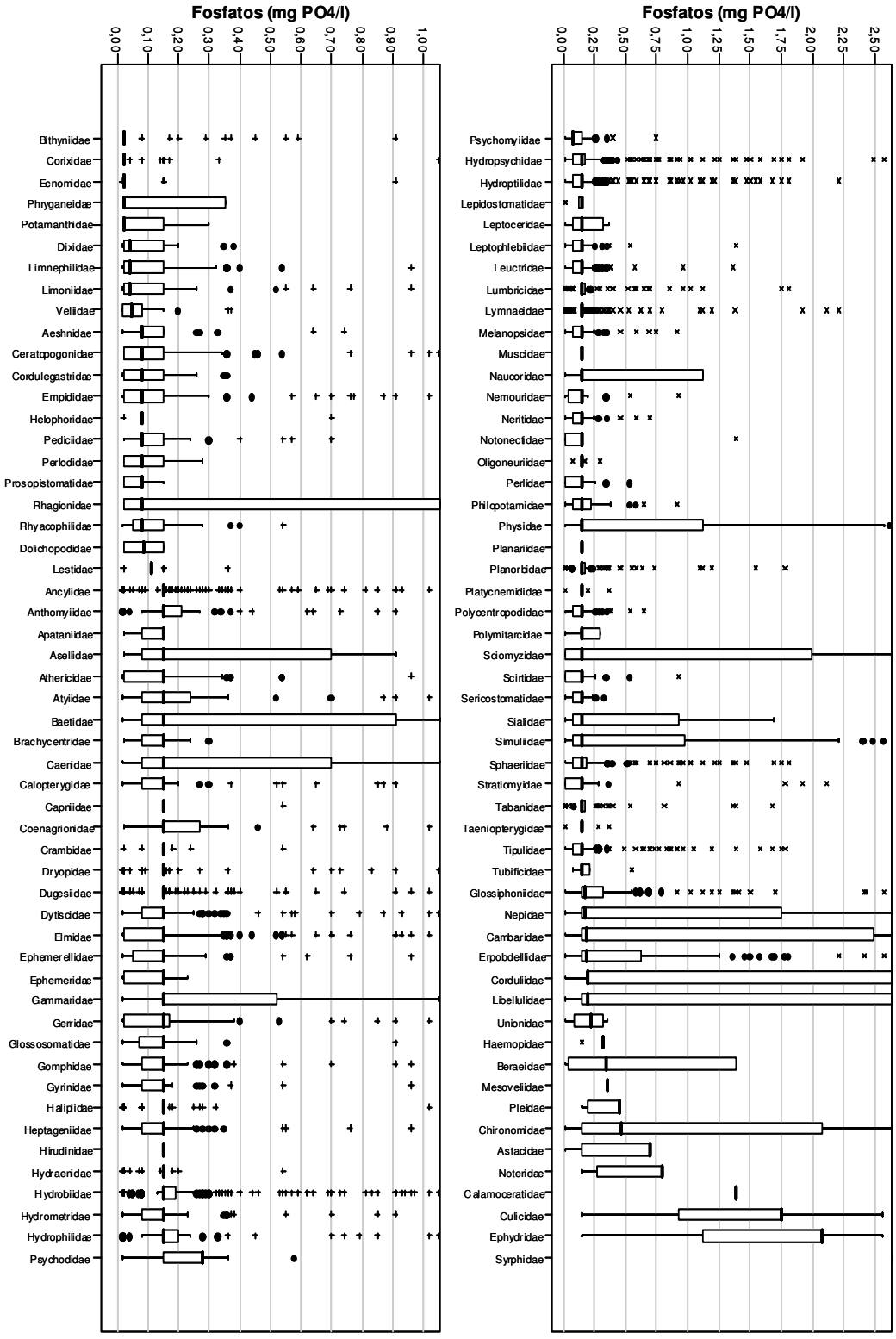


Figura A3-22. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable Fosfatos, recortados

A3-12 SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

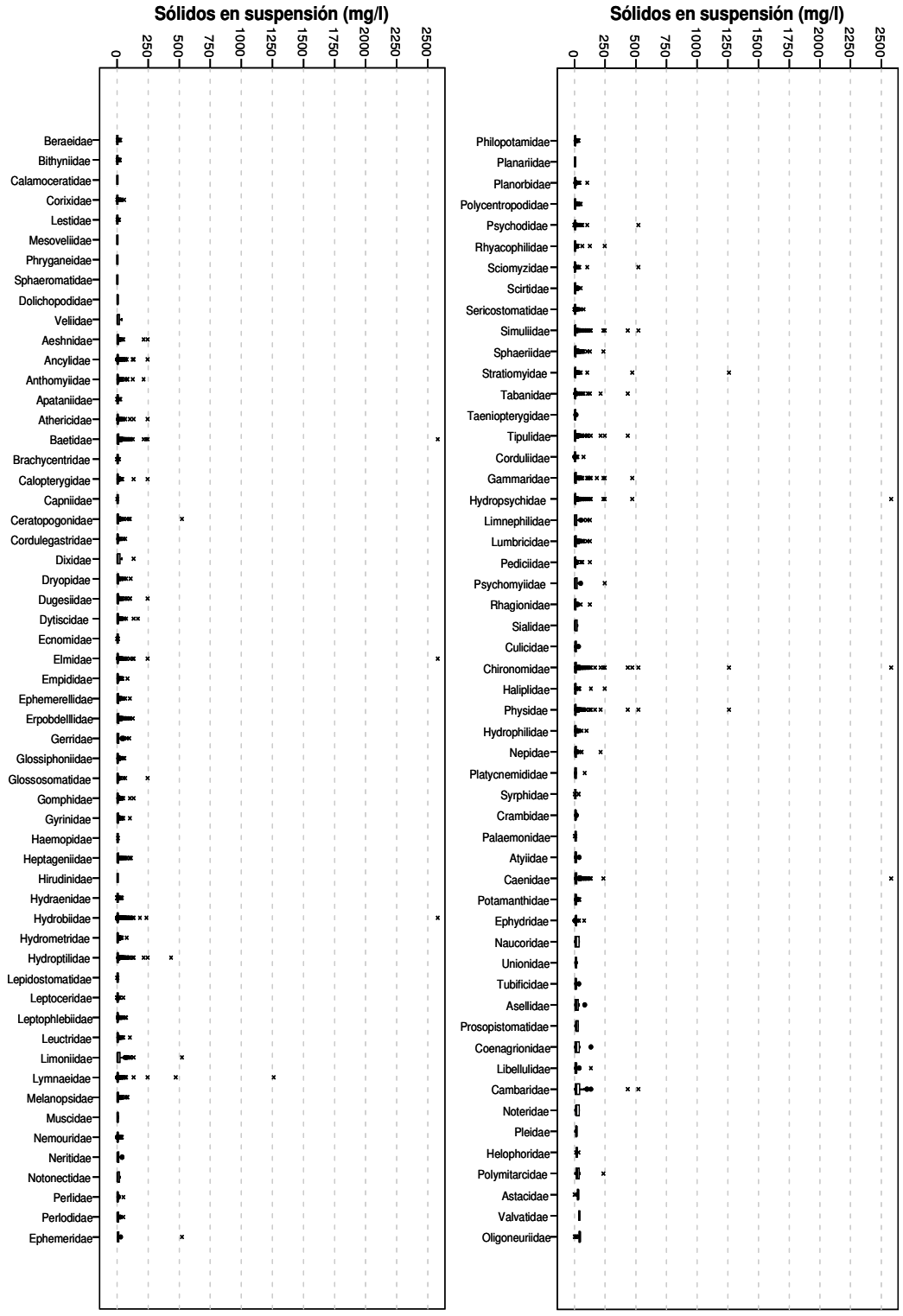


Figura A3-23. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable Sólidos en suspensión

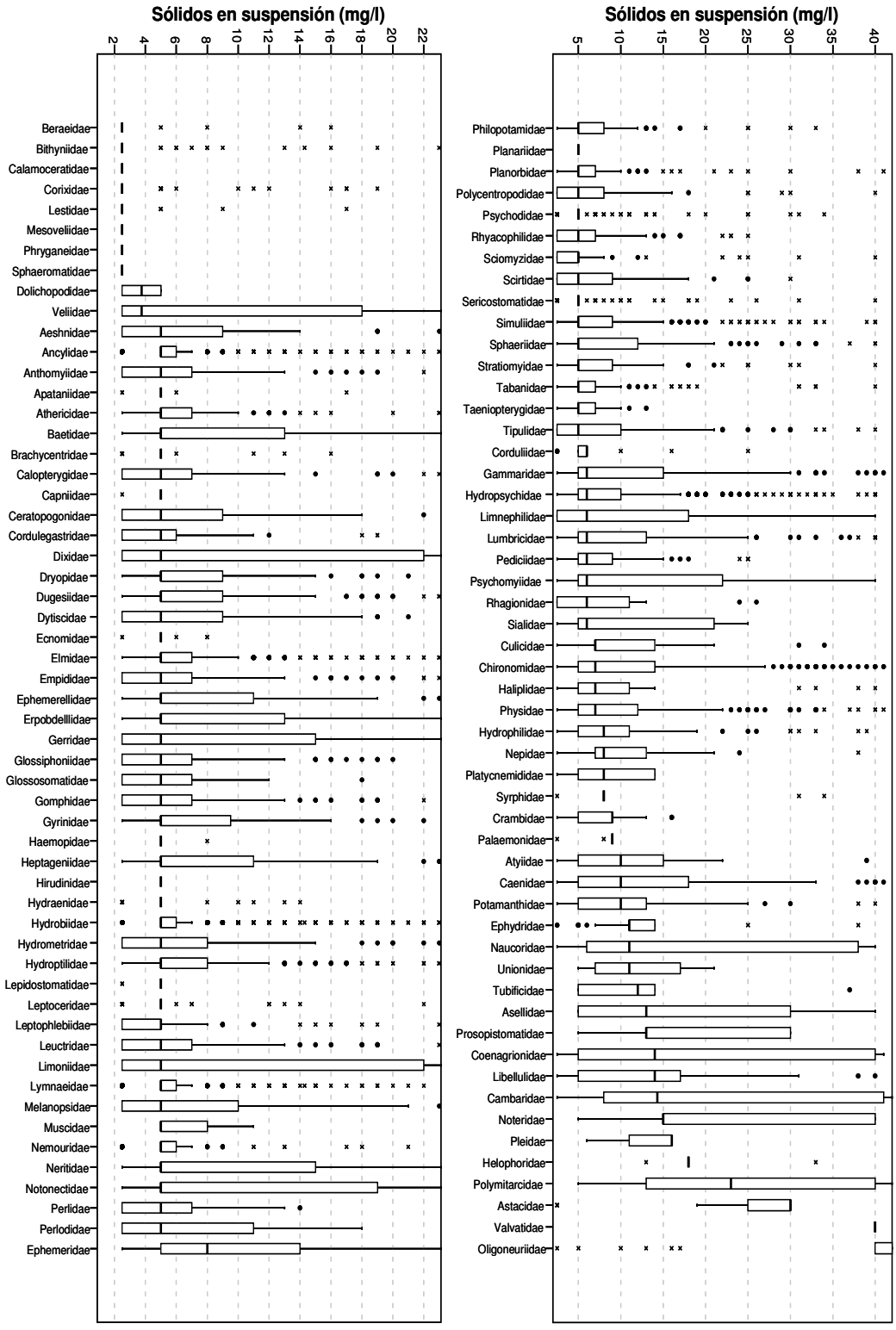


Figura A3-24. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable Sólidos en suspensión, recortados

A3-13 NITRATOS

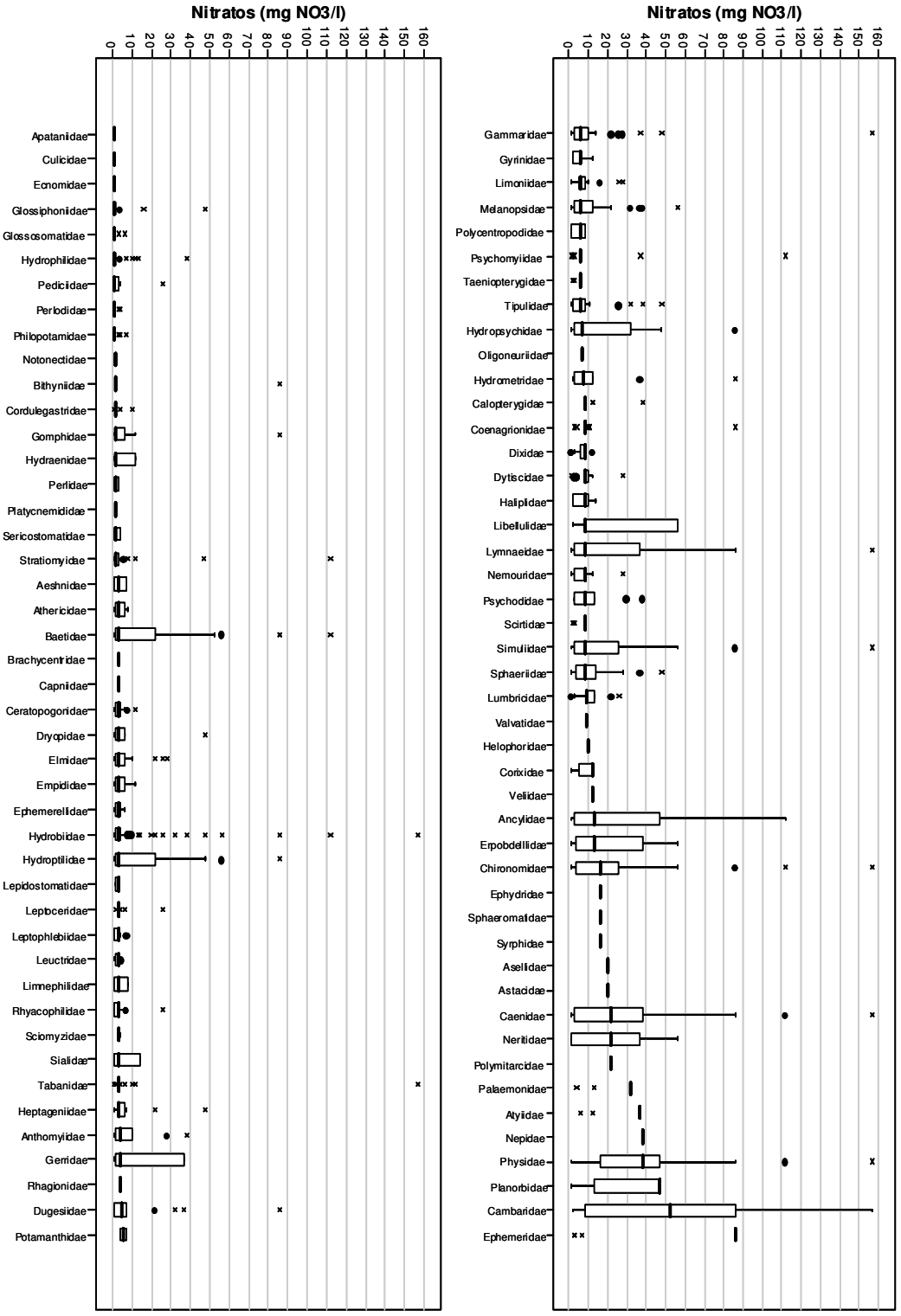


Figura A3-25. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable Nitratos

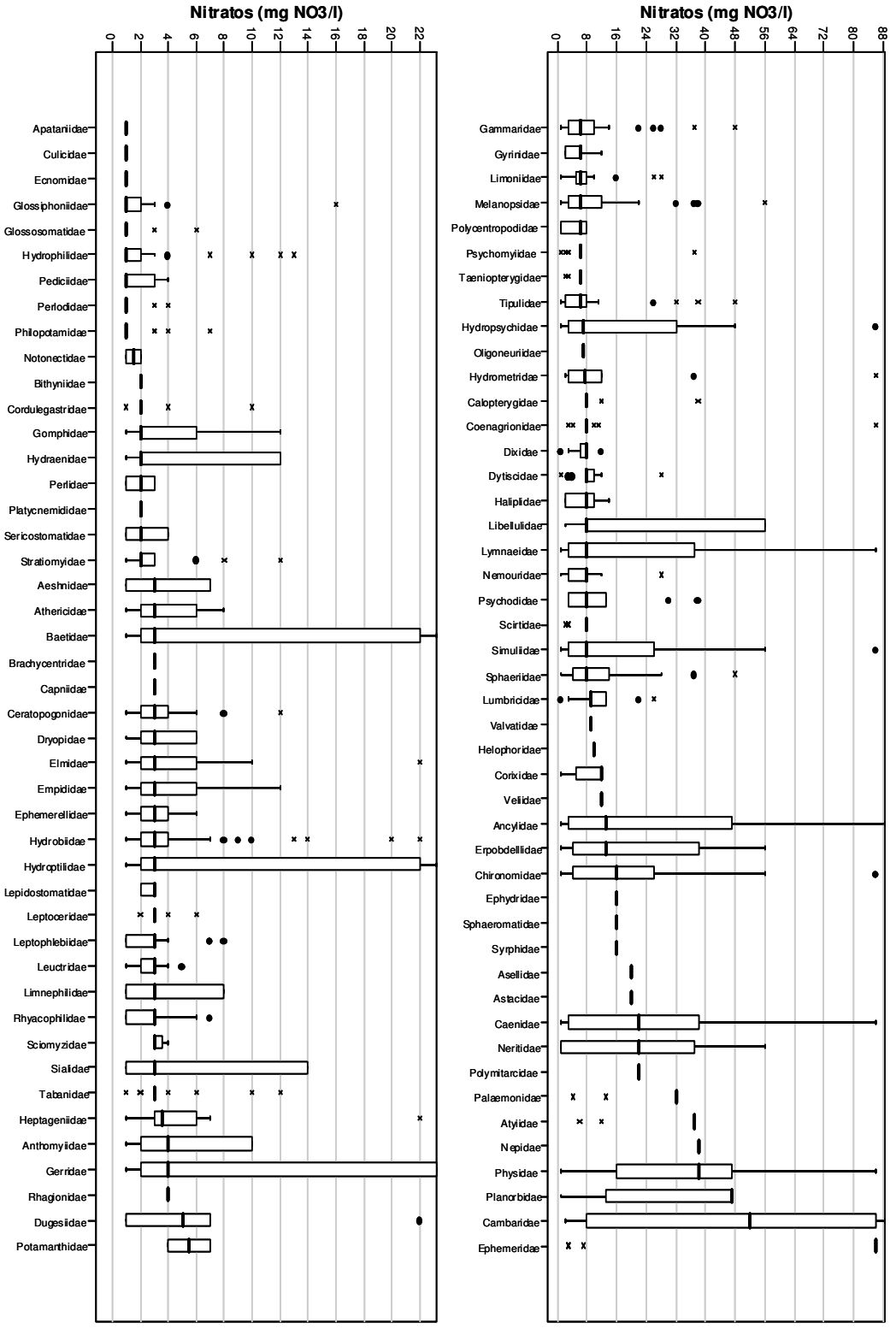


Figura A3-26. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable Nitratos, recortados

A3-14 OXÍGENO DISUELTO

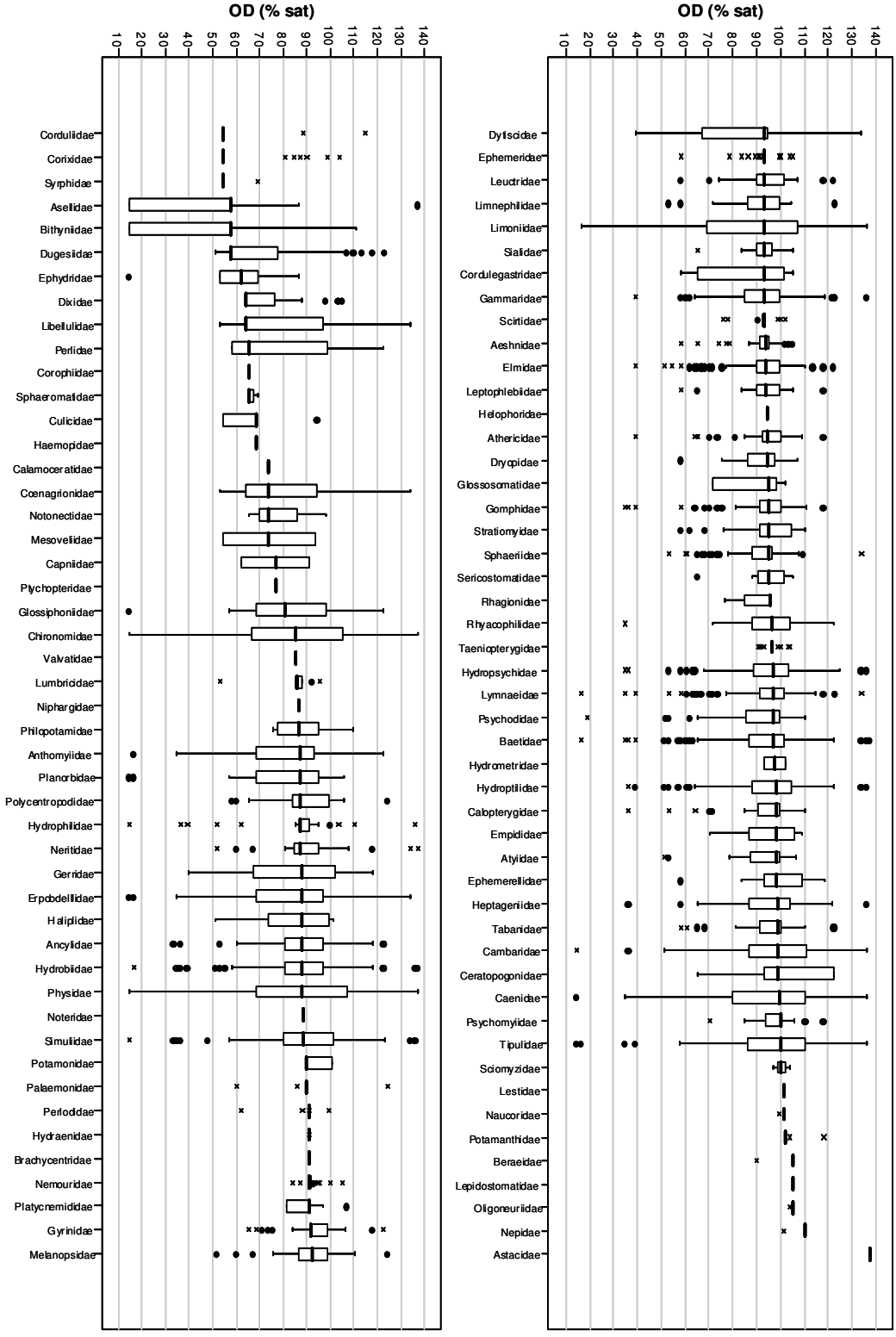


Figura A3-27. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable Oxígeno disuelto

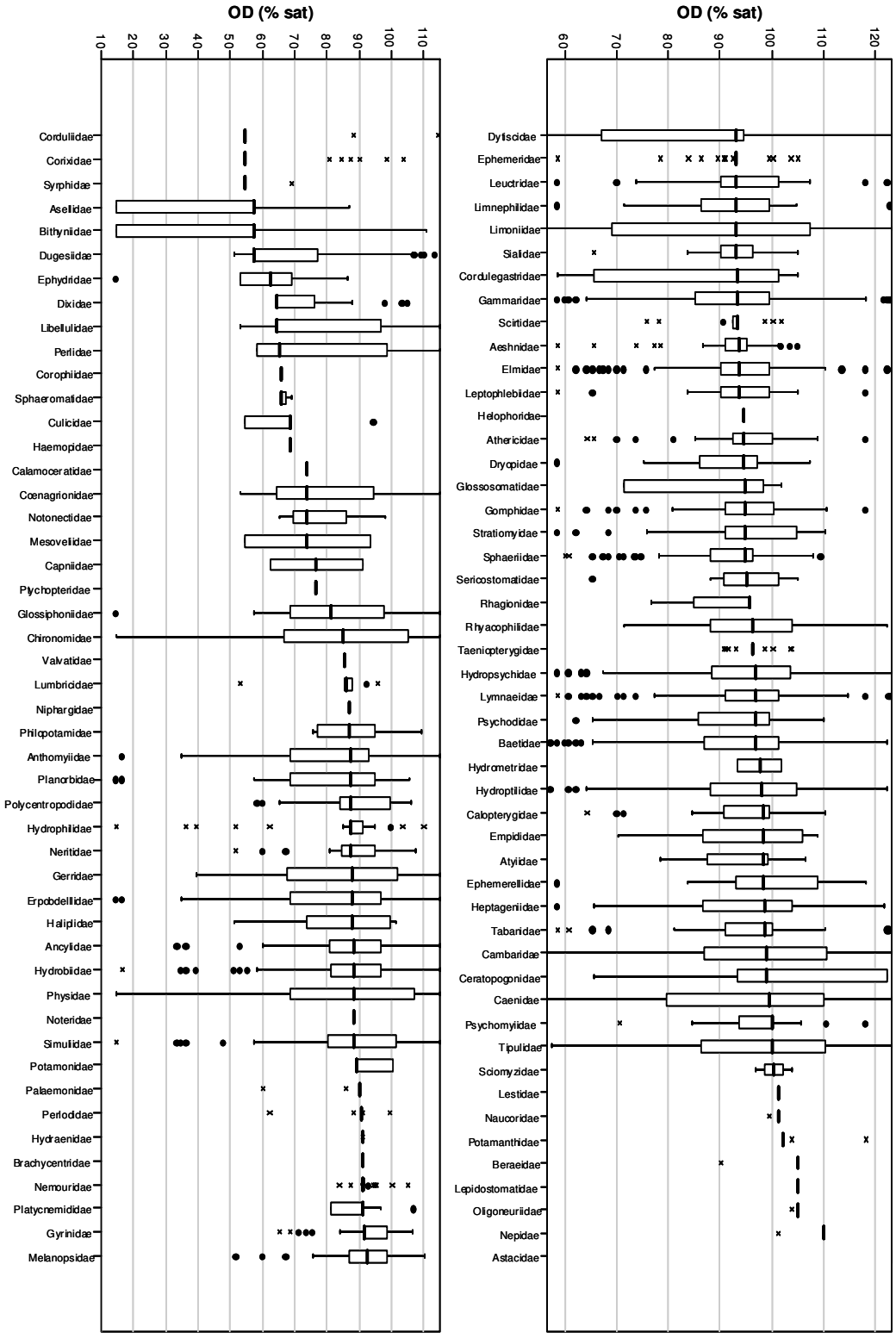


Figura A3-28. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable Oxígeno disuelto, recortados

A3-15 PH

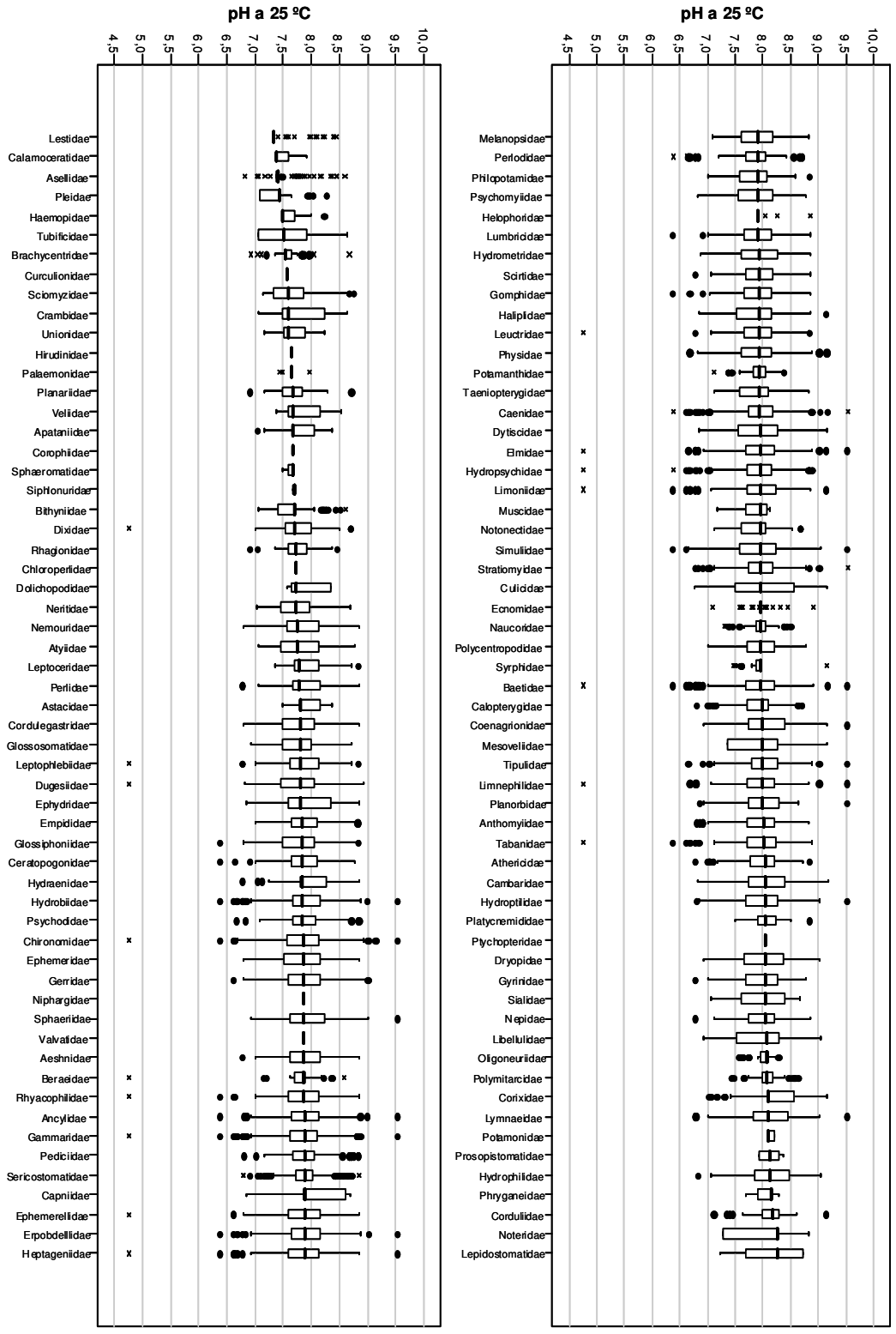


Figura A3-29. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable pH

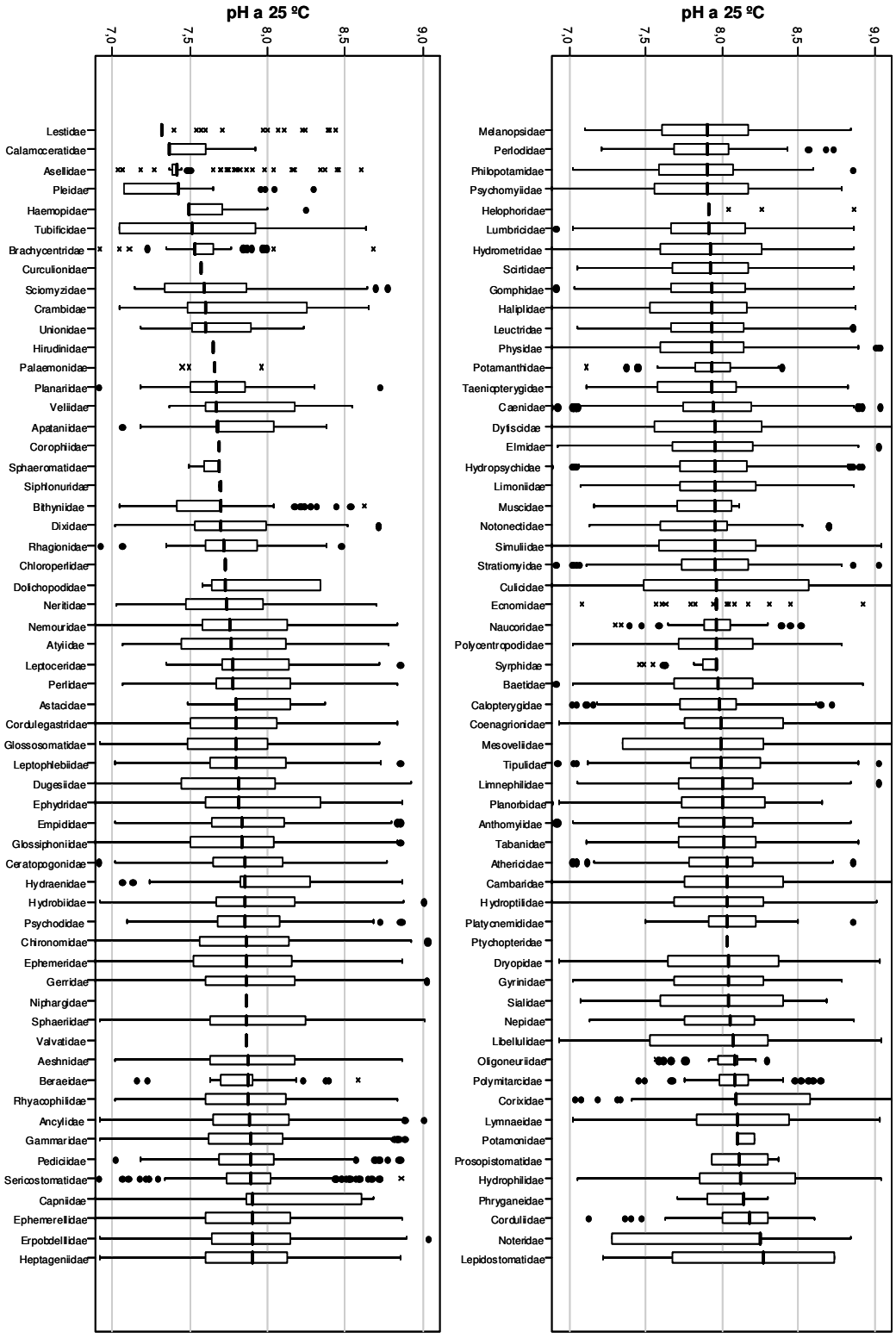


Figura A3-30. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable pH, recortados

A3-16 PROFUNDIDAD MEDIA

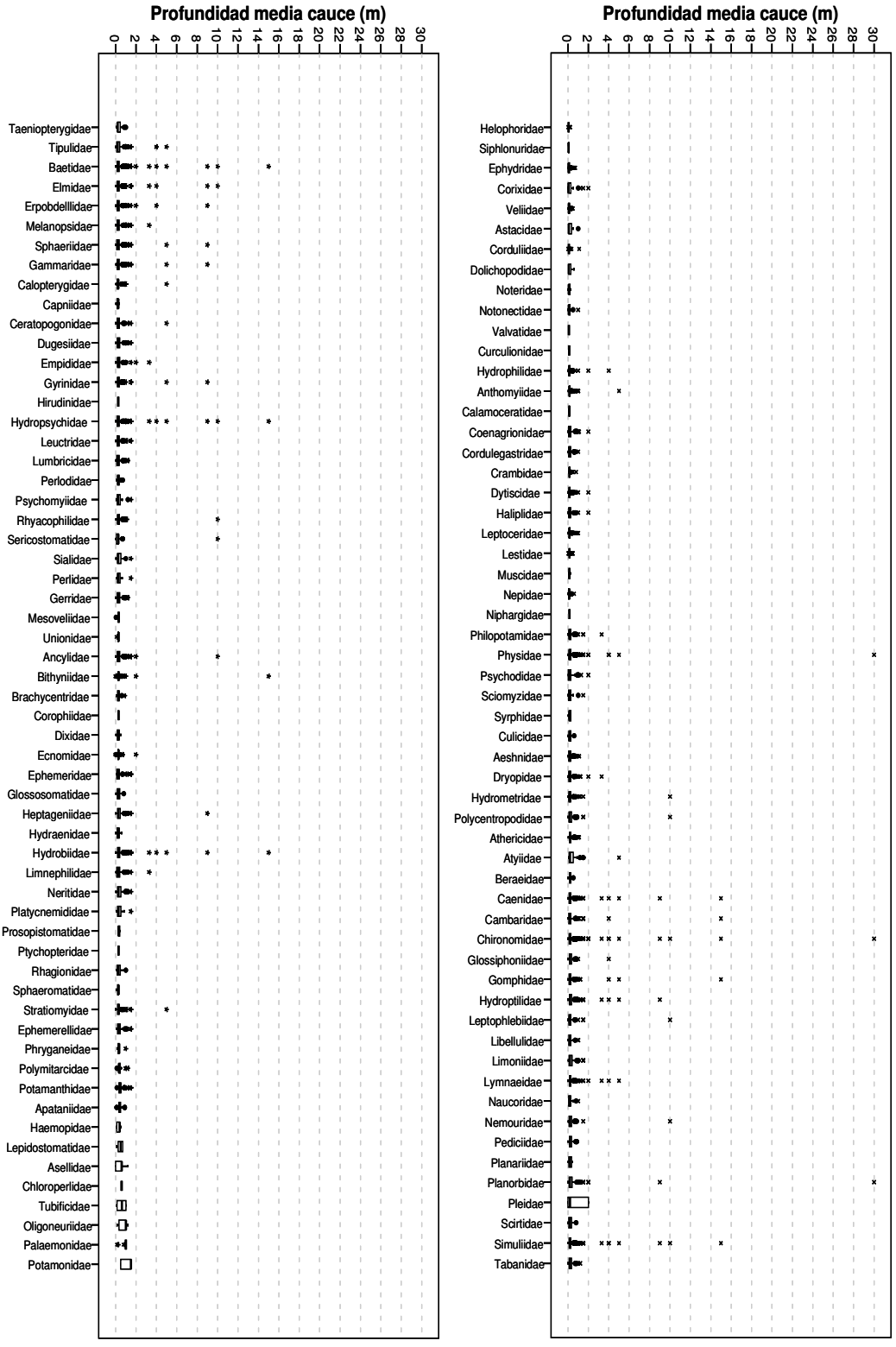


Figura A3-31. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable Profundidad media

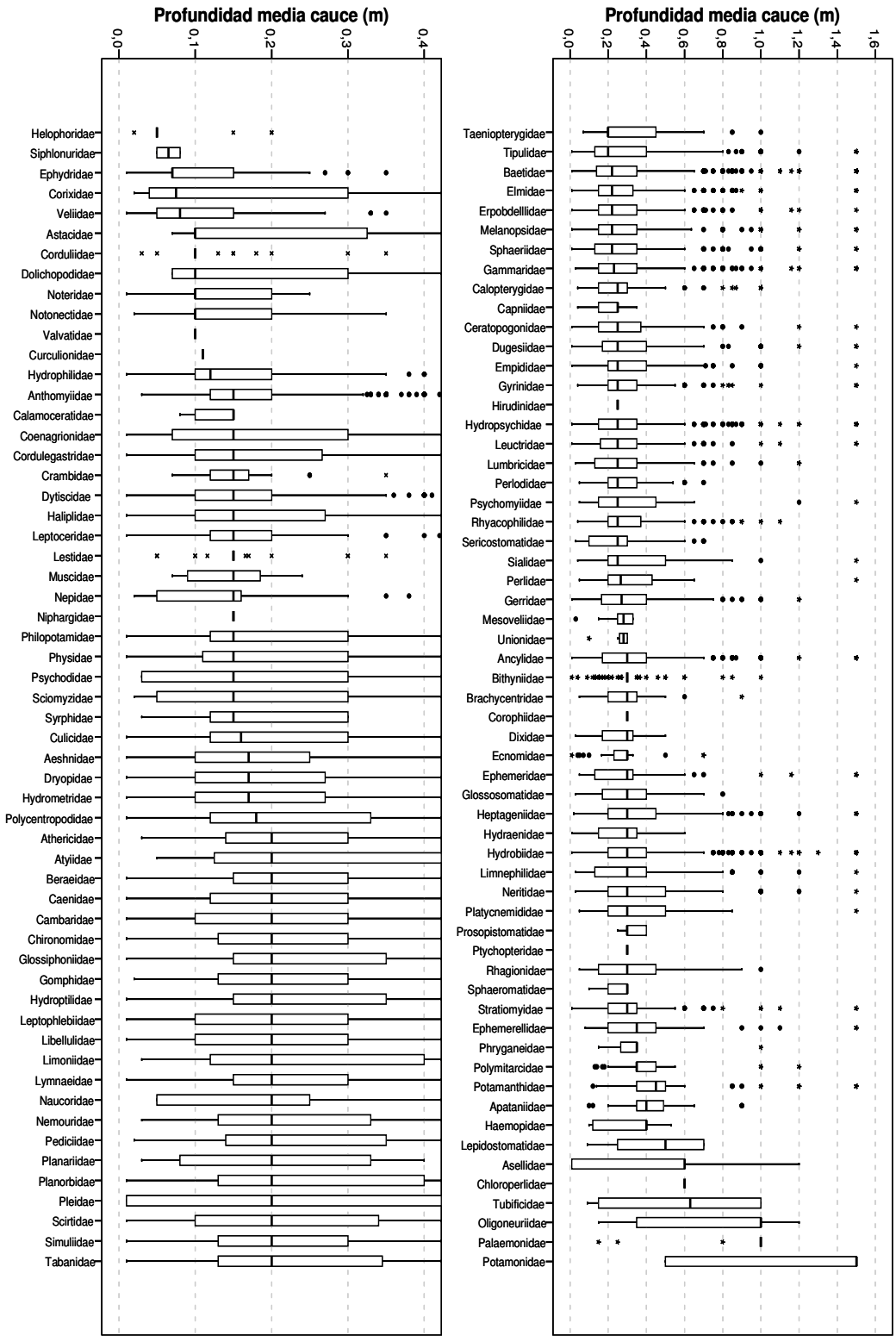


Figura A3-32. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable Profundidad media, recortados

A3-17 SULFATOS

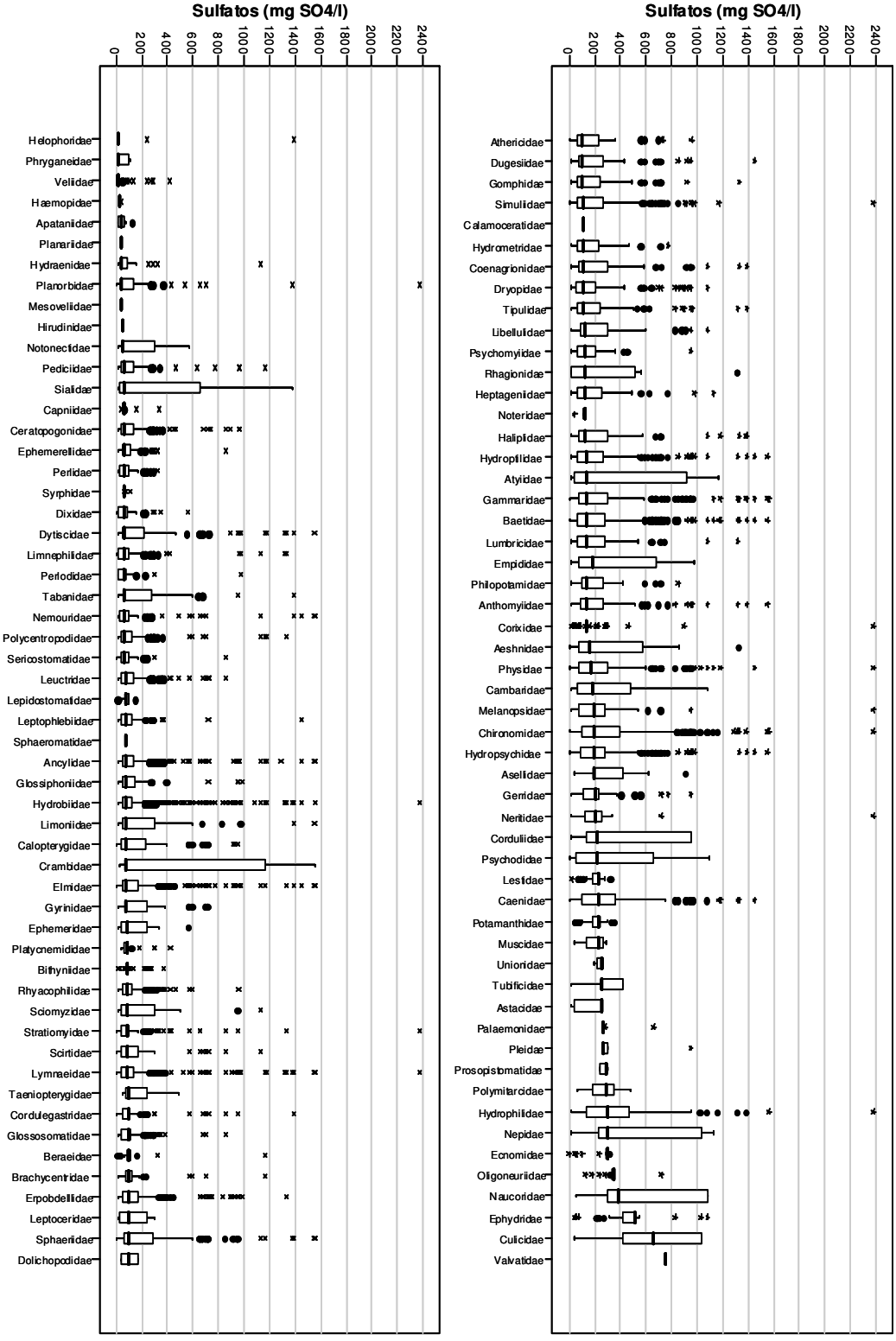


Figura A3-33. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable Sulfatos

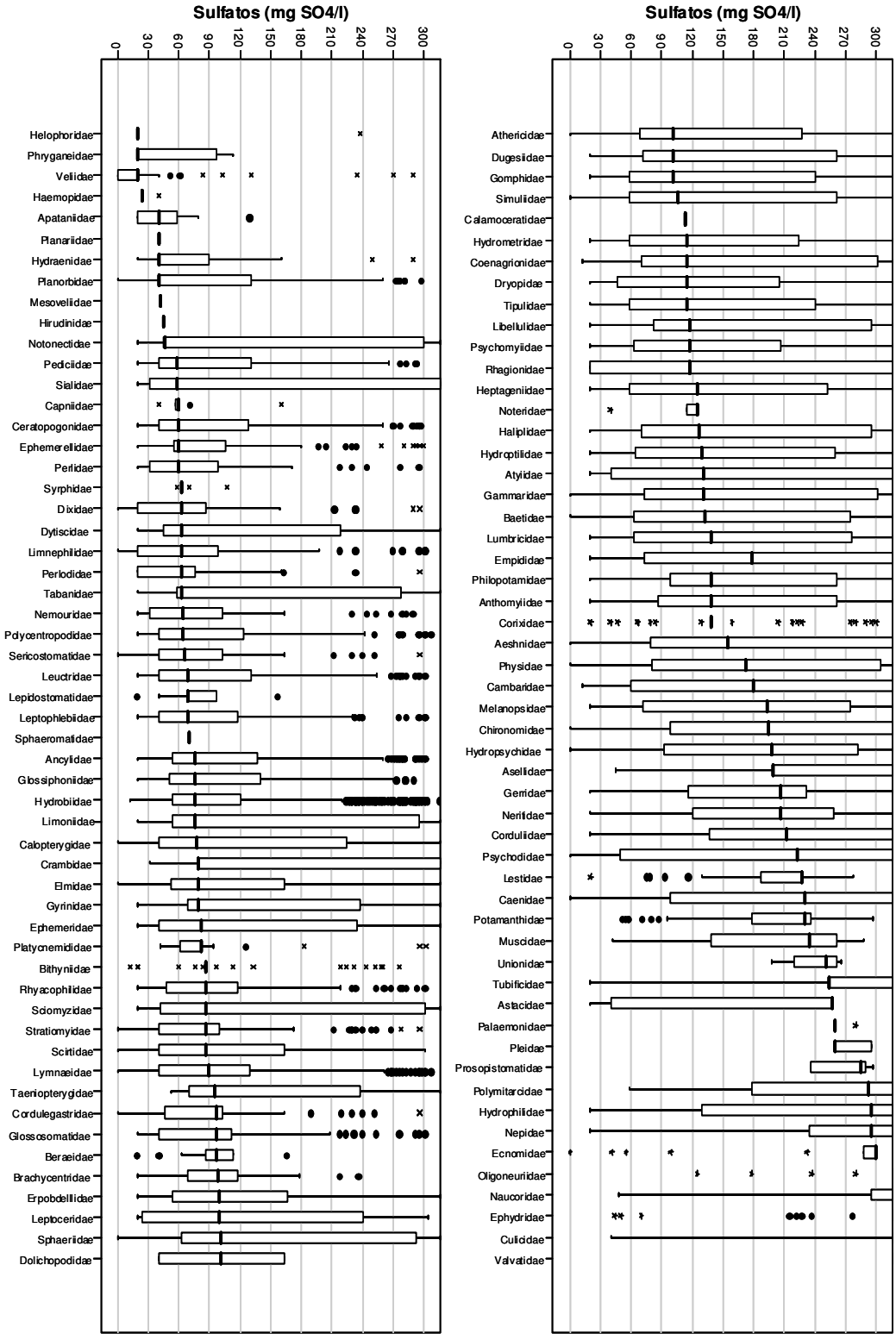


Figura A3-34. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable Sulfatos, recortados

A3-18 TEMPERATURA

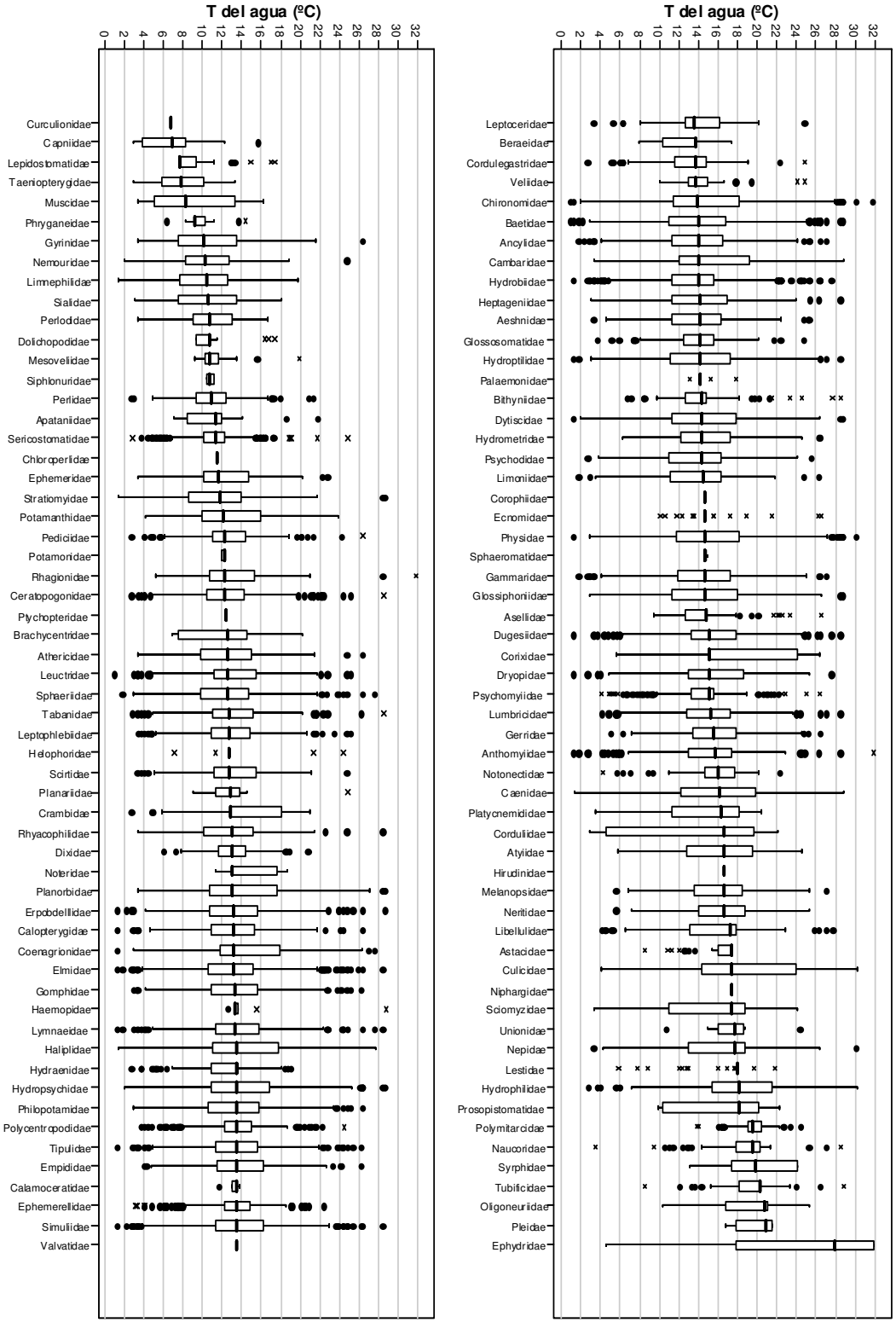


Figura A3-35. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable Temperatura

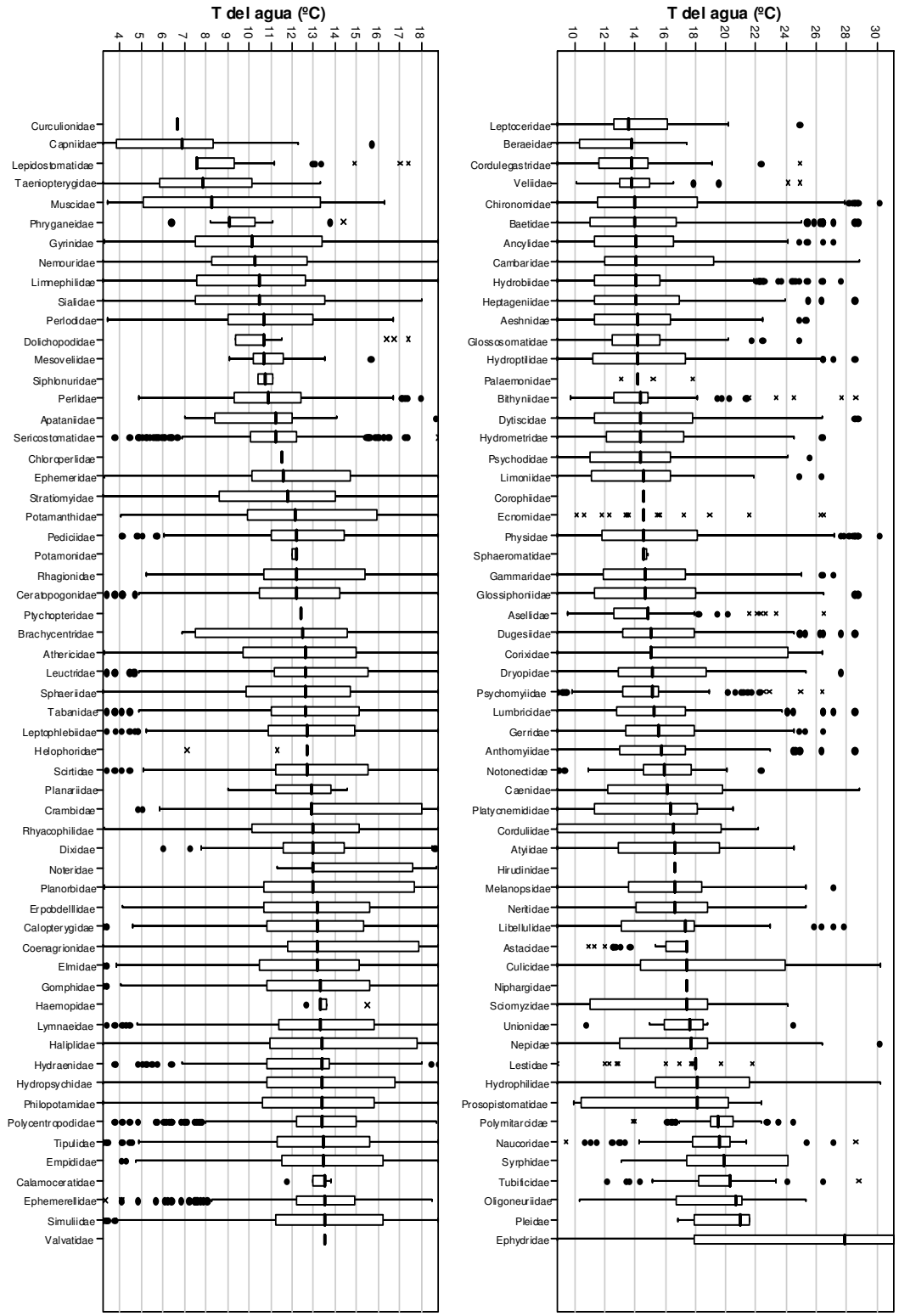


Figura A3-36. Óptimos ecológicos de los taxones de macroinvertebrados para la variable Temperatura, recortados

A4- ANEXO IV. GRÁFICAS DEL MODELO A ESCALA DIARIA

A4-1 TEMPERATURAS AIRE Y AGUA MEDIDAS EN LAS ESTACIONES SAICA Y AEMET

A4-1.1 Tipo 1 "Ríos de llanura silíceas del Tajo y Guadiana"

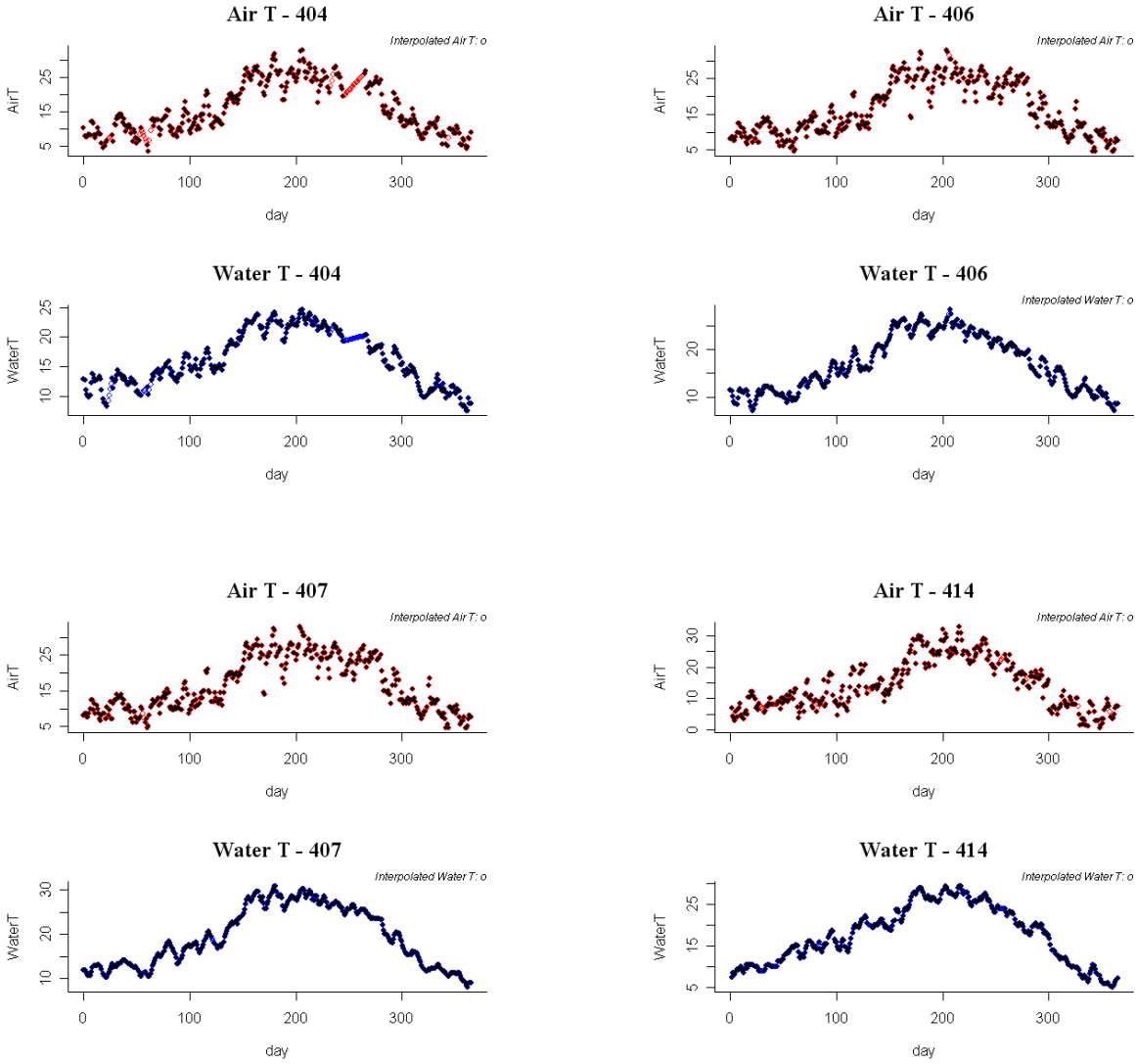


Figura A4-1. Temperaturas aire y agua medidas para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 1 "Ríos de llanuras silíceas del Tajo y Guadiana"

A4-1.2 Tipo 2 “Ríos de la depresión del Guadalquivir”

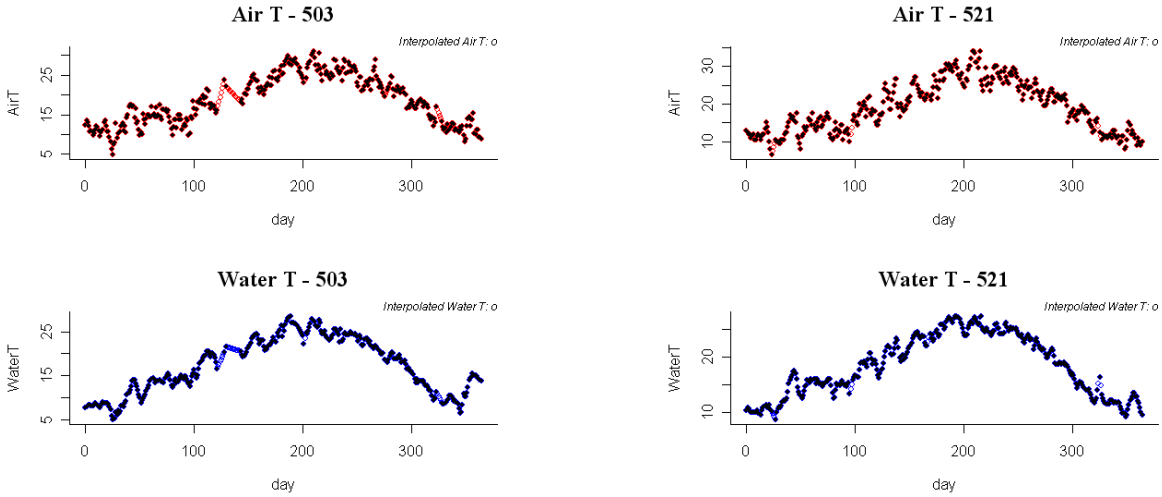


Figura A4-2. Temperaturas aire y agua medidas para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 2 “Ríos de la depresión del Guadalquivir”

A4-1.3 Tipo 4 “Ríos mineralizados de la Meseta Norte”

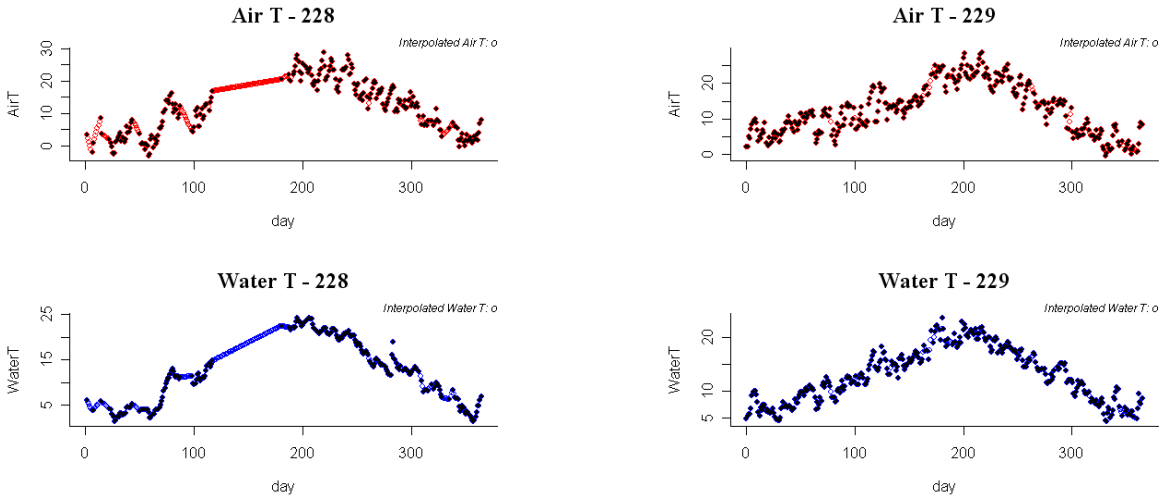


Figura A4-3. Temperaturas aire y agua medidas para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 4 “Ríos mineralizados de la Meseta Norte”

A4-1.4 Tipo 6 “Ríos silíceos del piedemonte de Sierra Morena”

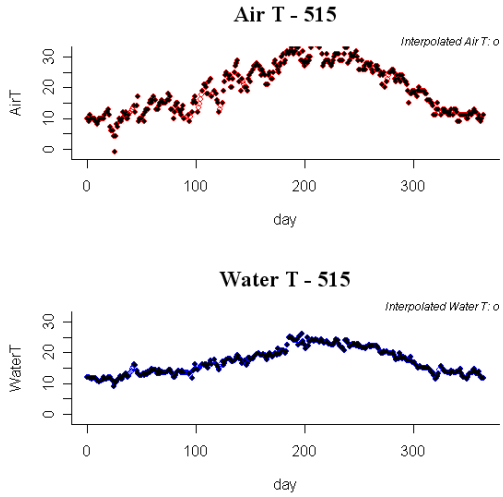


Figura A4-4. Temperaturas aire y agua medidas para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 6 “Ríos silíceos del piedemonte de Sierra Morena”

A4-1.5 Tipo 7 “Ríos mineralizados mediterráneos de baja altitud”

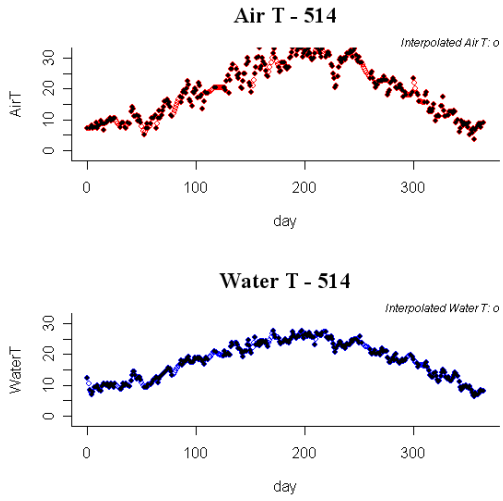


Figura A4-5. Temperaturas aire y agua medidas para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 7 “Ríos mineralizados mediterráneos de baja altitud”

A4-1.6 Tipo 9 “Ríos mineralizados de la baja montaña mediterránea”

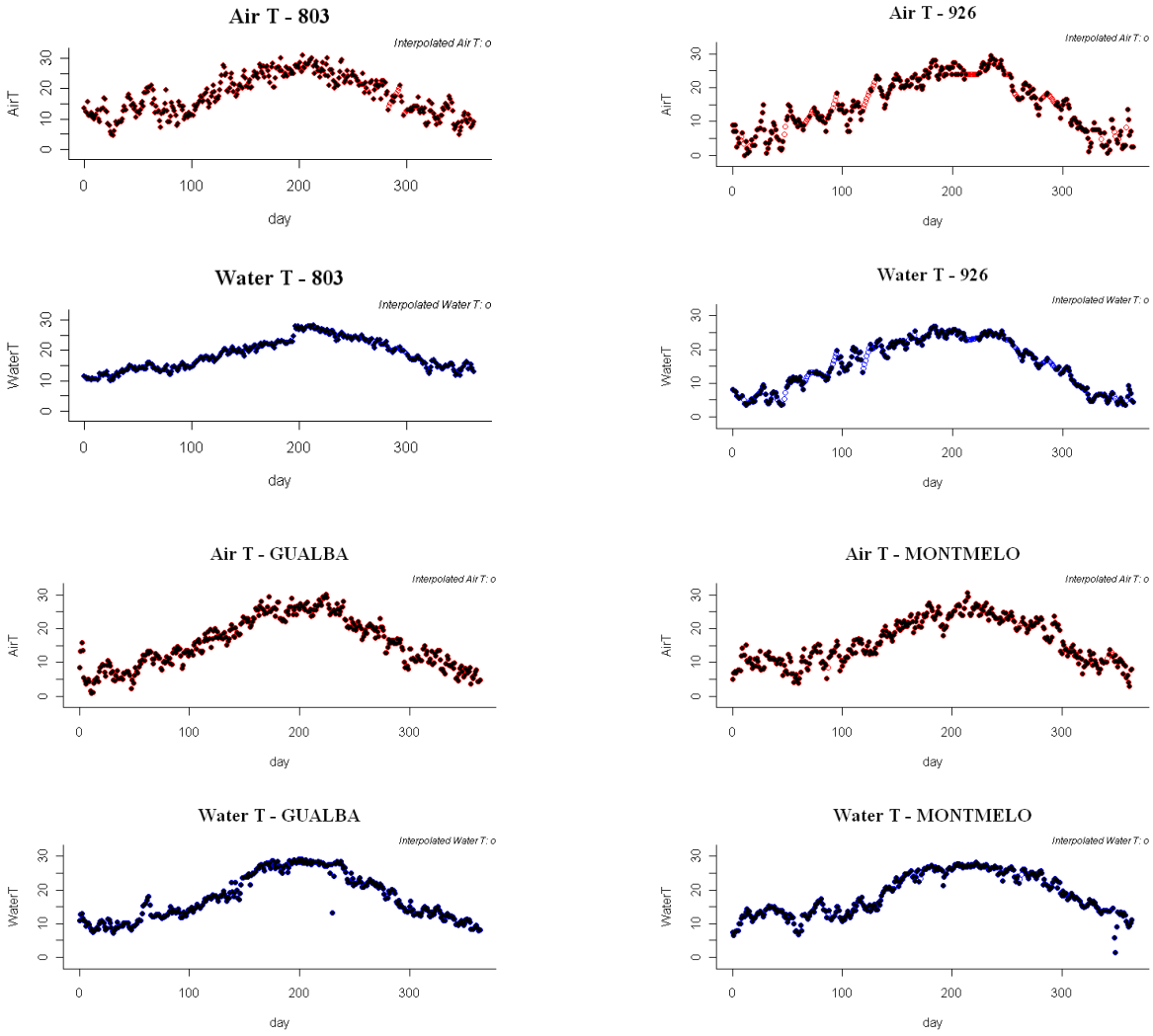


Figura A4-6. Temperaturas aire y agua medidas para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 9 “Ríos mineralizados de la baja montaña mediterránea”

A4-1.7 Tipo 10 “Ríos mediterráneos con influencia cárstica”

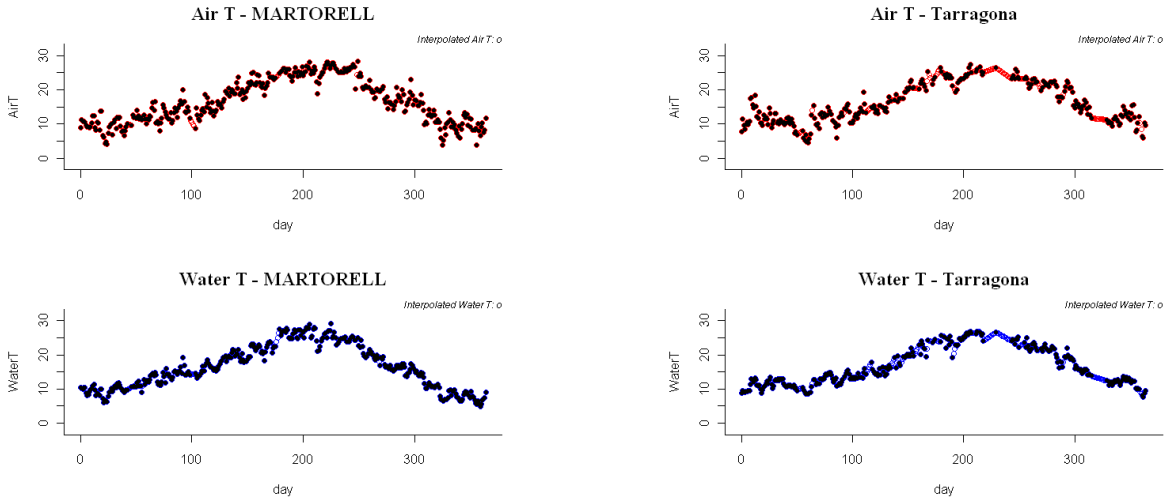
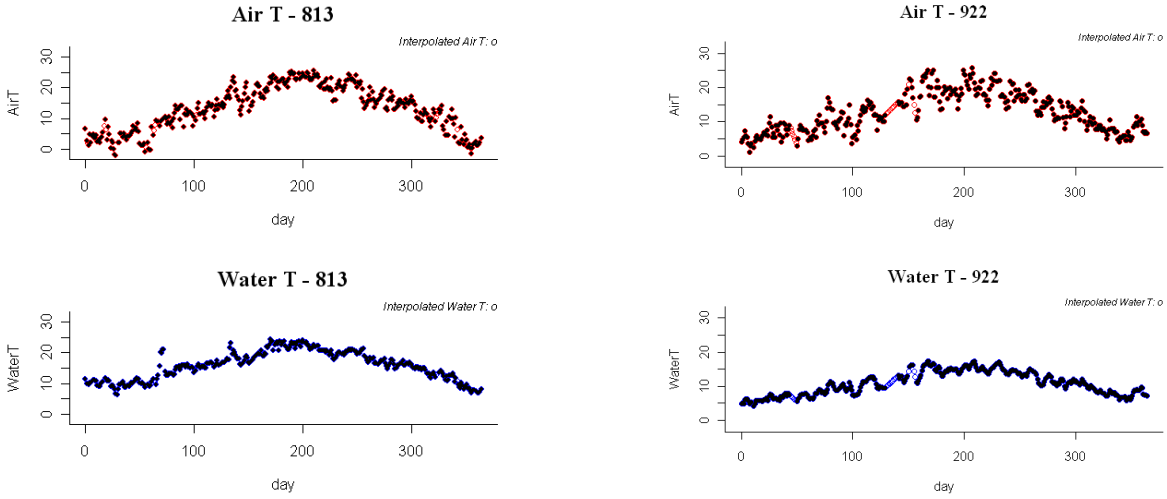


Figura A4-7. Temperaturas aire y agua medidas para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 10 “Ríos mediterráneos con influencia cárstica”

A4-1.8 Tipo 12 “Ríos de montaña mediterránea calcárea”



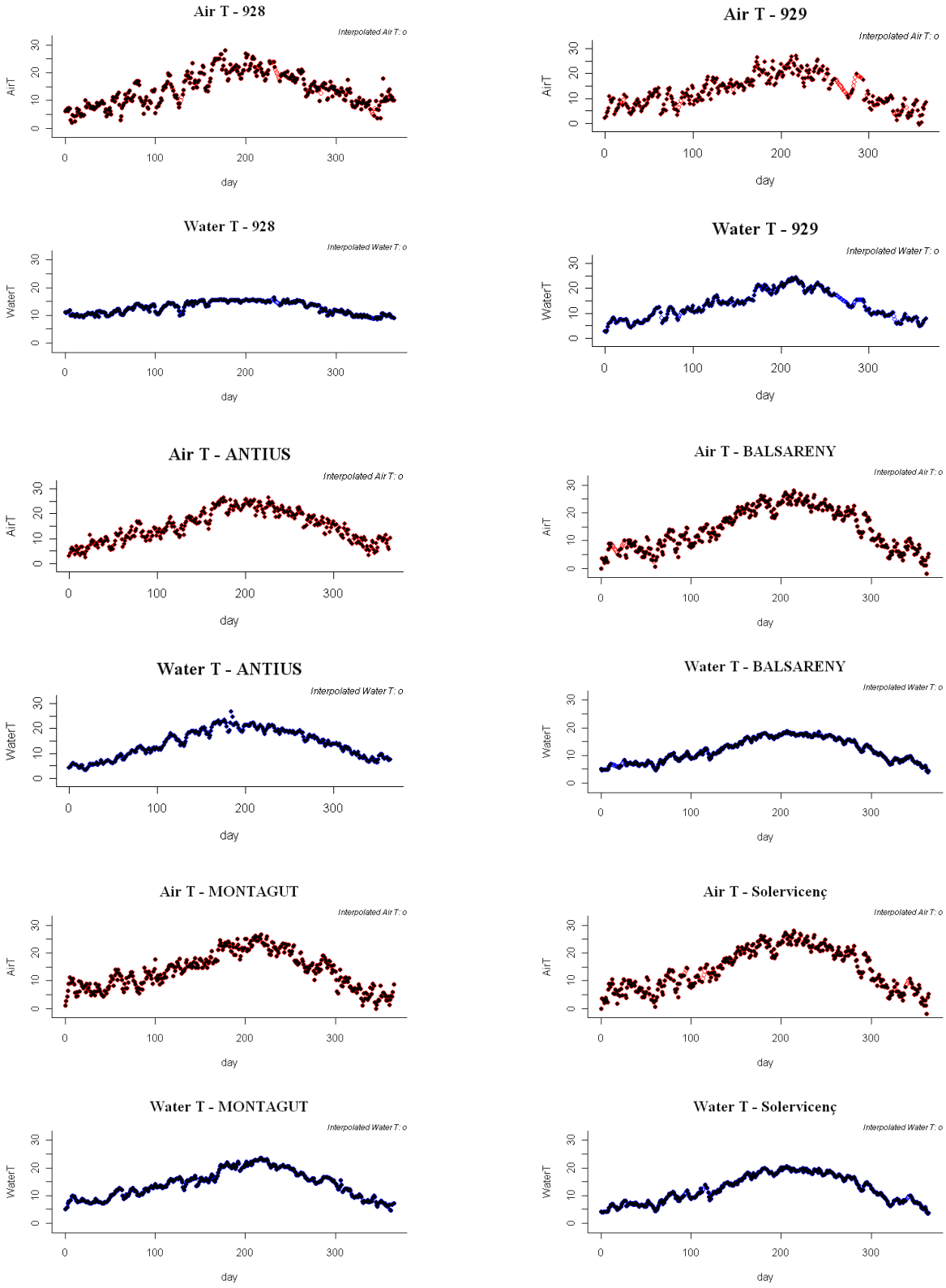


Figura A4-8. Temperaturas aire y agua medidas para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 12 “Ríos de montaña mediterránea calcárea”

A4-1.9 Tipo 14 “Ejes mediterráneos de baja altitud”

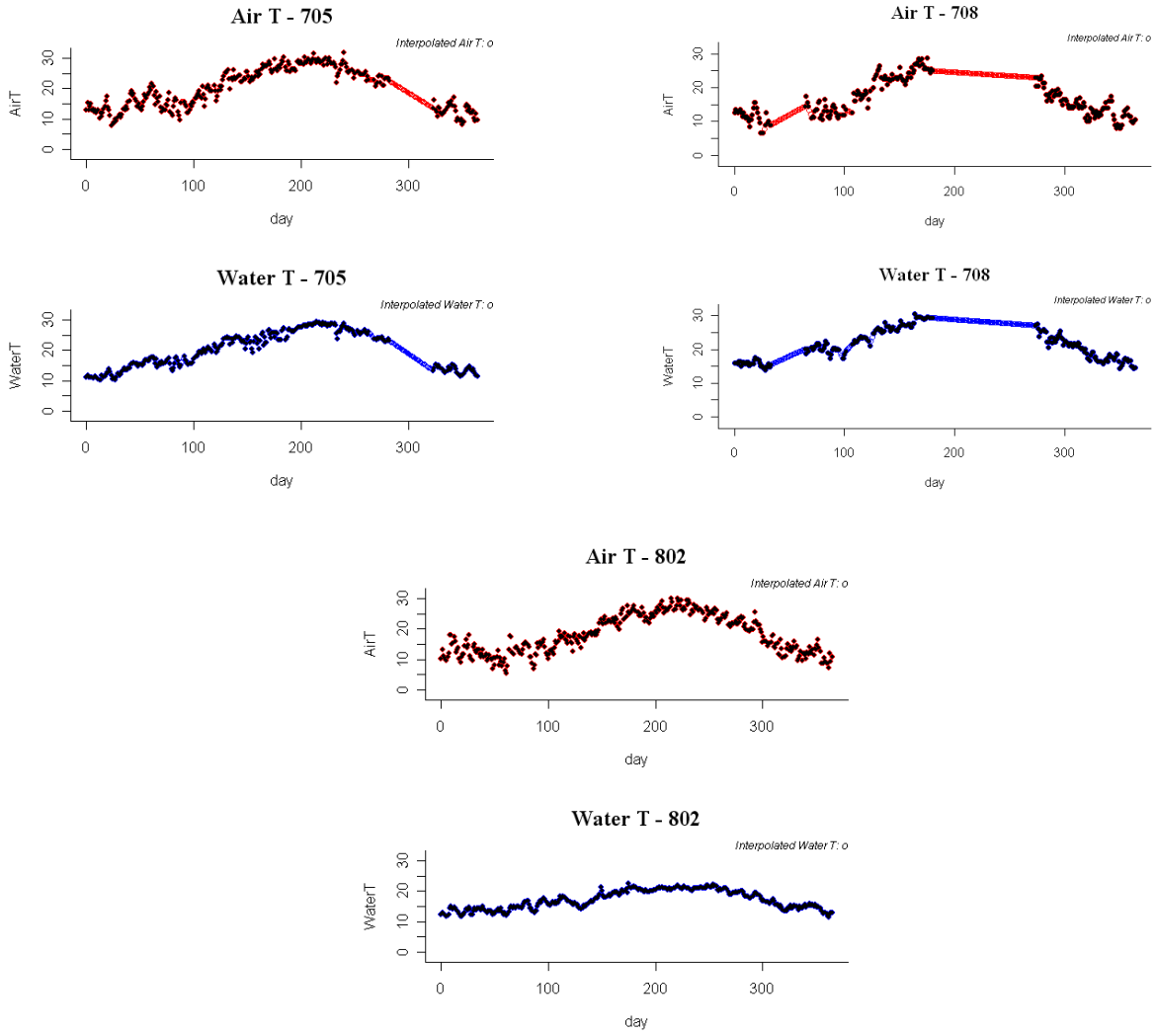
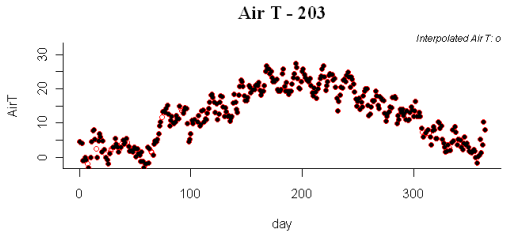
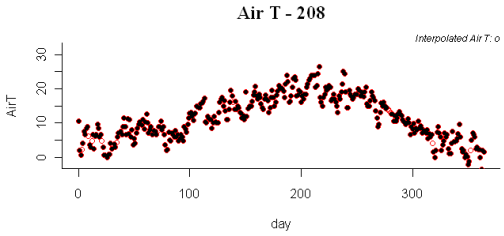
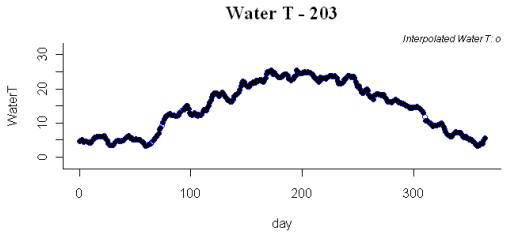


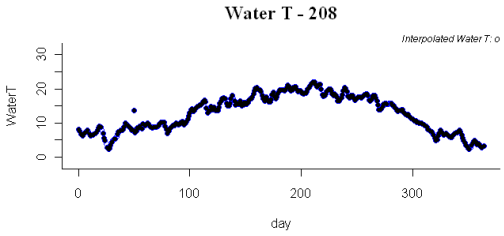
Figura A4-9. Temperaturas aire y agua medidas para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 14 “Ejes mediterráneos de baja altitud”

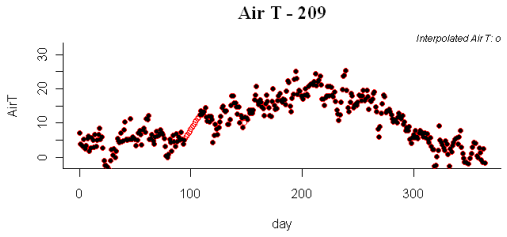
A4-1.10 Tipo 15 “Ejes mediterráneo-continentales poco mineralizados”

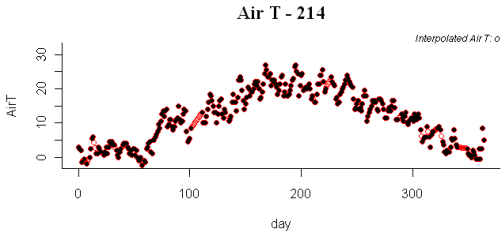


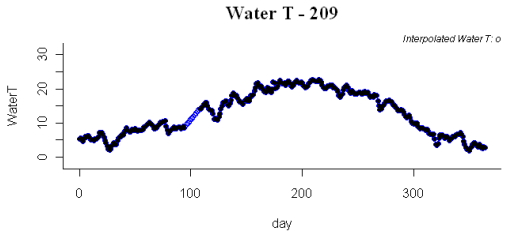


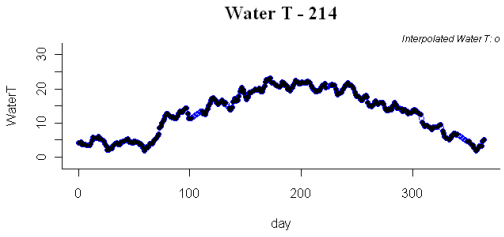


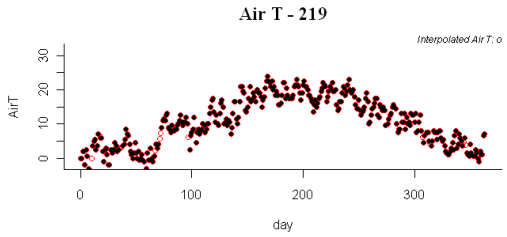


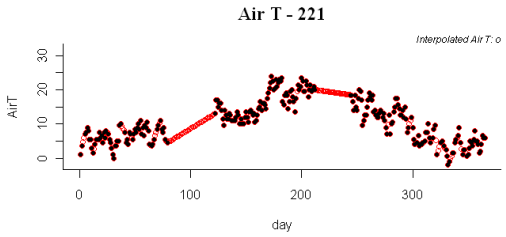


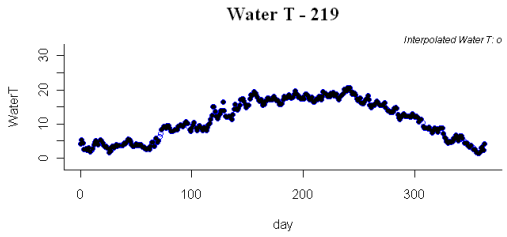


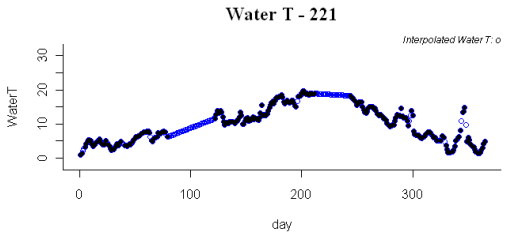


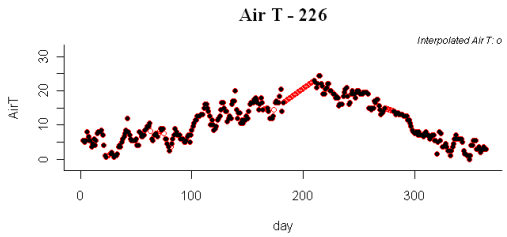


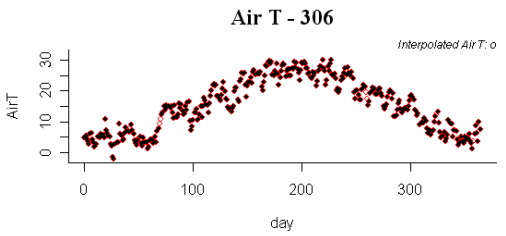

Air T - 219
Interpolated Air T: o
AirT
day

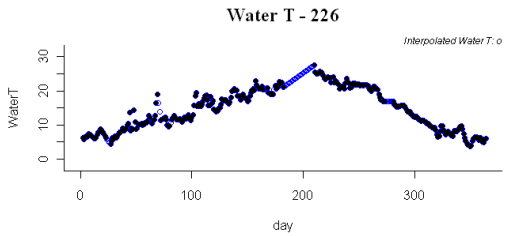

Air T - 221
Interpolated Air T: o
AirT
day

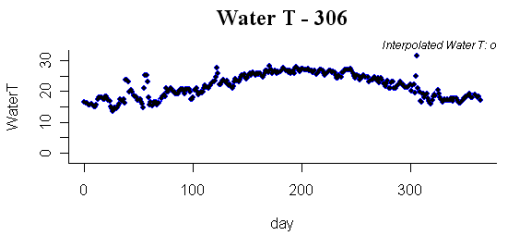

Water T - 219
Interpolated Water T: o
WaterT
day

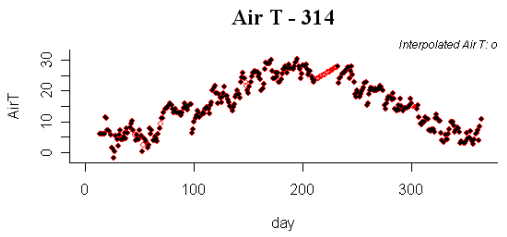

Water T - 221
Interpolated Water T: o
WaterT
day

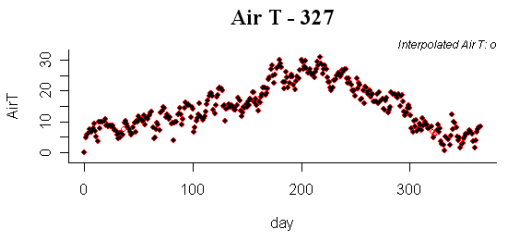

Air T - 226
Interpolated Air T: o
AirT
day

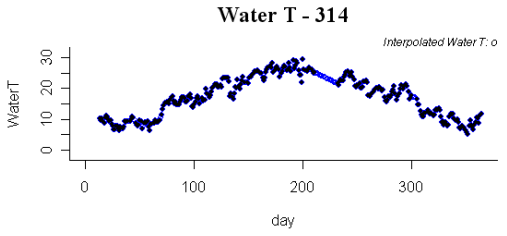

Air T - 306
Interpolated Air T: o
AirT
day

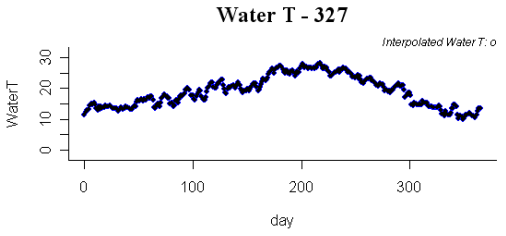

Water T - 226
Interpolated Water T: o
WaterT
day

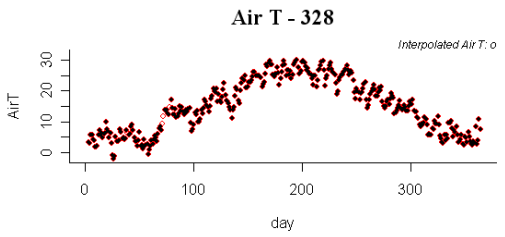

Water T - 306
Interpolated Water T: o
WaterT
day

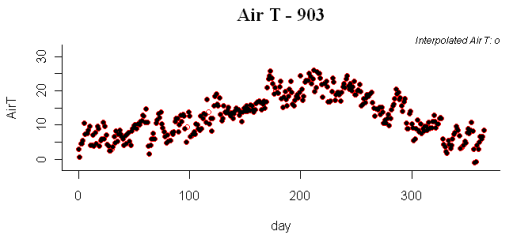

Air T - 314
Interpolated Air T: o
AirT
day

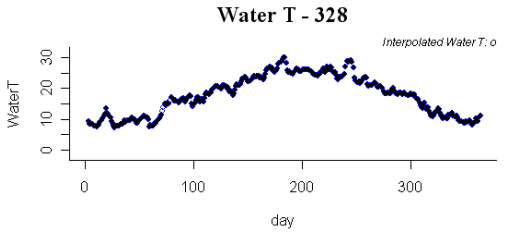

Air T - 327
Interpolated Air T: o
AirT
day

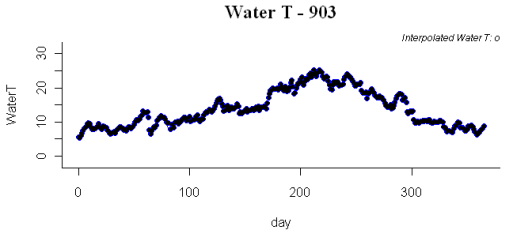

Water T - 314
Interpolated Water T: o
WaterT
day

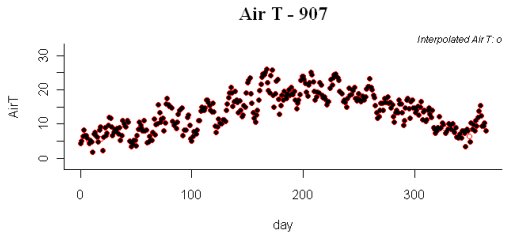

Water T - 327
Interpolated Water T: o
WaterT
day

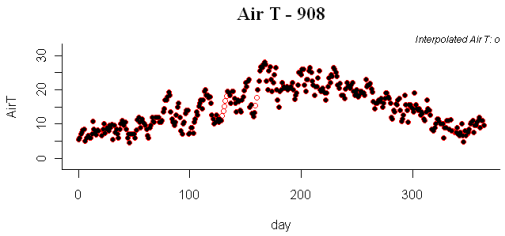

Air T - 328
Interpolated Air T: o
AirT
day

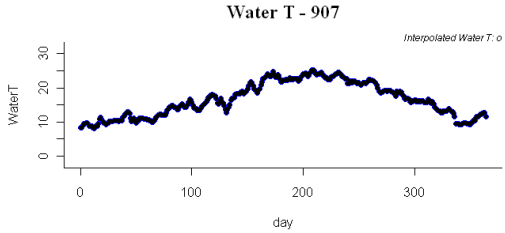

Air T - 903
Interpolated Air T: o
AirT
day

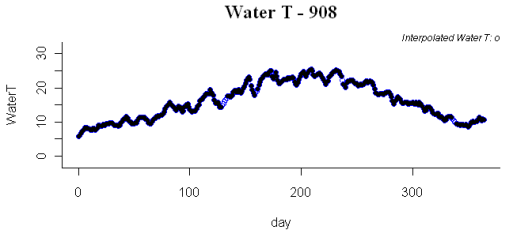

Water T - 328
Interpolated Water T: o
WaterT
day

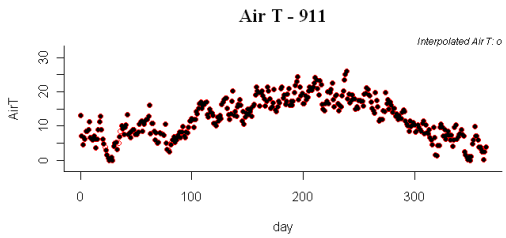

Water T - 903
Interpolated Water T: o
WaterT
day

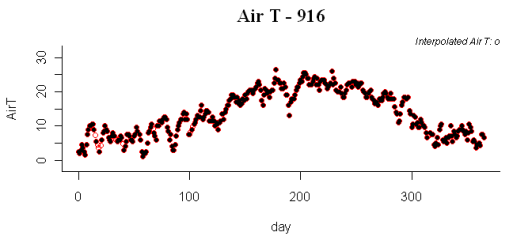

Air T - 907
Interpolated Air T: o
AirT
day

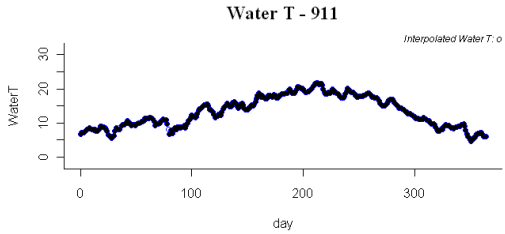

Air T - 908
Interpolated Air T: o
AirT
day

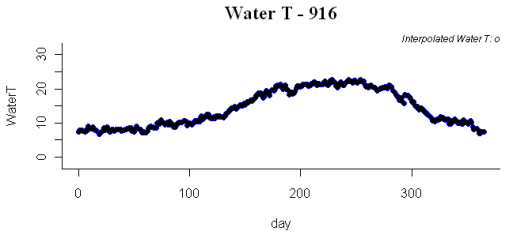

Water T - 907
Interpolated Water T: o
WaterT
day


Water T - 908
Interpolated Water T: o
WaterT
day


Air T - 911
Interpolated Air T: o
AirT
day


Air T - 916
Interpolated Air T: o
AirT
day


Water T - 911
Interpolated Water T: o
WaterT
day


Water T - 916
Interpolated Water T: o
WaterT
day

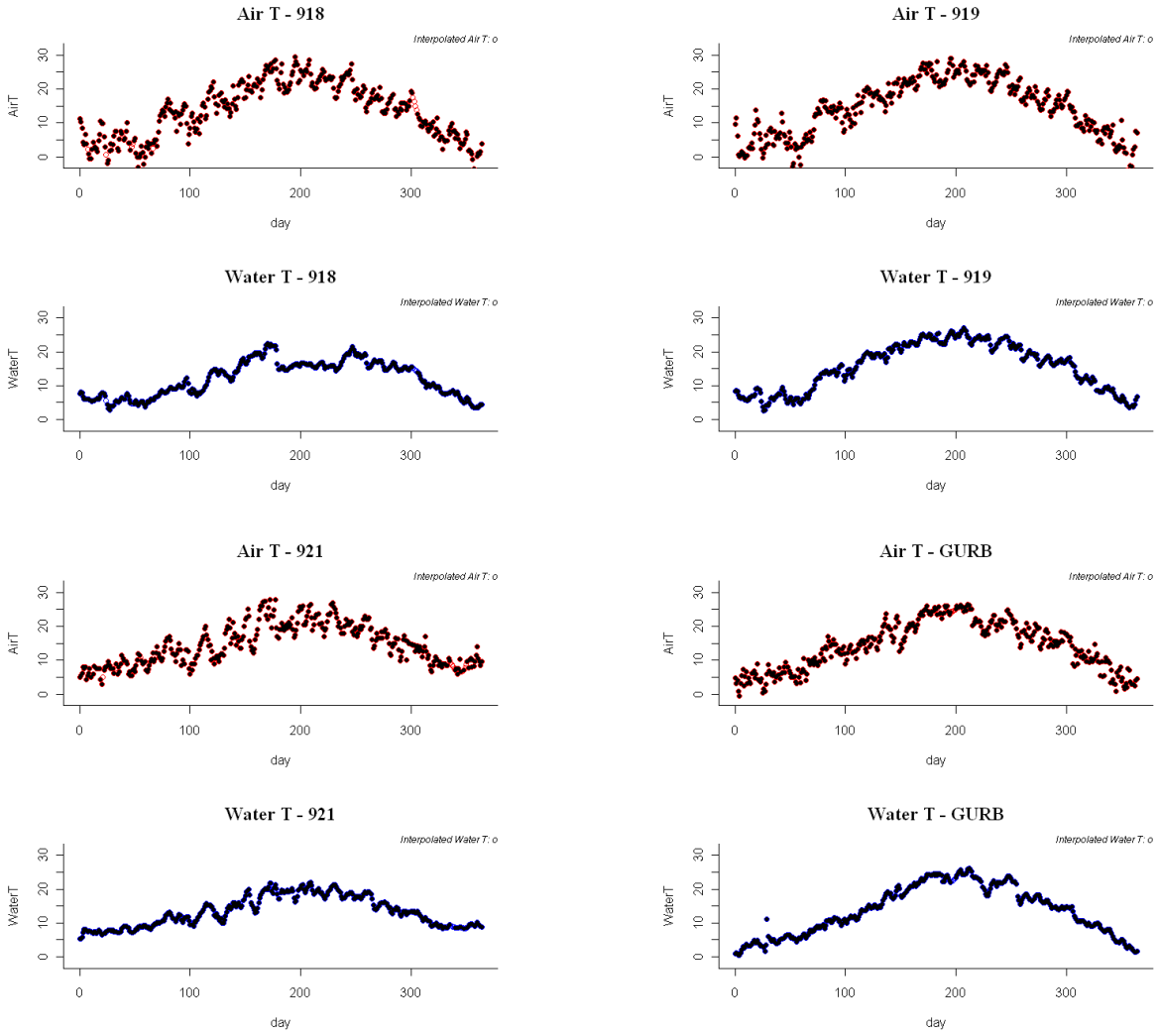
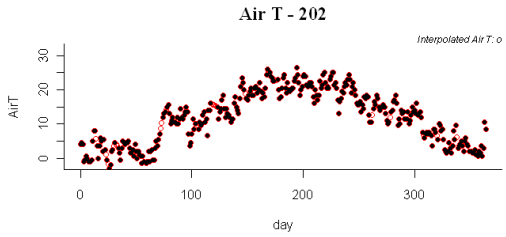
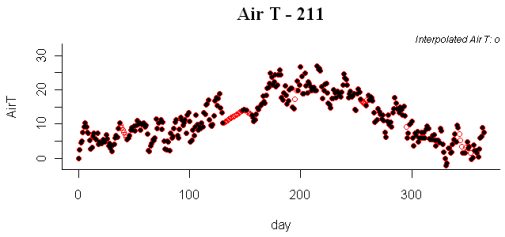
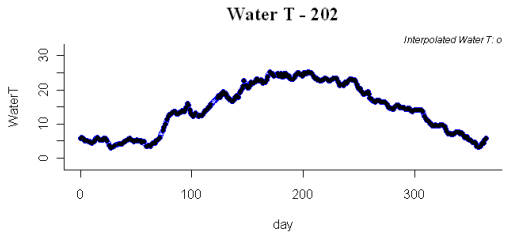


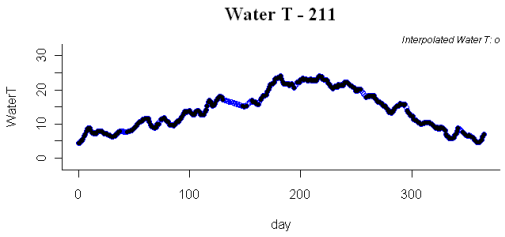
Figura A4-10. Temperaturas aire y agua medidas para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 15 “Ejes mediterráneo-continentales poco mineralizados”

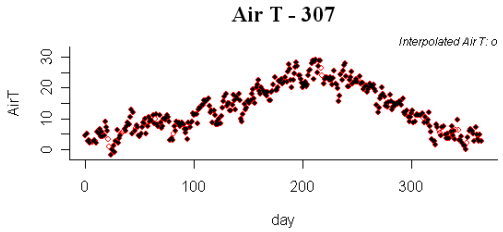
A4-1.11 Tipo 16 “Ejes mediterráneos-continentales mineralizados”

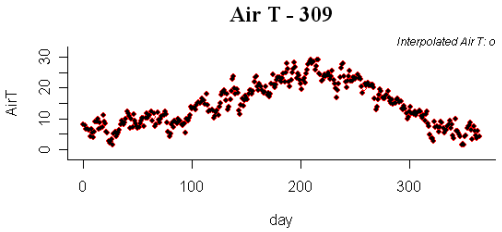


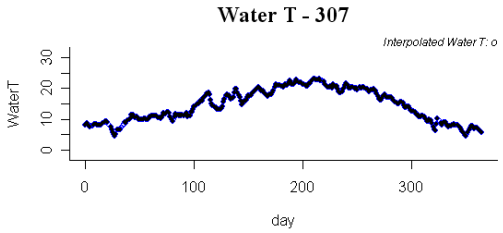


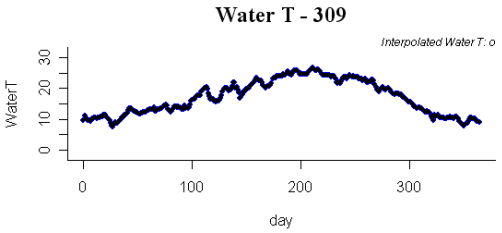












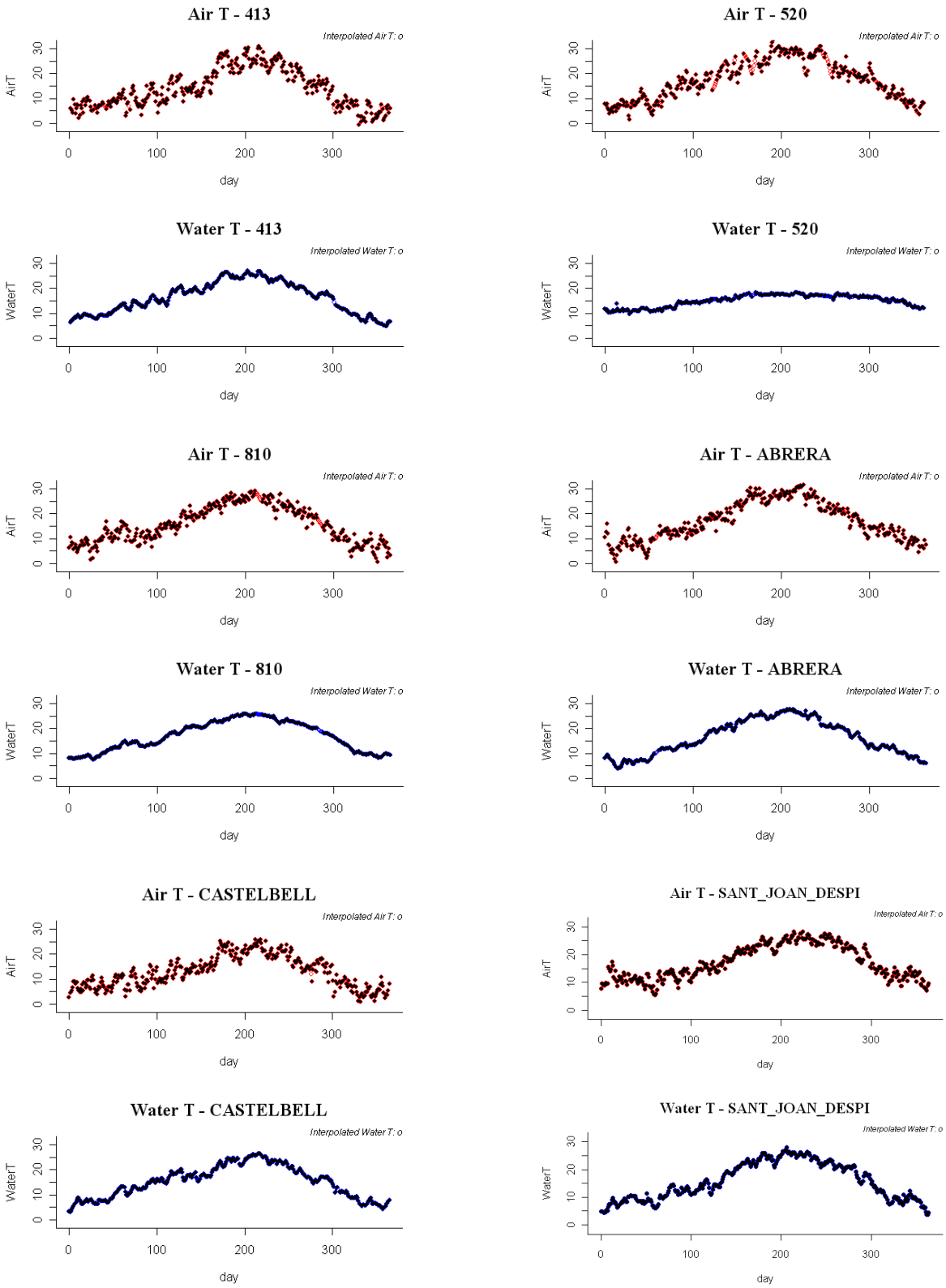
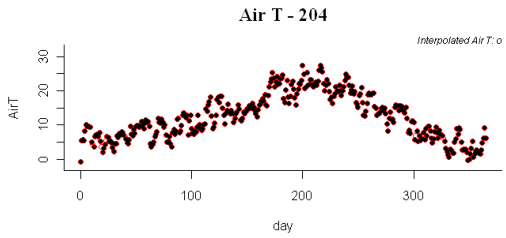
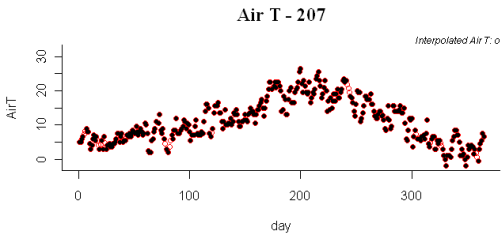
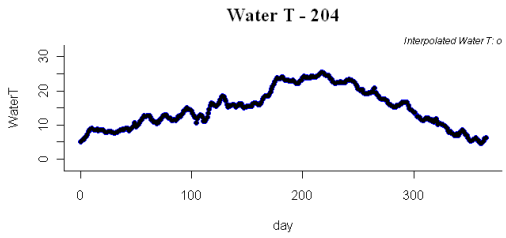


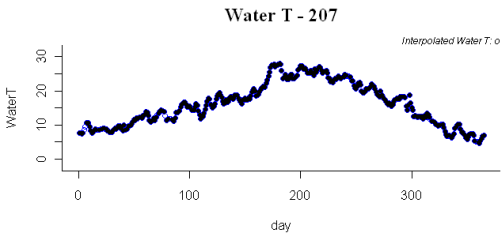
Figura A4-11. Temperaturas aire y agua medidas para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 16 “Ejes mediterráneo-continentales mineralizados”

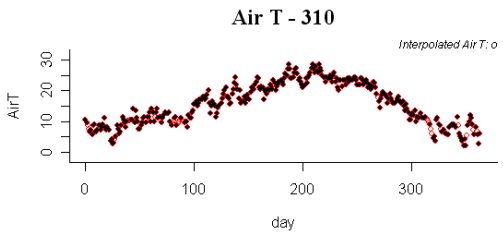
A4-1.12 Tipo 17 “Grandes ejes en ambiente mediterráneo”

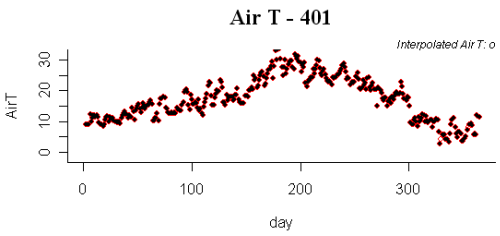


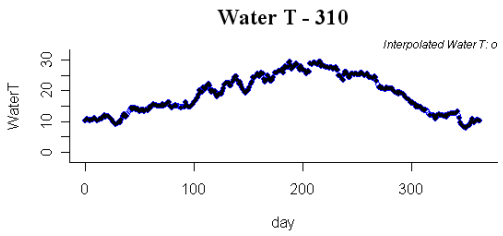


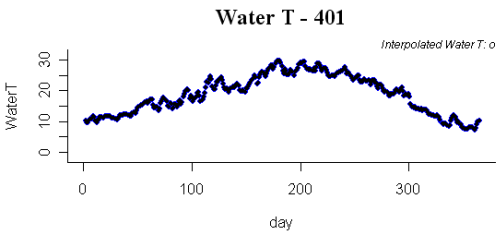


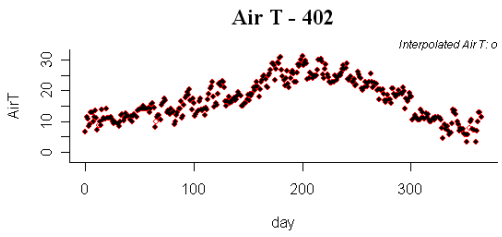


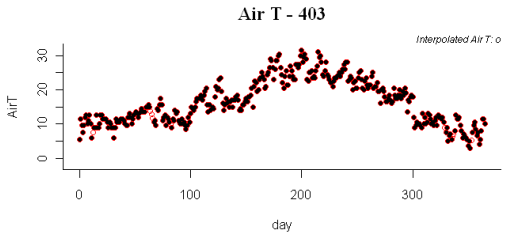


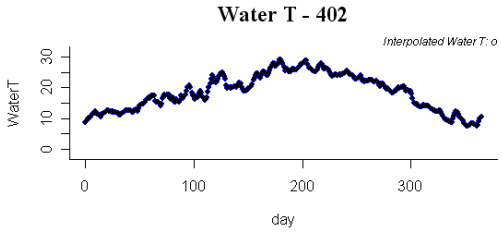


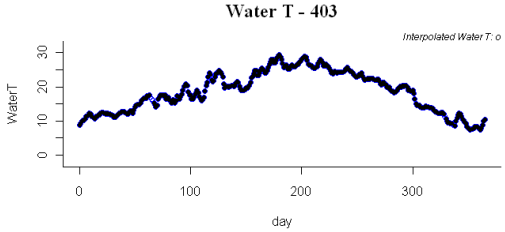


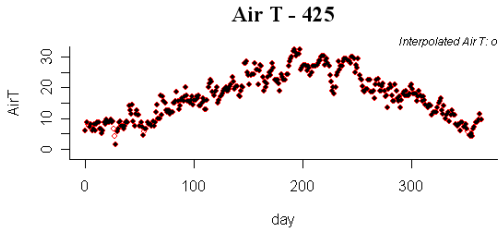


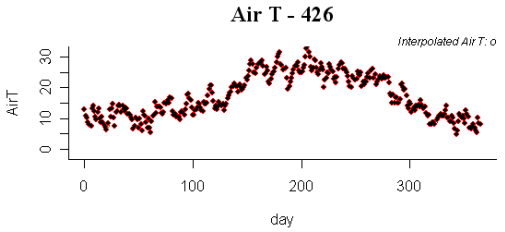

Air T - 402
Interpolated Air T: o
AirT
day

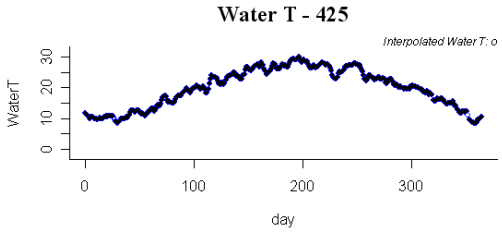

Air T - 403
Interpolated Air T: o
AirT
day

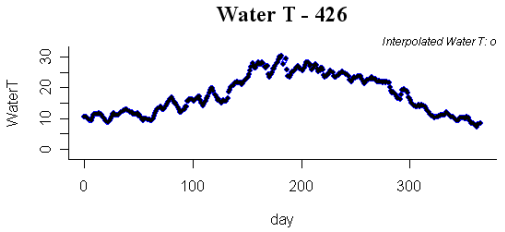

Water T - 402
Interpolated Water T: o
WaterT
day

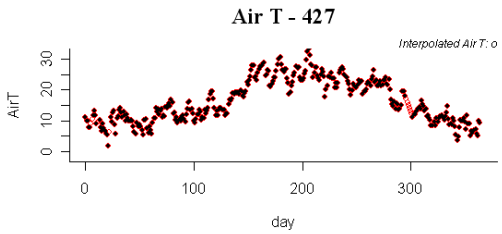

Water T - 403
Interpolated Water T: o
WaterT
day

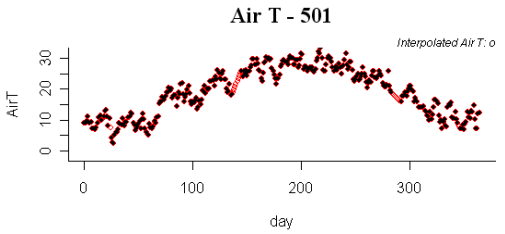

Air T - 425
Interpolated Air T: o
AirT
day

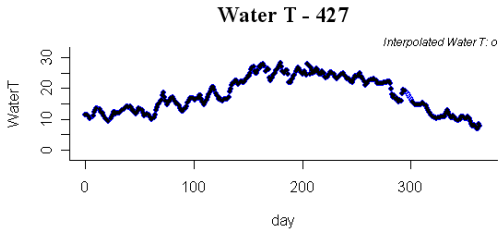

Air T - 426
Interpolated Air T: o
AirT
day

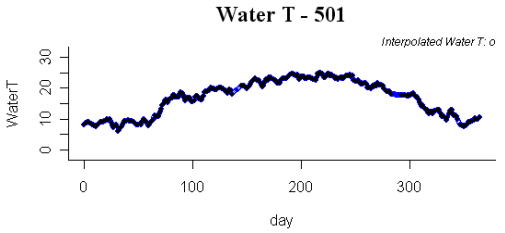

Water T - 425
Interpolated Water T: o
WaterT
day


Water T - 426
Interpolated Water T: o
WaterT
day


Air T - 427
Interpolated Air T: o
AirT
day


Air T - 501
Interpolated Air T: o
AirT
day


Water T - 427
Interpolated Water T: o
WaterT
day


Water T - 501
Interpolated Water T: o
WaterT
day

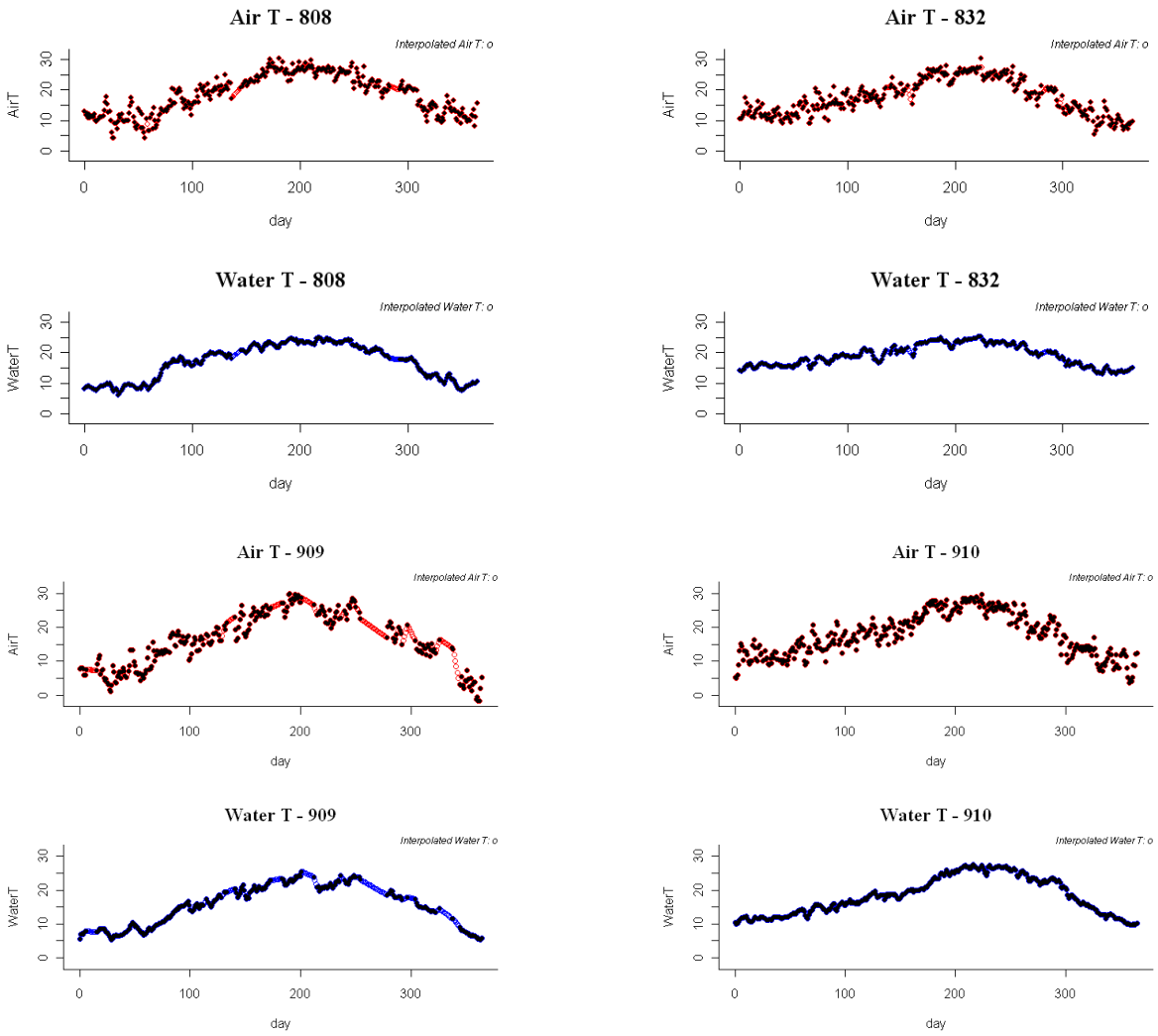


Figura A4-12. Temperaturas aire y agua medidas para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 17 “Grandes ejes en ambiente mediterráneo”

A4-1.13 Tipo 18 “Ríos costeros mediterráneos”

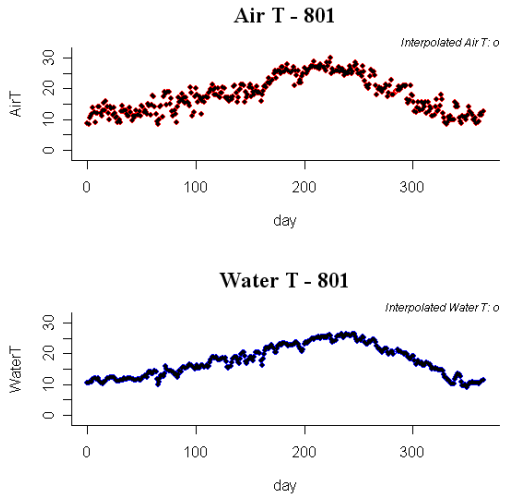


Figura A4-13. Temperaturas aire y agua medidas para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 18 “Ríos costeros mediterráneos”

A4-1.14 Tipo 21 “Ríos cántabro-atlánticos silíceos”

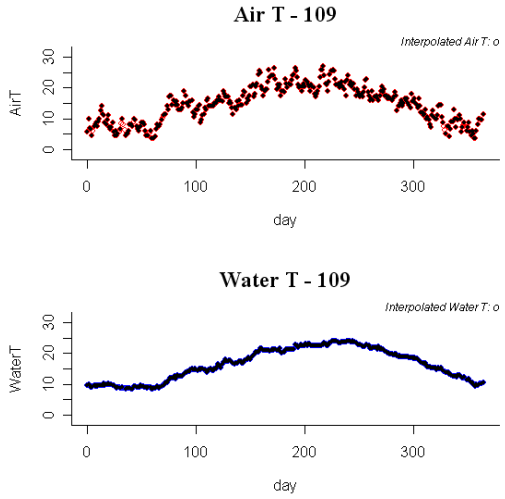


Figura A4-14. Temperaturas aire y agua medidas para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 21 “Ríos cántabro-atlánticos silíceos”

A4-1.15 Tipo 26 “Ríos de montaña húmeda calcárea”

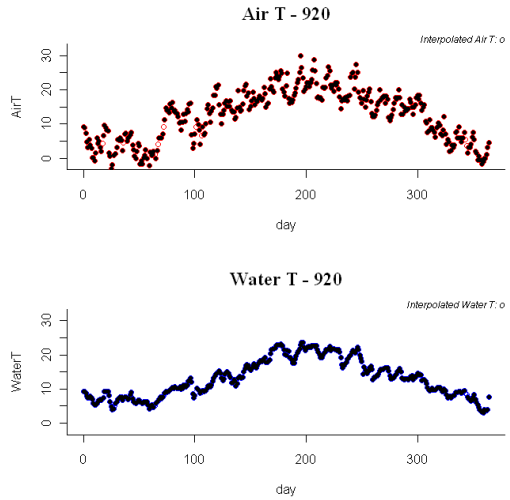
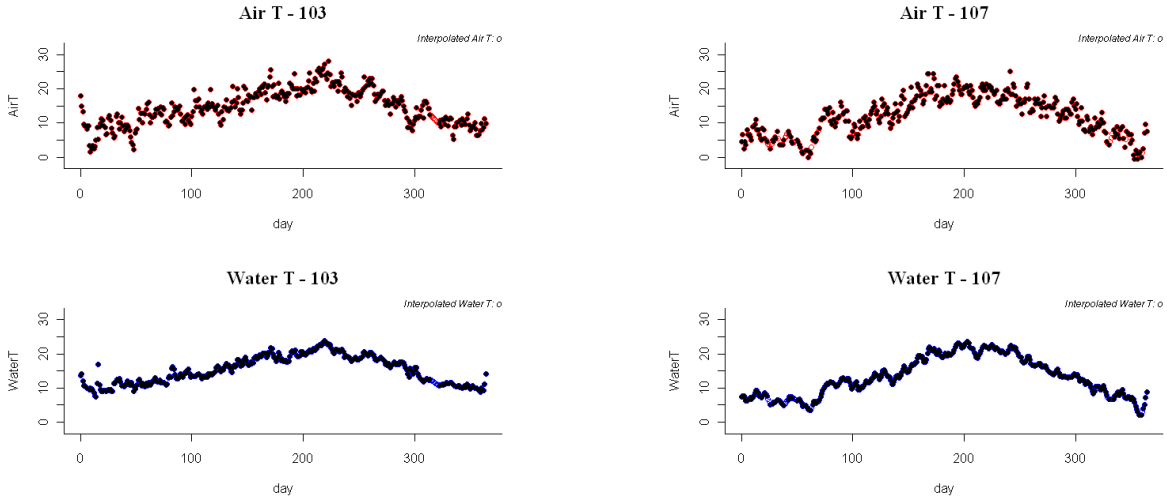


Figura A4-15. Temperaturas aire y agua medidas para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 26 “Ríos de montaña húmeda calcárea”

A4-1.16 Tipo 28 “Ejes fluviales principales cántabro-atlánticos silíceos”



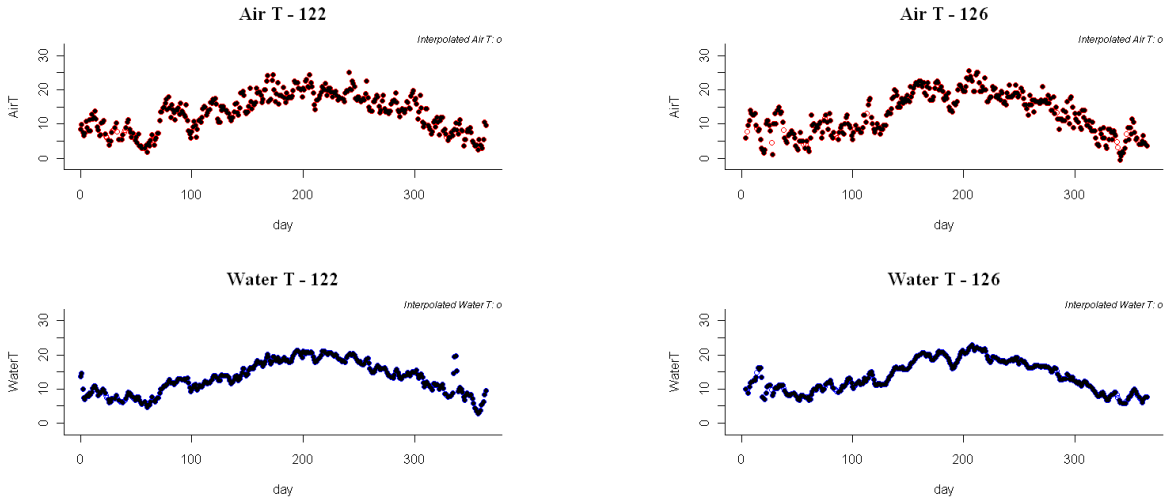
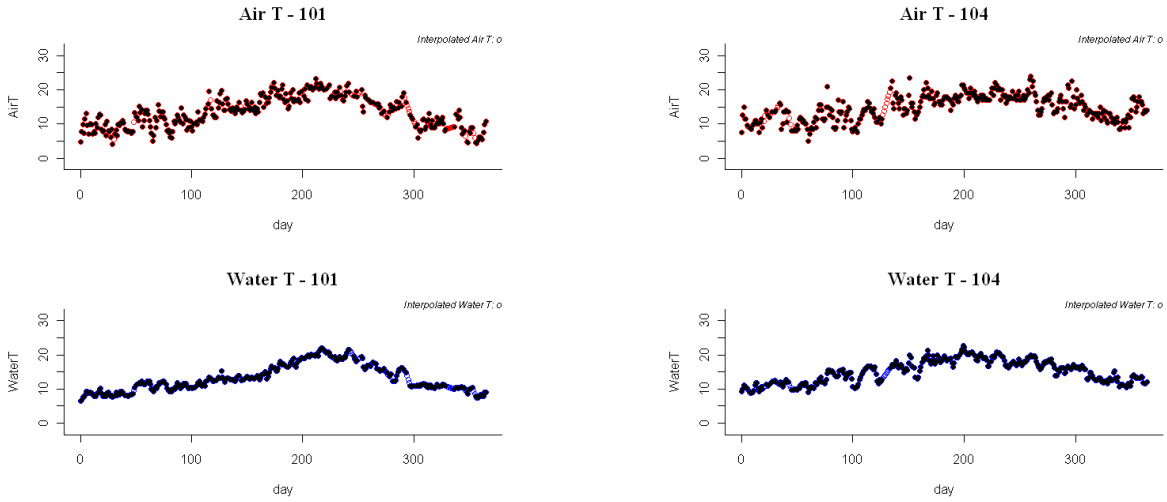


Figura A4-16. Temperaturas aire y agua medidas para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 28 “Ejes fluviales principales cántabro-atlánticos silíceos”

A4-1.17 Tipo 29 “Ejes fluviales principales cántabro-atlánticos calcáreos”



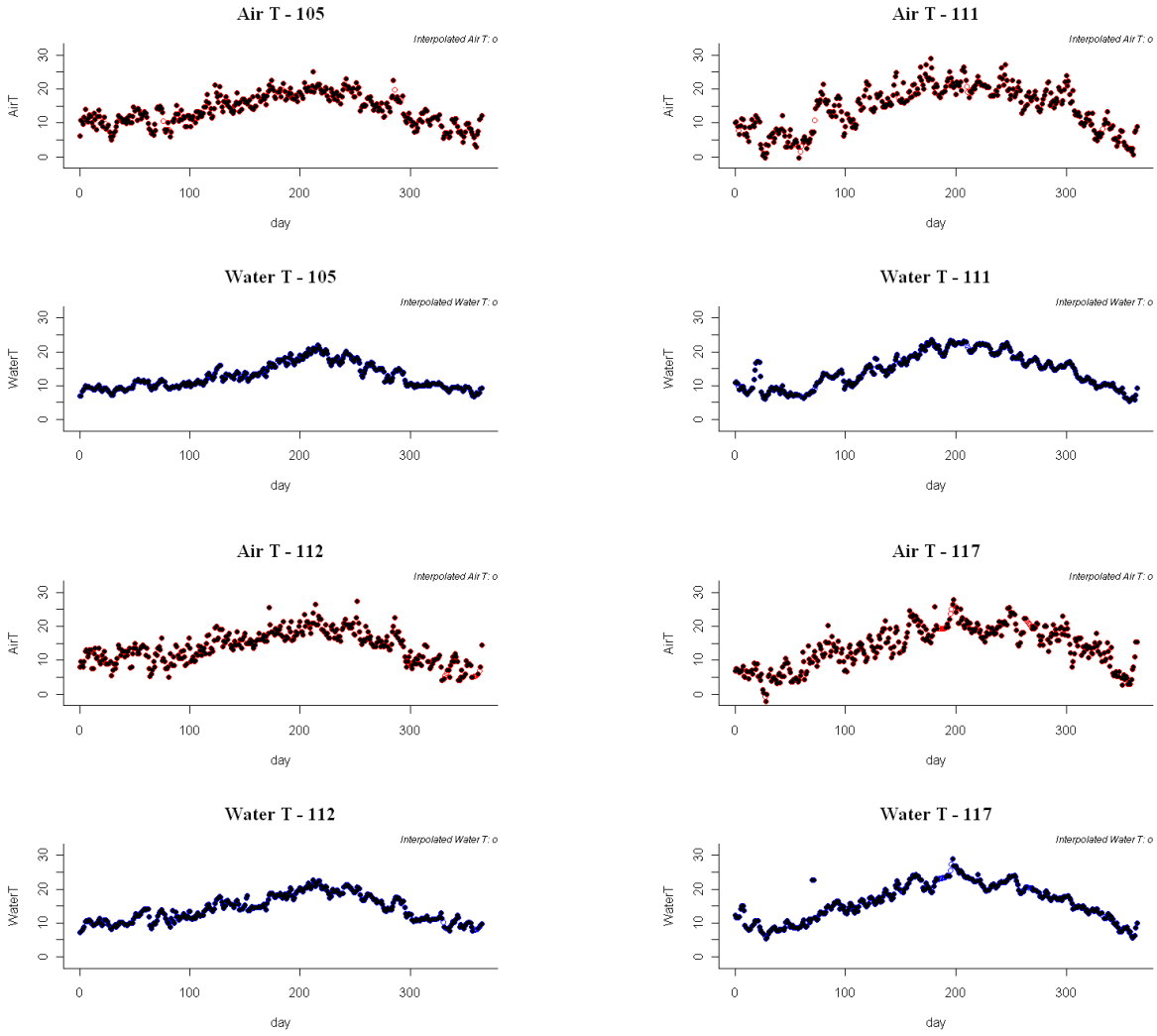


Figura A4-17. Temperaturas aire y agua medidas para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 29 “Ejes fluviales principales cántabro-atlánticos calcáreos”

A4-1.18 Tipo 31 “Pequeños ejes cántabro-atlánticos silíceos”

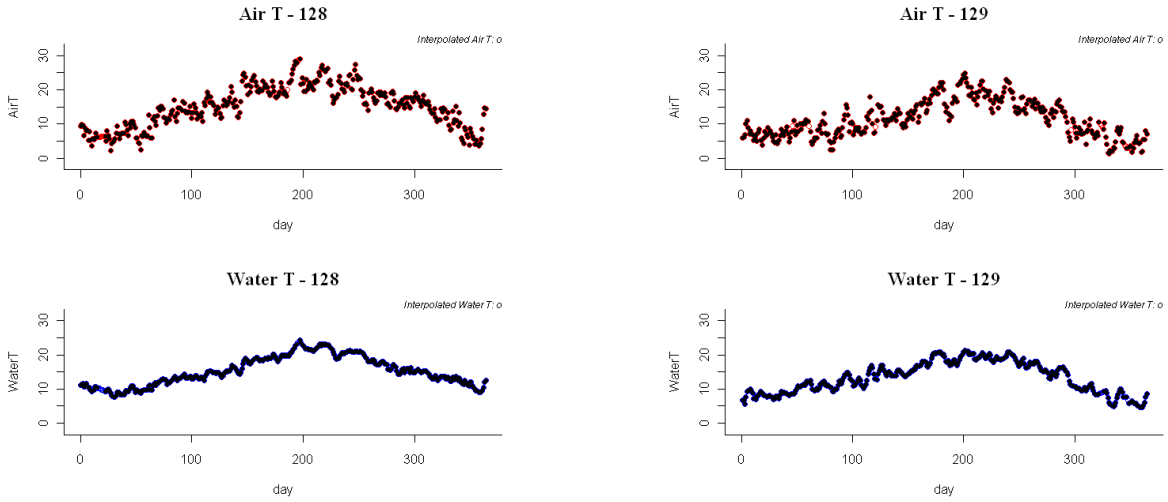


Figura A4-18. Temperaturas aire y agua medidas para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 31 “Pequeños ejes cántabro-atlánticos silíceos”

A4-1.19 Tipo 32 “Pequeños ejes cántabro-atlánticos calcáreos”

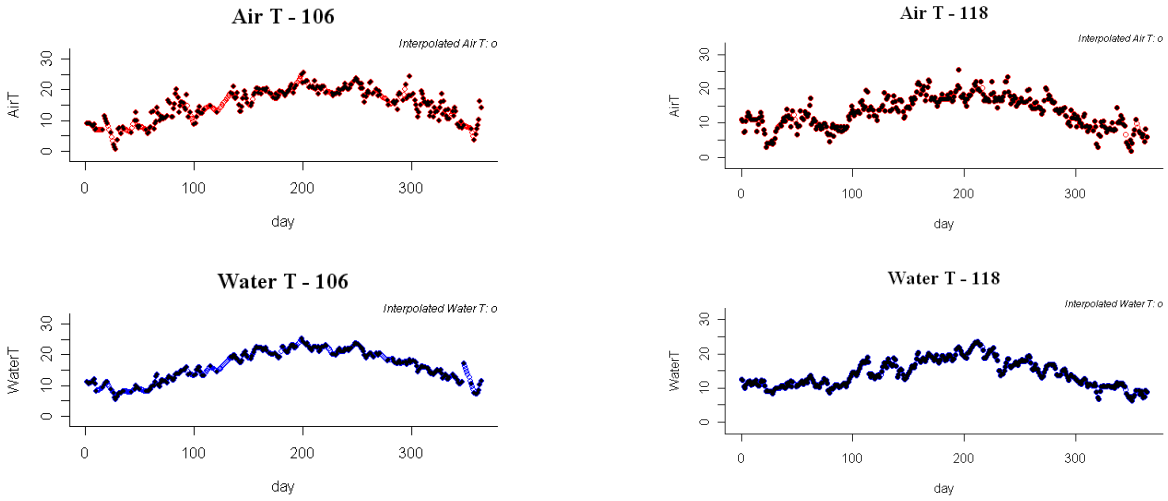


Figura A4-19. Temperaturas aire y agua medidas para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 32 “Pequeños ejes cántabro-atlánticos calcáreos”

A4-2 CURVAS DE DENSIDAD DE LAS TEMPERATURAS AIRE Y AGUA

A4-2.1 Tipo 1 "Ríos de llanuras silíceas del Tajo y Guadiana"

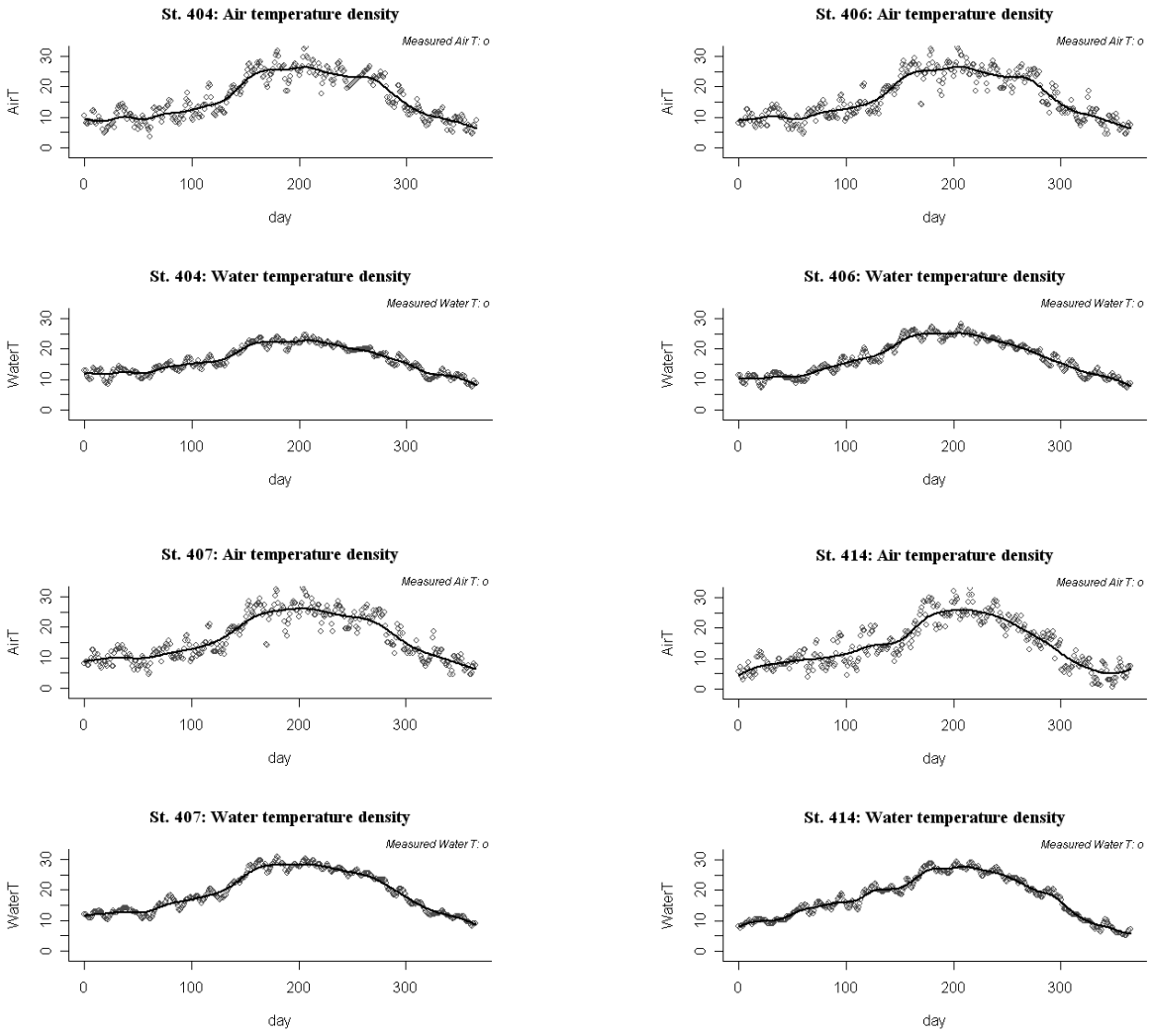


Figura A4-20. Curvas de densidad de temperaturas aire y agua para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 1 "Ríos de llanuras silíceas del Tajo y Guadiana"

A4-2.2 Tipo 2 "Ríos de la depresión del Guadalquivir"

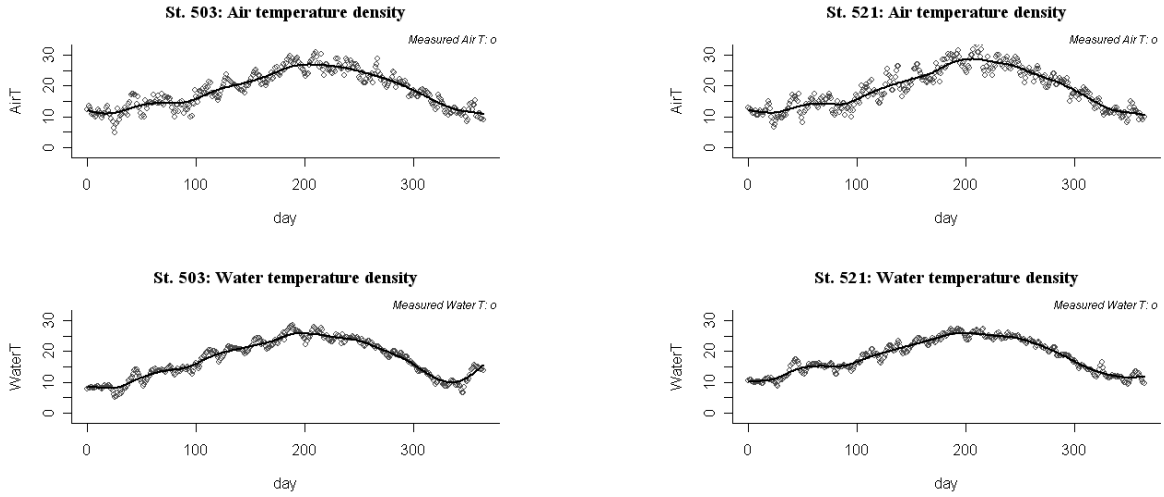


Figura A4-21. Curvas de densidad de temperaturas aire y agua para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 2 "Ríos de la depresión del Guadalquivir"

A4-2.3 Tipo 4 "Ríos mineralizados de la Meseta Norte"

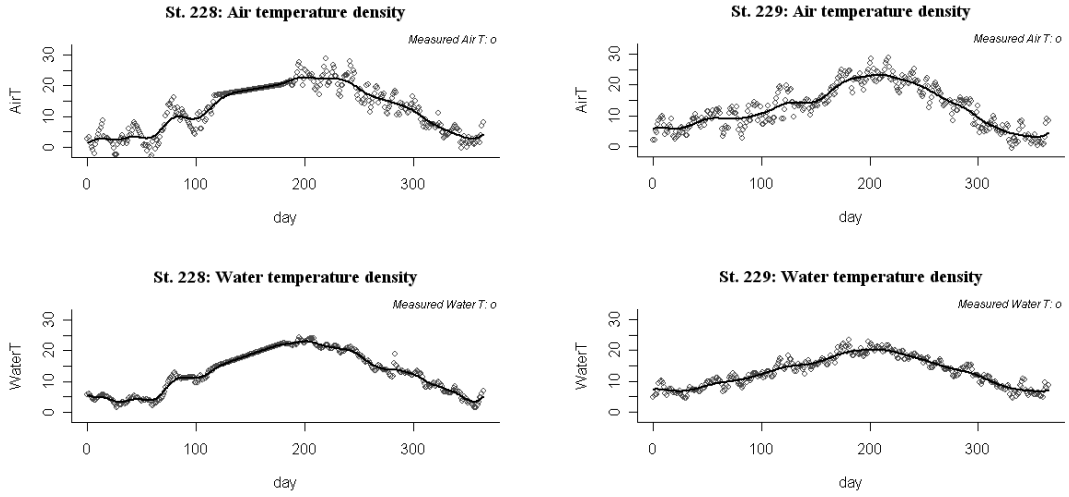


Figura A4-22. Curvas de densidad de temperaturas aire y agua para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 4 "Ríos mineralizados de la Meseta Norte"

A4-2.4 Tipo 6 "Ríos silíceos del piedemonte de Sierra Morena"

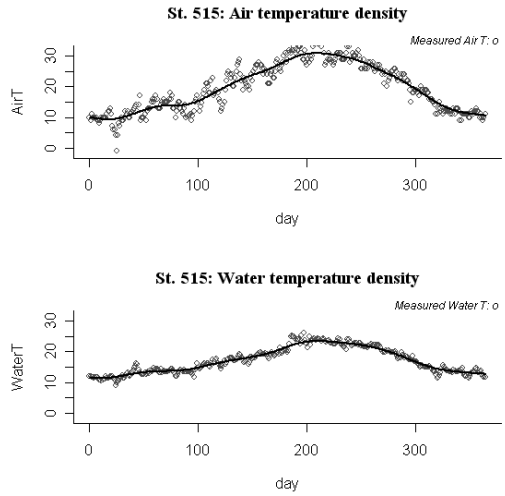


Figura A4-23. Curvas de densidad de temperaturas aire y agua para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 6 "Ríos silíceos del piedemonte de Sierra Morena"

A4-2.5 Tipo 7 "Ríos mineralizados mediterráneos de baja altitud"

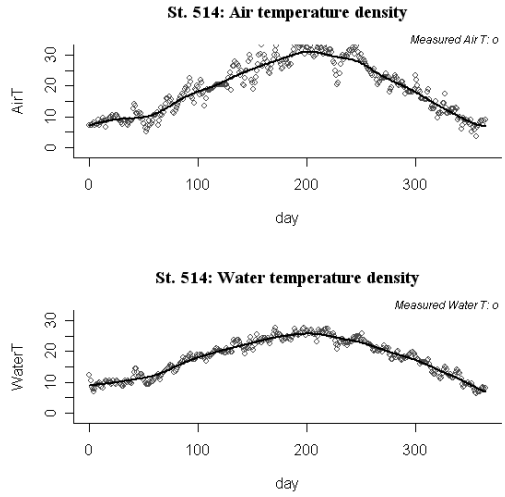


Figura A4-24. Curvas de densidad de temperaturas aire y agua para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 7 "Ríos mineralizados mediterráneos de baja altitud"

A4-2.6 Tipo 9 "Ríos mineralizados de la baja montaña mediterránea"

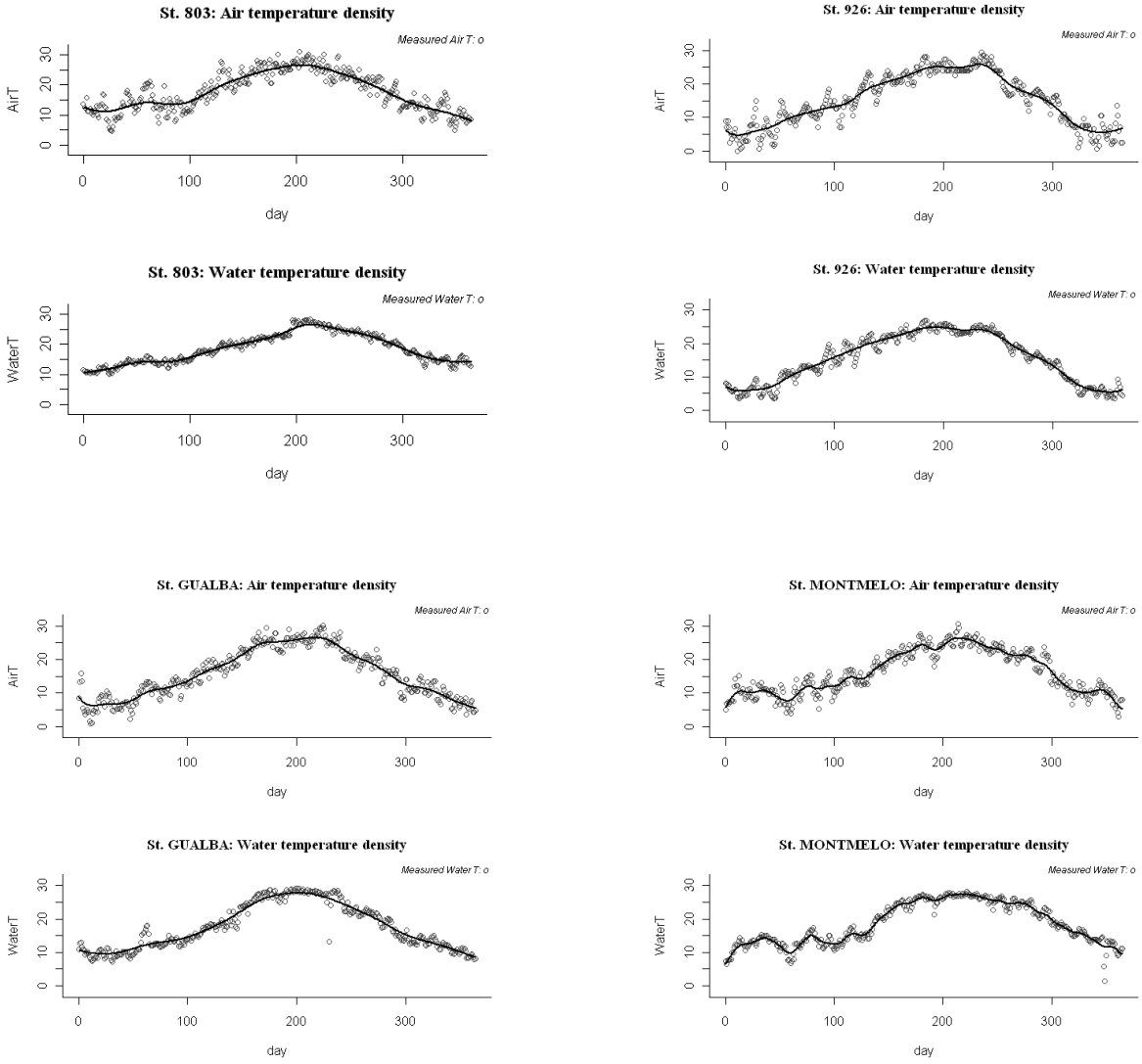


Figura A4-25. Curvas de densidad de temperaturas aire y agua para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 9 "Ríos mineralizados de la baja montaña mediterránea"

A4-2.7 Tipo 10 "Ríos mediterráneos con influencia cárstica"

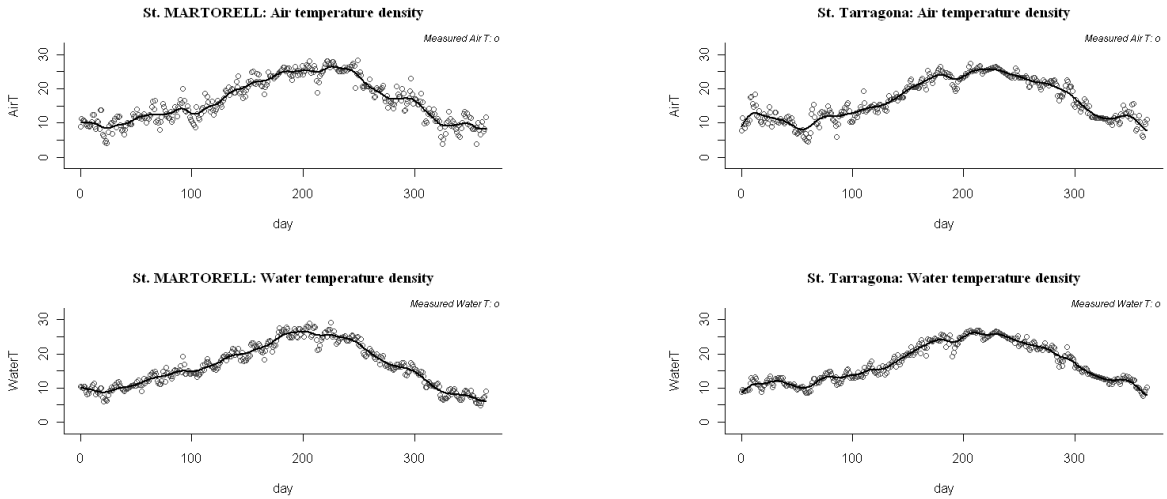
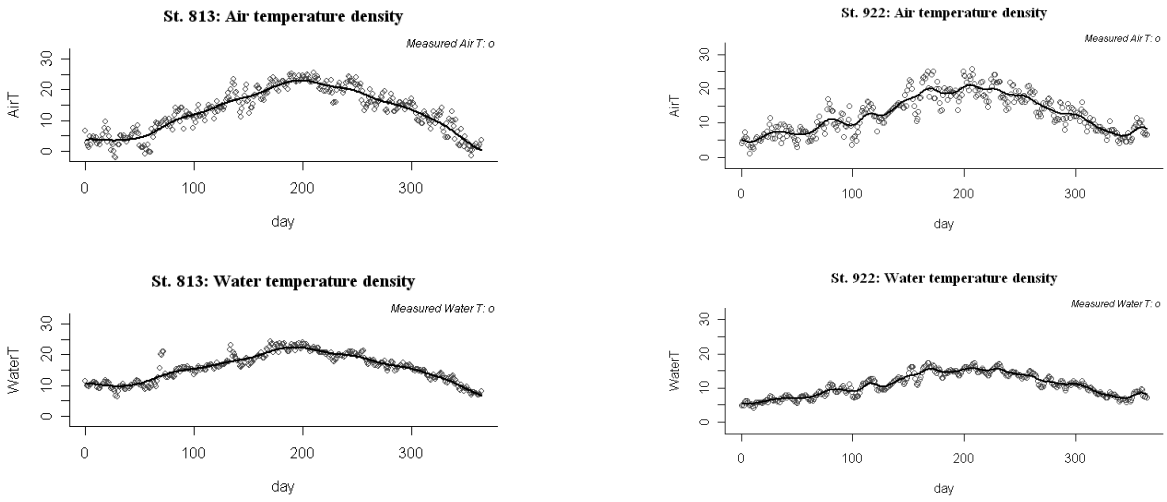


Figura A4-26. Curvas de densidad de temperaturas aire y agua para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 10 "Ríos mediterráneos con influencia cárstica"

A4-2.8 Tipo 12 "Ríos de montaña mediterránea calcárea"



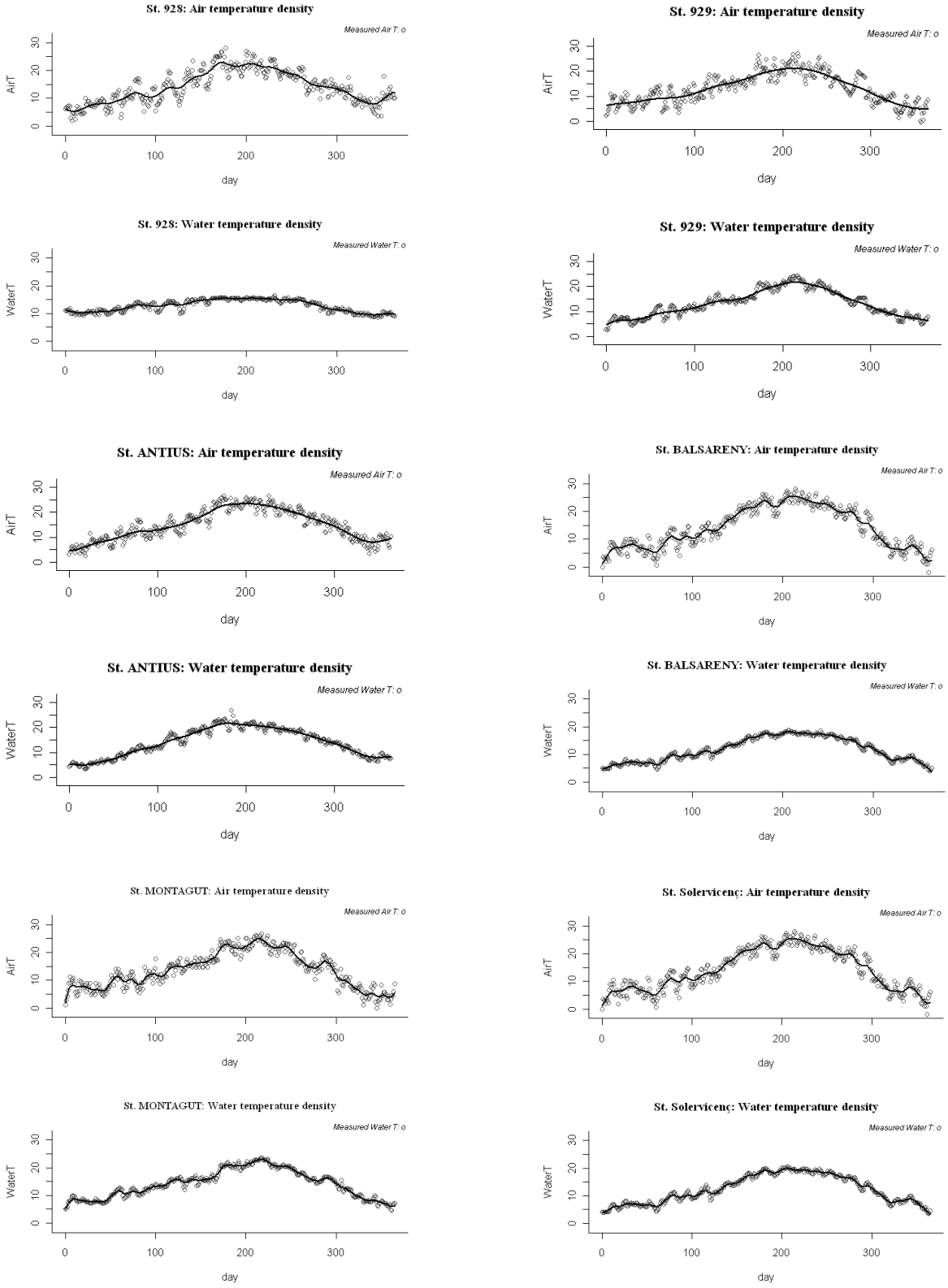


Figura A4-27. Curvas de densidad de temperaturas aire y agua para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 12 “Ríos de montaña mediterránea calcárea”

A4-2.9 Tipo 14 "Ejes mediterráneos de baja altitud"

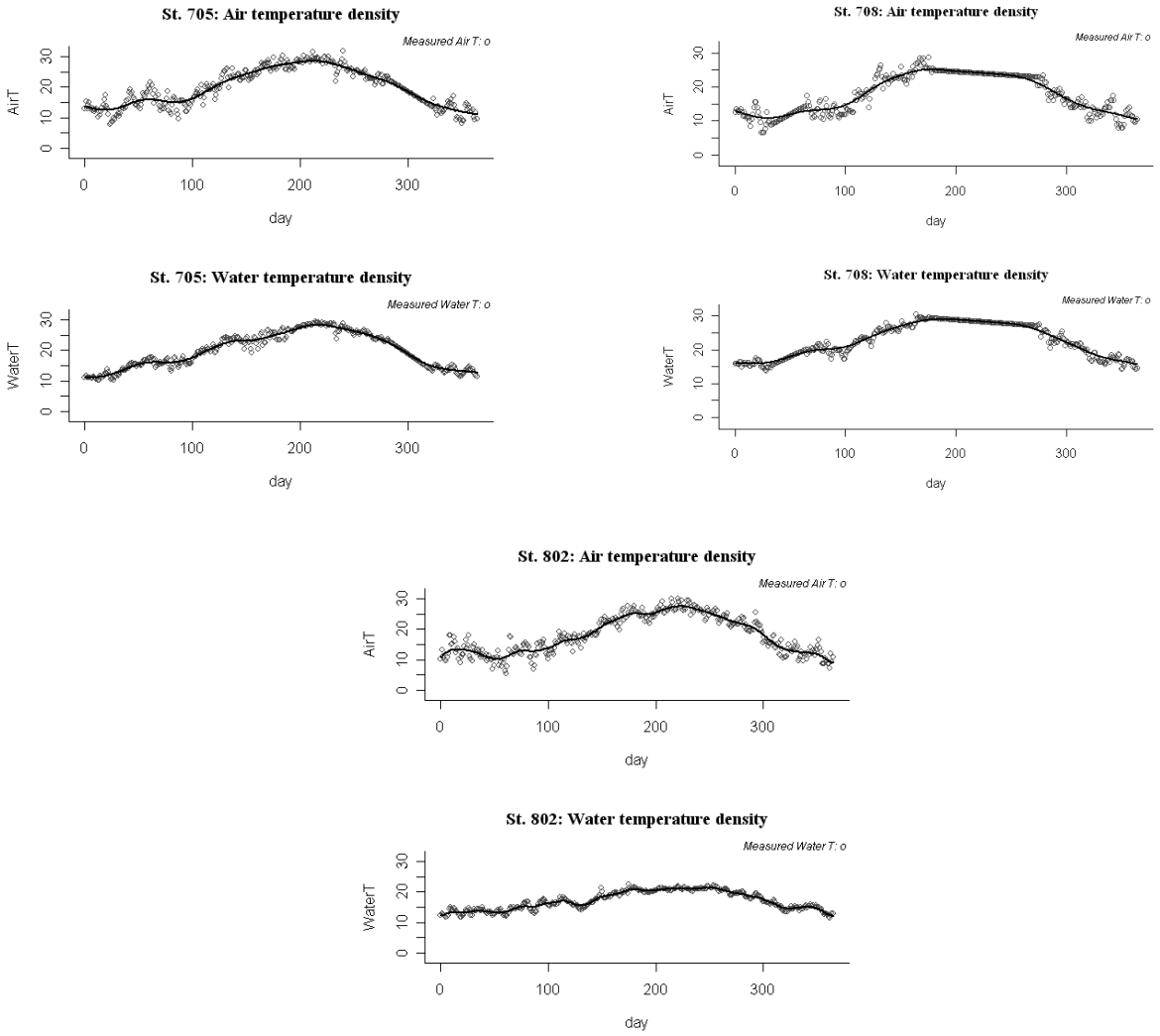
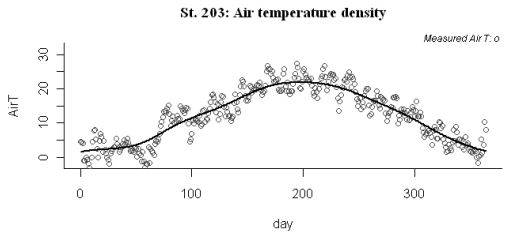
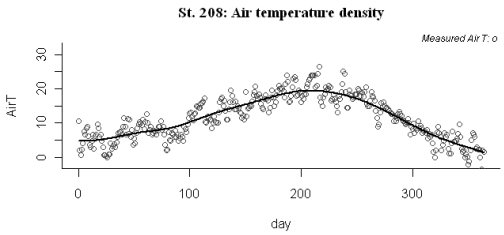
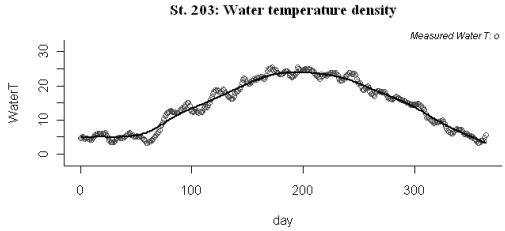


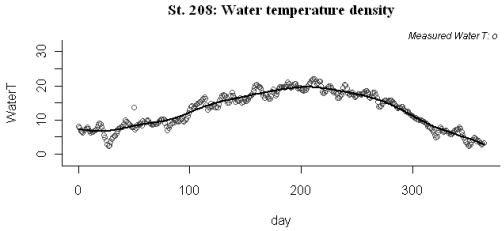
Figura A4-28. Curvas de densidad de temperaturas aire y agua para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 14 "Ejes mediterráneos de baja altitud"

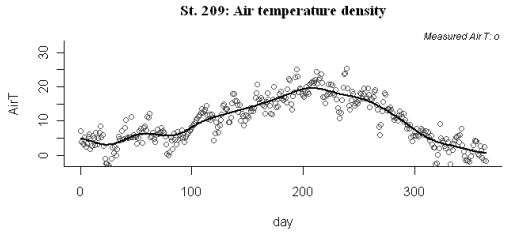
A4-2.10 Tipo 15 “Ejes mediterráneo-continentales poco mineralizados”

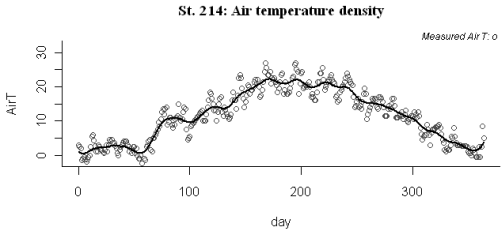


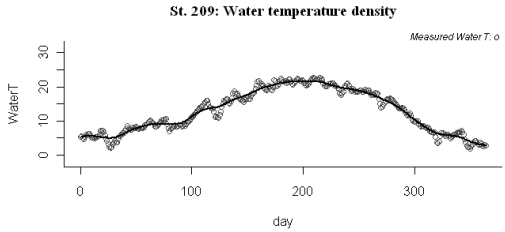


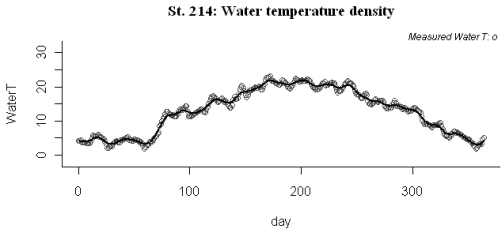


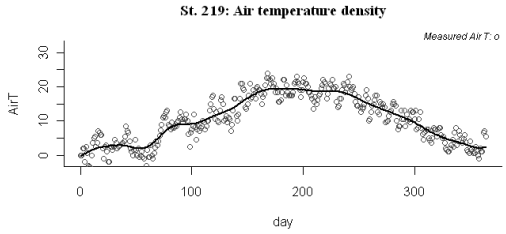


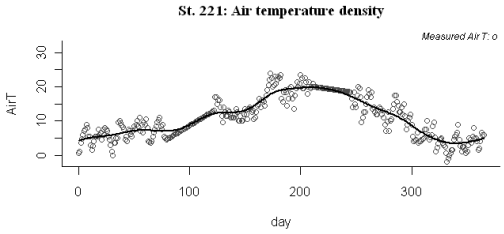


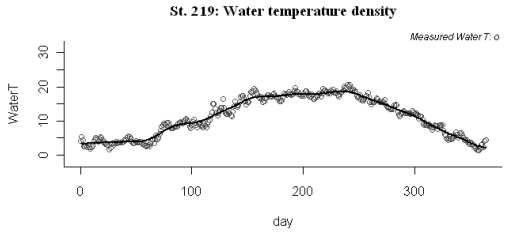


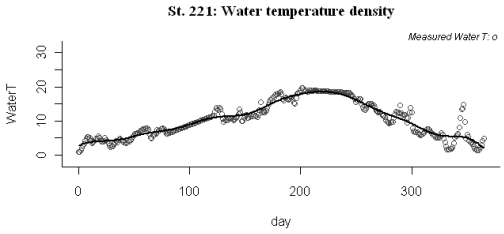


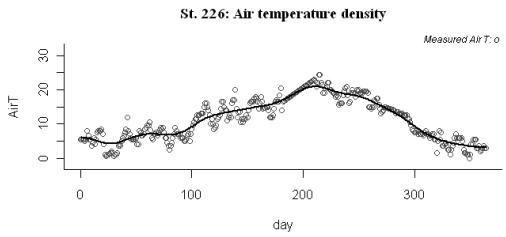


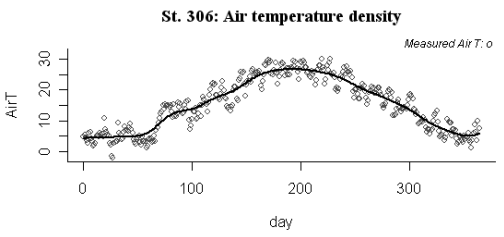

St. 219: Air temperature density
Measured Air T: o
AirT
day

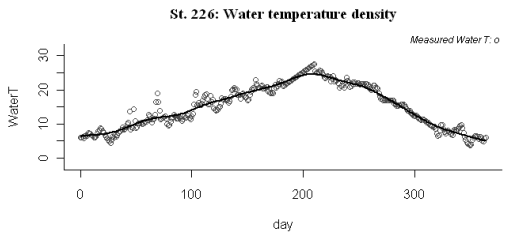

St. 221: Air temperature density
Measured Air T: o
AirT
day

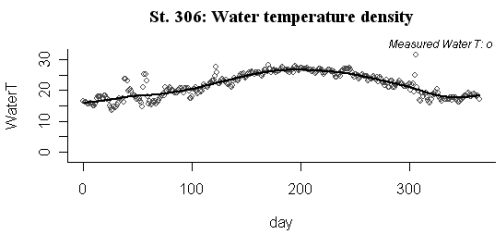

St. 219: Water temperature density
Measured Water T: o
WaterT
day

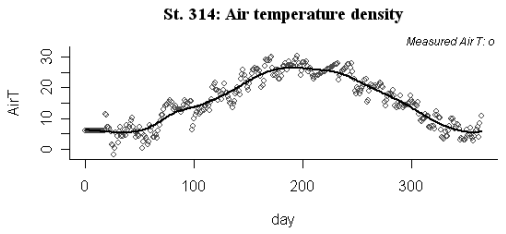

St. 221: Water temperature density
Measured Water T: o
WaterT
day

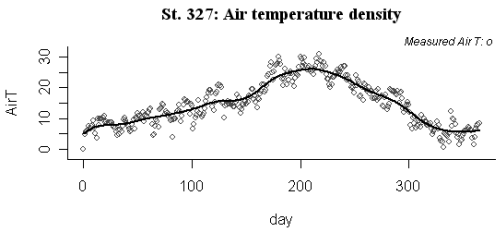

St. 226: Air temperature density
Measured Air T: o
AirT
day

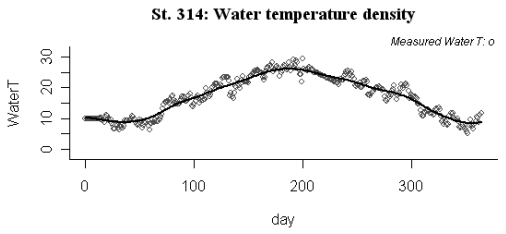

St. 306: Air temperature density
Measured Air T: o
AirT
day

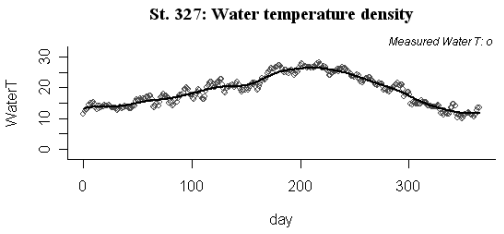

St. 226: Water temperature density
Measured Water T: o
WaterT
day

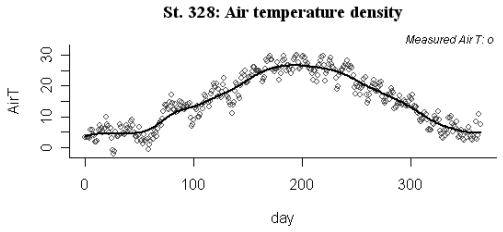

St. 306: Water temperature density
Measured Water T: o
WaterT
day

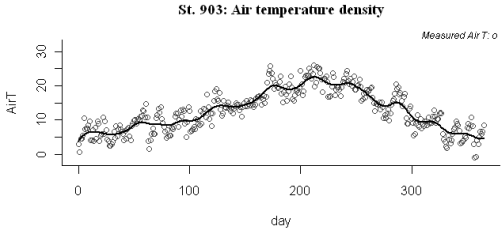

St. 314: Air temperature density
Measured Air T: o
AirT
day

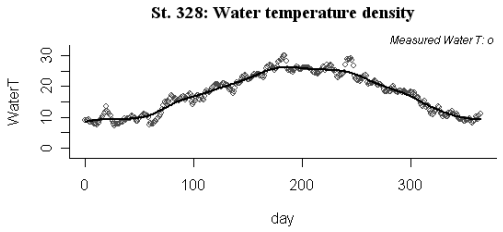

St. 327: Air temperature density
Measured Air T: o
AirT
day

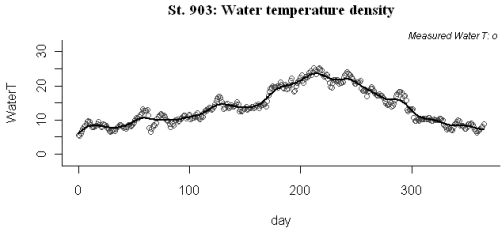

St. 314: Water temperature density
Measured Water T: o
WaterT
day

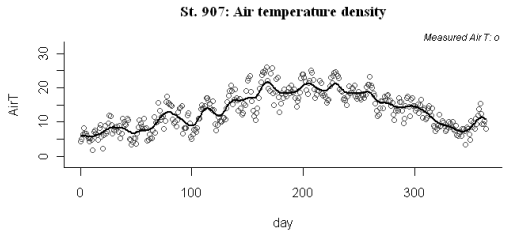

St. 327: Water temperature density
Measured Water T: o
WaterT
day

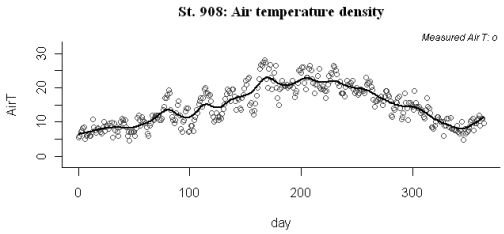

St. 328: Air temperature density
Measured Air T: o
AirT
day

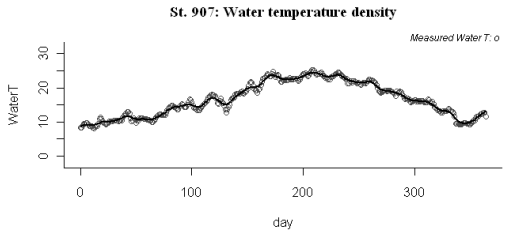

St. 903: Air temperature density
Measured Air T: o
AirT
day

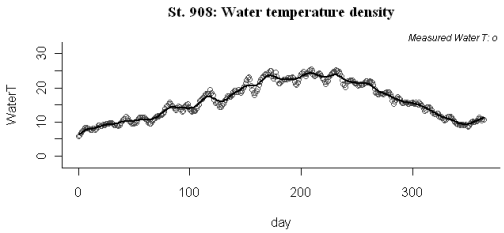

St. 328: Water temperature density
Measured Water T: o
WaterT
day

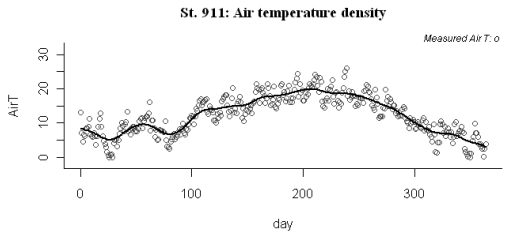

St. 903: Water temperature density
Measured Water T: o
WaterT
day

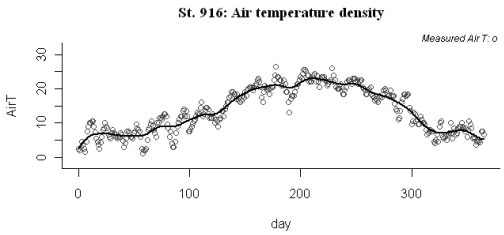

St. 907: Air temperature density
Measured Air T: o
AirT
day

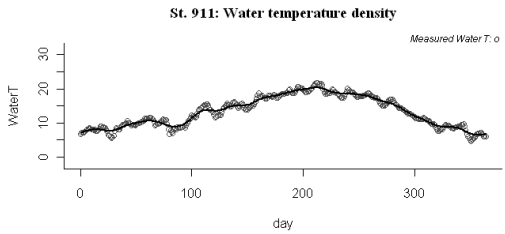

St. 908: Air temperature density
Measured Air T: o
AirT
day

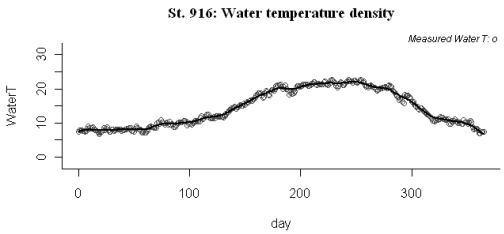

St. 907: Water temperature density
Measured Water T: o
WaterT
day


St. 908: Water temperature density
Measured Water T: o
WaterT
day


St. 911: Air temperature density
Measured Air T: o
AirT
day


St. 916: Air temperature density
Measured Air T: o
AirT
day


St. 911: Water temperature density
Measured Water T: o
WaterT
day


St. 916: Water temperature density
Measured Water T: o
WaterT
day

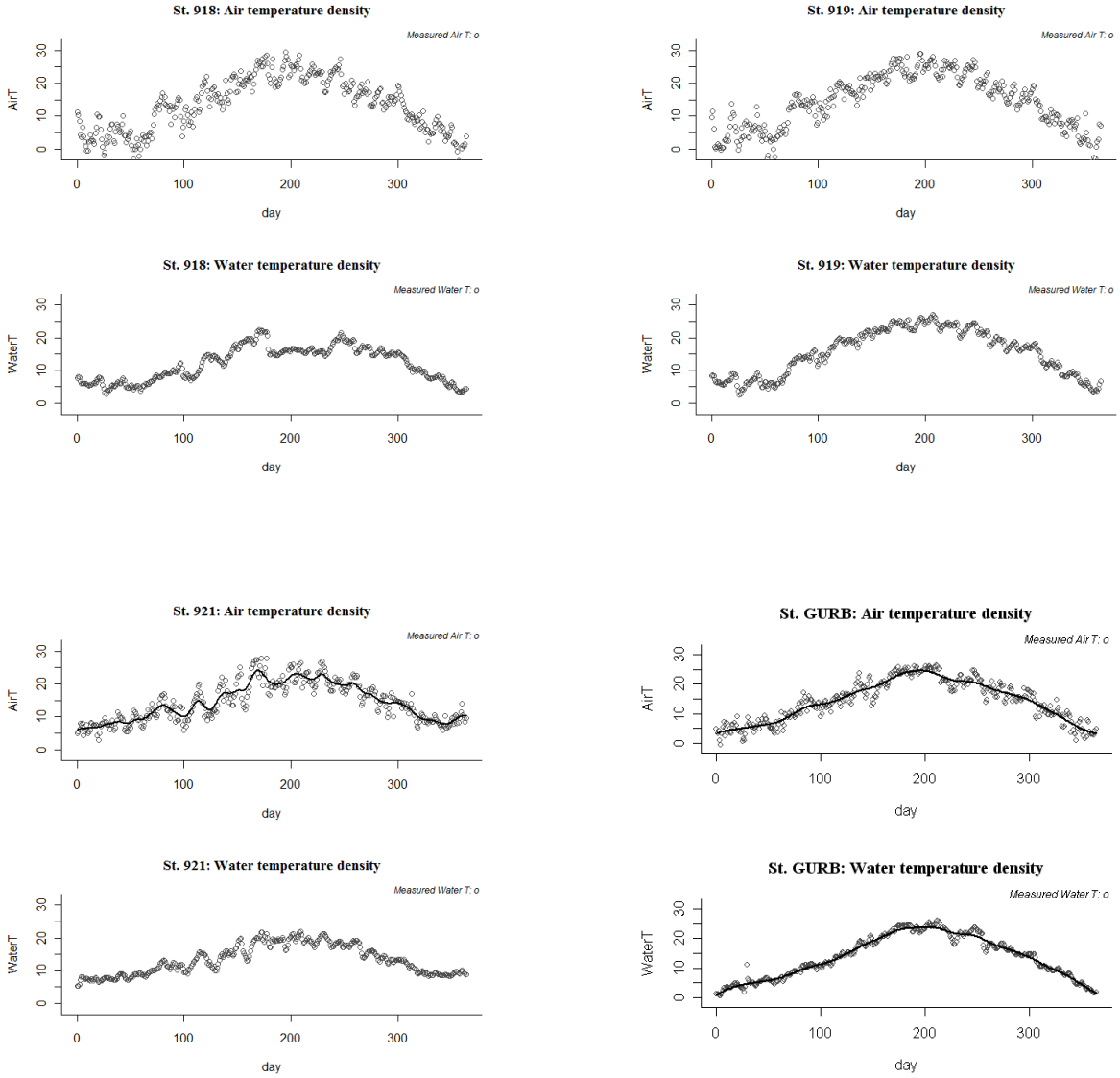
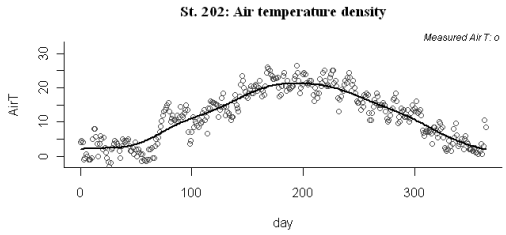
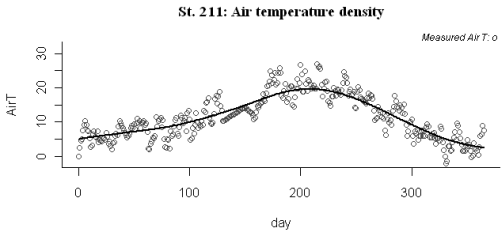
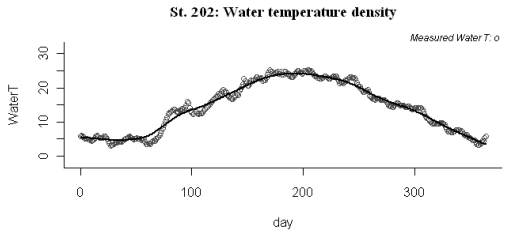


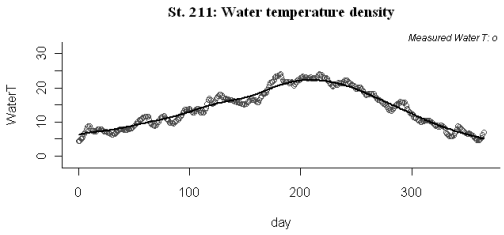
Figura A4-29. Curvas de densidad de temperaturas aire y agua para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 15 “Ejes mediterráneo-continentales poco mineralizados”

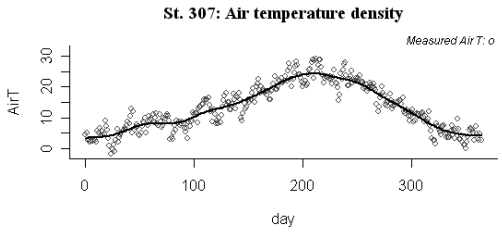
A4-2.11 Tipo 16 “Ejes mediterráneo-continentales mineralizados”

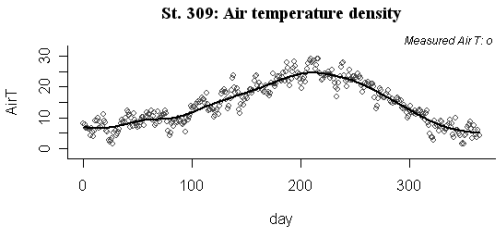


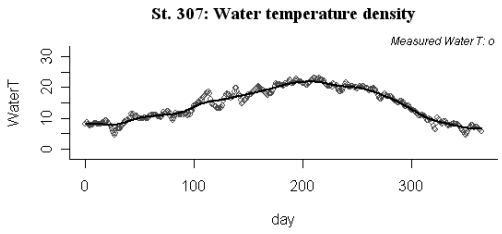


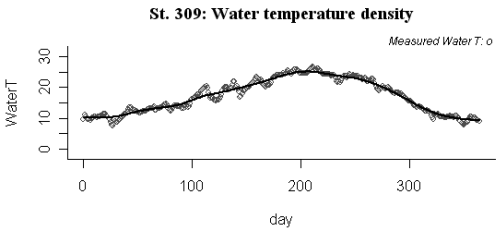












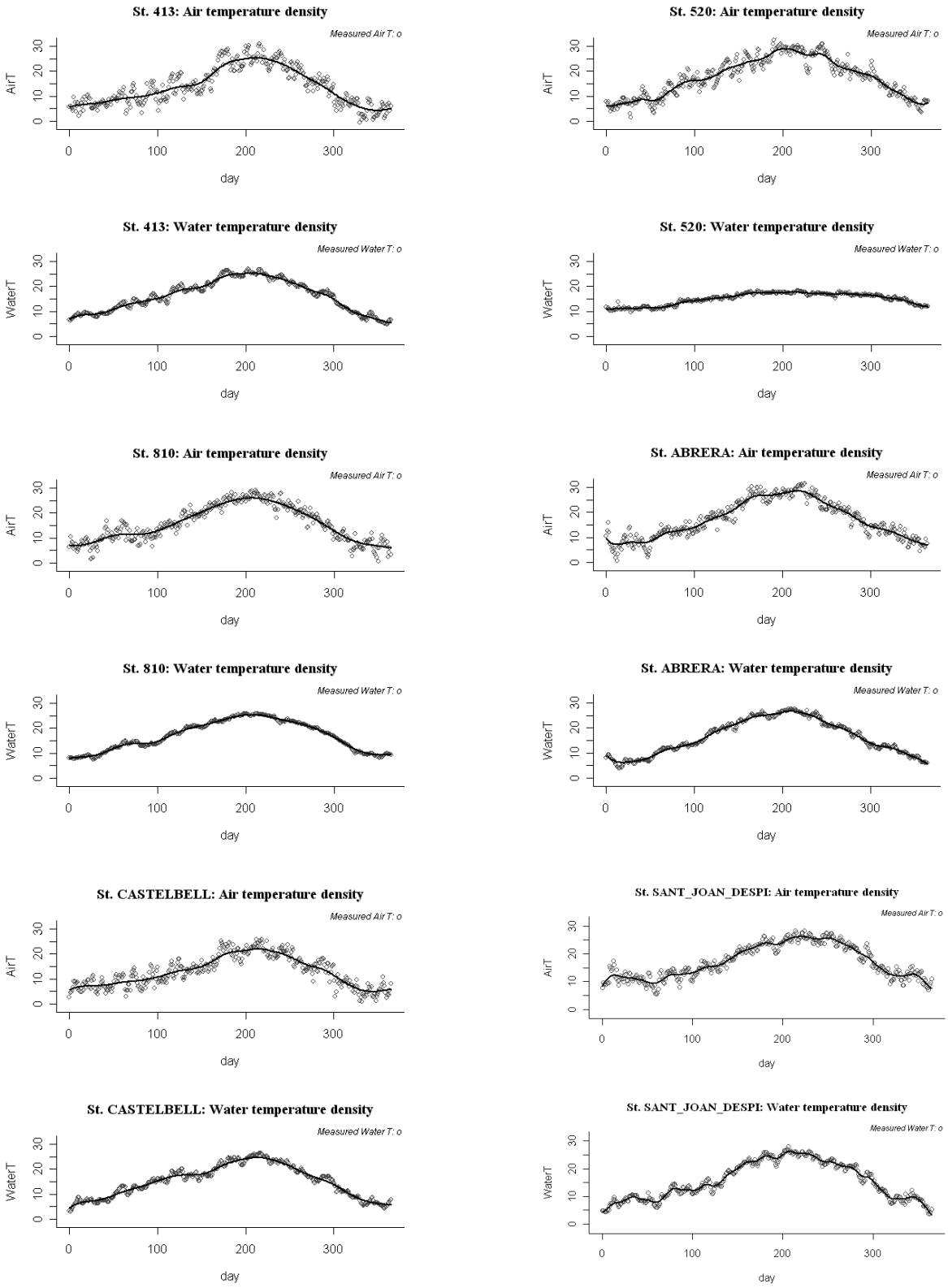
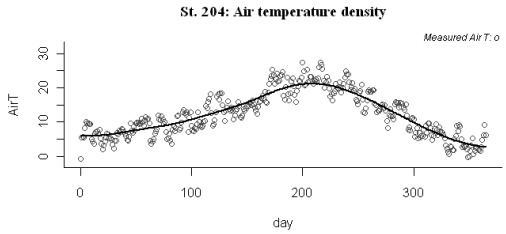
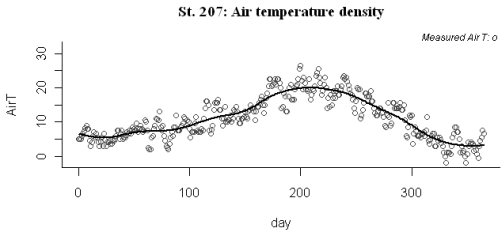
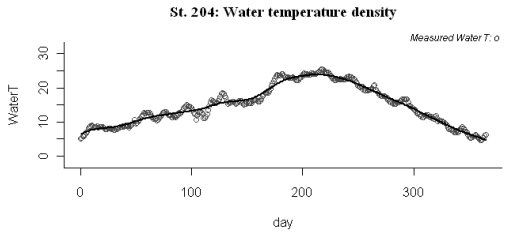


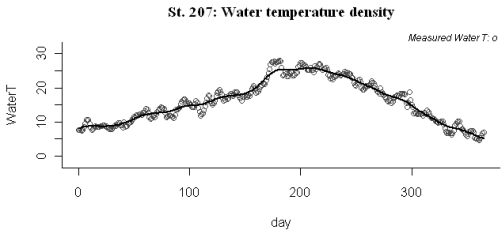
Figura A4-30. Curvas de densidad de temperaturas aire y agua para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 16 “Ejes mediterráneo-continentales mineralizados”

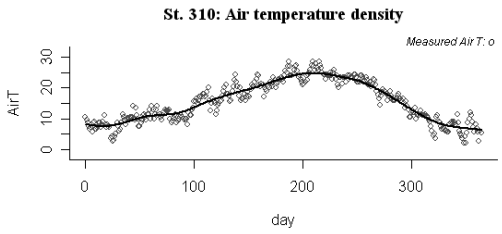
A4-2.12 Tipo 17 “Grandes ejes en ambiente mediterráneo”

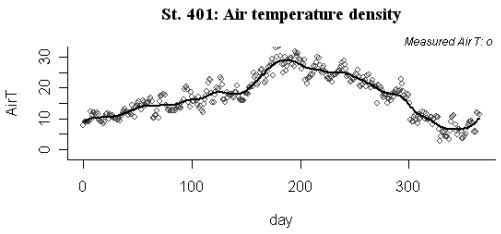


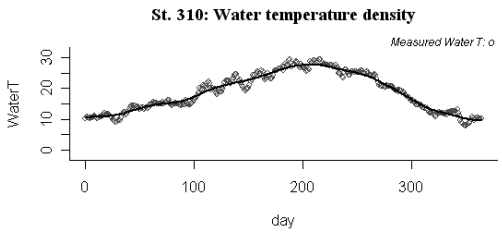


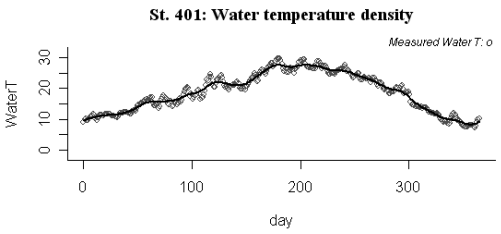


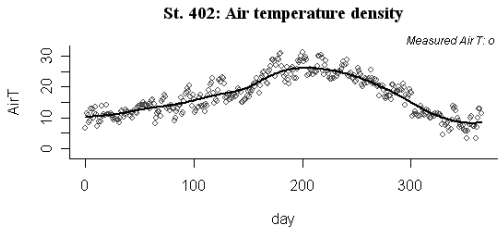


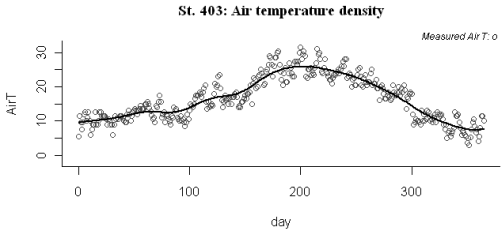


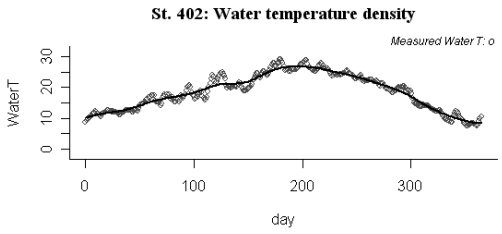


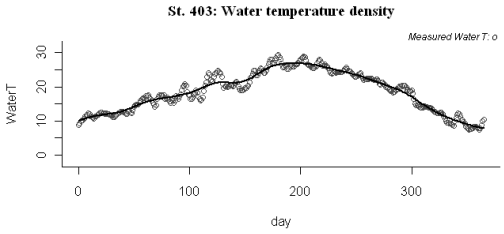


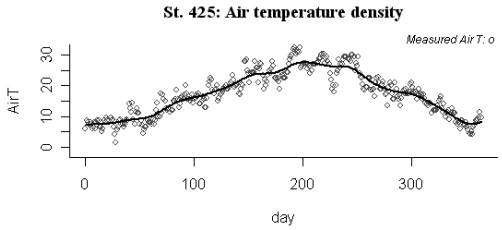


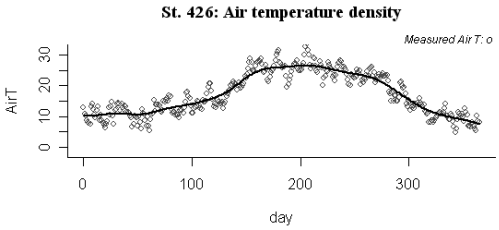


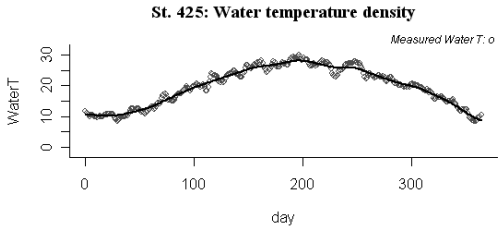


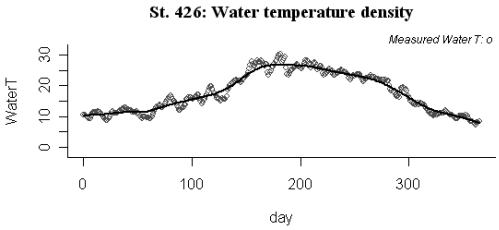


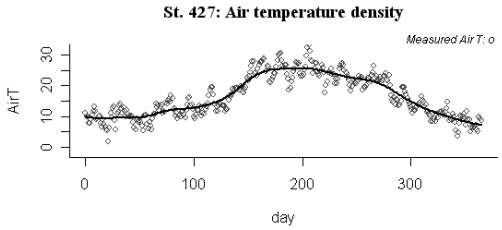


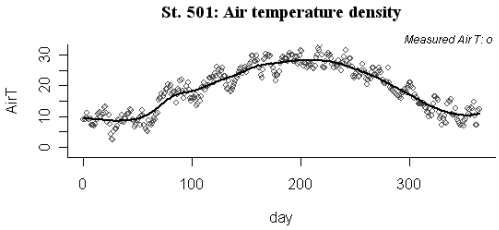

St. 425: Air temperature density
Measured Air T: o
AirT
day

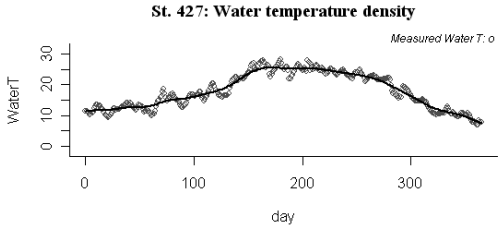

St. 426: Air temperature density
Measured Air T: o
AirT
day

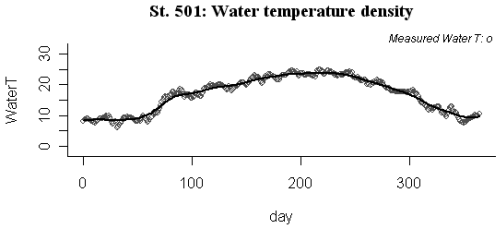

St. 425: Water temperature density
Measured Water T: o
WaterT
day

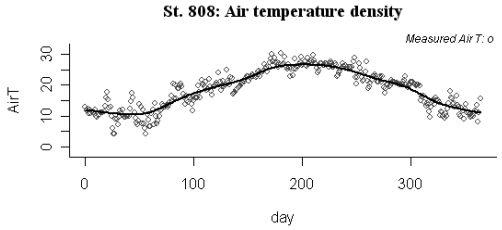

St. 426: Water temperature density
Measured Water T: o
WaterT
day

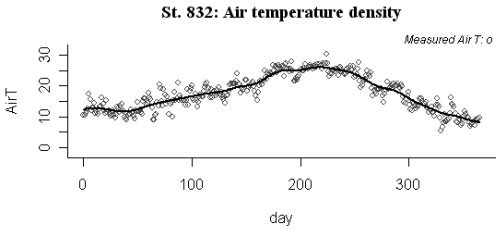

St. 427: Air temperature density
Measured Air T: o
AirT
day

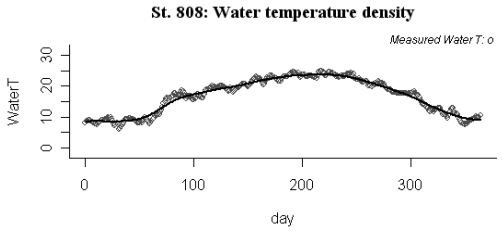

St. 501: Air temperature density
Measured Air T: o
AirT
day

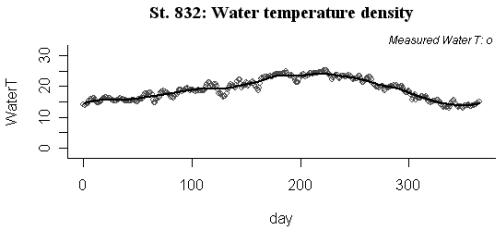

St. 427: Water temperature density
Measured Water T: o
WaterT
day


St. 501: Water temperature density
Measured Water T: o
WaterT
day


St. 808: Air temperature density
Measured Air T: o
AirT
day


St. 832: Air temperature density
Measured Air T: o
AirT
day


St. 808: Water temperature density
Measured Water T: o
WaterT
day


St. 832: Water temperature density
Measured Water T: o
WaterT
day

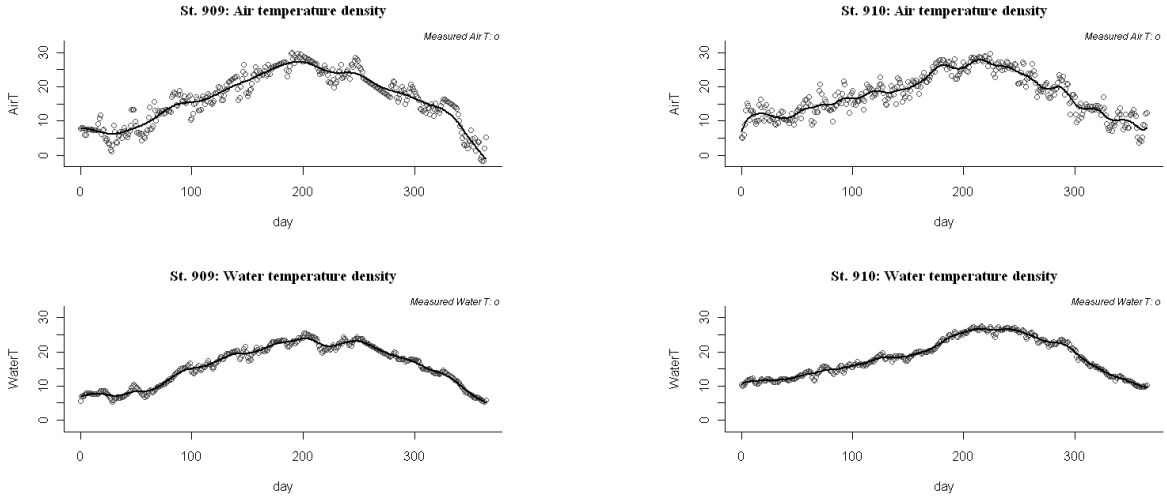


Figura A4-31. Curvas de densidad de temperaturas aire y agua para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 17 “Grandes ejes en ambiente mediterráneo”

A4-2.13 Tipo 18 “Ríos costeros mediterráneos”

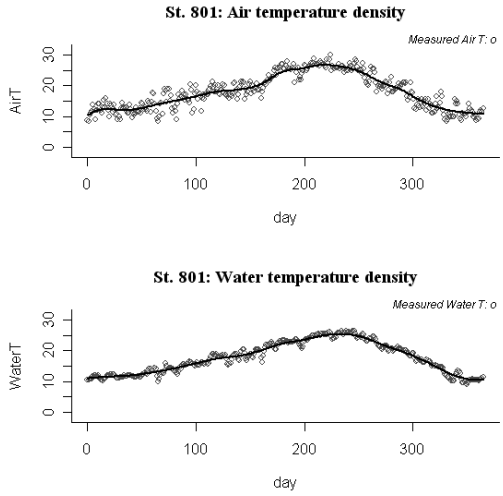


Figura A4-32. Curvas de densidad de temperaturas aire y agua para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 18 “Ríos costeros mediterráneos”

A4-2.14 Tipo 21 "Ríos cántabro-atlánticos silíceos"

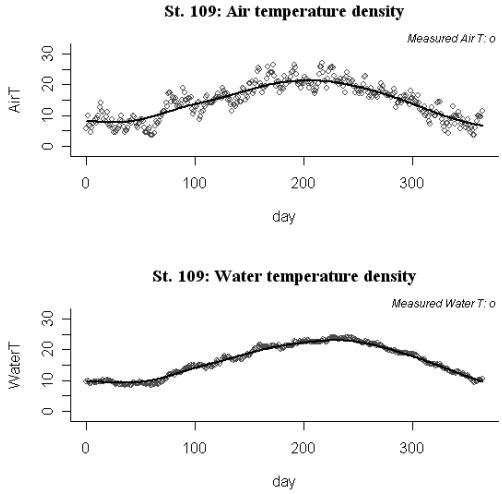


Figura A4-33. Curvas de densidad de temperaturas aire y agua para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 21 "Ríos cántabro-atlánticos silíceos"

A4-2.15 Tipo 26 "Ríos de montaña húmeda calcárea"

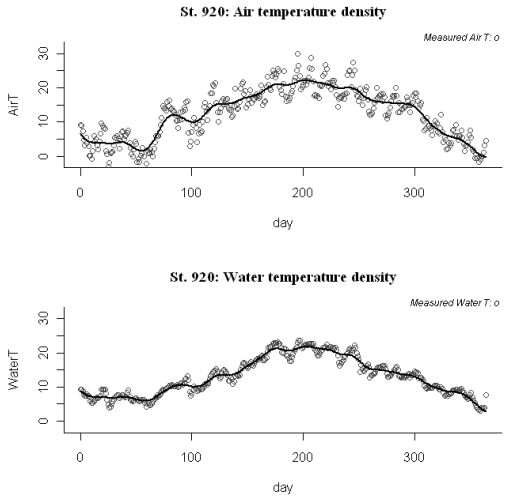


Figura A4-34. Curvas de densidad de temperaturas aire y agua para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 26 "Ríos de montaña húmeda calcárea"

A4-2.16 Tipo 28 “Ejes fluviales principales cántabro-atlánticos silíceos”

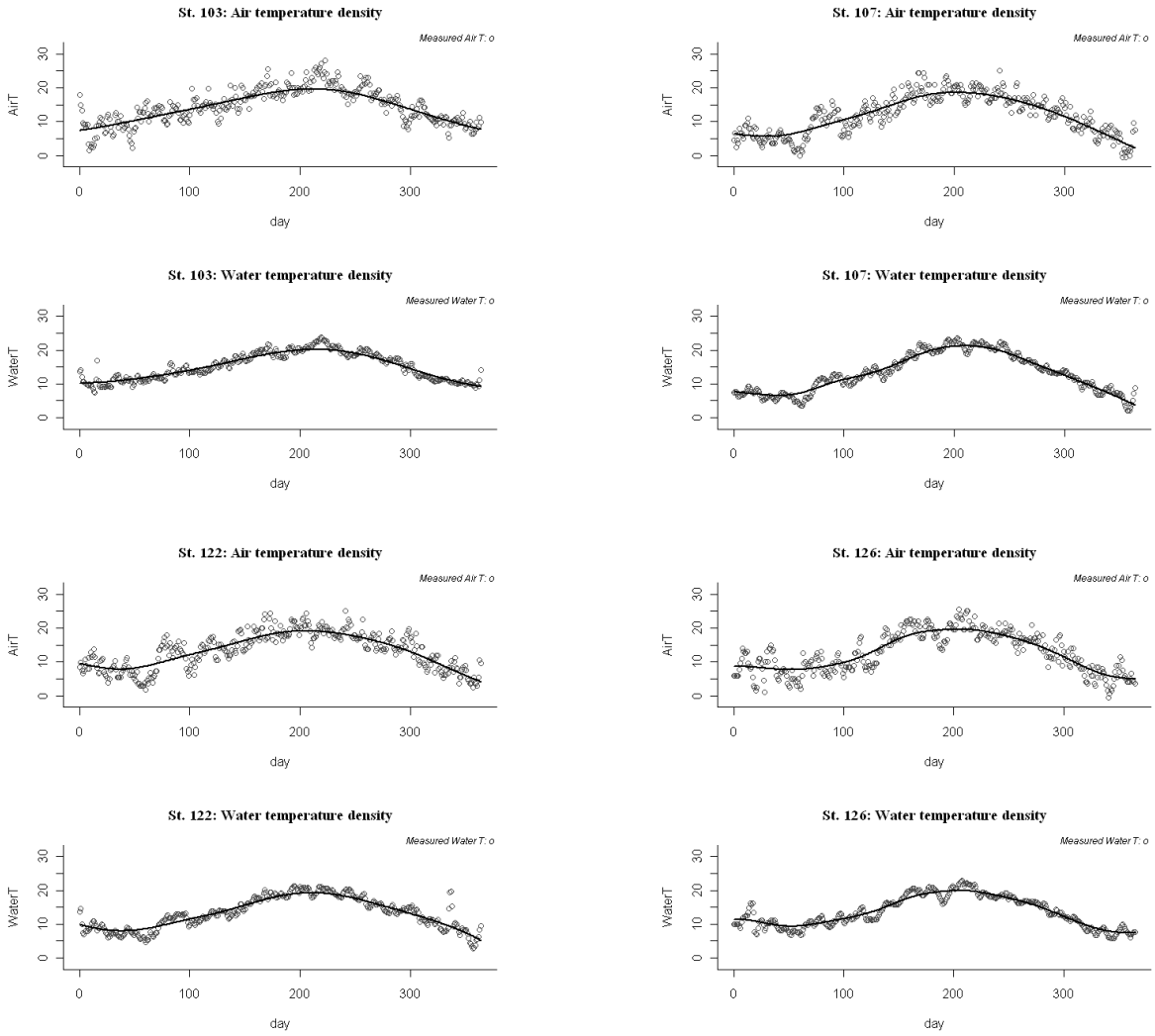
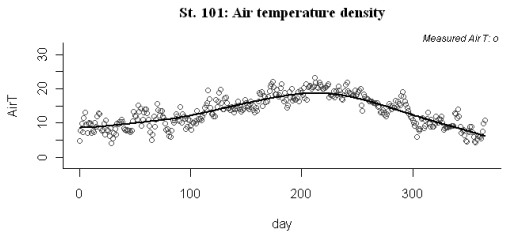
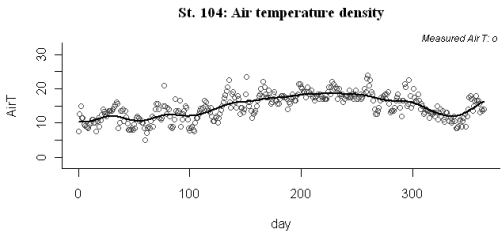
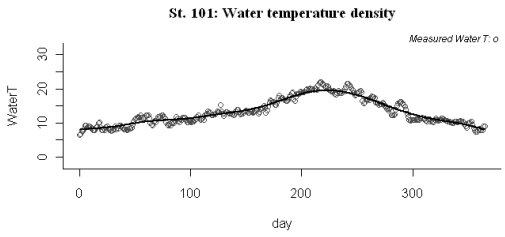


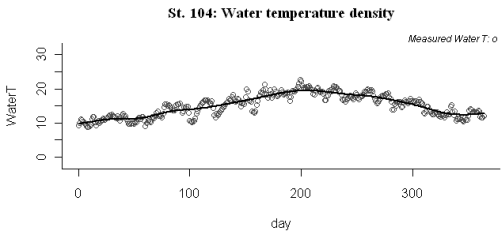
Figura A4-35. Curvas de densidad de temperaturas aire y agua para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 28 “Ejes fluviales principales cántabro-atlánticos silíceos”

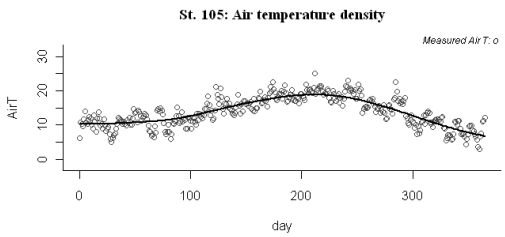
A4-2.17 Tipo 29 “Ejes fluviales principales cántabro-atlánticos calcáreos”

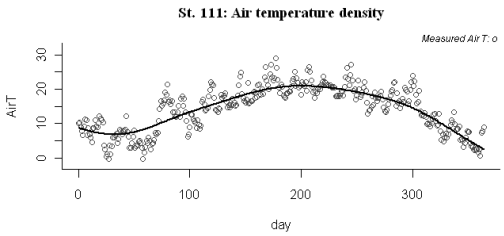


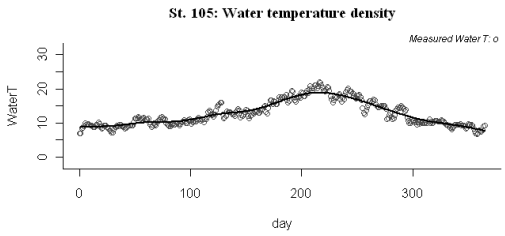


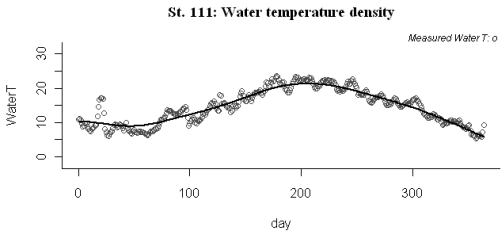












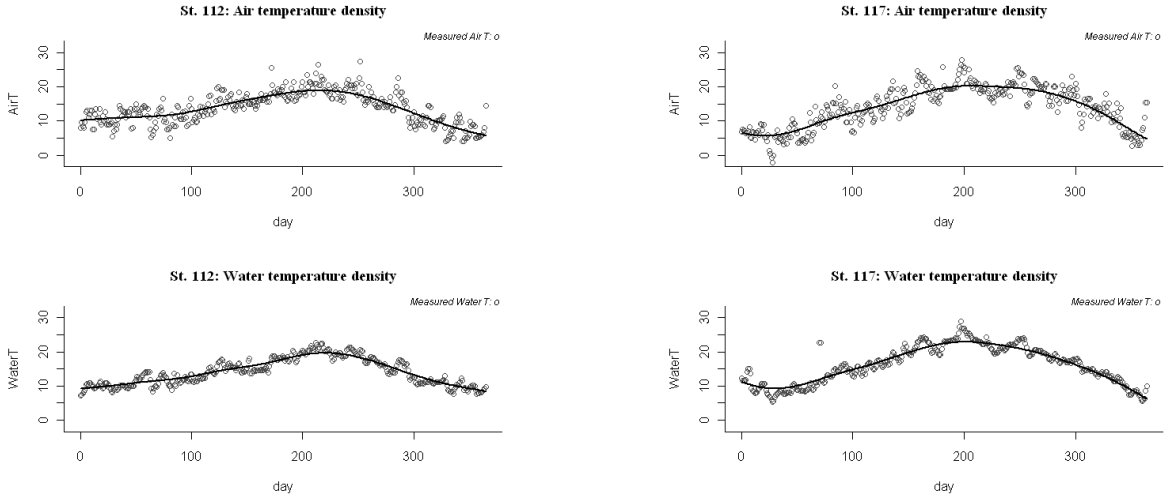


Figura A4-36. Curvas de densidad de temperaturas aire y agua para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 29 “Ejes fluviales principales cántabro-atlánticos calcáreos”

A4-2.18 Tipo 31 “Pequeños ejes cántabro-atlánticos silíceos”

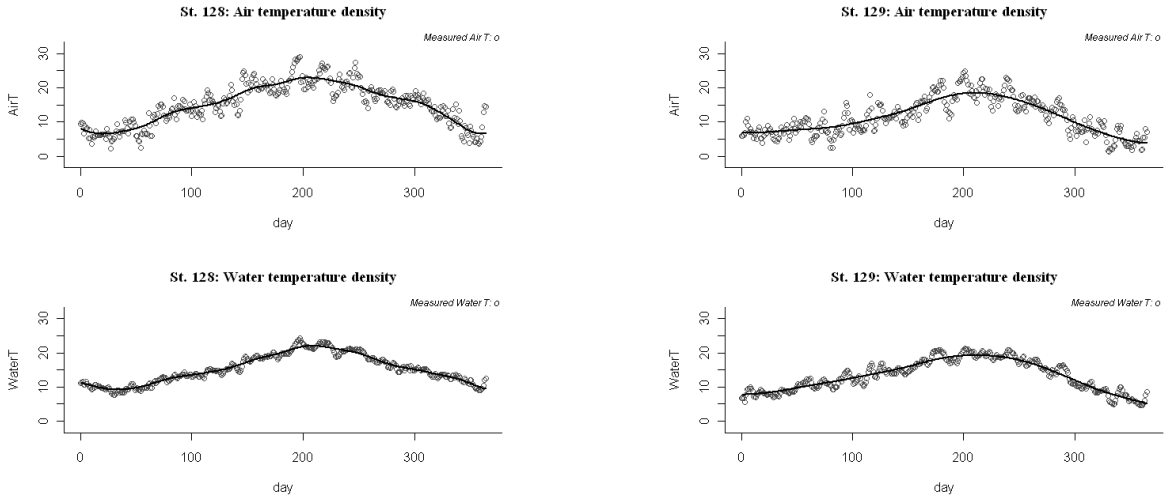


Figura A4-37. Curvas de densidad de temperaturas aire y agua para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 31 “Pequeños ejes cántabro-atlánticos silíceos”

A4-2.19 Tipo 32 “Pequeños ejes cántabro-atlánticos calcáreos”

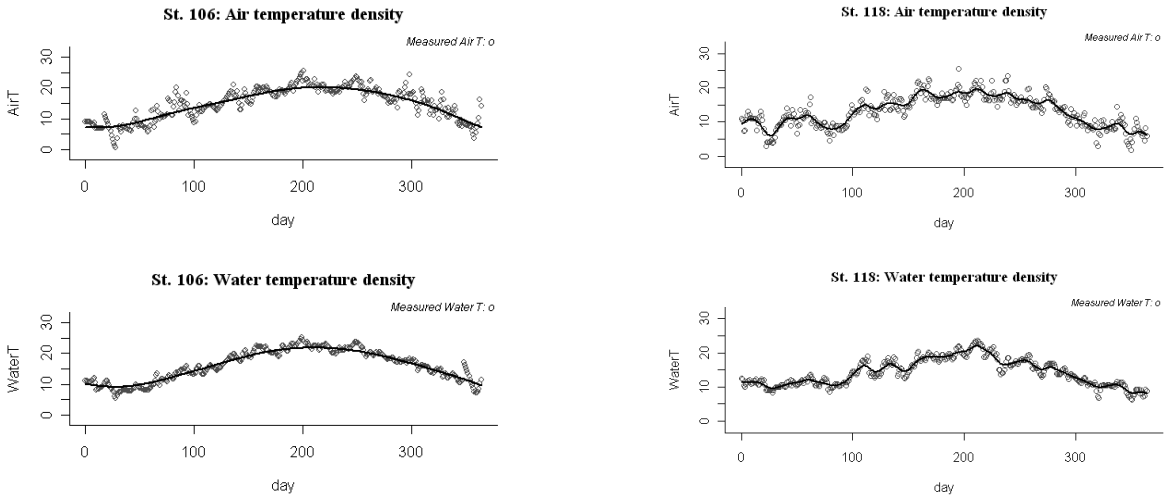


Figura A4-38. Curvas de densidad de temperaturas aire y agua para las estaciones SAICA y AEMET que se encuentran en las masas de agua de la tipología 32 “Pequeños ejes cántabro-atlánticos calcáreos”

A4-3 GRÁFICAS DE VALIDACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL AGUA

A4-3.1 Tipo 1 " Ríos de llanuras silíceas del Tajo y Guadiana"

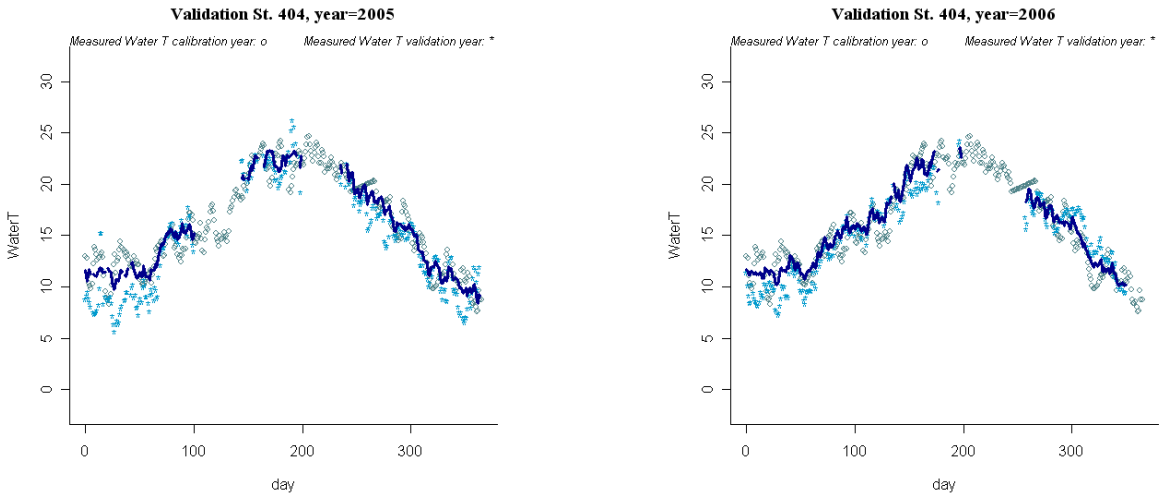
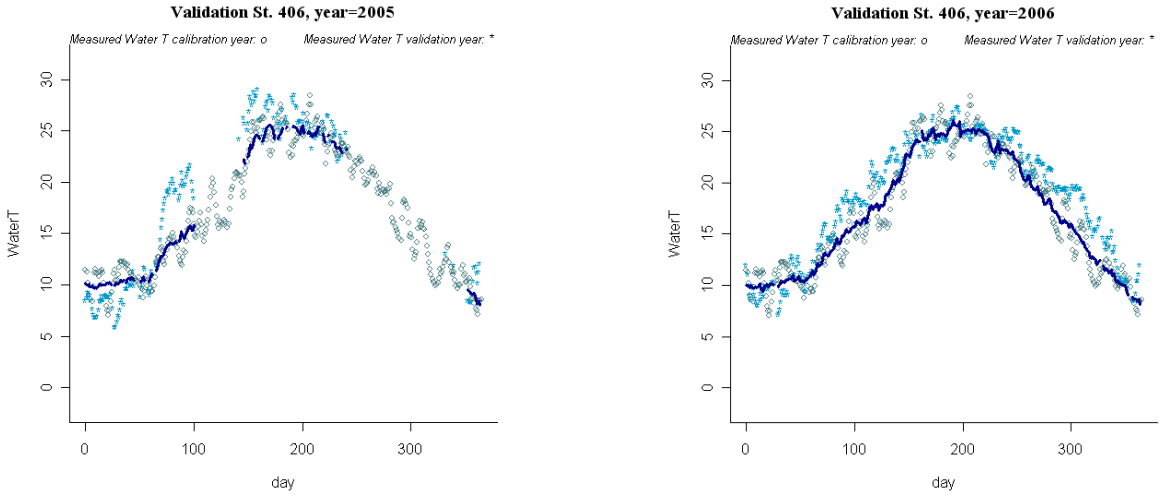


Figura A4-39 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA "404"



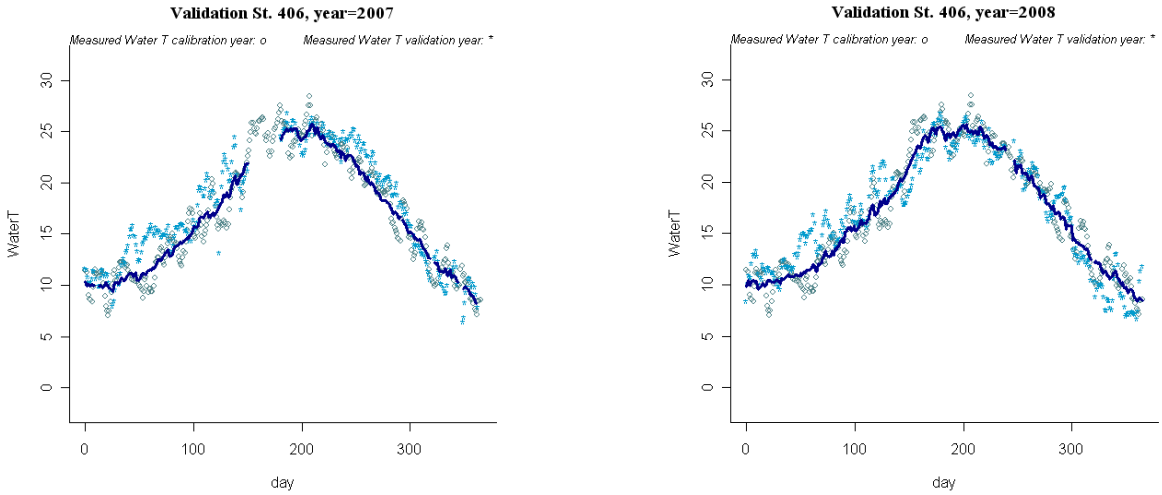


Figura A4-40 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “406”

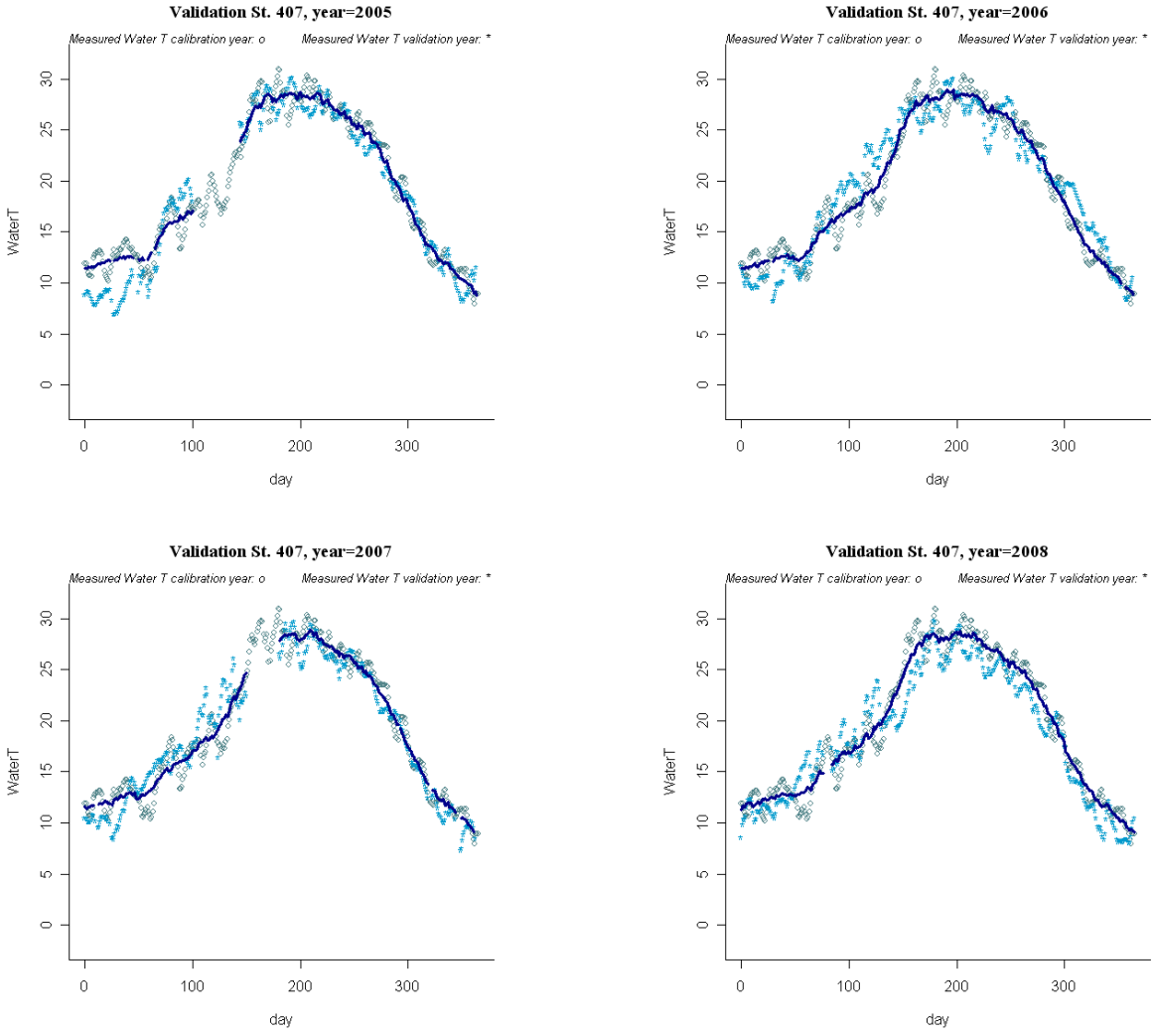


Figura A4-41 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “407”

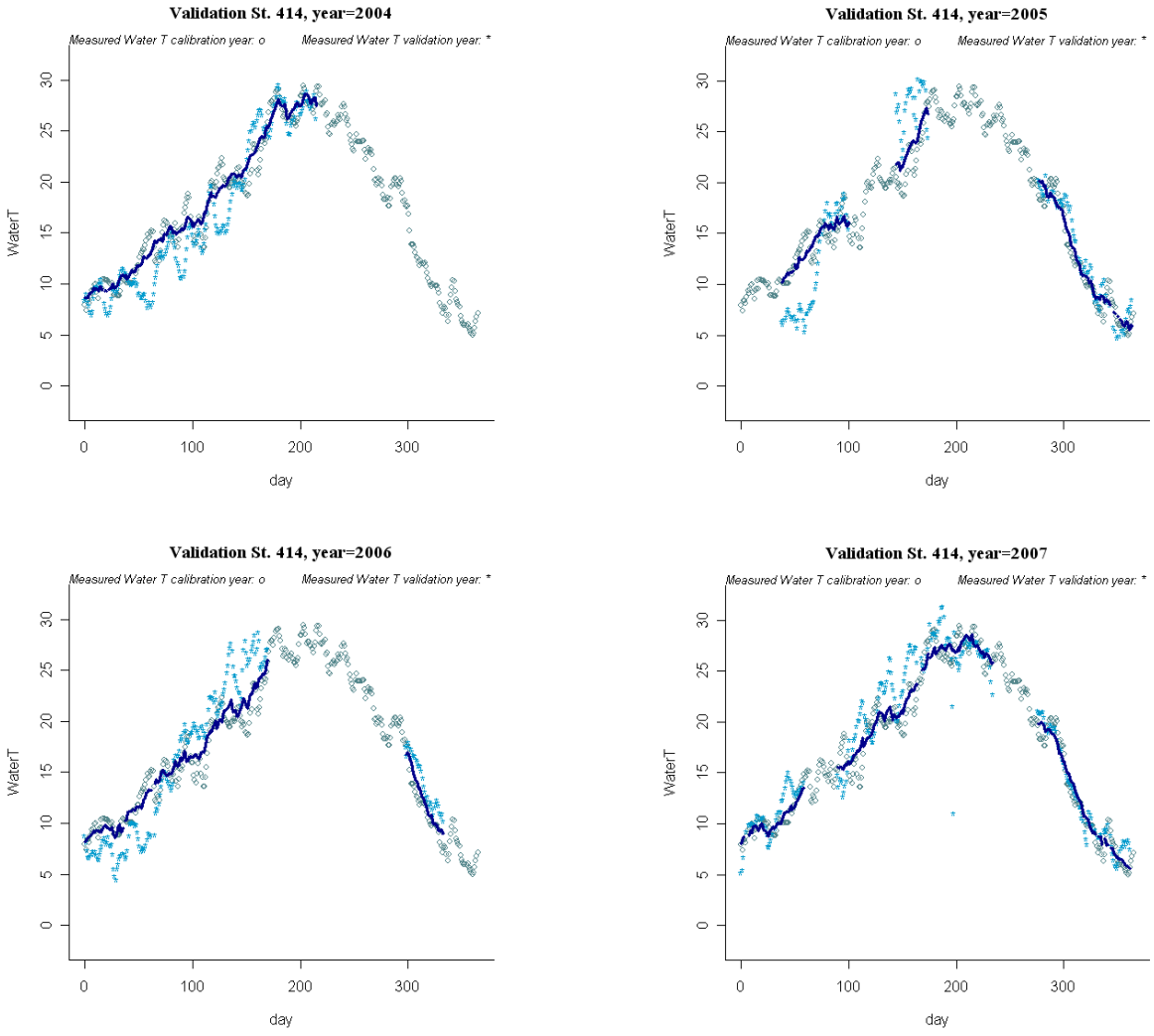


Figura A4-42 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “414”

A4-3.2 Tipo 2 " Ríos de la depresión del Guadalquivir"

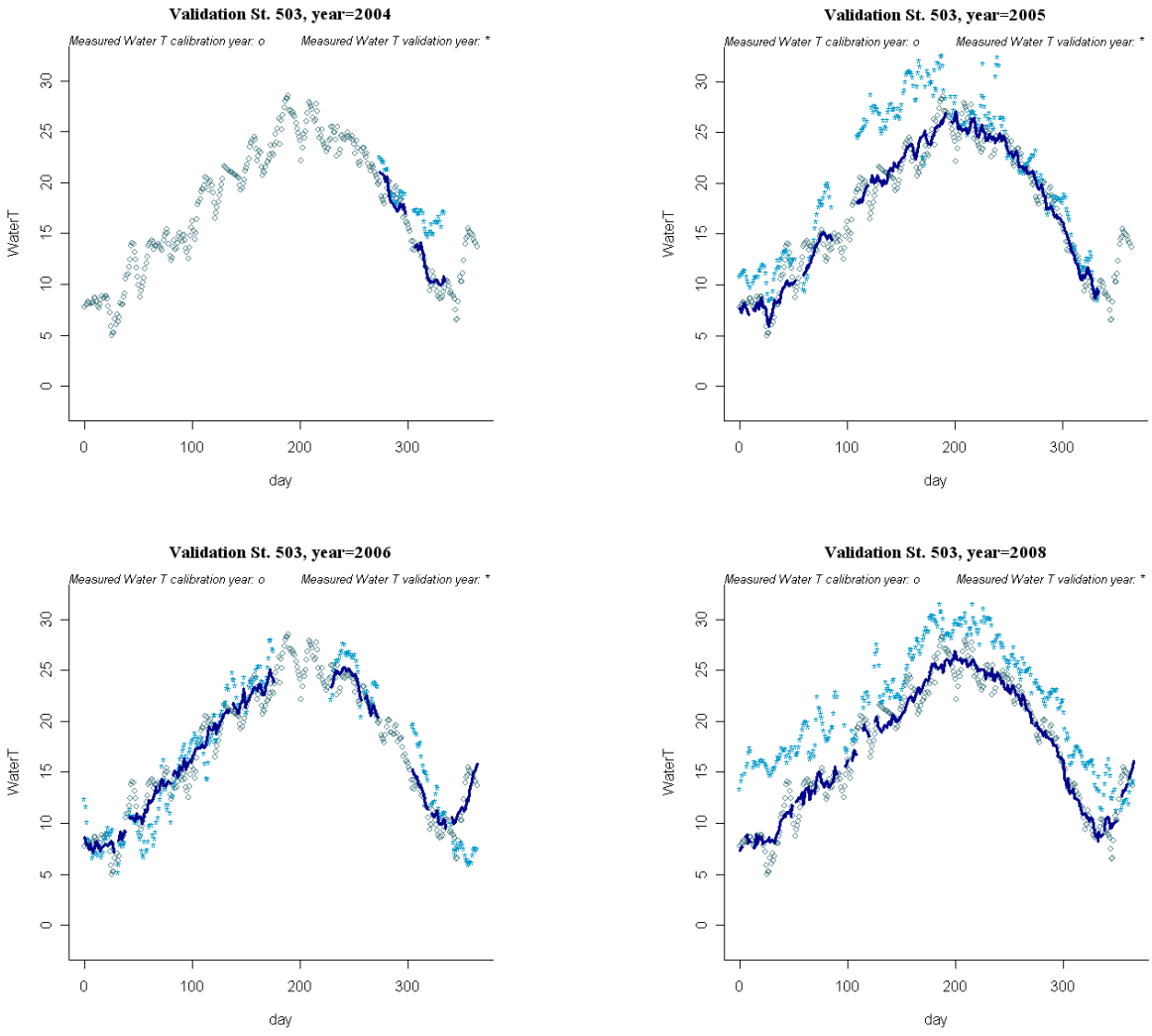


Figura A4-43 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA "503"

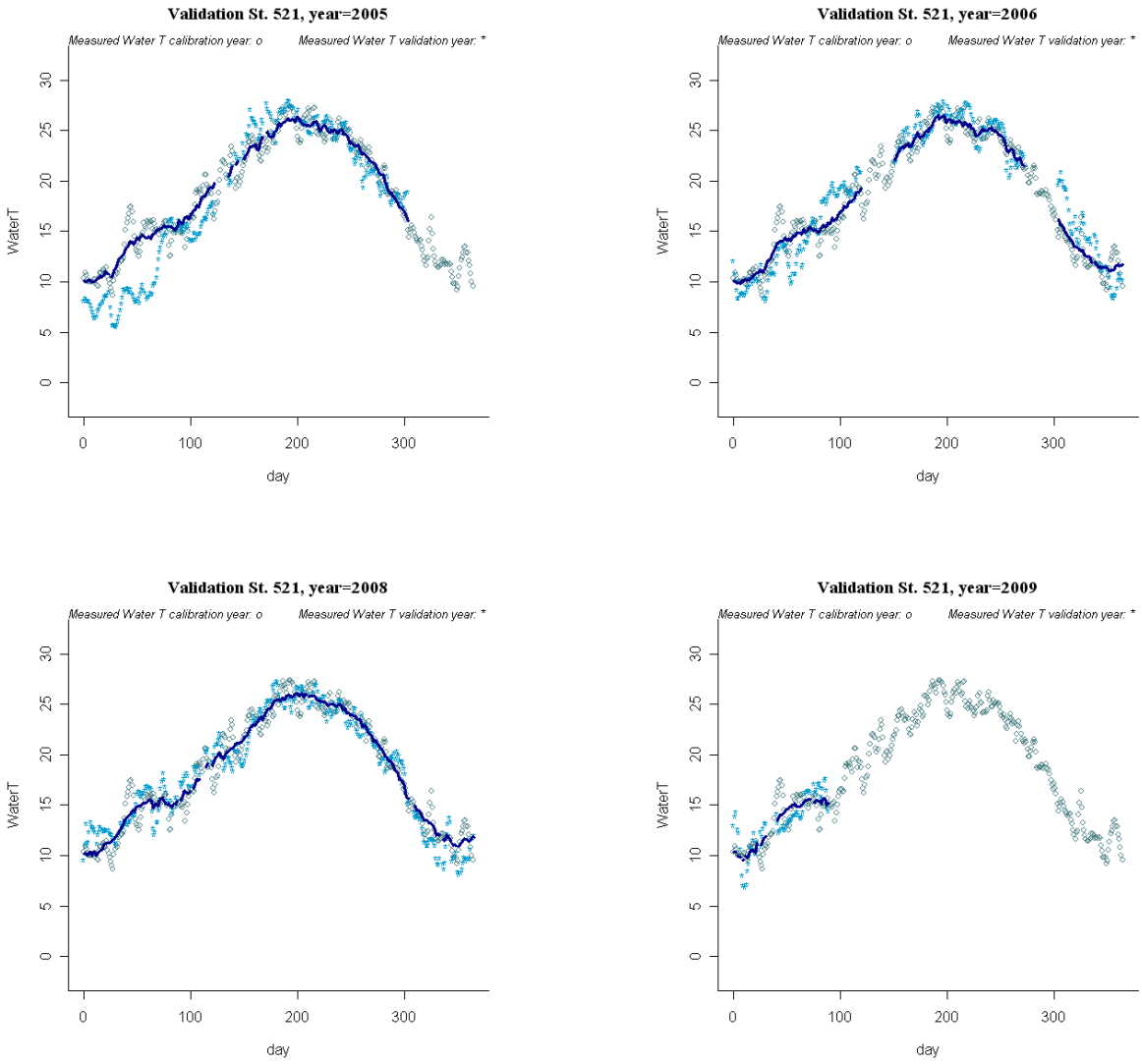


Figura A4-44 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “521”

A4-3.3 Tipo 4 "Ríos mineralizados de la Meseta Norte"

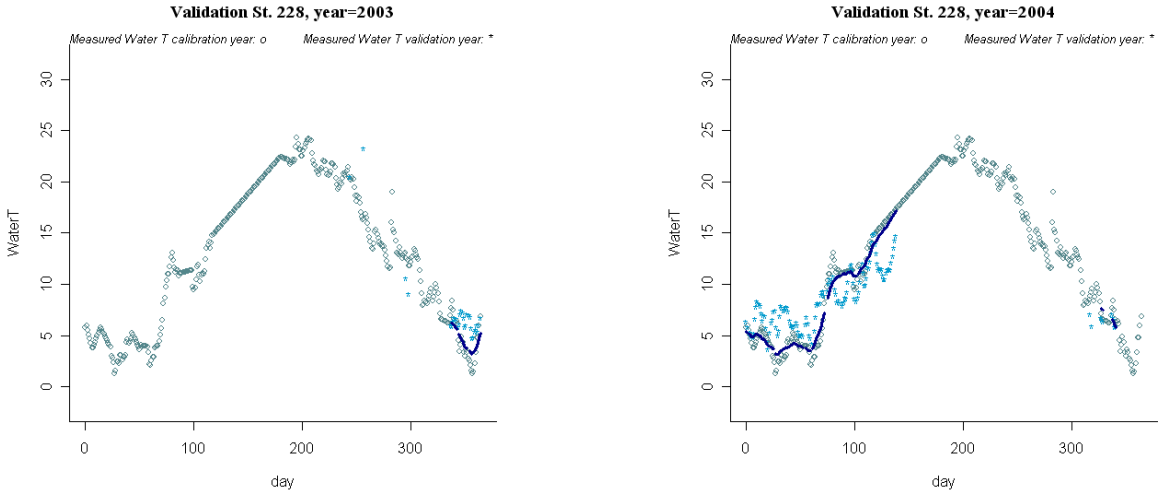
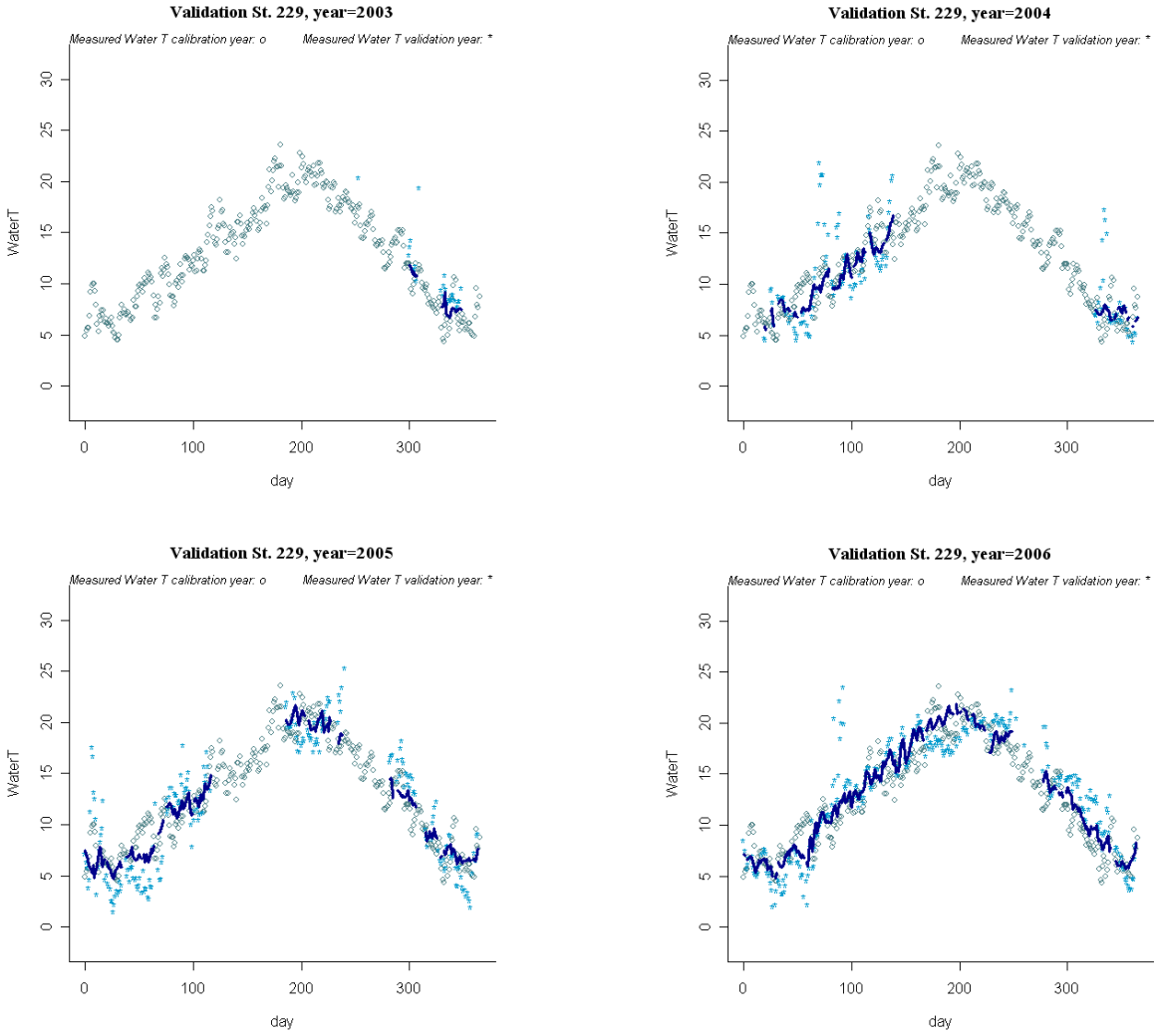


Figura A4-45 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA "228"



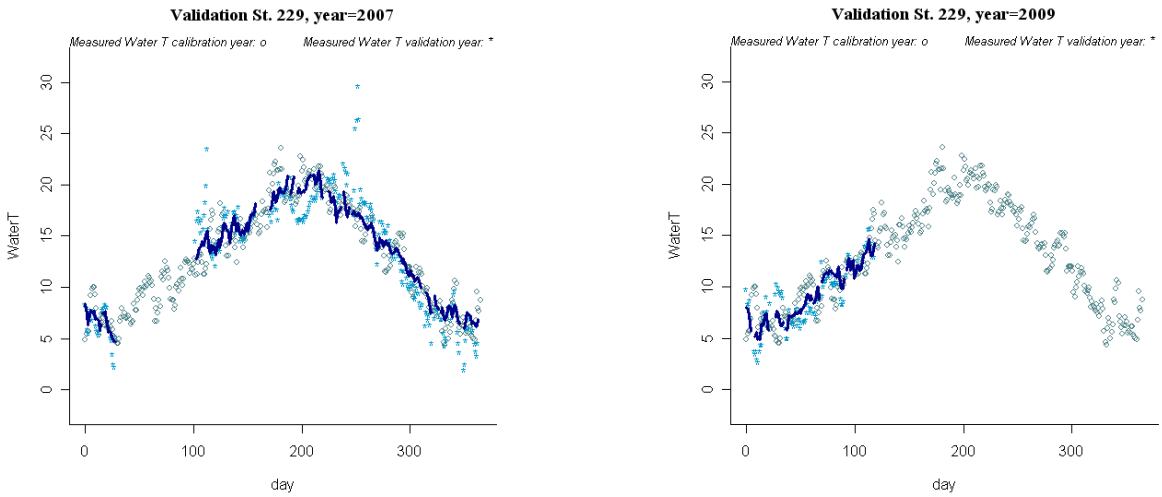
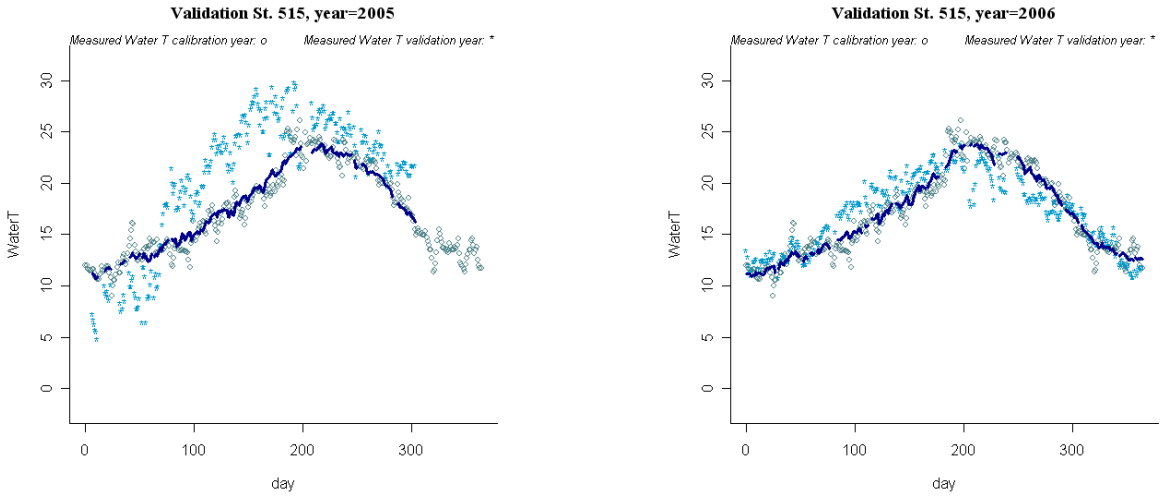


Figura A4-46 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “229”

A4-3.4 Tipo 6 “Ríos silíceos del piedemonte de Sierra Morena”



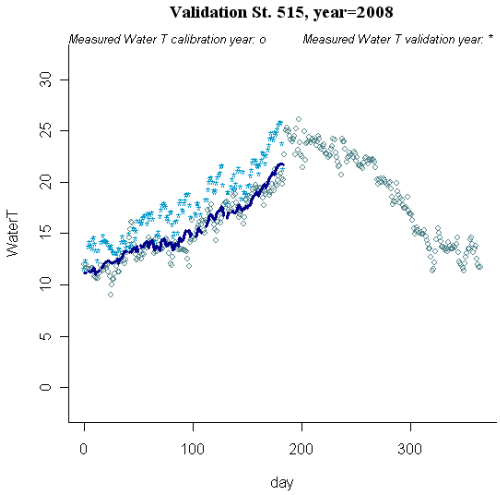
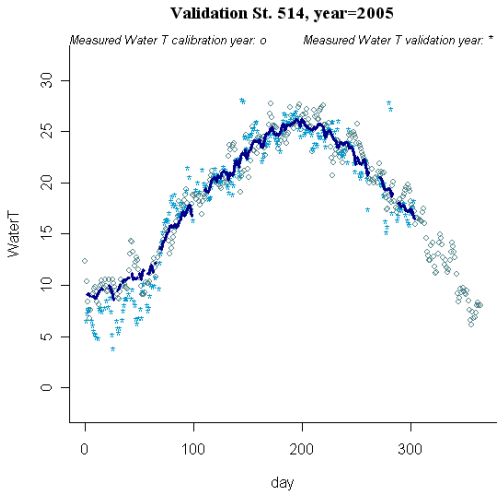
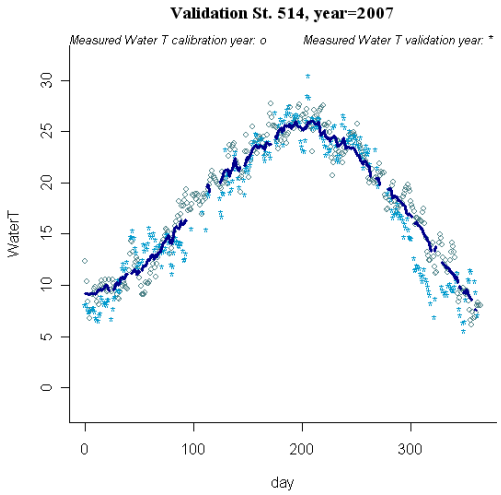


Figura A4-47 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “515”

A4-3.5 Tipo 7 “Ríos mineralizados mediterráneos de baja altitud”





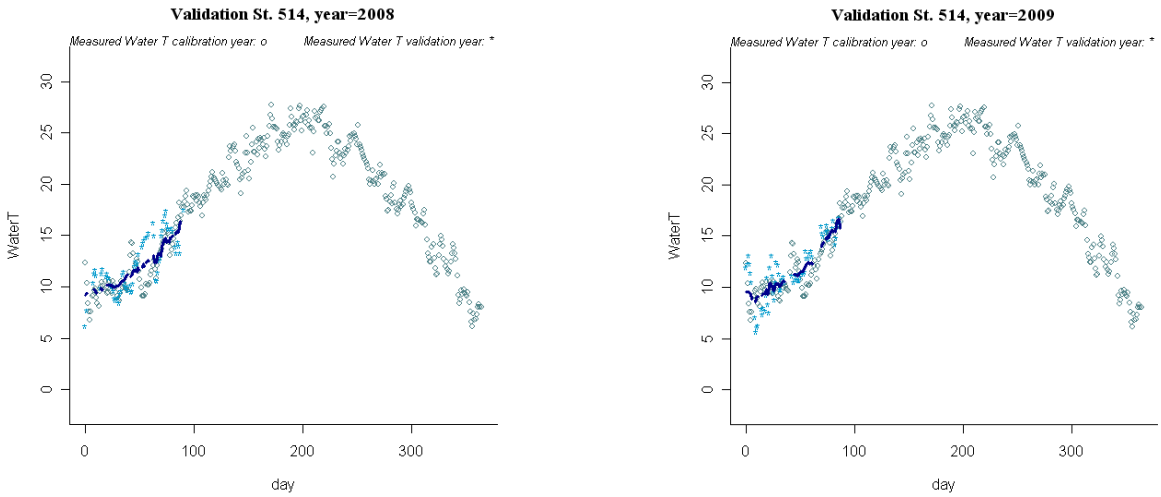
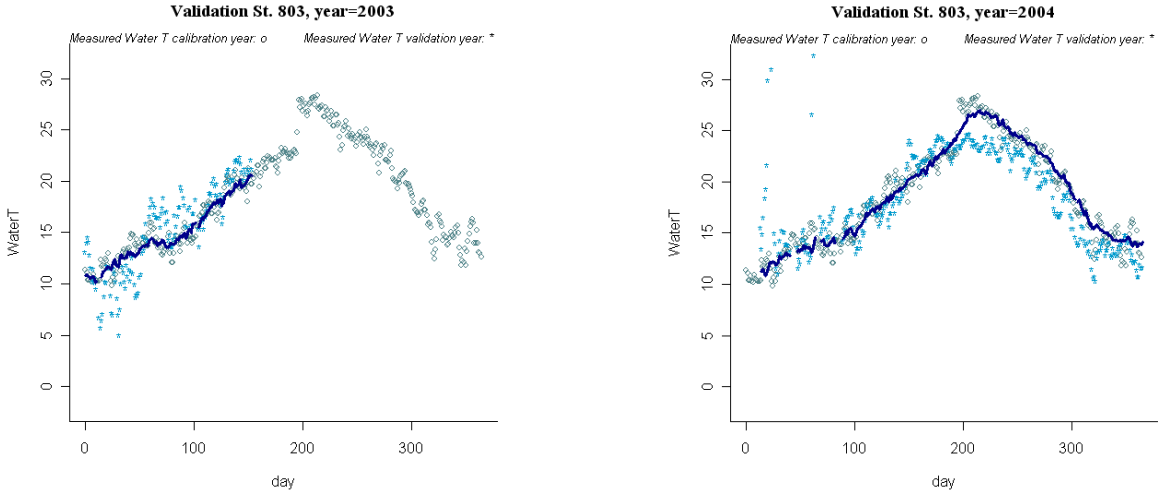


Figura A4-48 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “514”

A4-3.6 Tipo 9 “Ríos mineralizados de la baja montaña mediterránea”



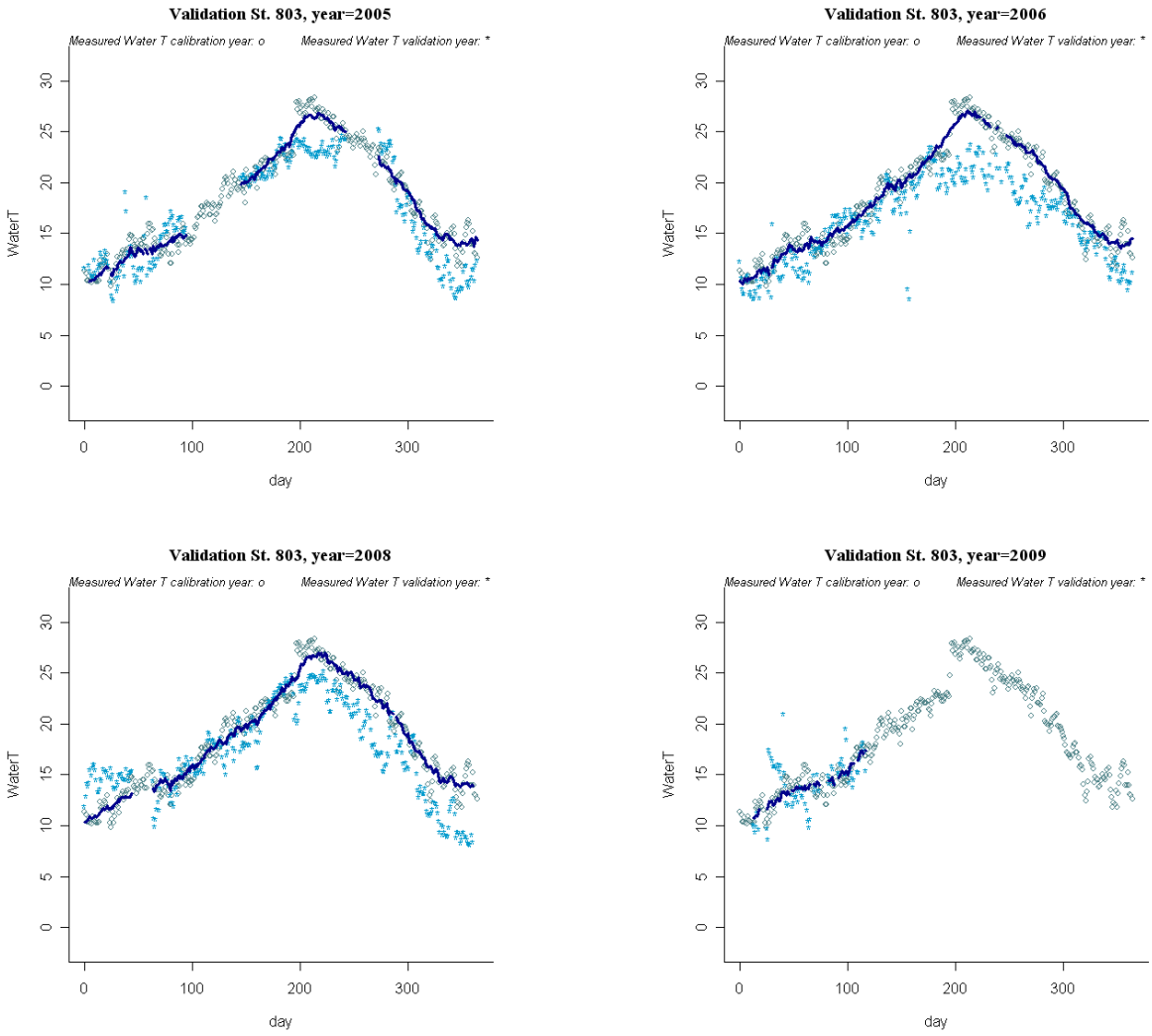


Figura A4-49 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “803”

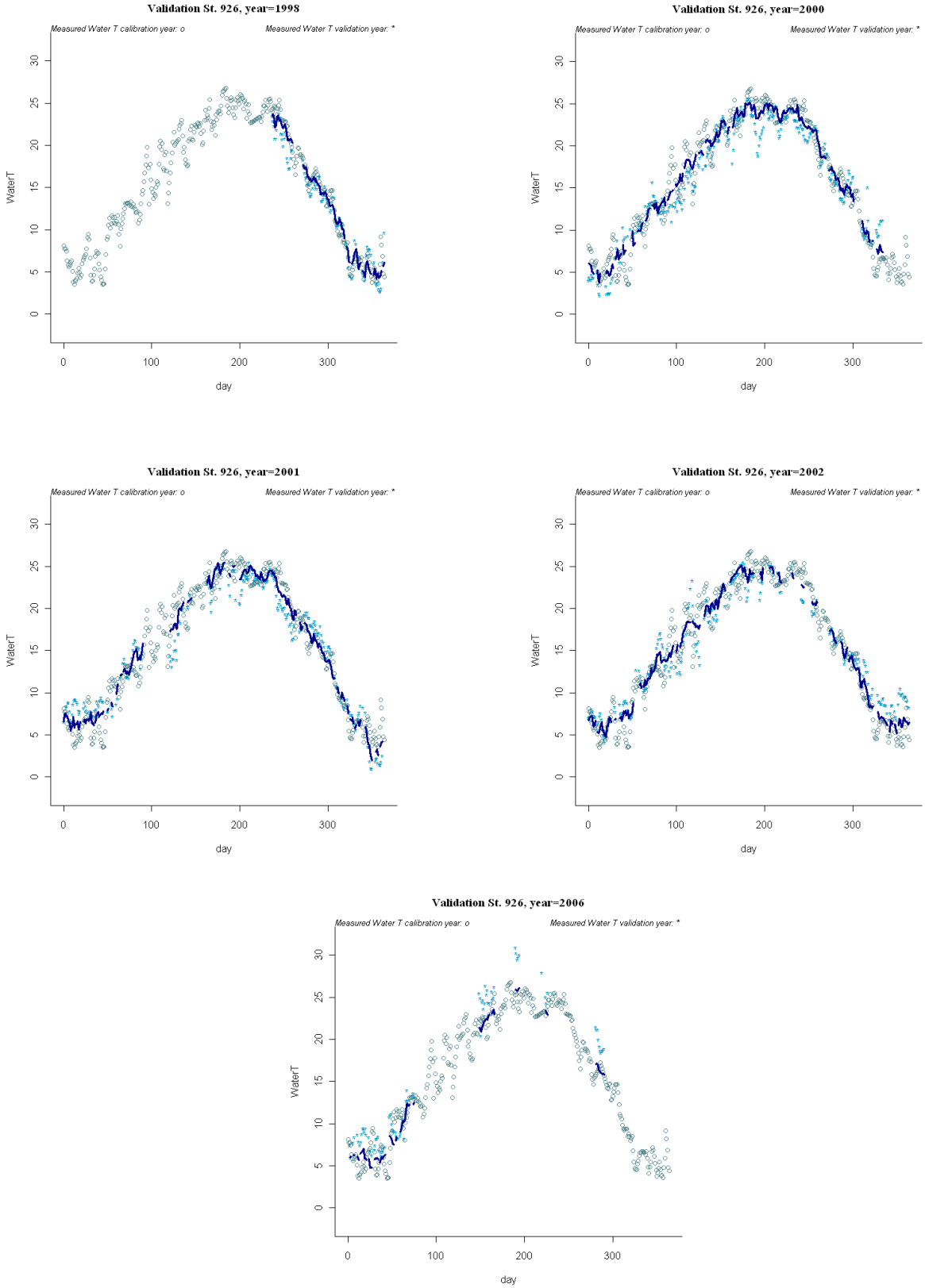
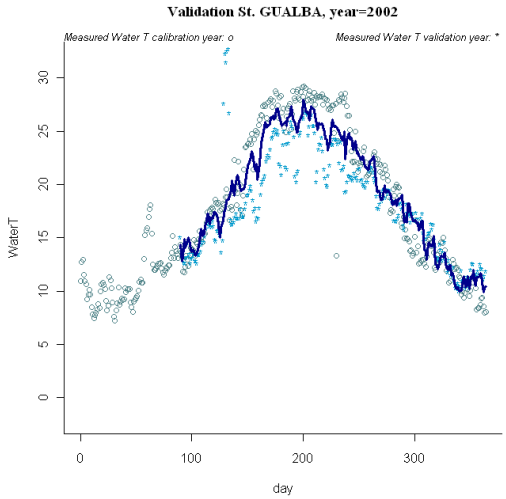
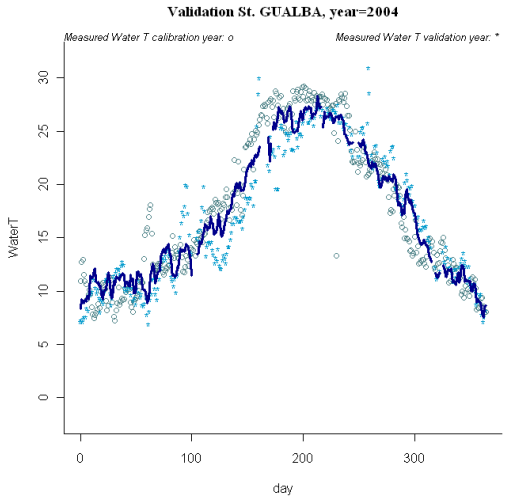
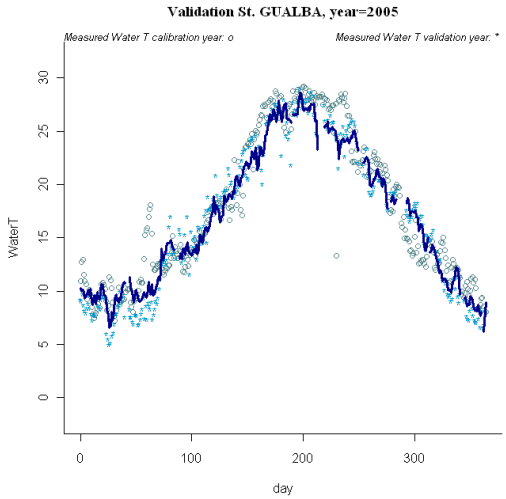
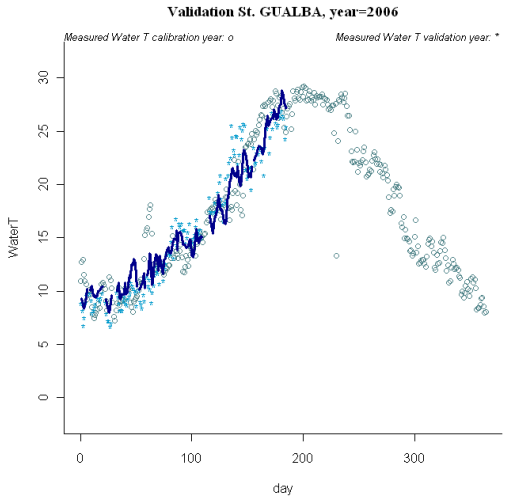


Figura A4-50 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “926”


Validation St. GUALBA, year=2002
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. GUALBA, year=2004
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. GUALBA, year=2005
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. GUALBA, year=2006
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day

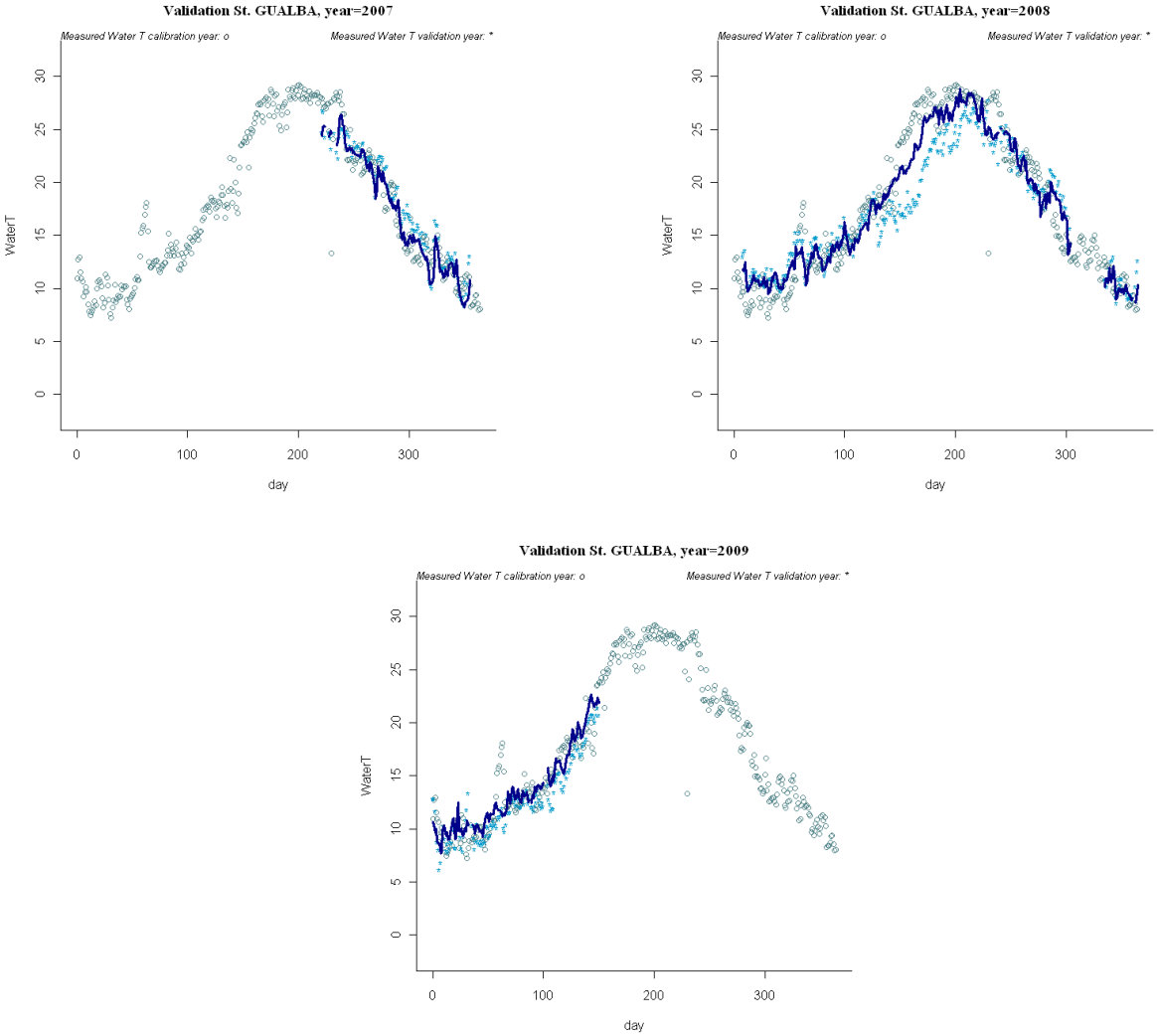
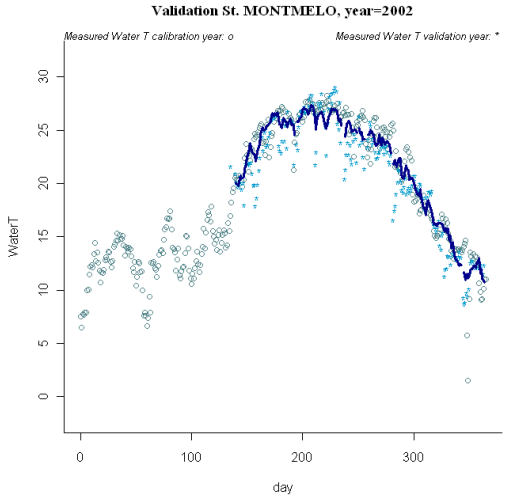
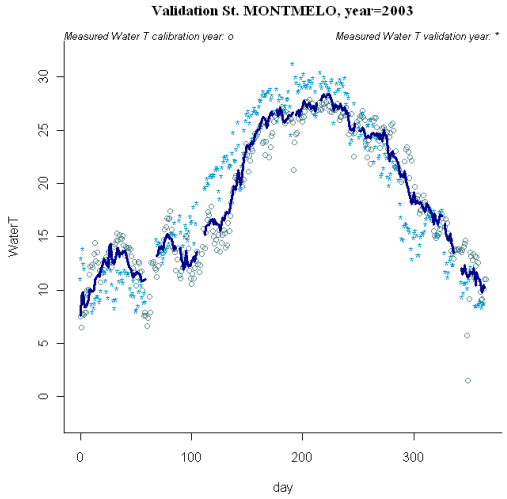
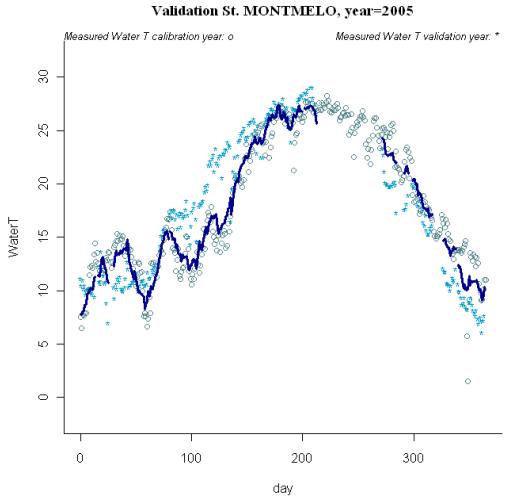
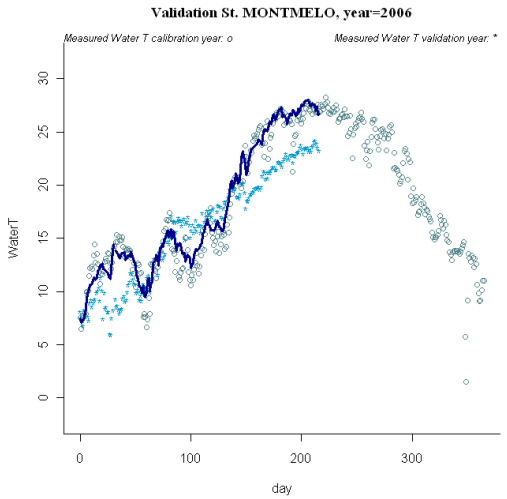


Figura A4-51 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “GUALBA”


Validation St. MONTMELO, year=2002
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. MONTMELO, year=2003
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. MONTMELO, year=2005
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. MONTMELO, year=2006
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day

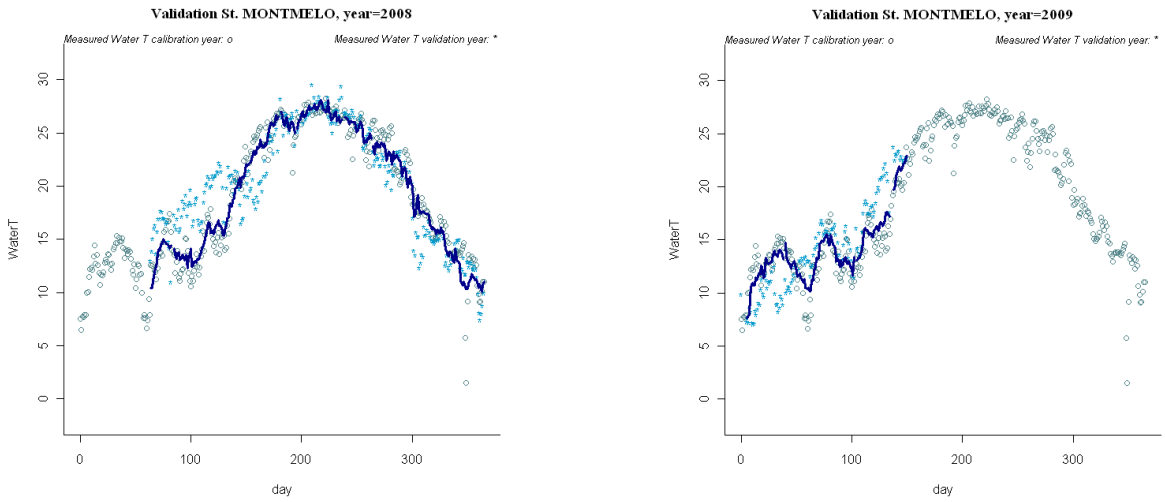
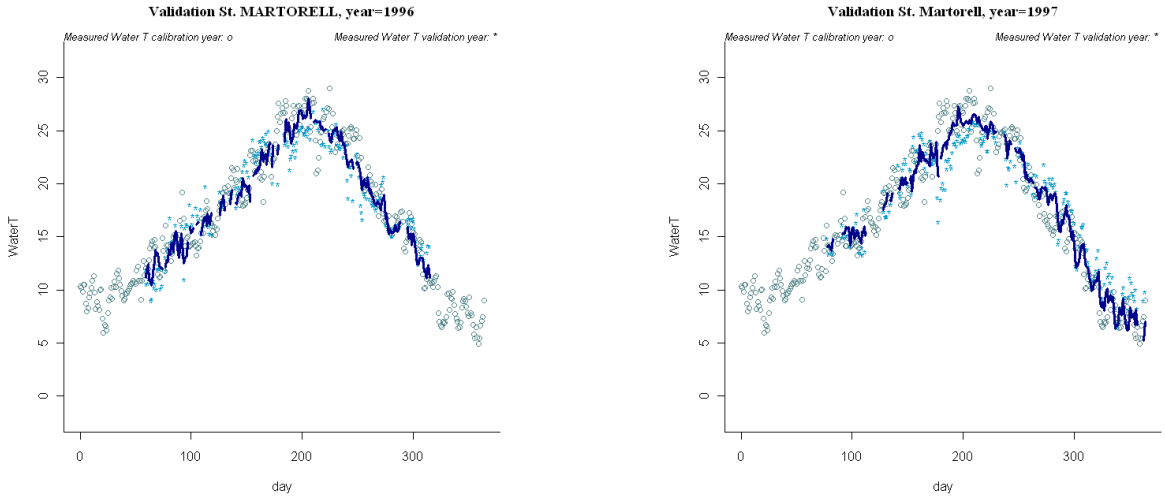


Figura A4-52 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “MONTMELÓ”

A4-3.7 Tipo 10 “Ríos mediterráneos con influencia cárstica”



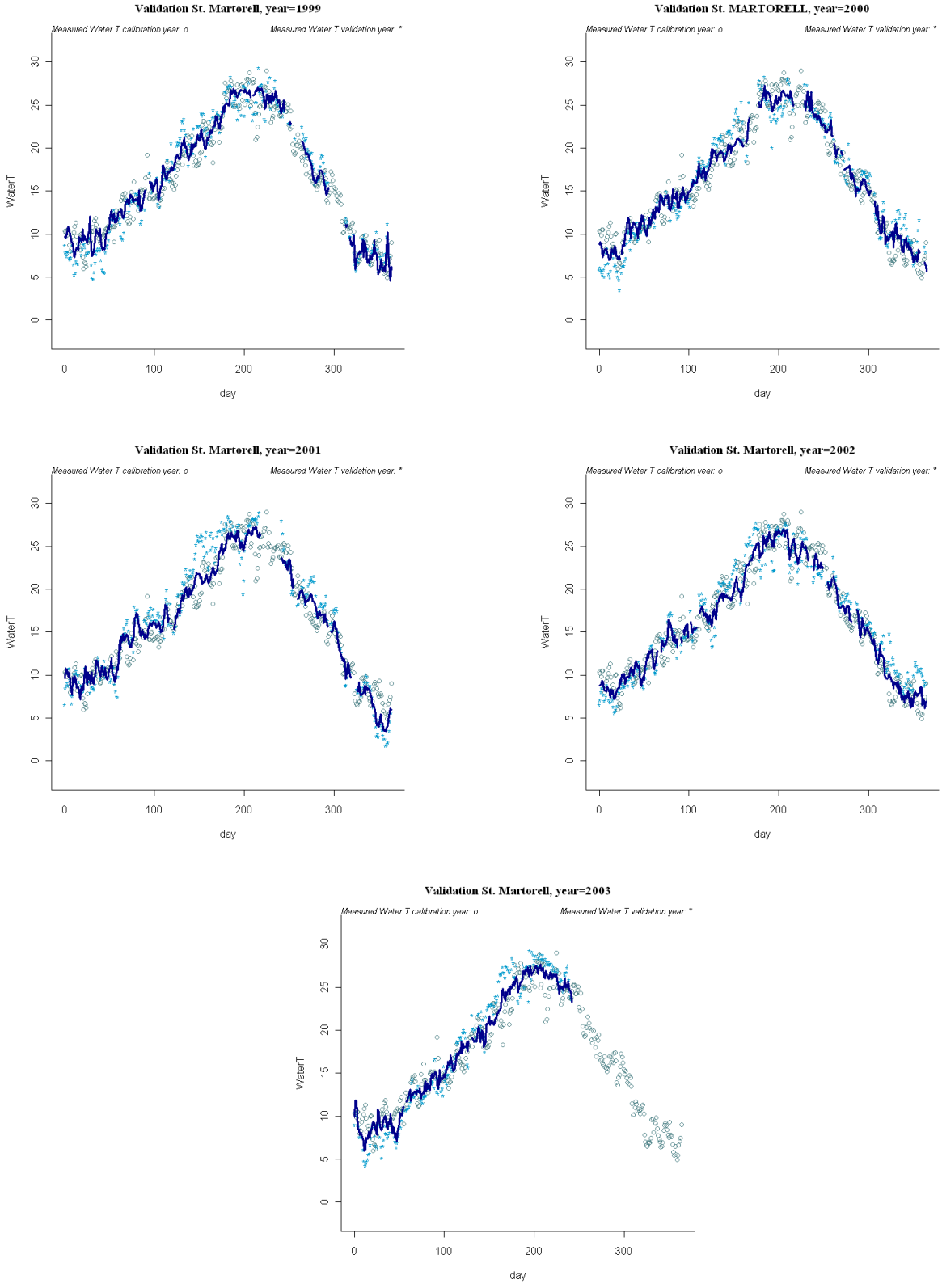


Figura A4-53 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “MARTORELL”

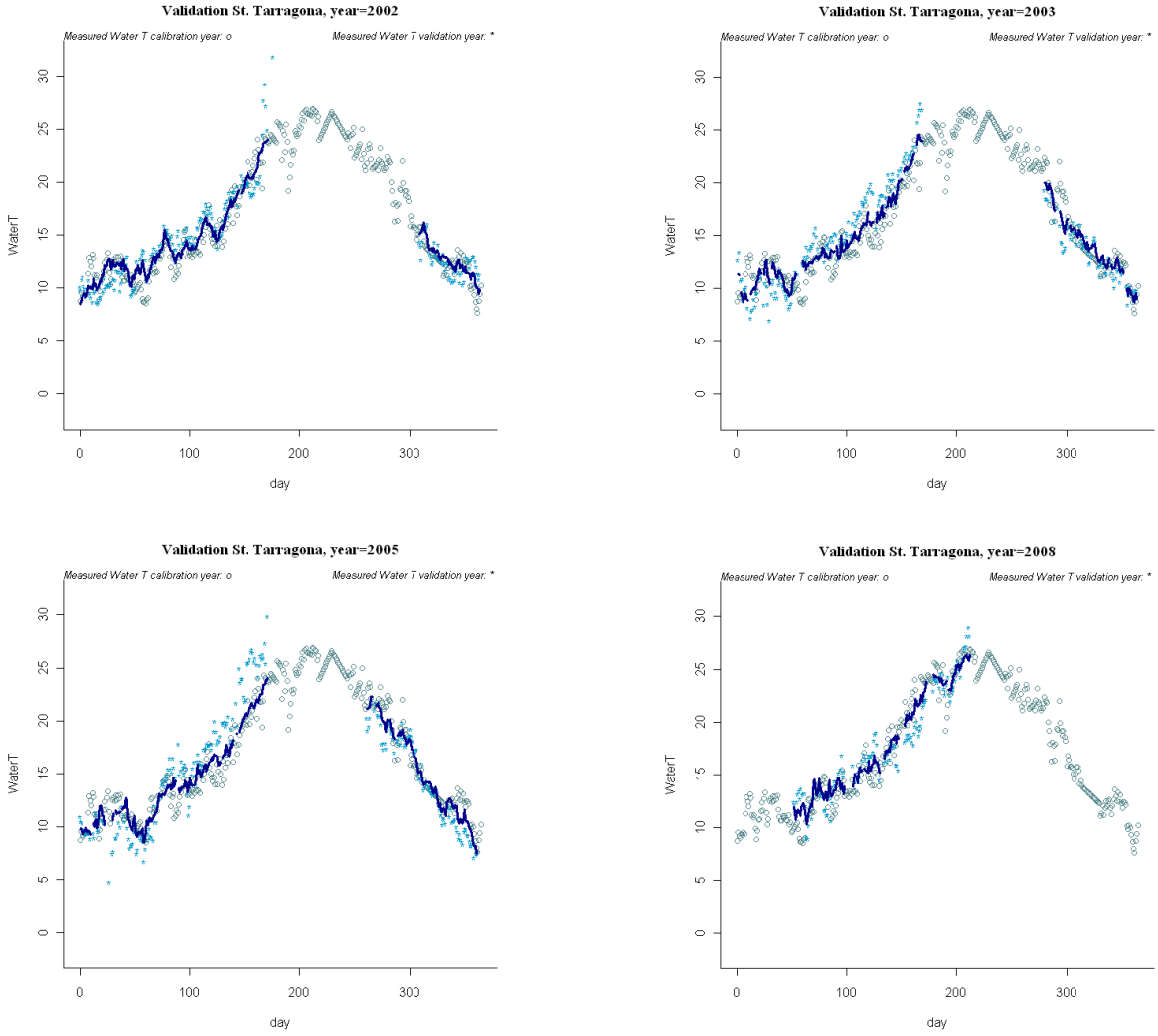


Figura A4-54 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “TARRAGONA”

A4-3.8 Tipo 12 "Ríos de montaña mediterránea calcárea"

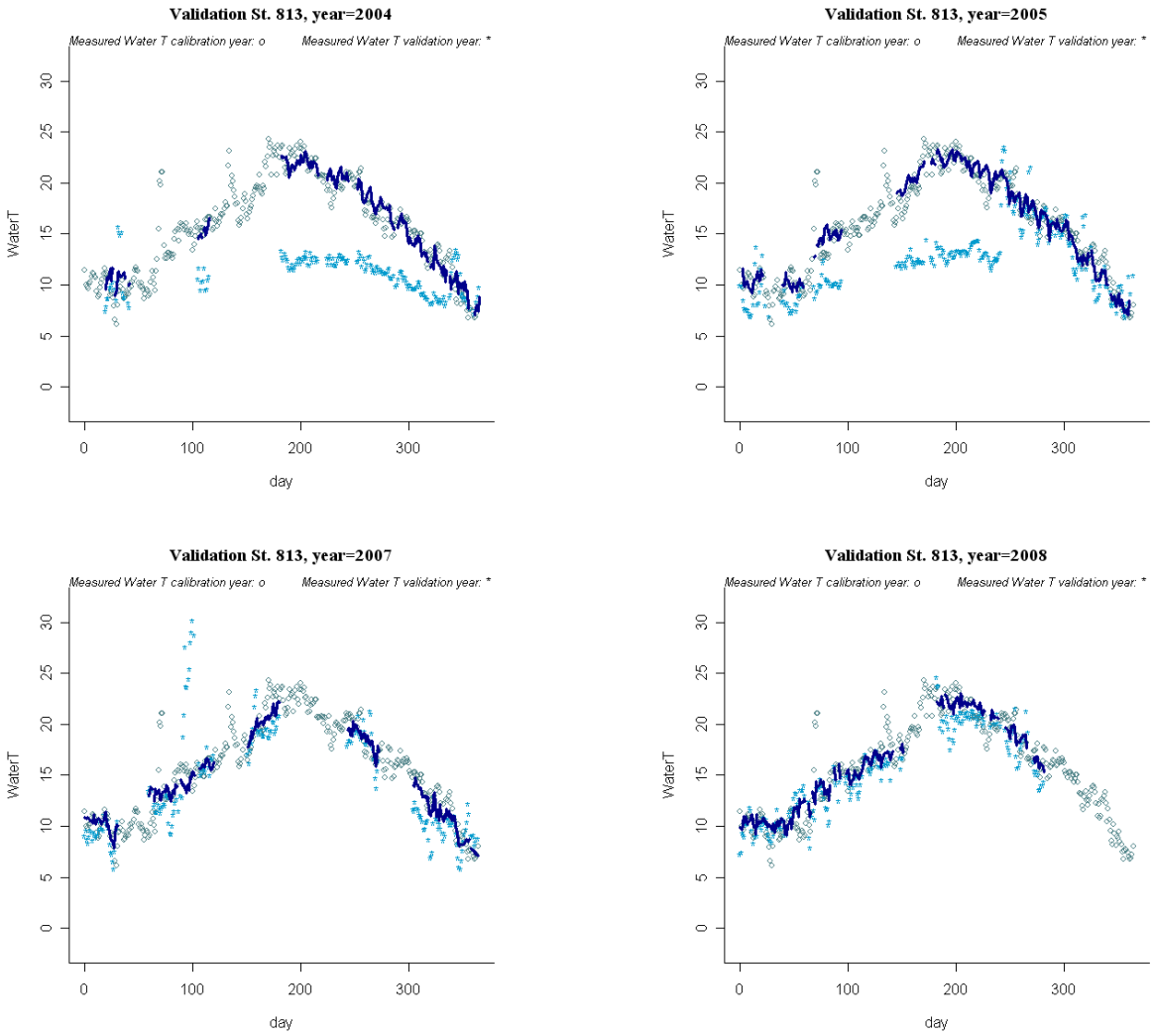
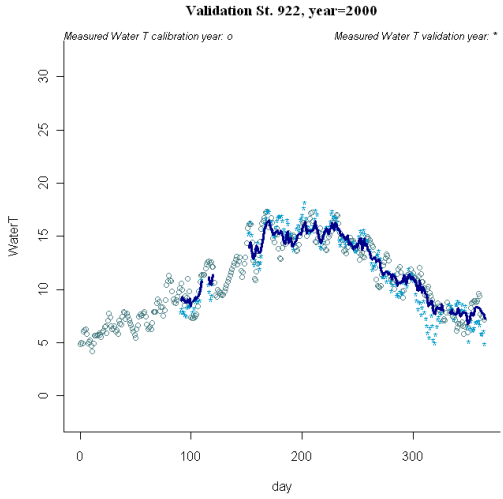
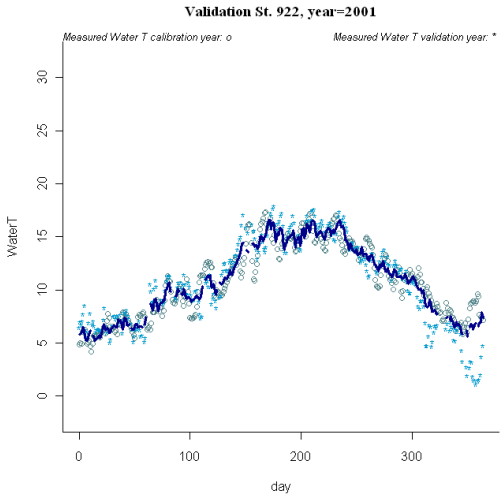
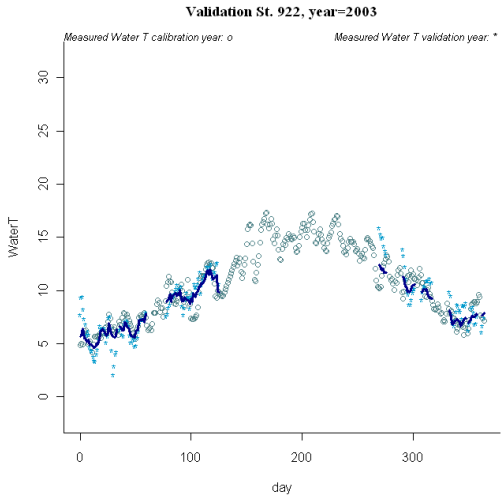
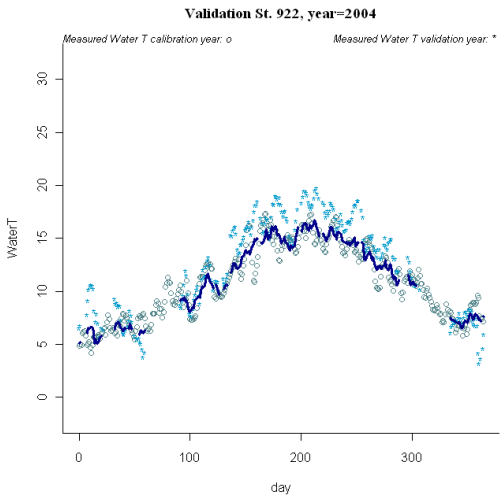


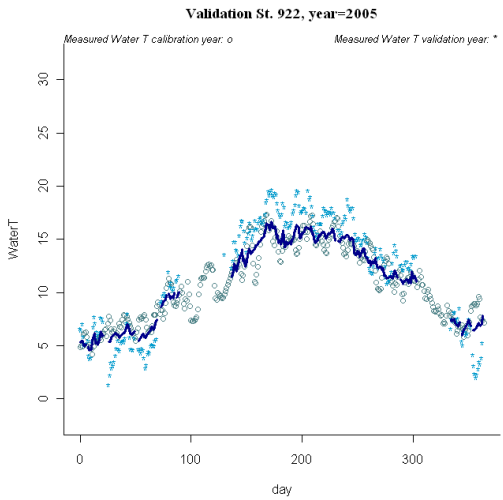
Figura A4-55 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA "813"

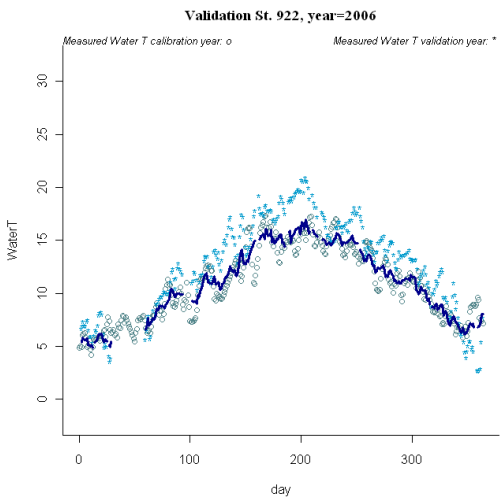

Validation St. 922, year=2000
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 922, year=2001
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 922, year=2003
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 922, year=2004
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 922, year=2005
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 922, year=2006
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day

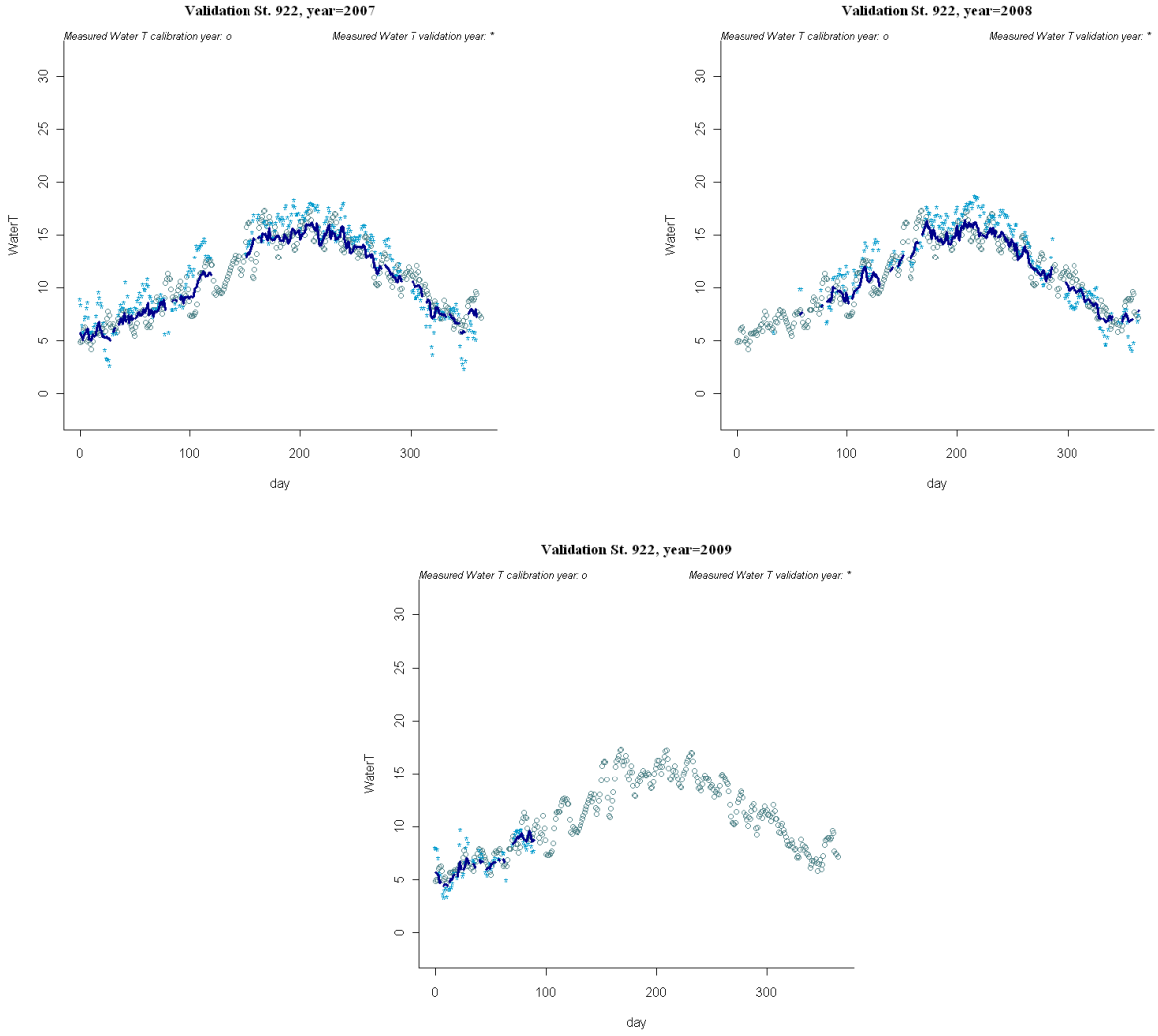
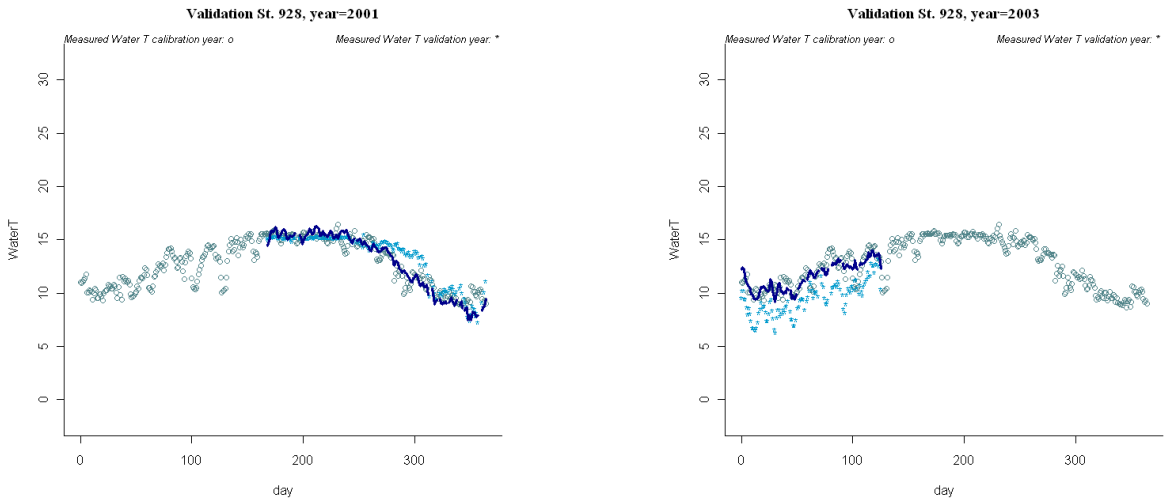


Figura A4-56 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “922”



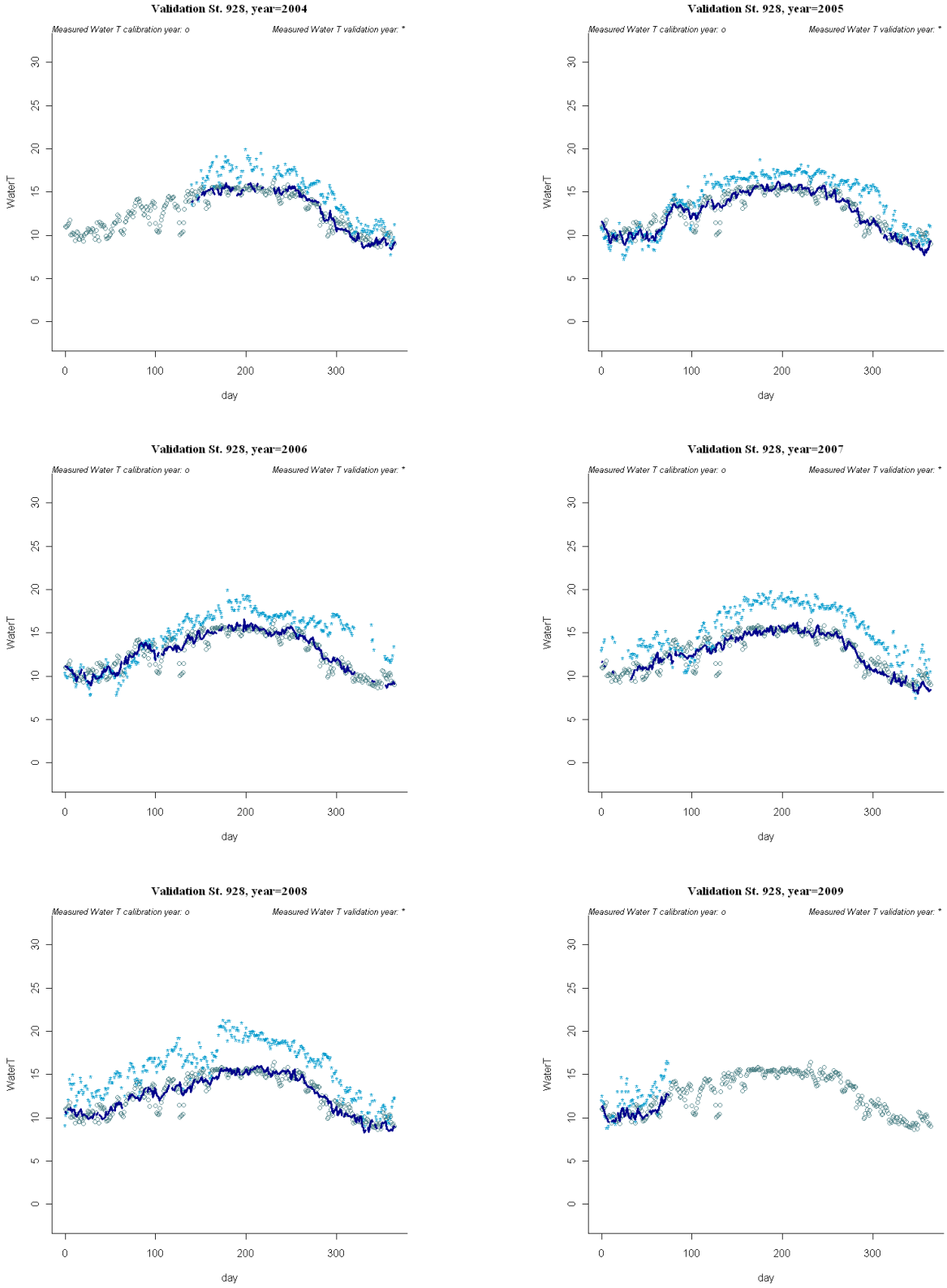
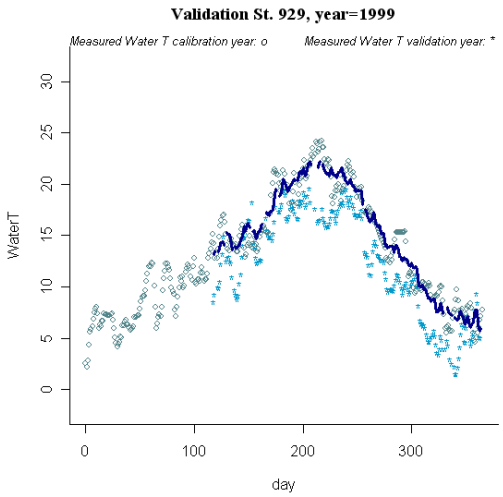
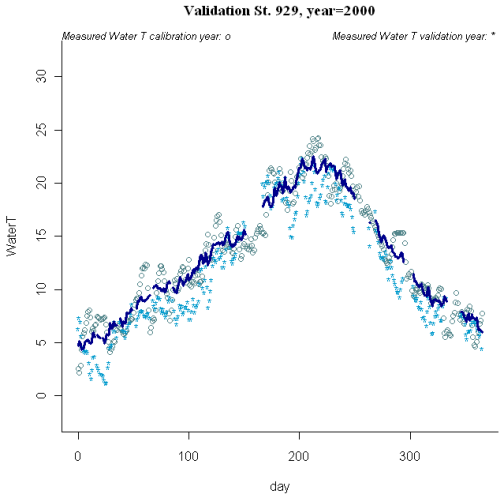
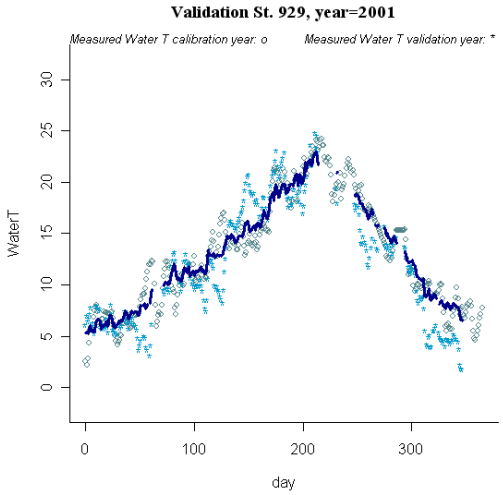
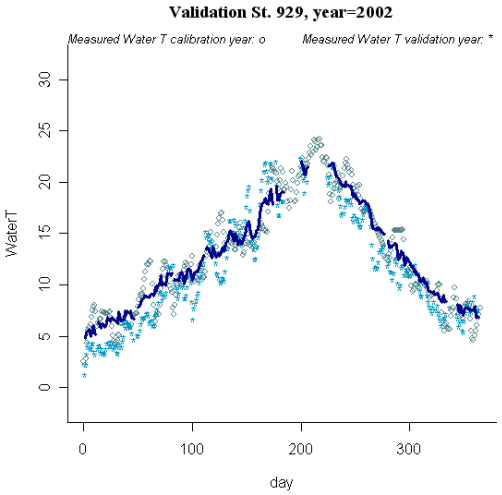


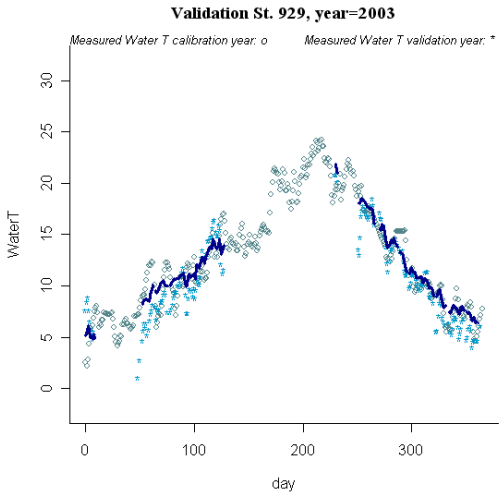
Figura A4-57 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “928”

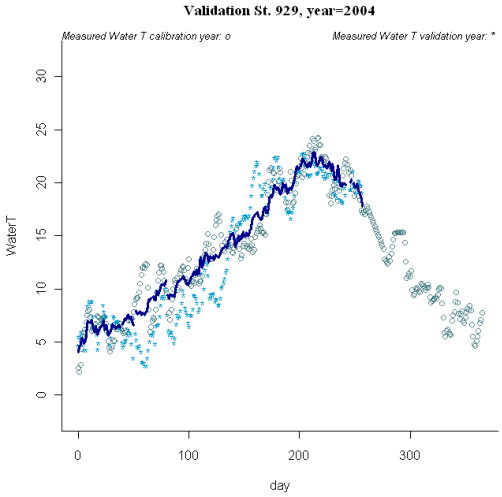

Validation St. 929, year=1999
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 929, year=2000
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 929, year=2001
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 929, year=2002
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 929, year=2003
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 929, year=2004
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day

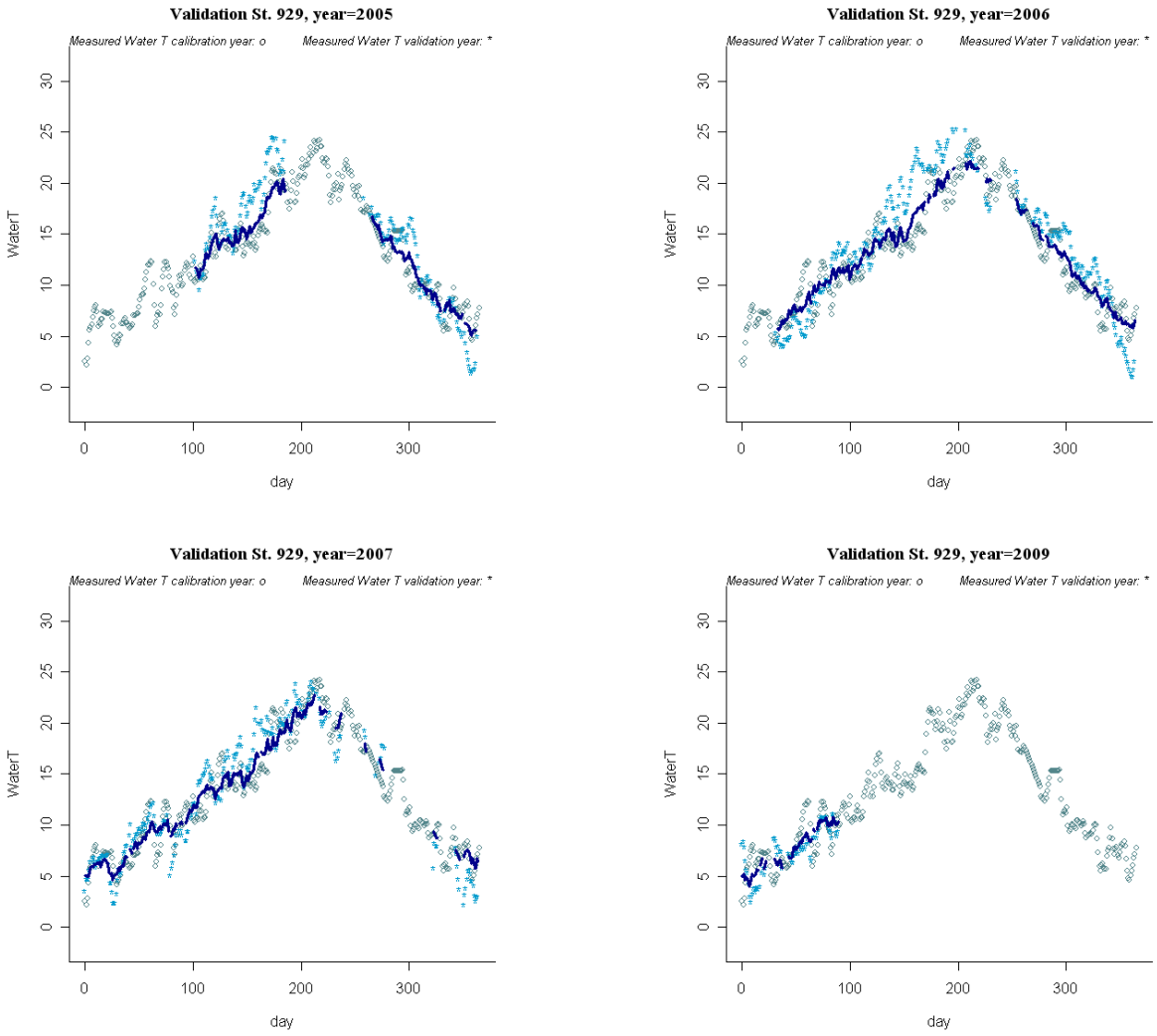
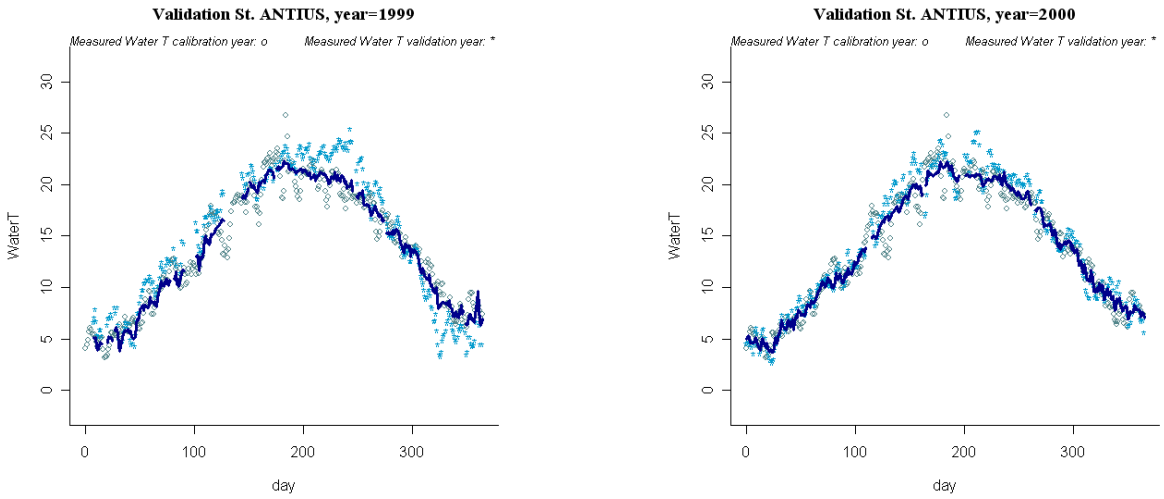
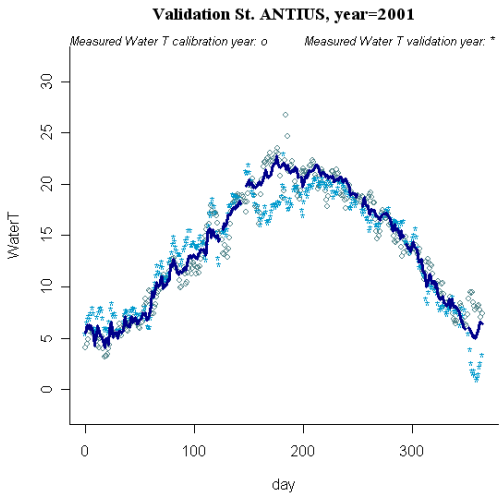
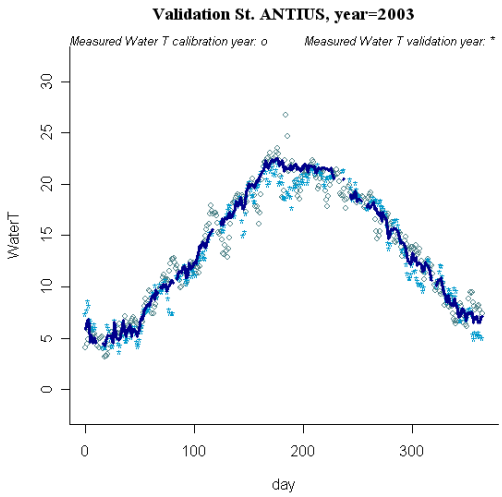
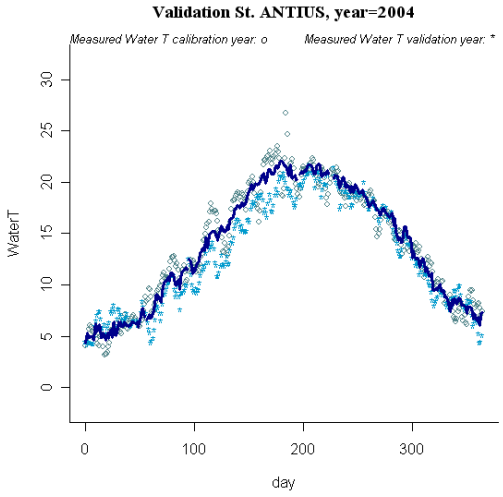


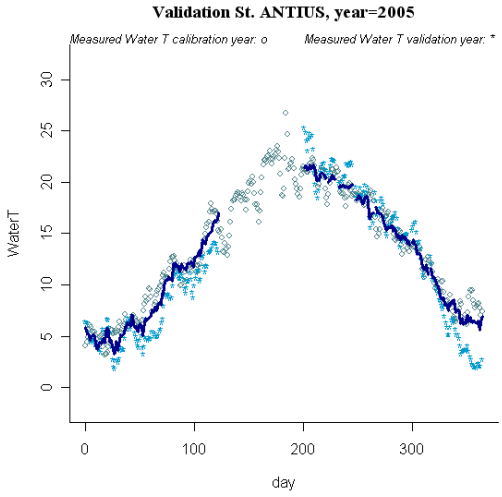
Figura A4-58 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “929”

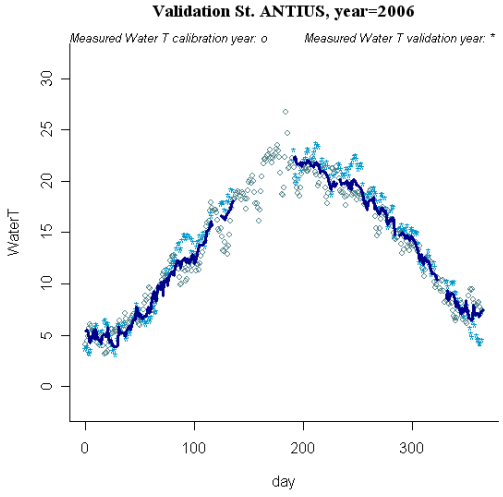


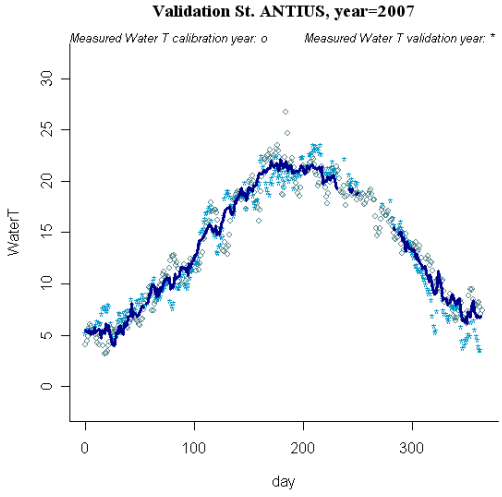

Validation St. ANTIUS, year=2001
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. ANTIUS, year=2003
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. ANTIUS, year=2004
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. ANTIUS, year=2005
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. ANTIUS, year=2006
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. ANTIUS, year=2007
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day

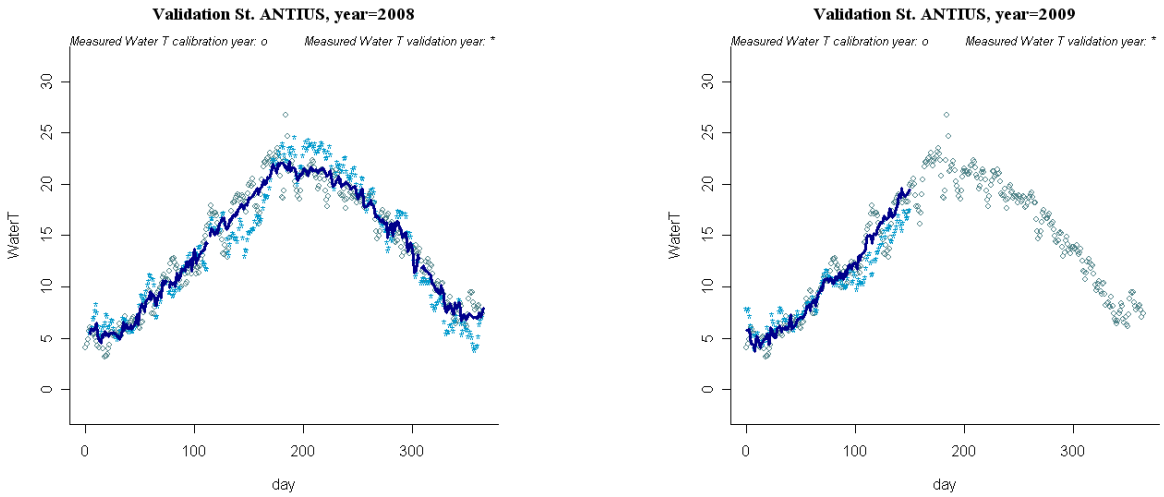
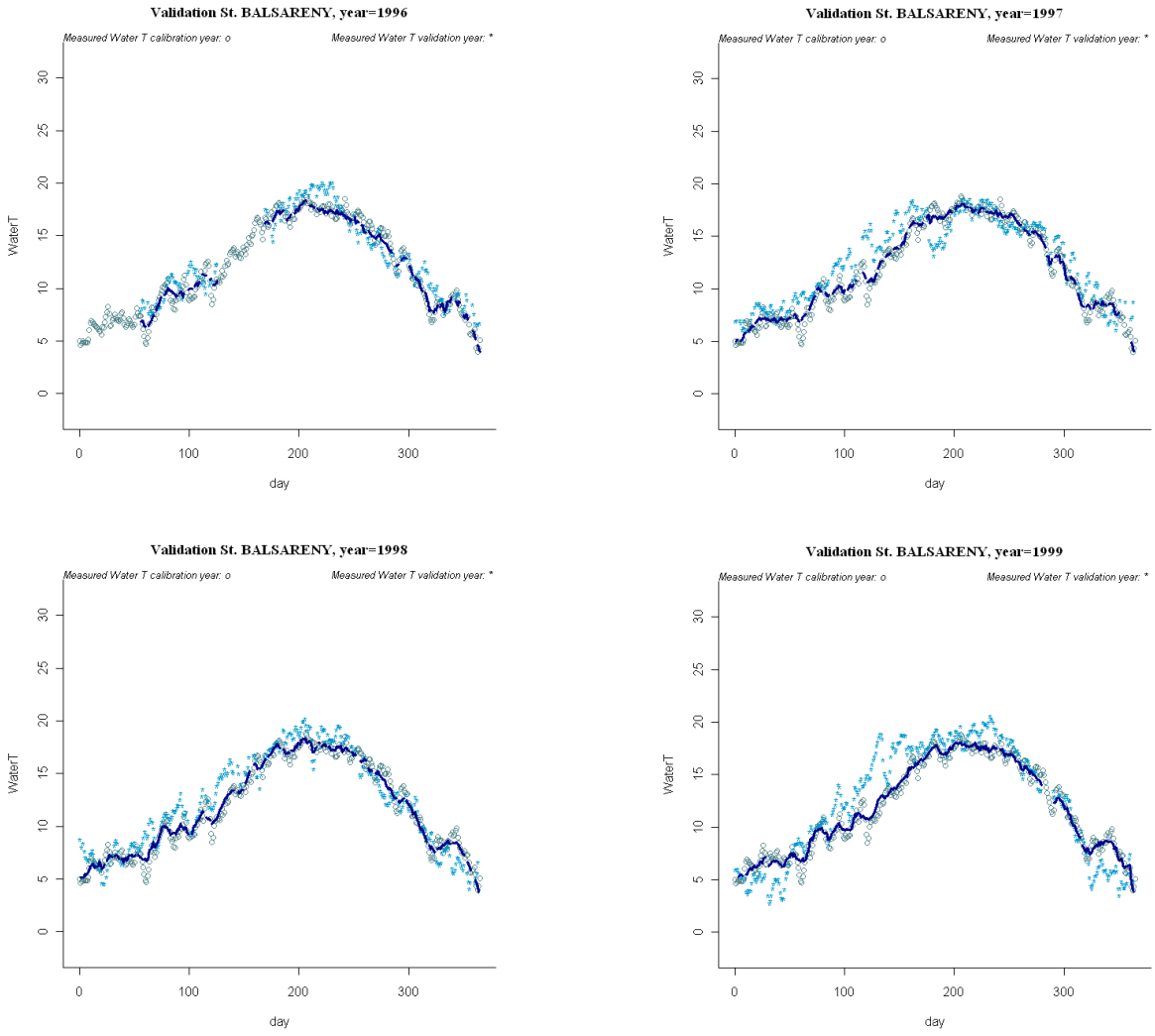


Figura A4-59 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “ANTIUS”



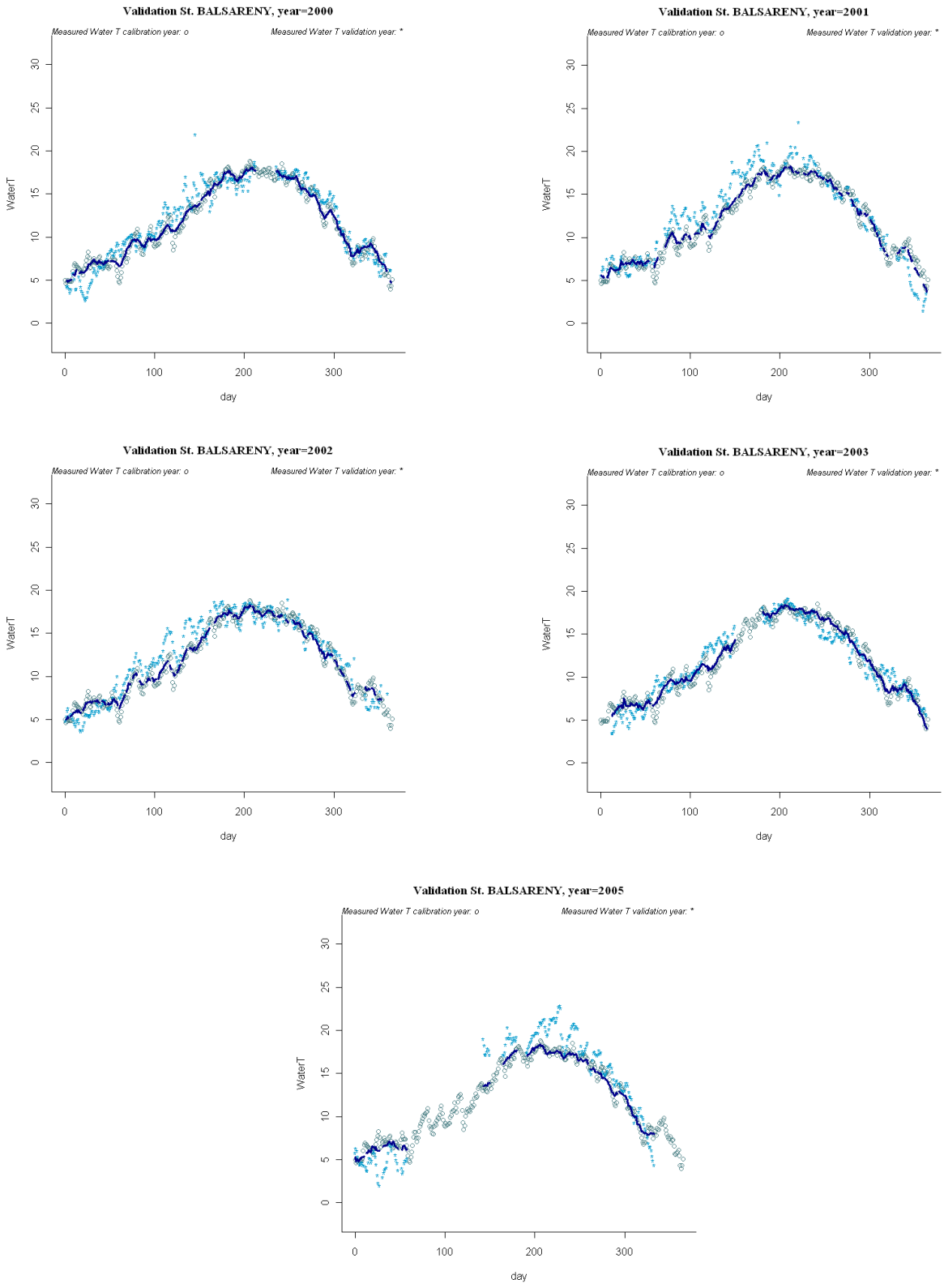
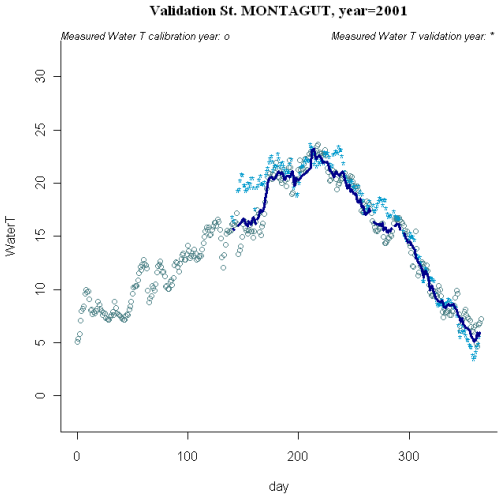
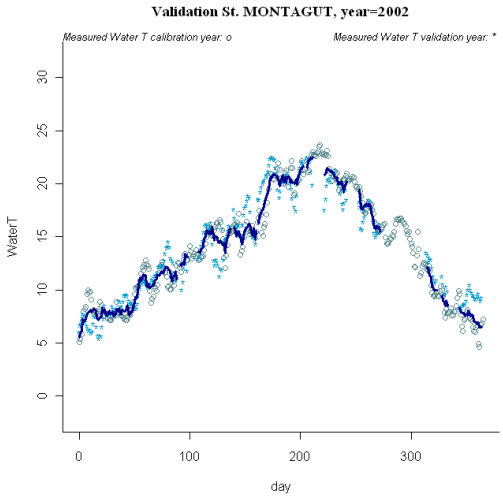
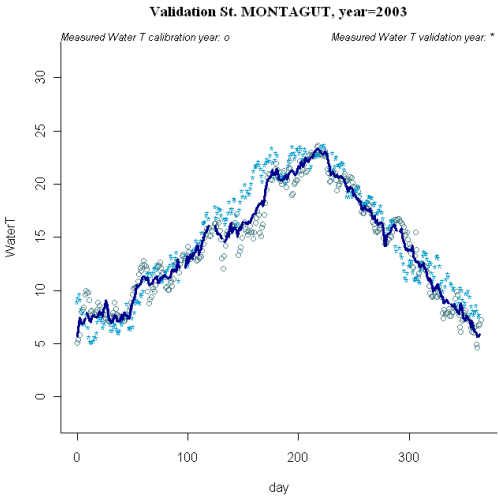
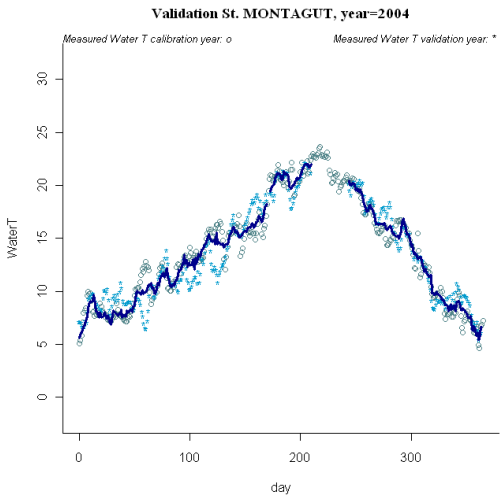


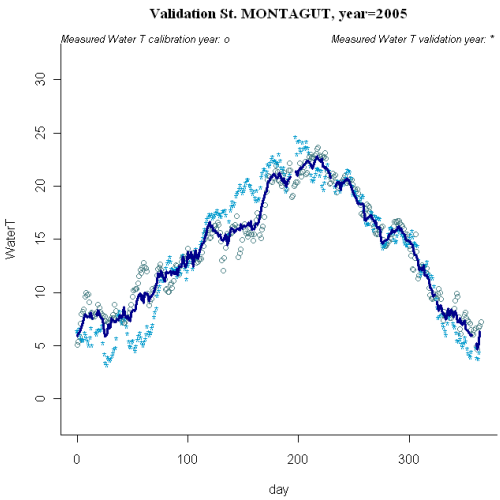
Figura A4-60 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “BALSARENY”

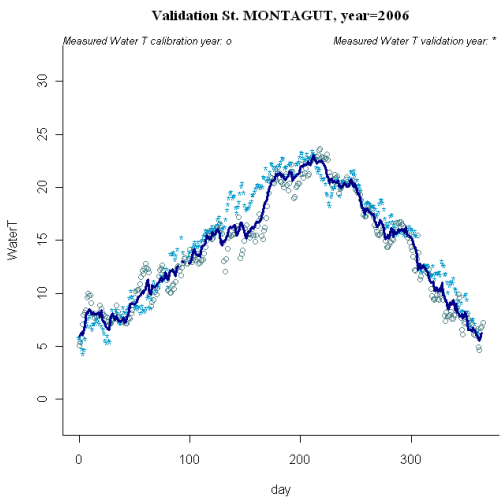

Validation St. MONTAGUT, year=2001
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day

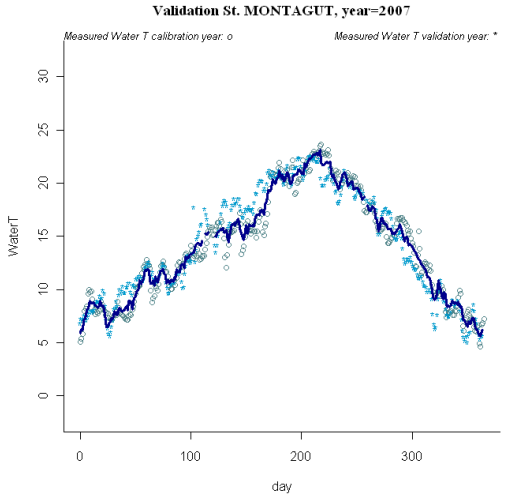

Validation St. MONTAGUT, year=2002
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. MONTAGUT, year=2003
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. MONTAGUT, year=2004
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. MONTAGUT, year=2005
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. MONTAGUT, year=2006
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day



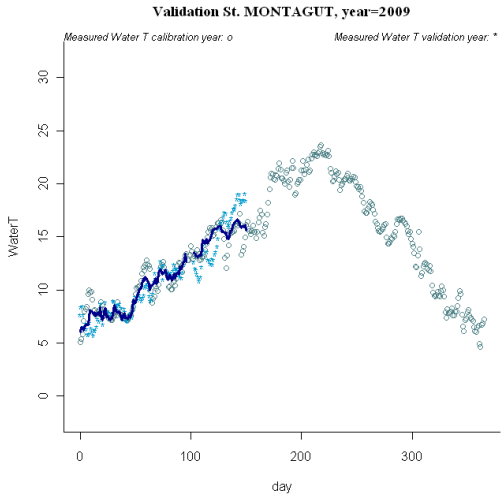
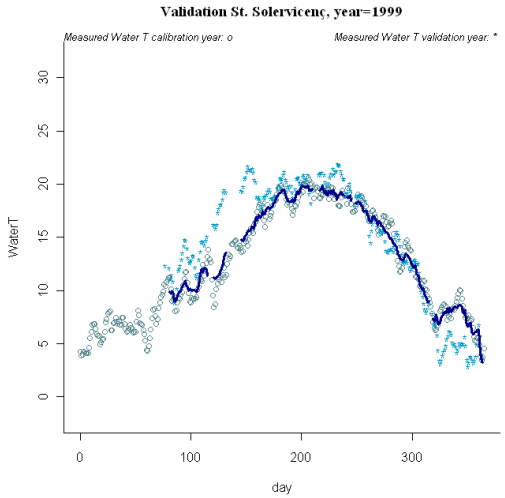
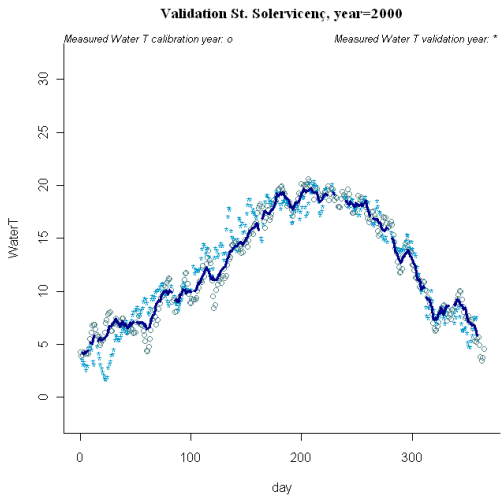
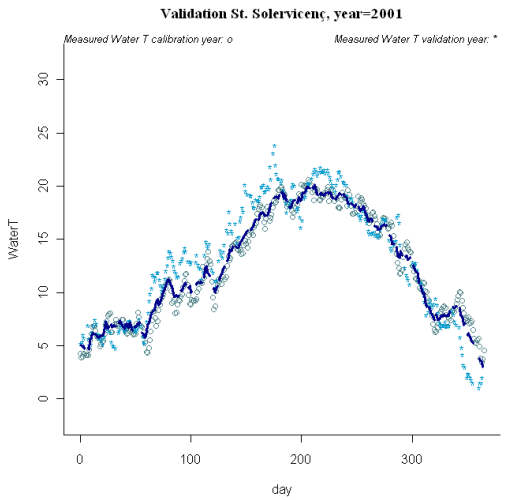
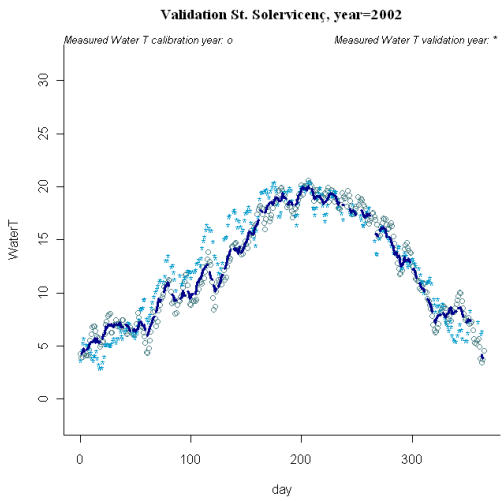


Figura A4-61 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “MONTAGUT”









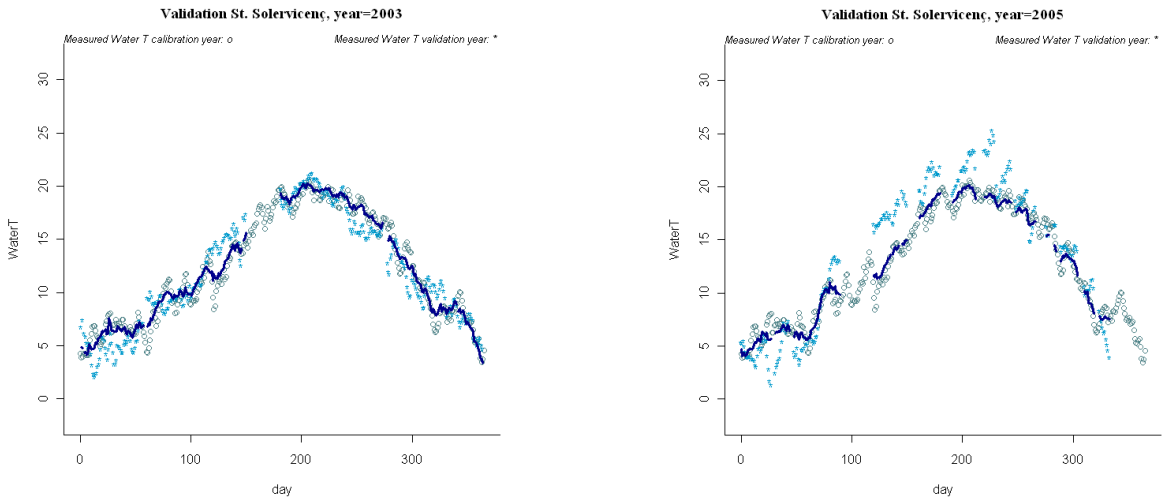
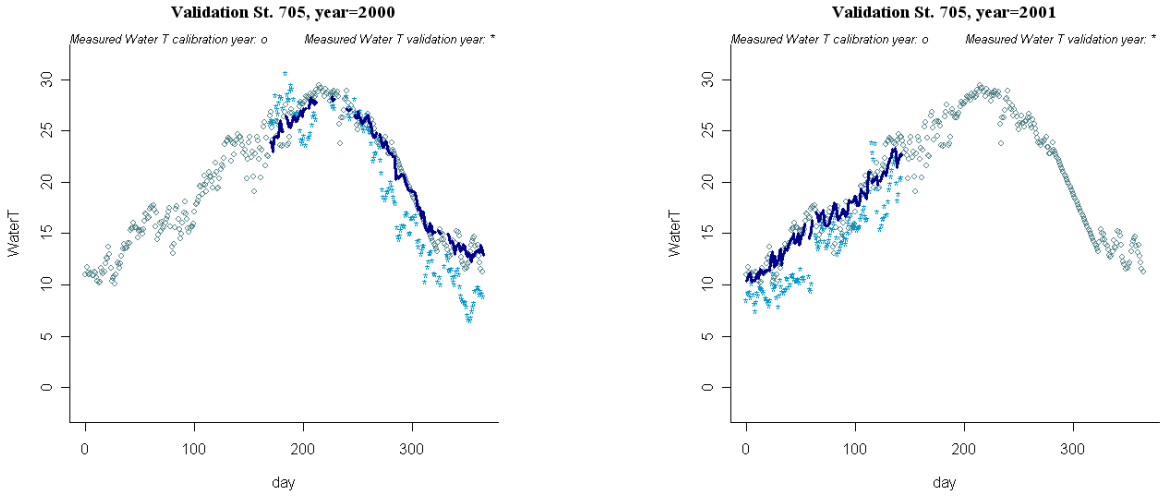


Figura A4-62 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA "SOLERVICENÇ"

A4-3.9 Tipo 14 "Ejes mediterráneos de baja altitud"



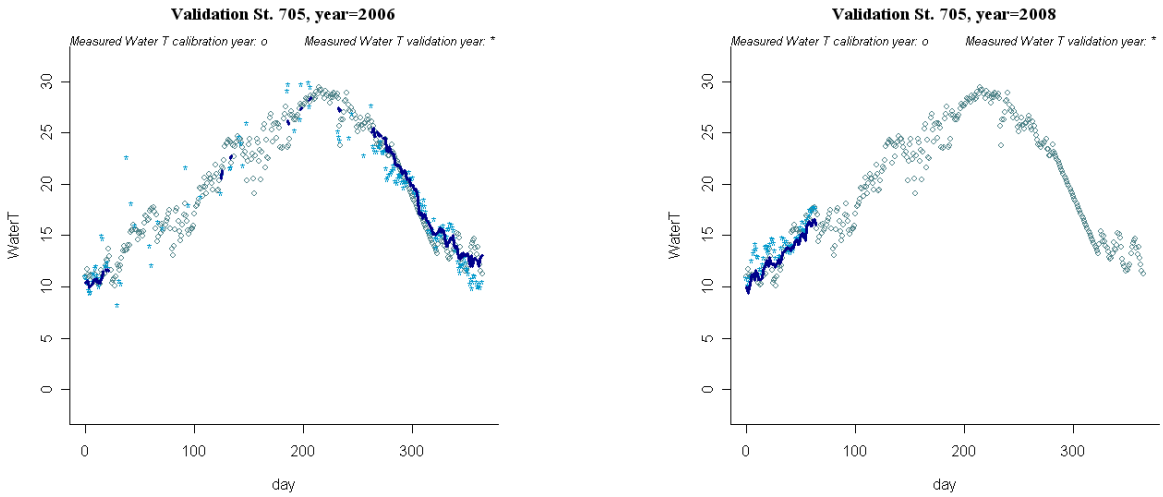


Figura A4-63 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “705”

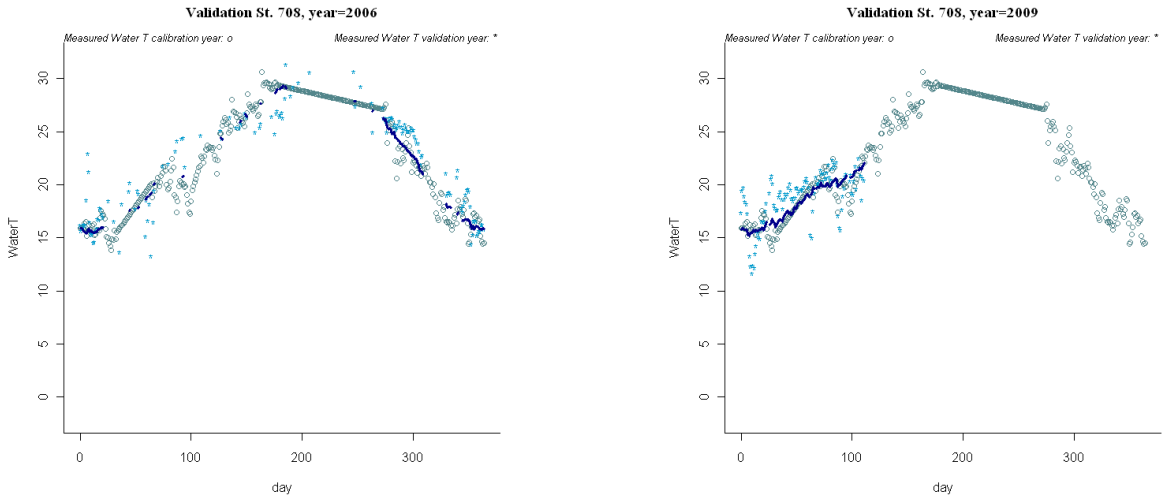


Figura A4-64 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “708”

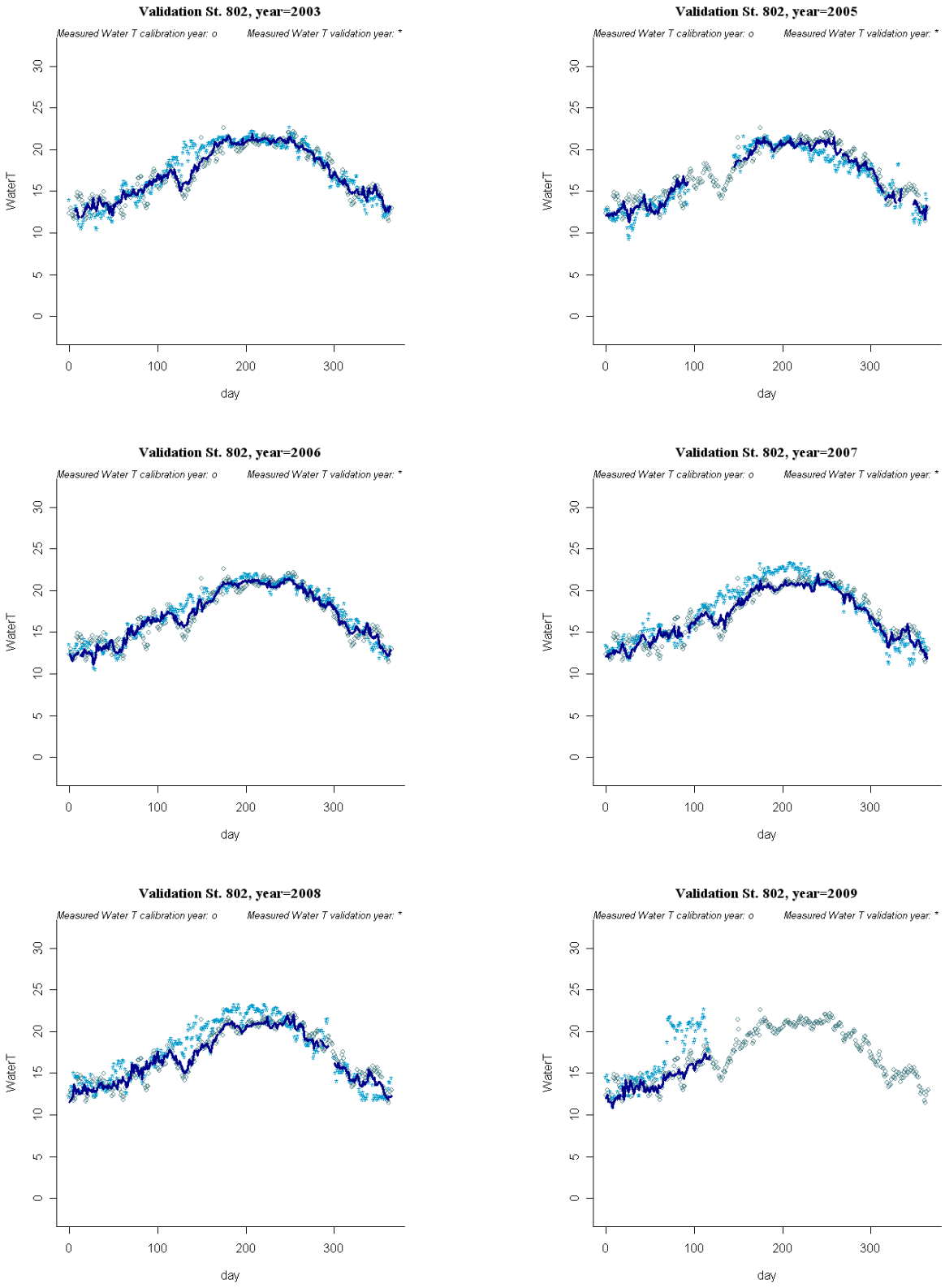
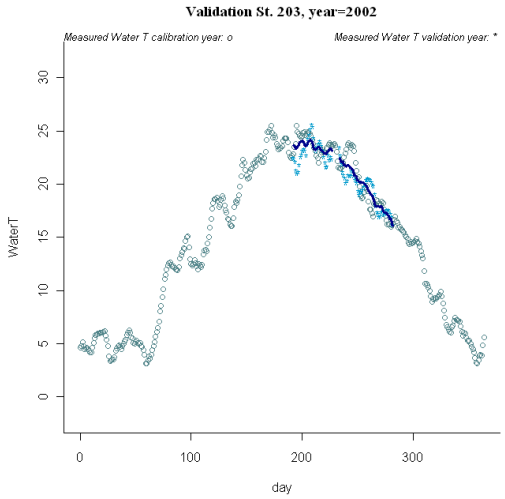
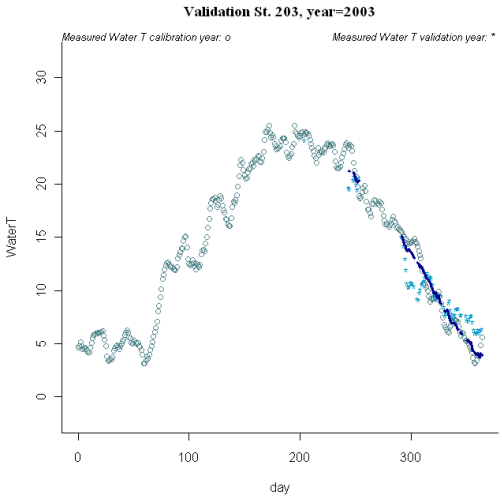
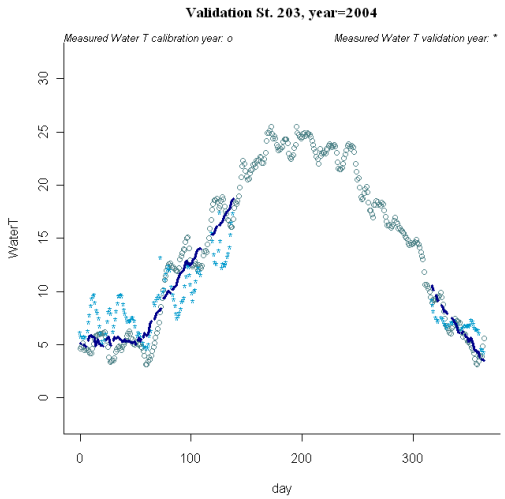


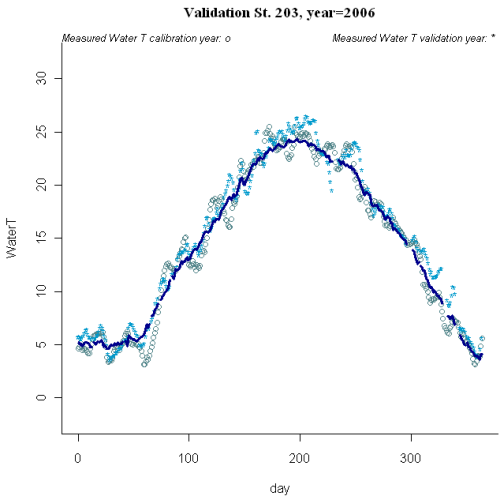
Figura A4-65 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “802”

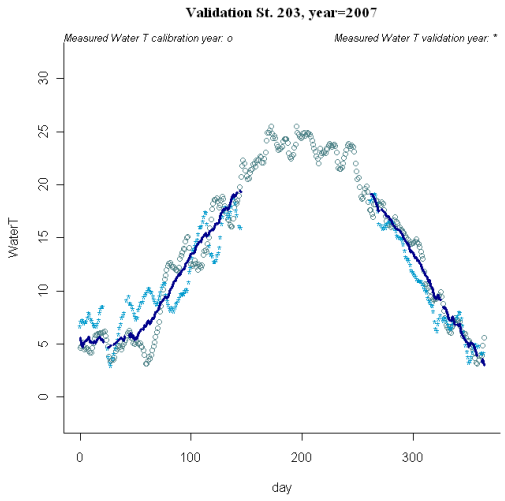
A4-3.10 Tipo 15 “Ejes mediterráneo-continentales poco mineralizados”

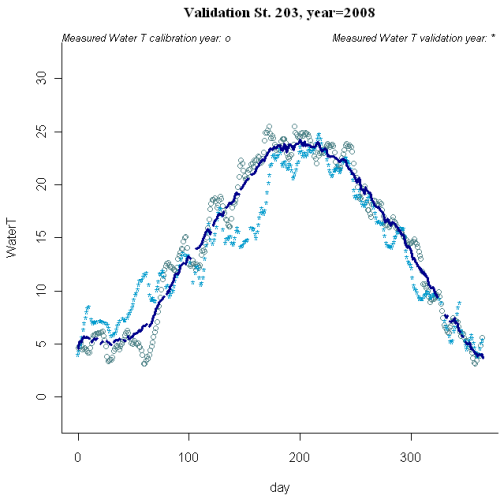












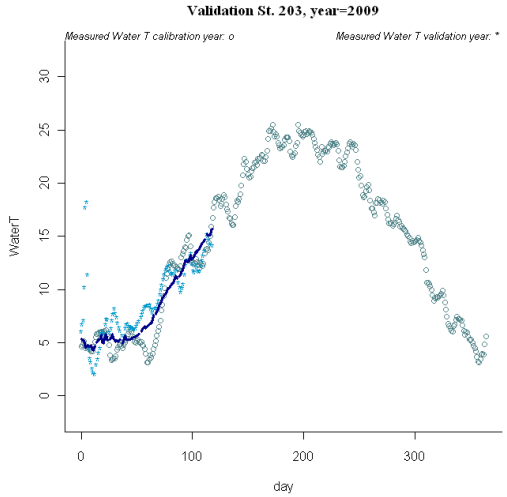
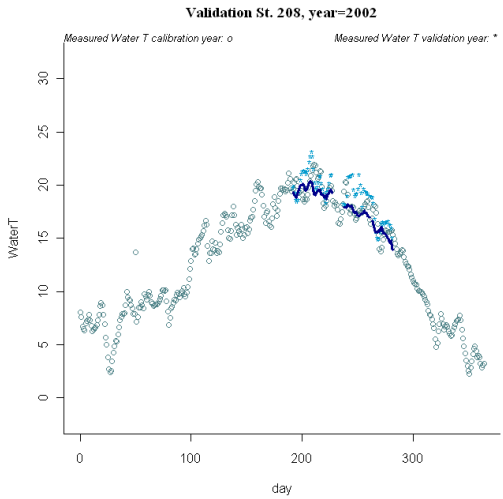
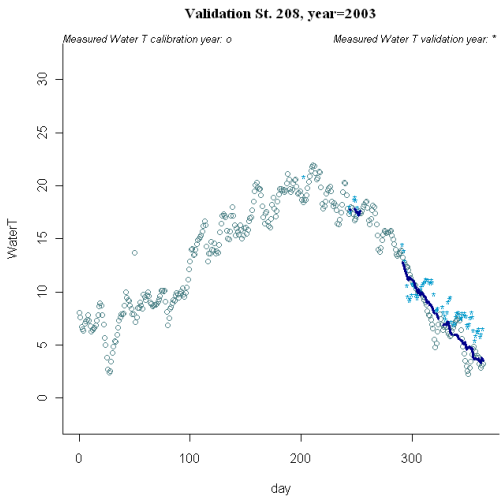
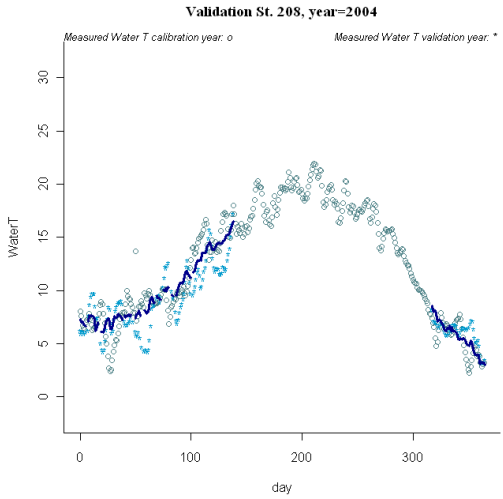
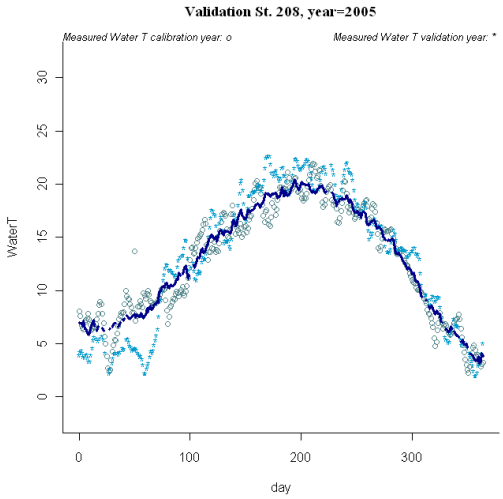


Figura A4-66 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “203”









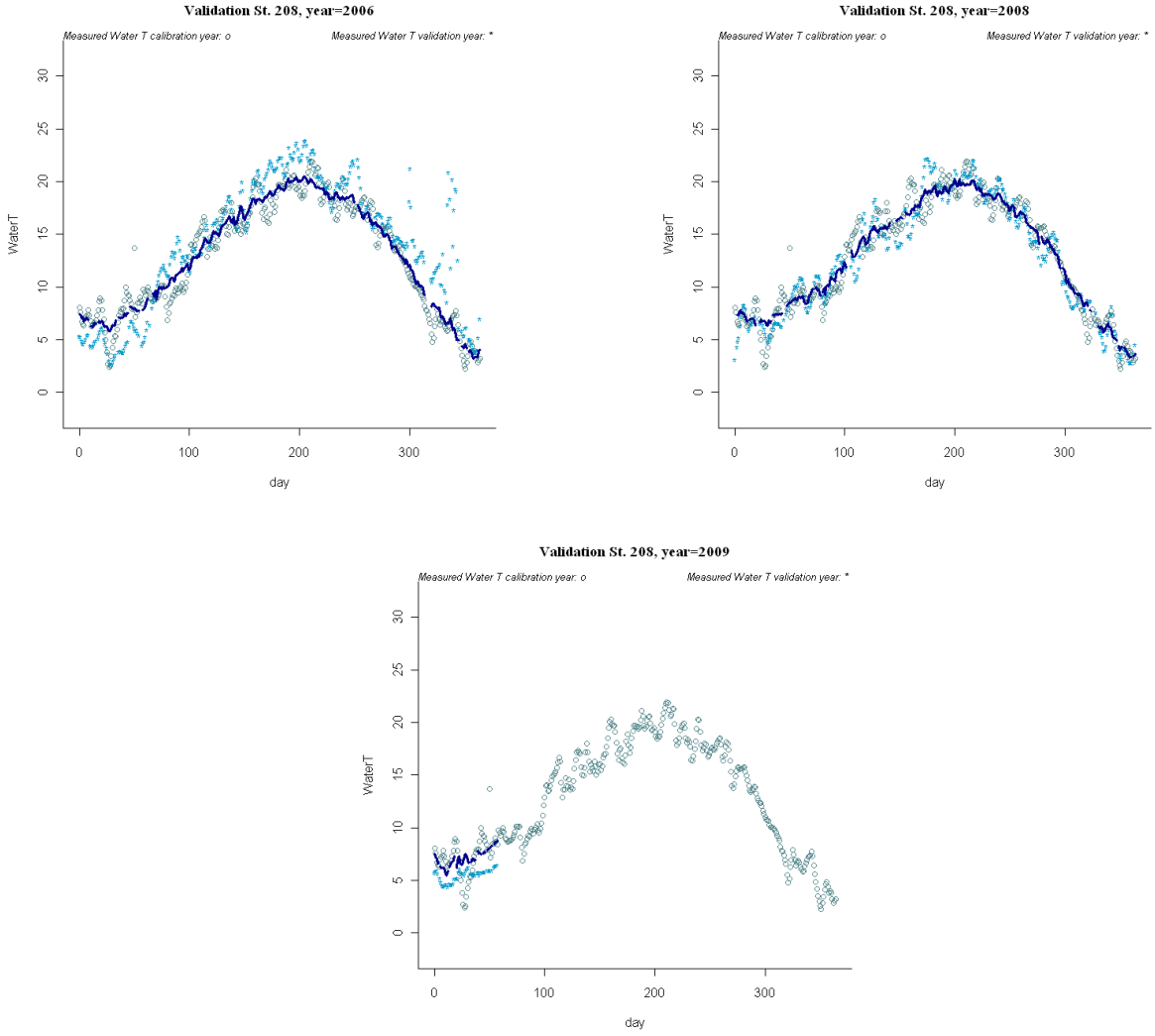
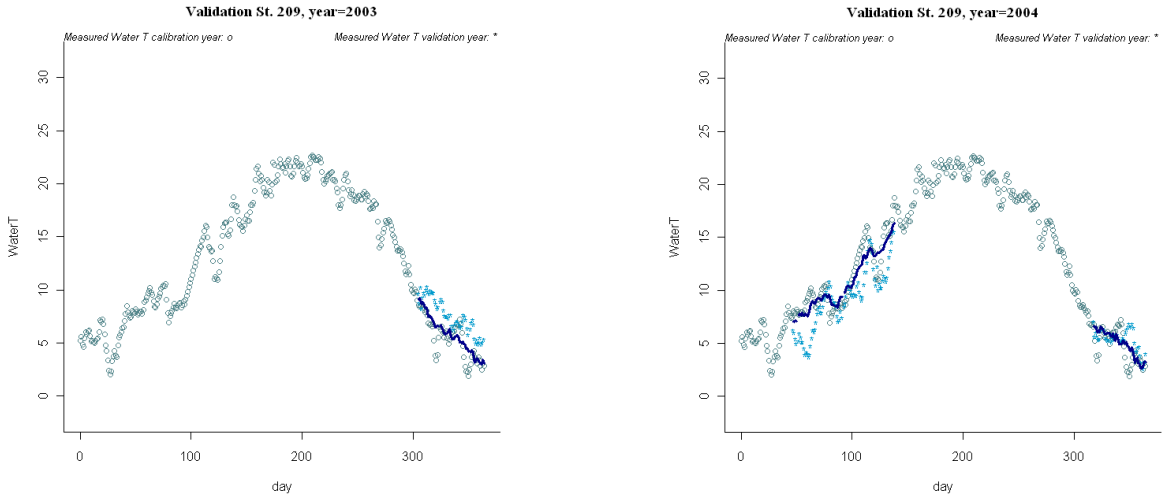


Figura A4-67 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “208”



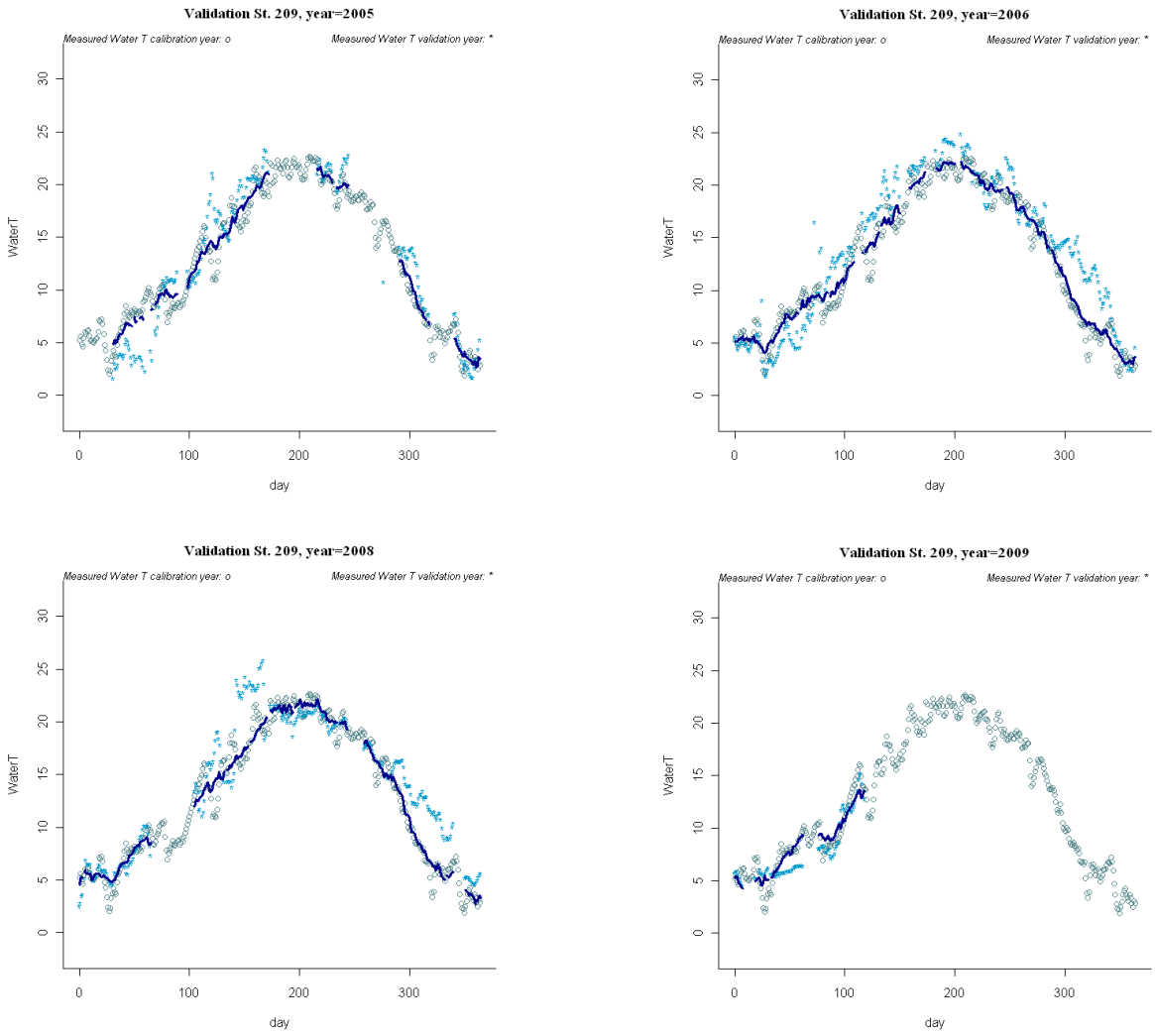


Figura A4-68 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “209”

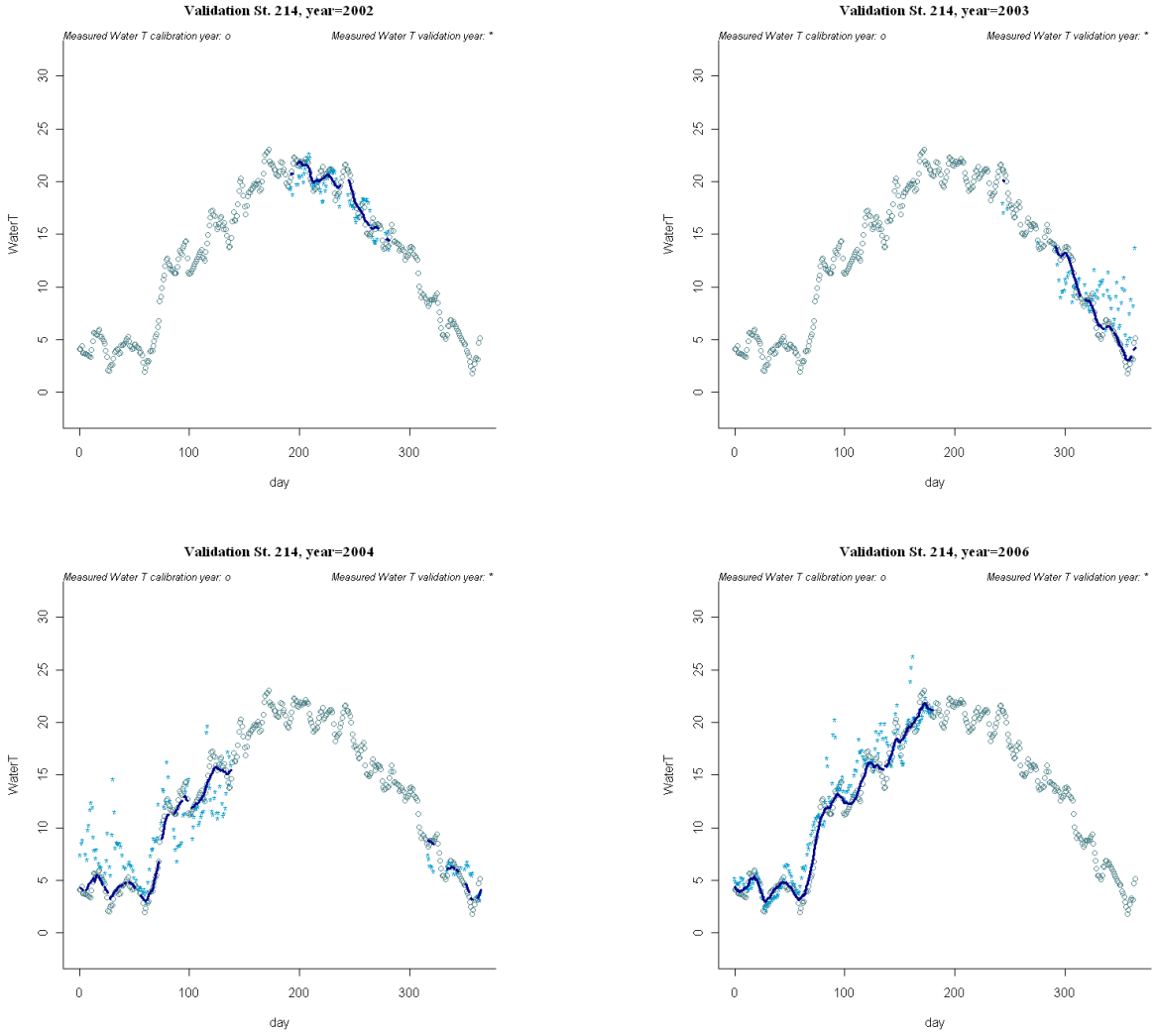
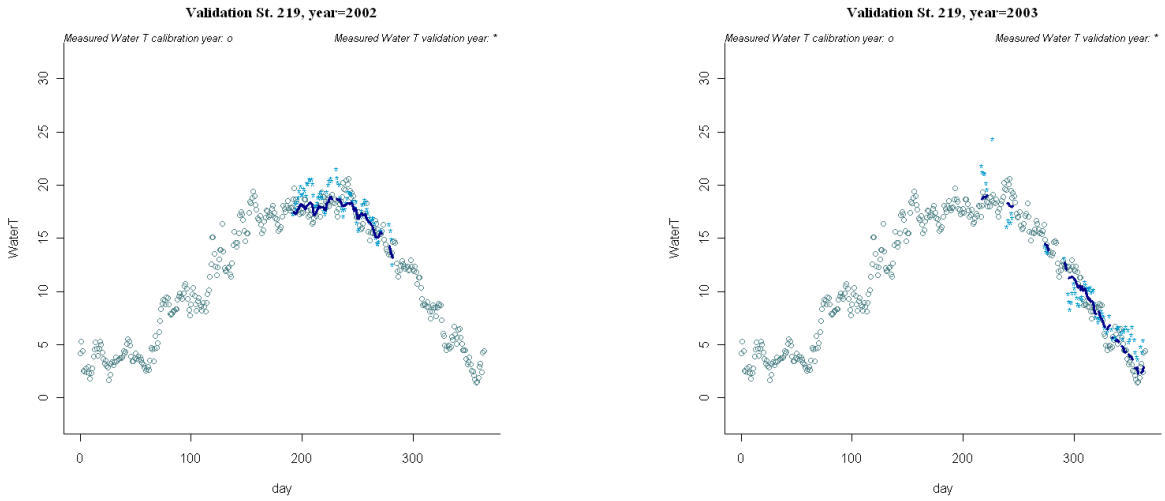


Figura A4-69 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “214”



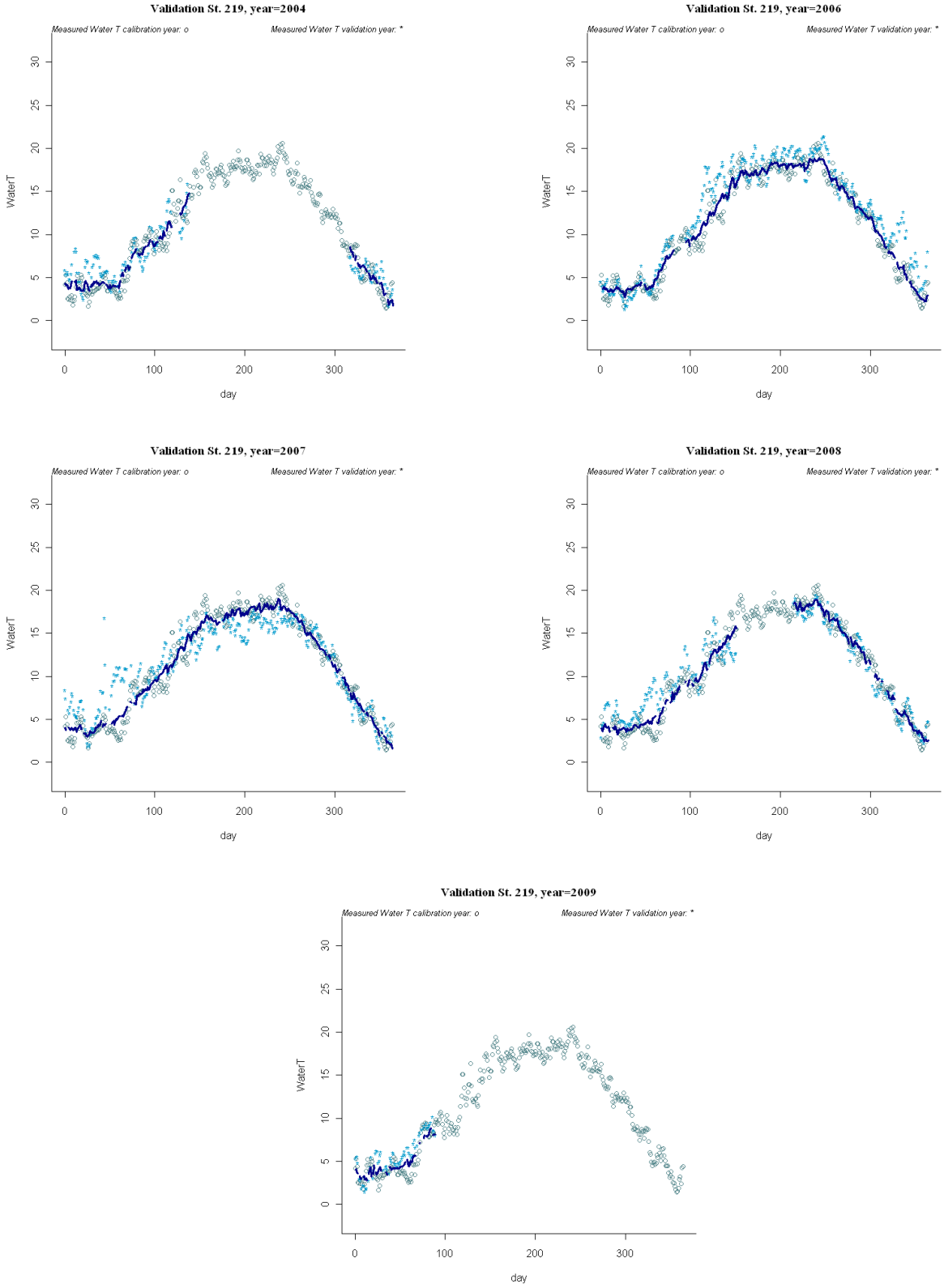
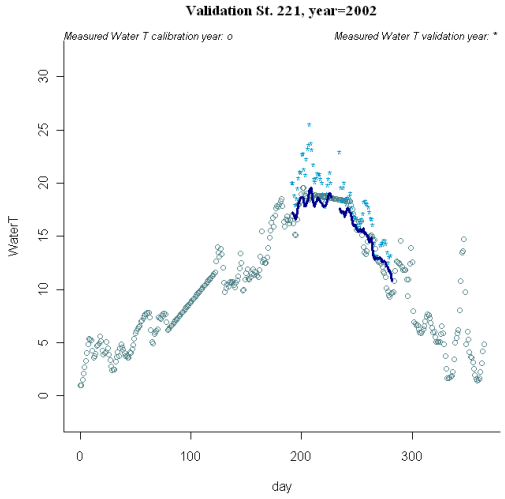
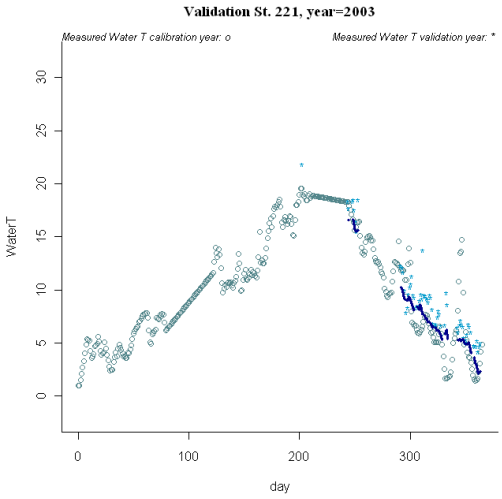
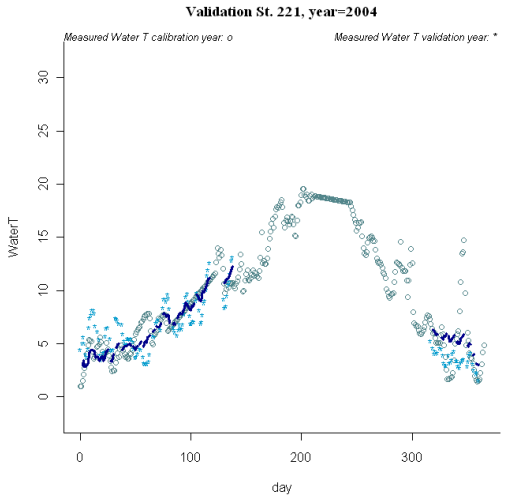
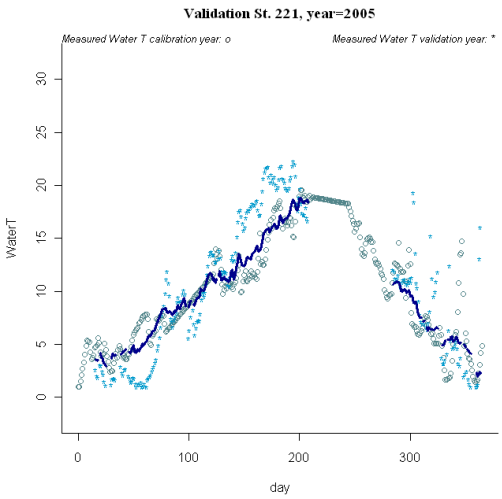


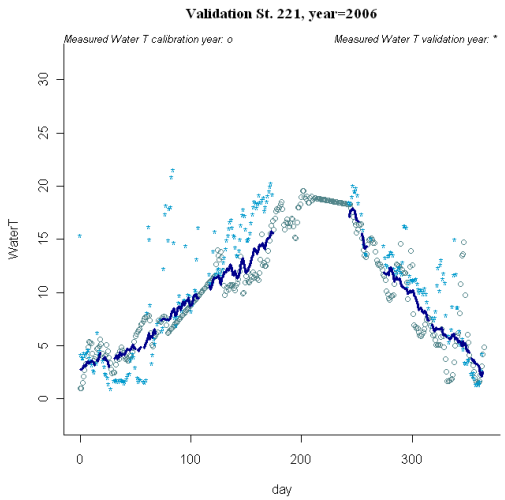
Figura A4-70 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “219”

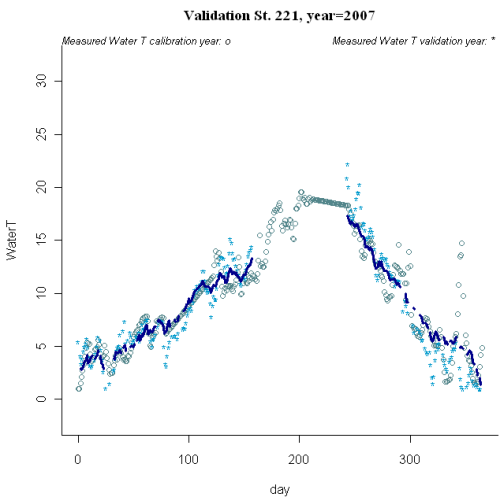

Validation St. 221, year=2002
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 221, year=2003
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 221, year=2004
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 221, year=2005
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 221, year=2006
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 221, year=2007
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day

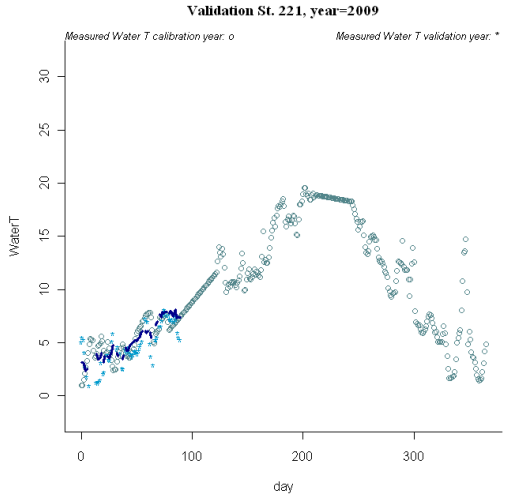
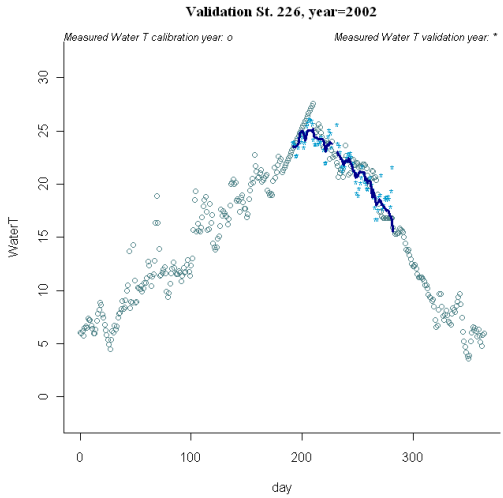
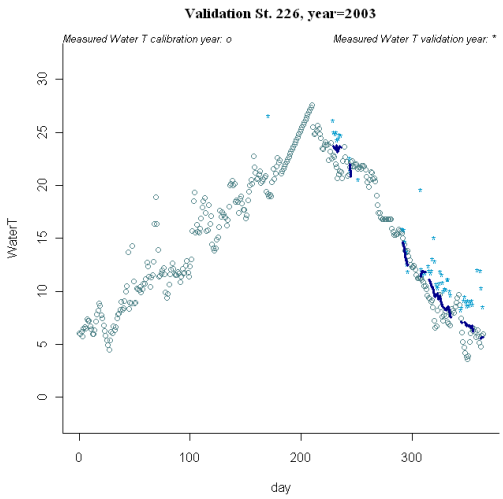
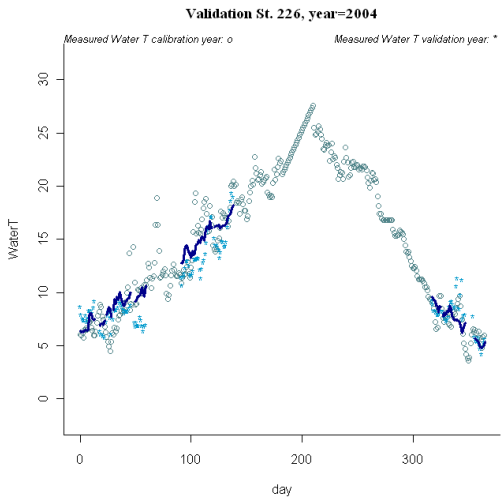
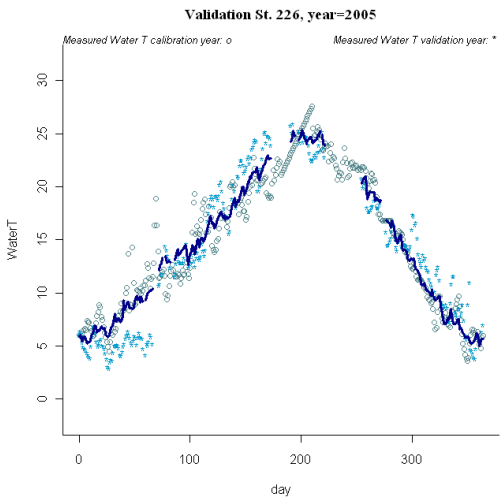


Figura A4-71 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “221”









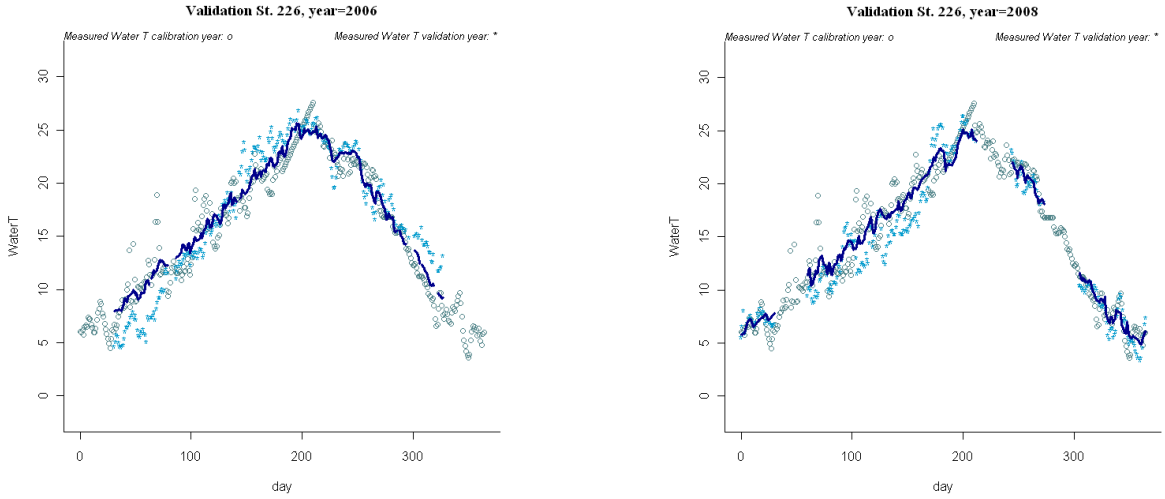
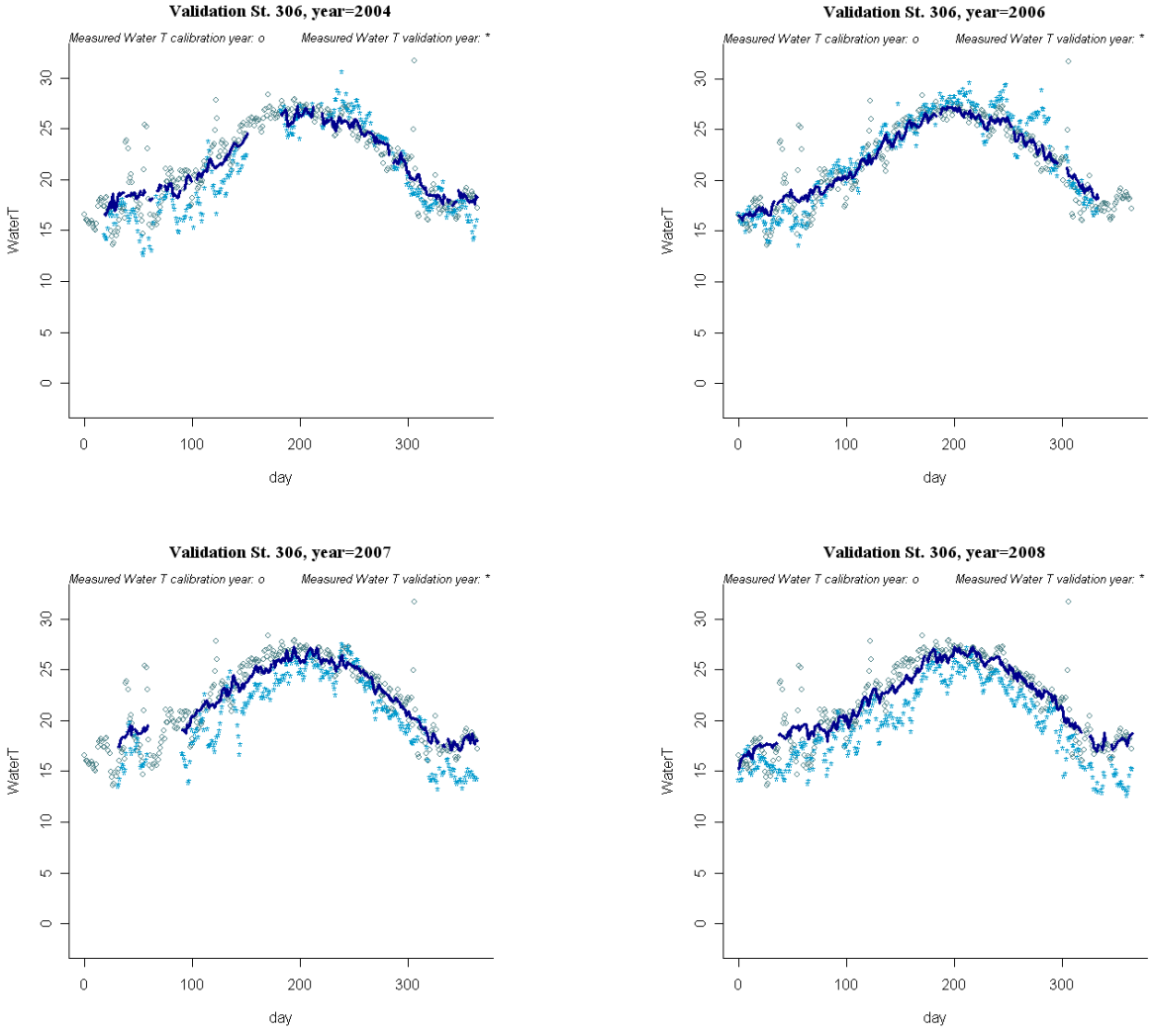


Figura A4-72 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “226”



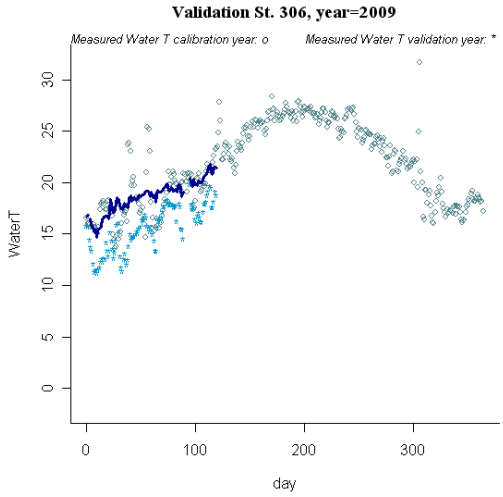
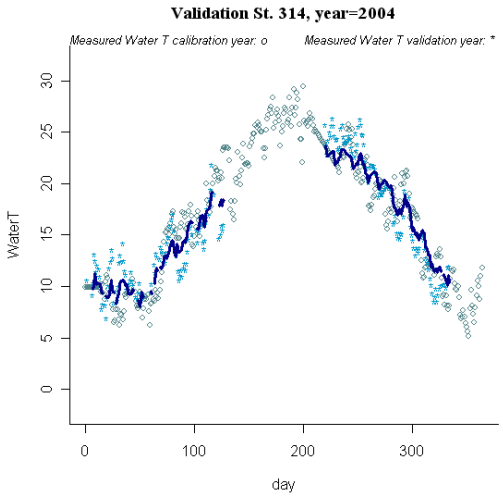
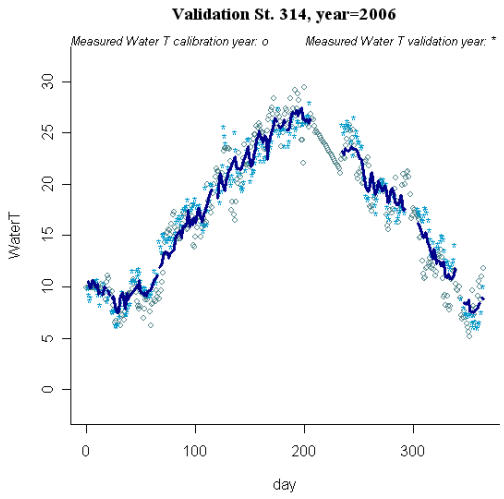
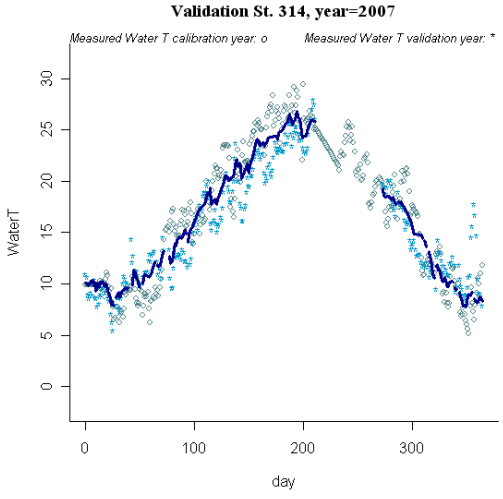
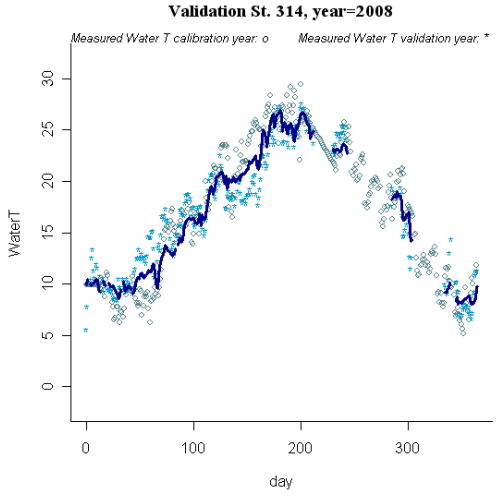


Figura A4-73 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “306”









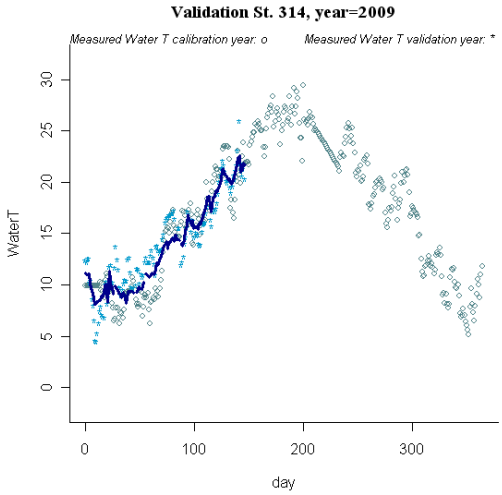
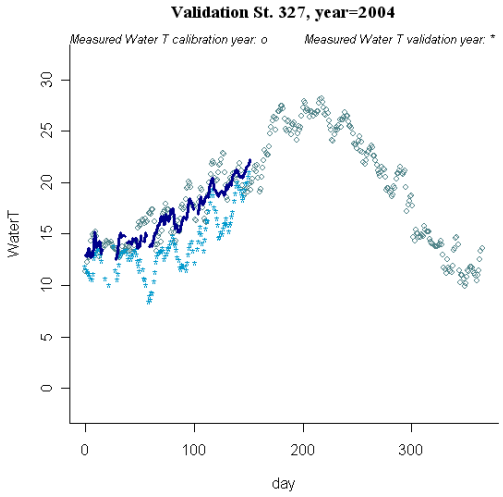
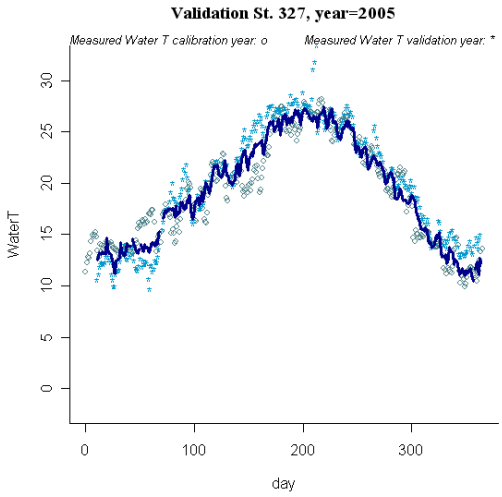
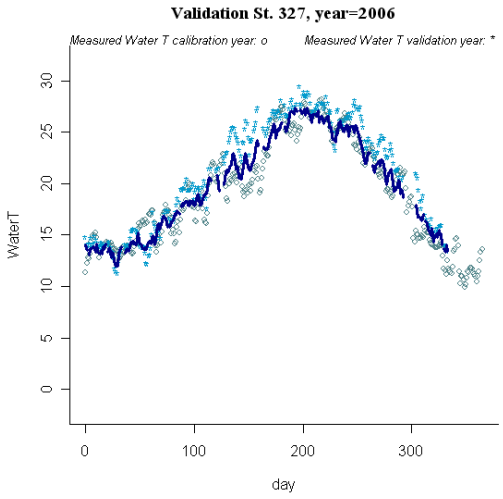
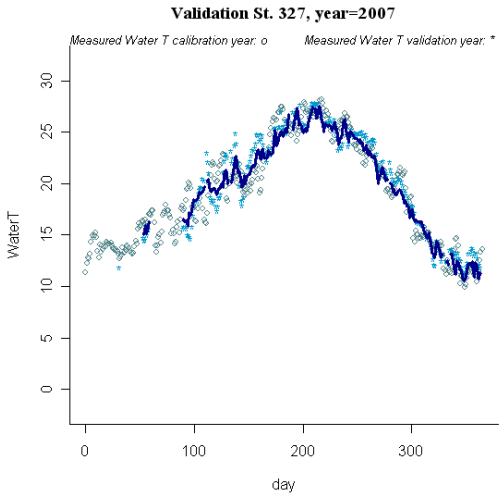


Figura A4-74 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “314”









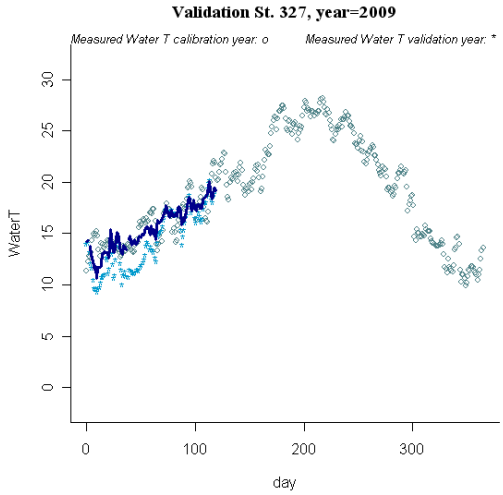
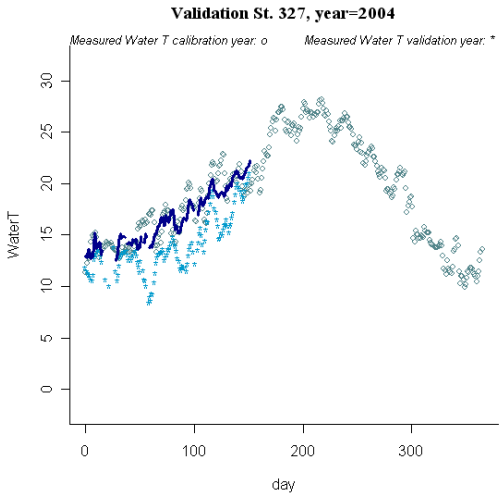
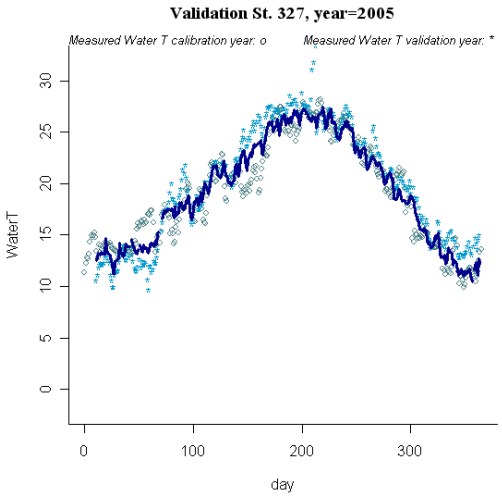
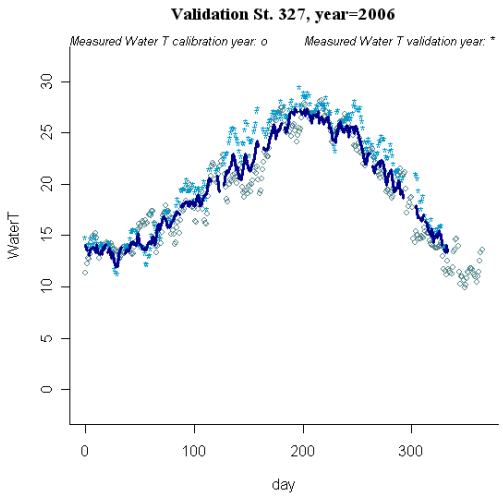
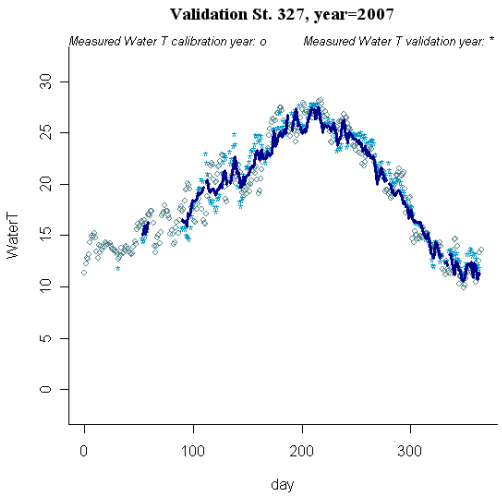


Figura A4-75 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “327”









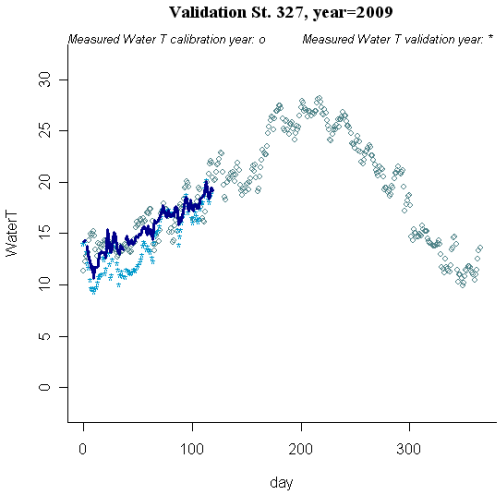


Figura A4-76 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “327”

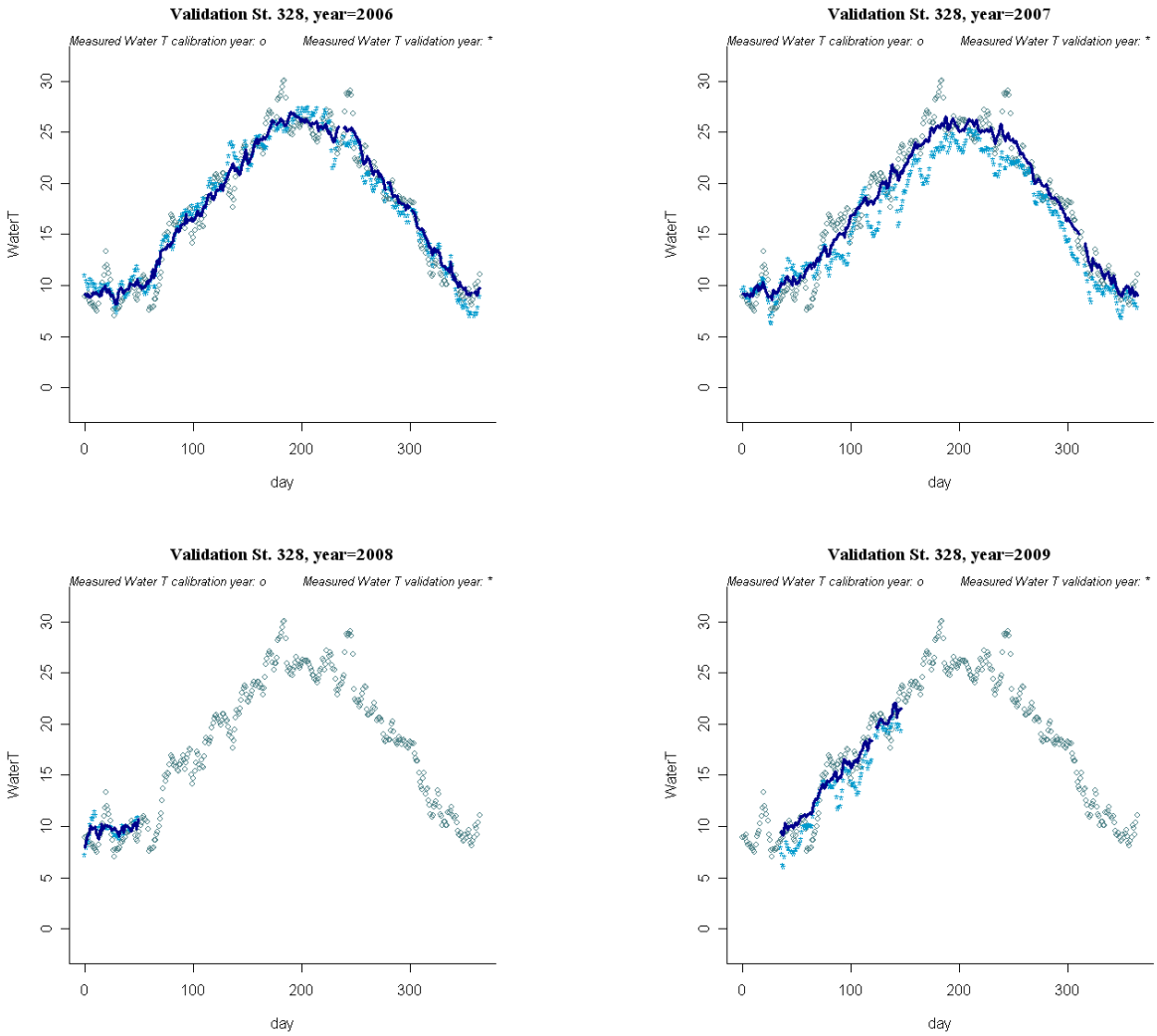
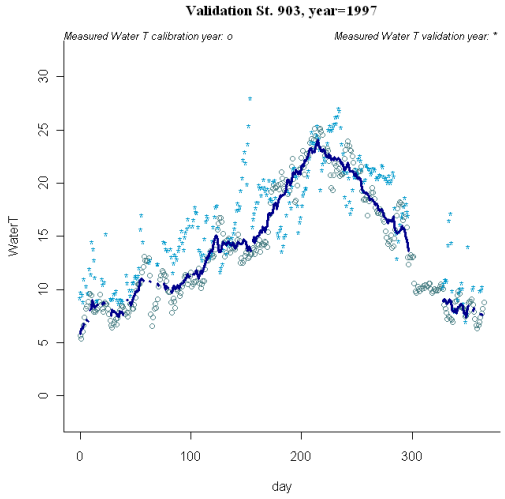
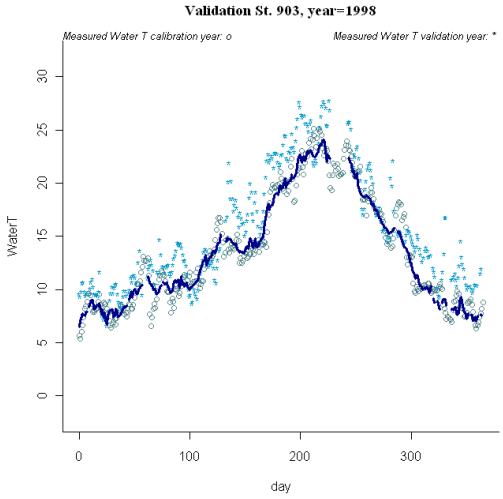
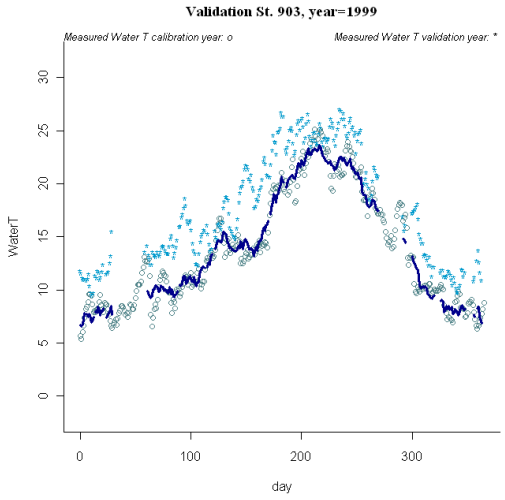
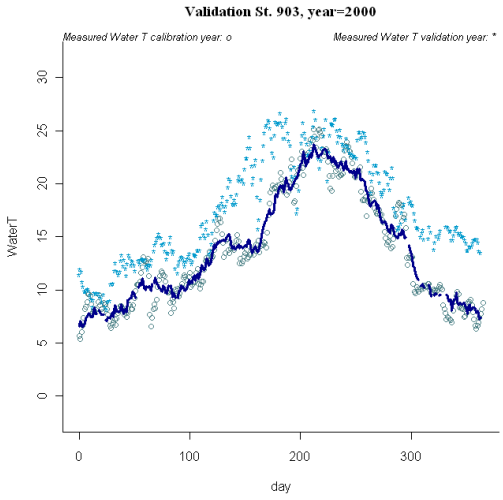


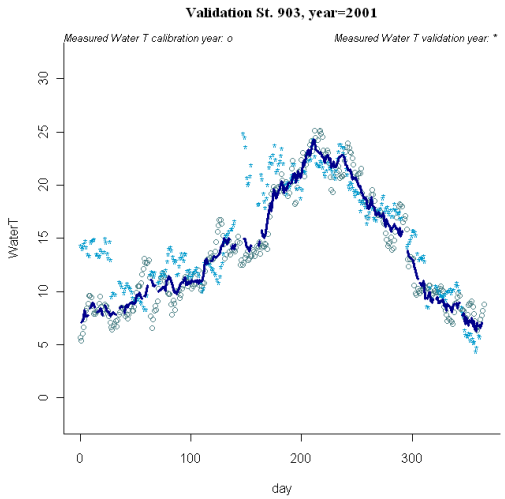
Figura A4-77 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “328”

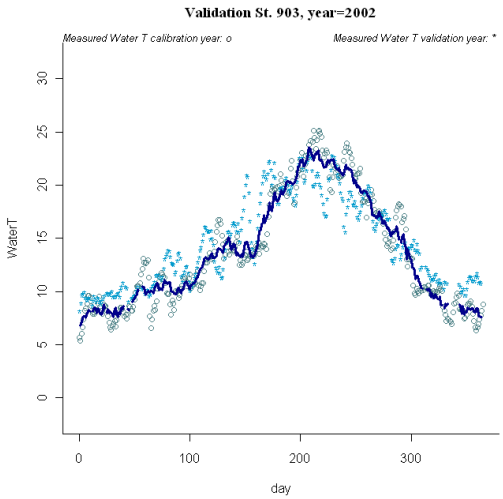

Validation St. 903, year=1997
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 903, year=1998
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 903, year=1999
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 903, year=2000
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 903, year=2001
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 903, year=2002
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day

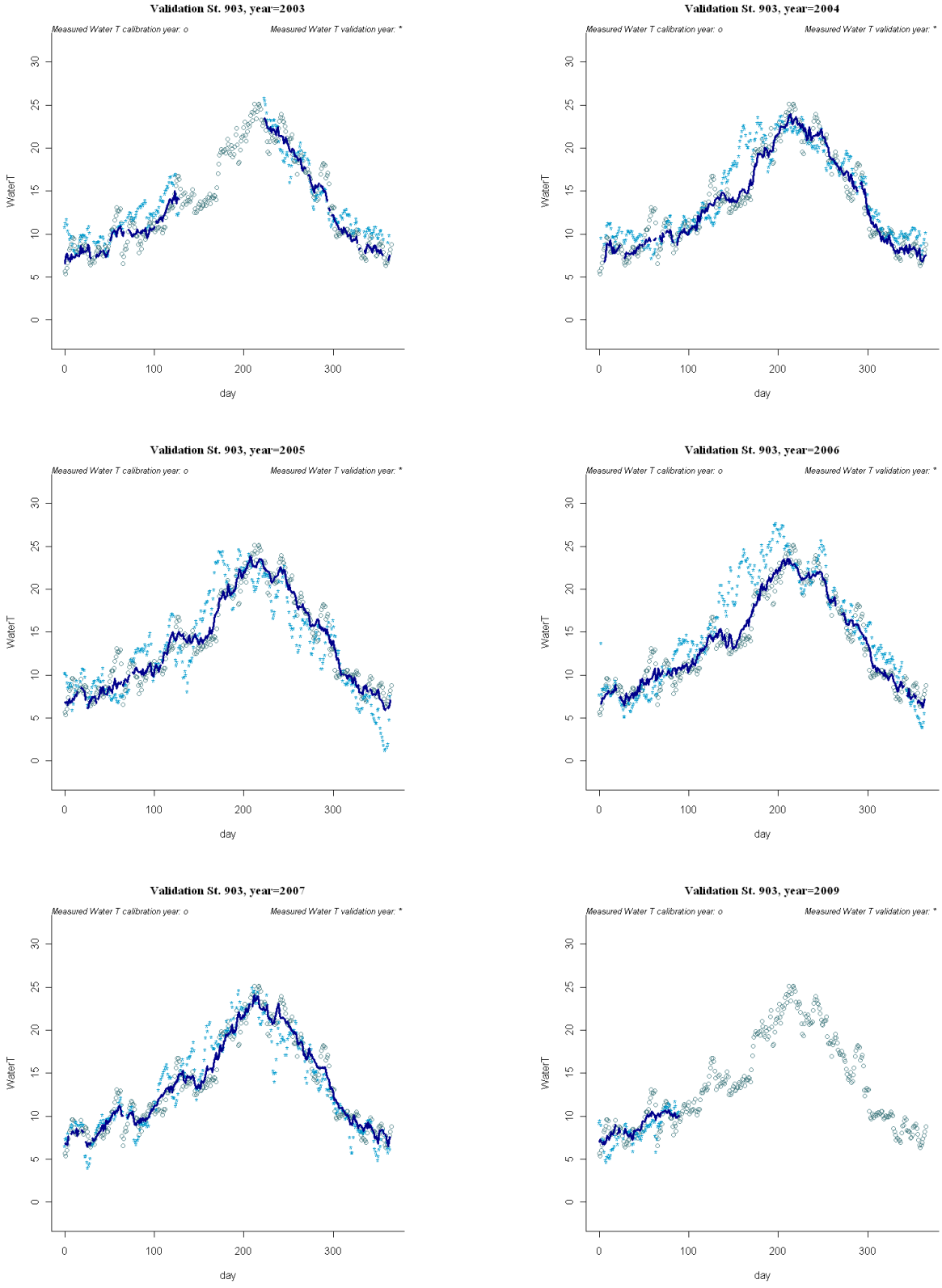
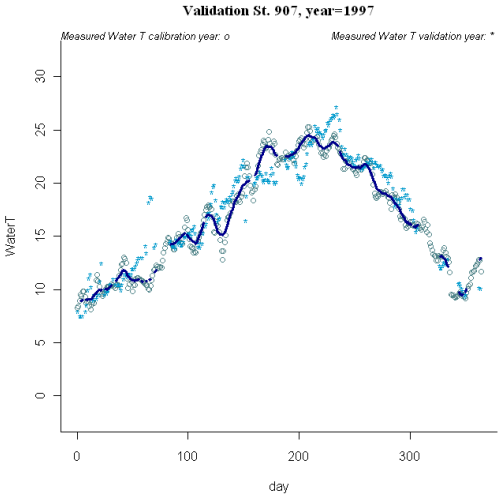
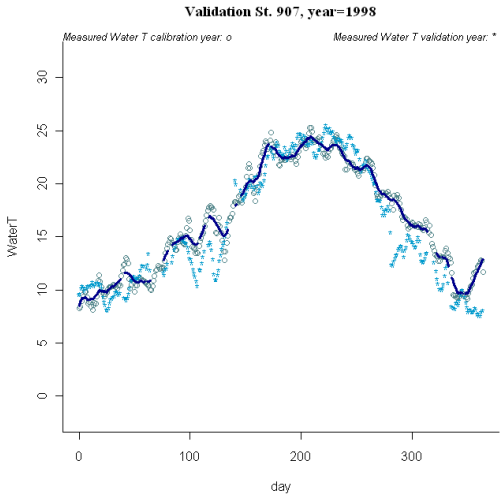
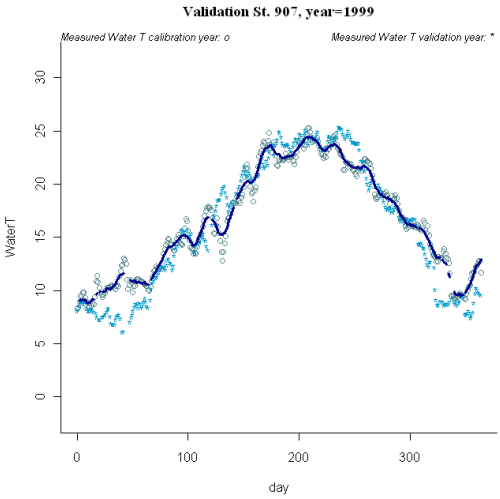
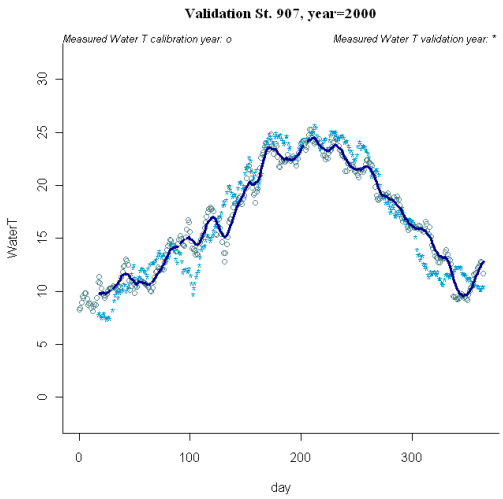


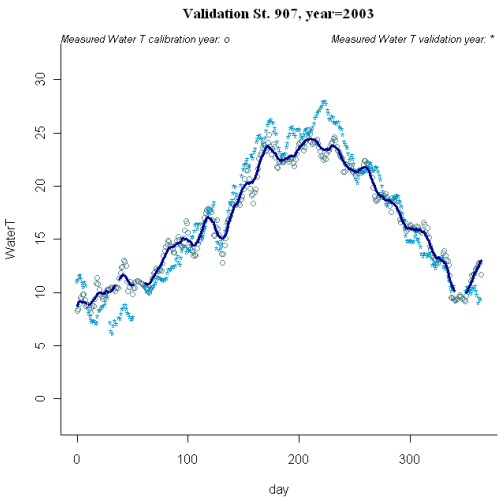
Figura A4-78 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “903”

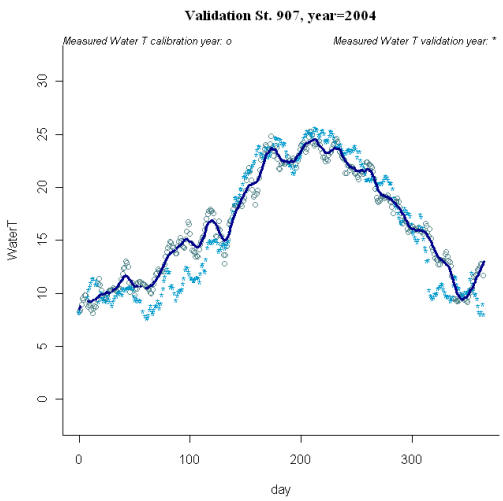

Validation St. 907, year=1997
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 907, year=1998
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 907, year=1999
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 907, year=2000
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 907, year=2003
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 907, year=2004
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day

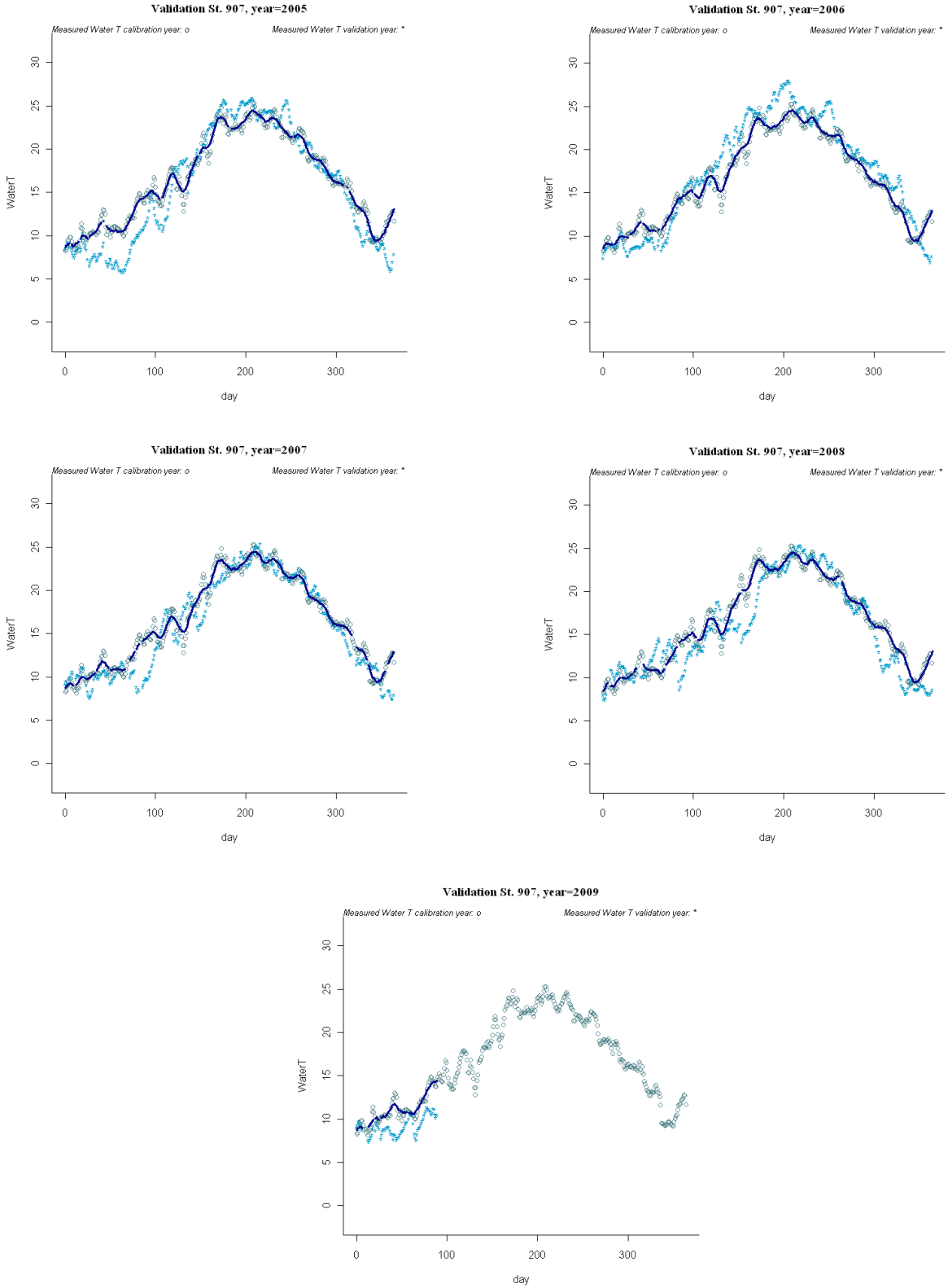
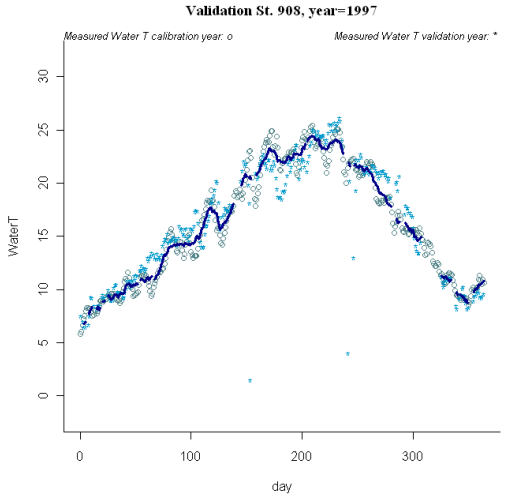
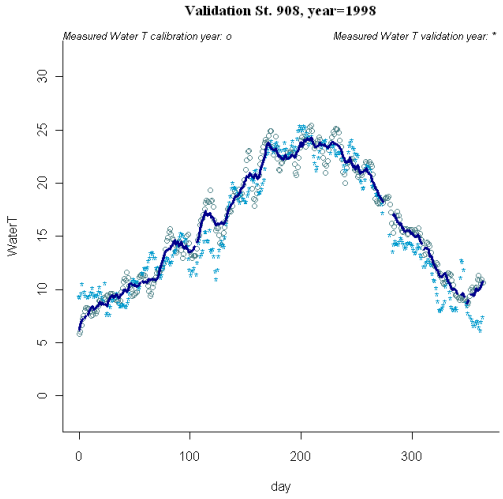
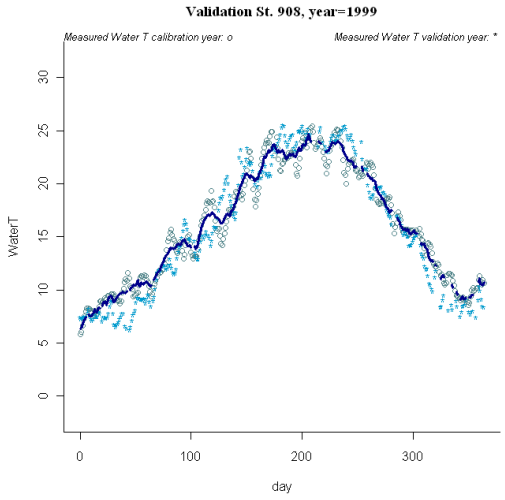
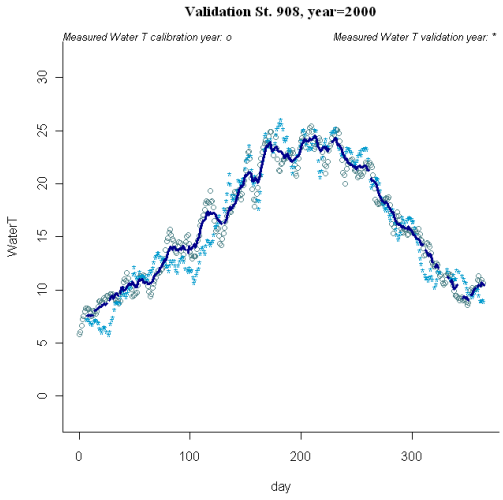


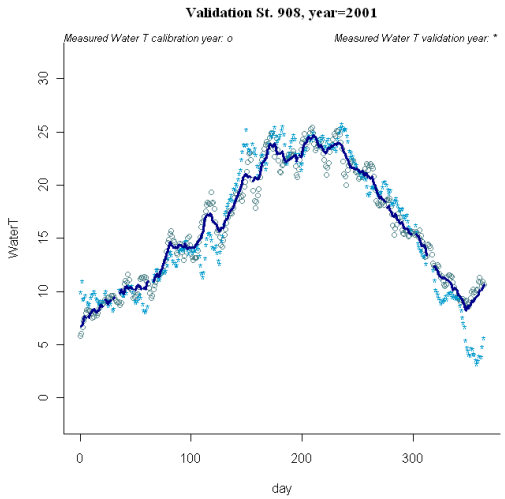
Figura A4-79 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “907”

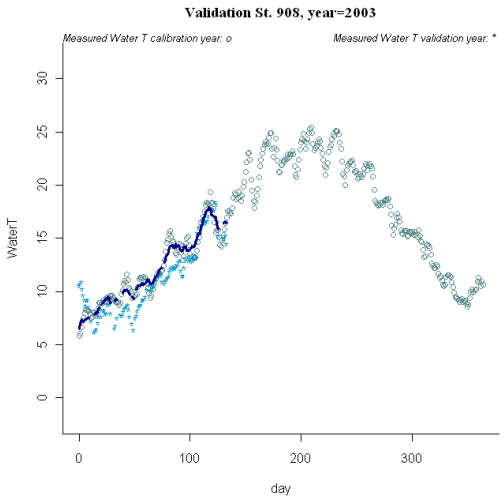

Validation St. 908, year=1997
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 908, year=1998
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 908, year=1999
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 908, year=2000
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 908, year=2001
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 908, year=2003
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day

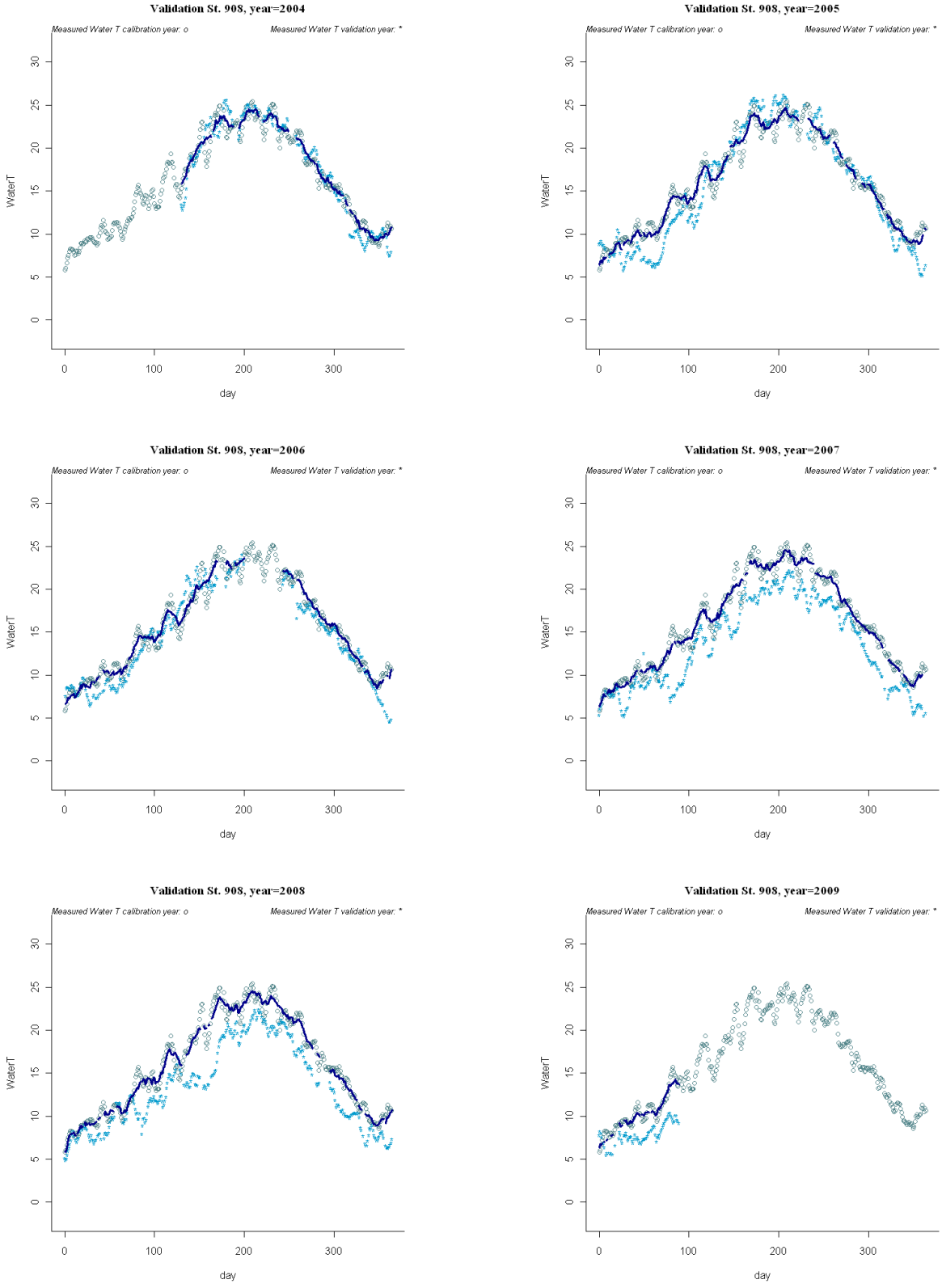
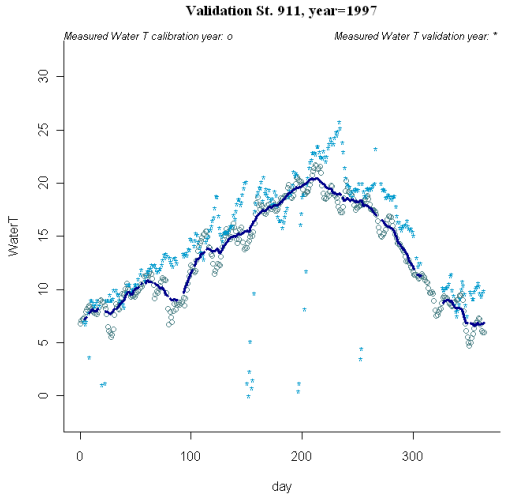
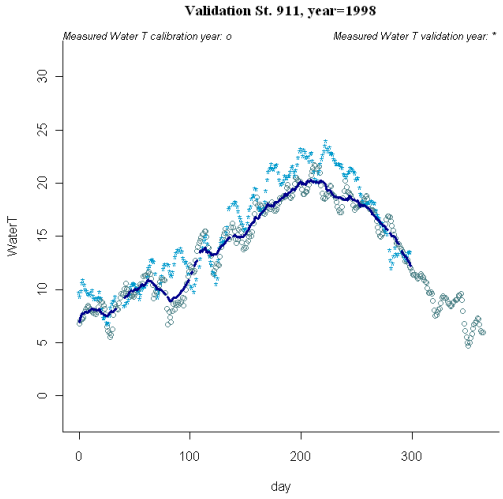
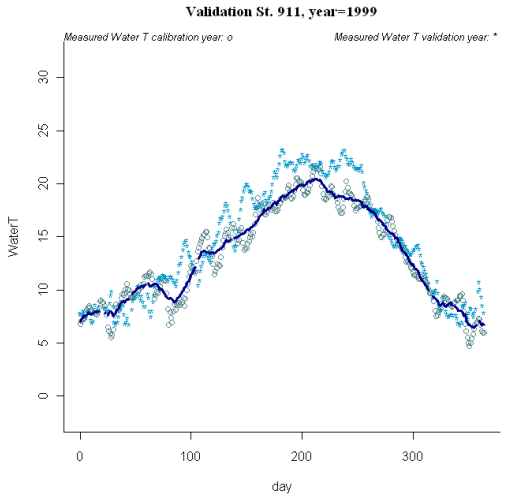
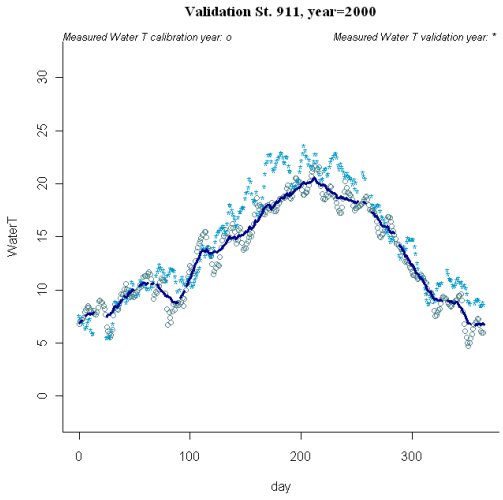


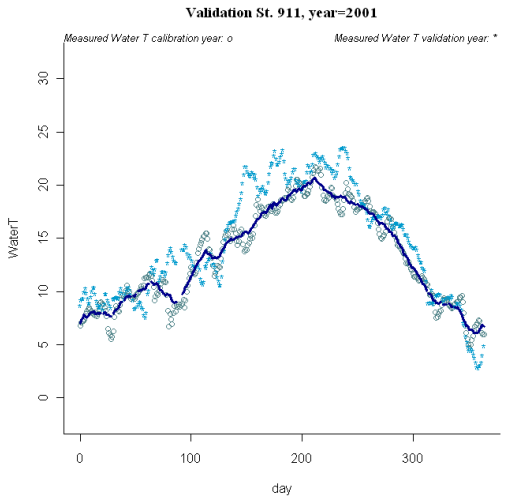
Figura A4-80 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “908”

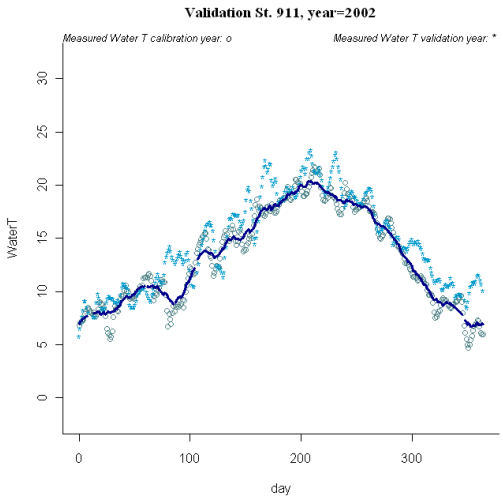

Validation St. 911, year=1997
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 911, year=1998
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 911, year=1999
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 911, year=2000
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 911, year=2001
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 911, year=2002
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day

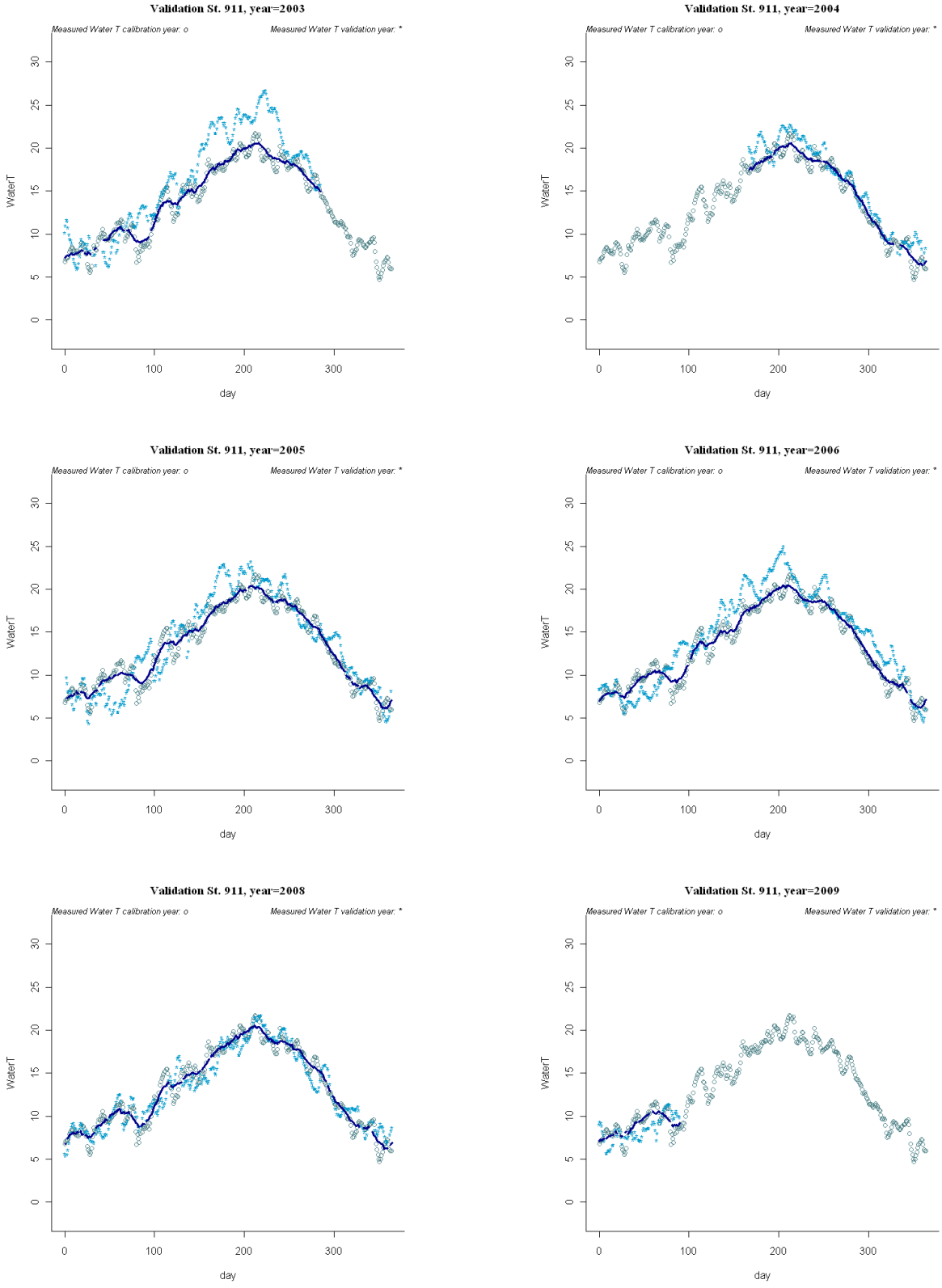
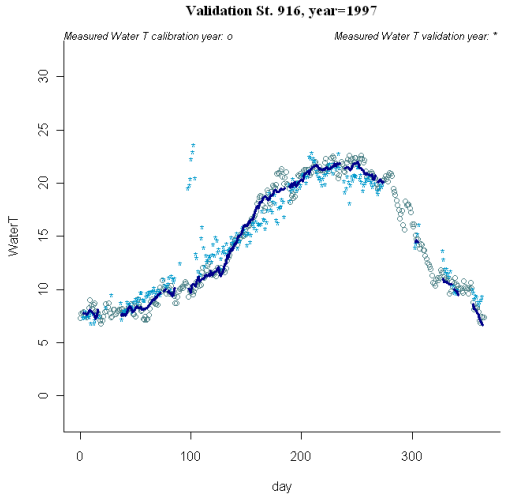
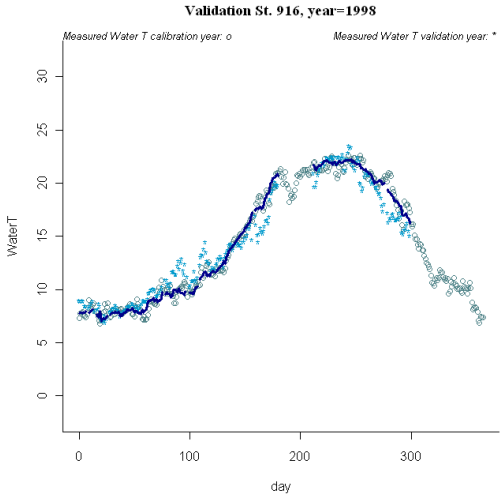
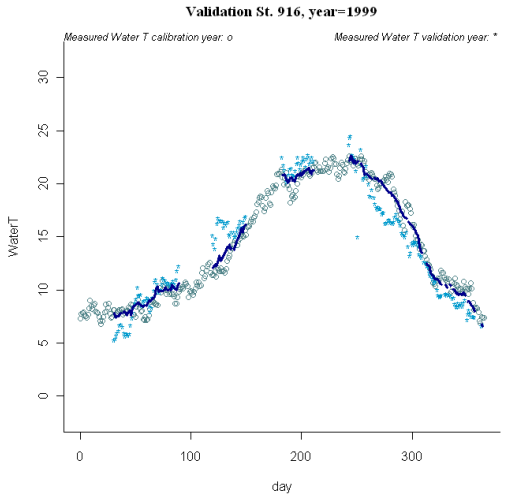
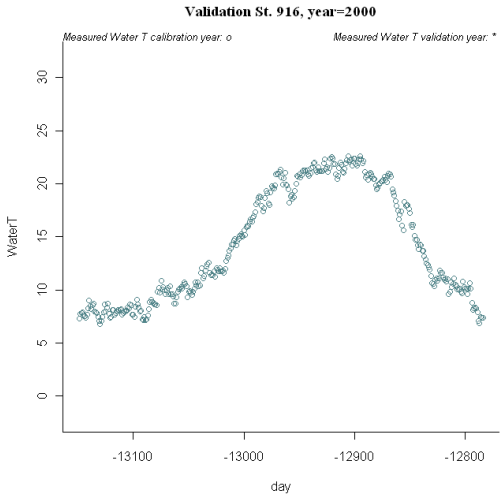


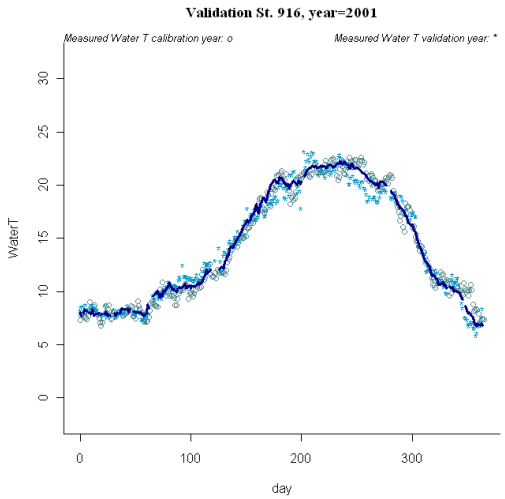
Figura A4-81 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “911”

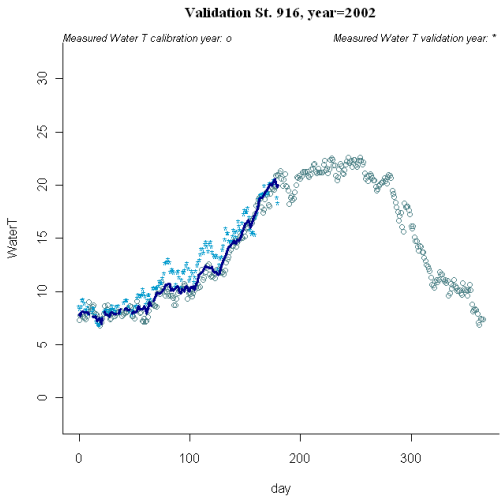

Validation St. 916, year=1997
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 916, year=1998
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 916, year=1999
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 916, year=2000
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 916, year=2001
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 916, year=2002
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day

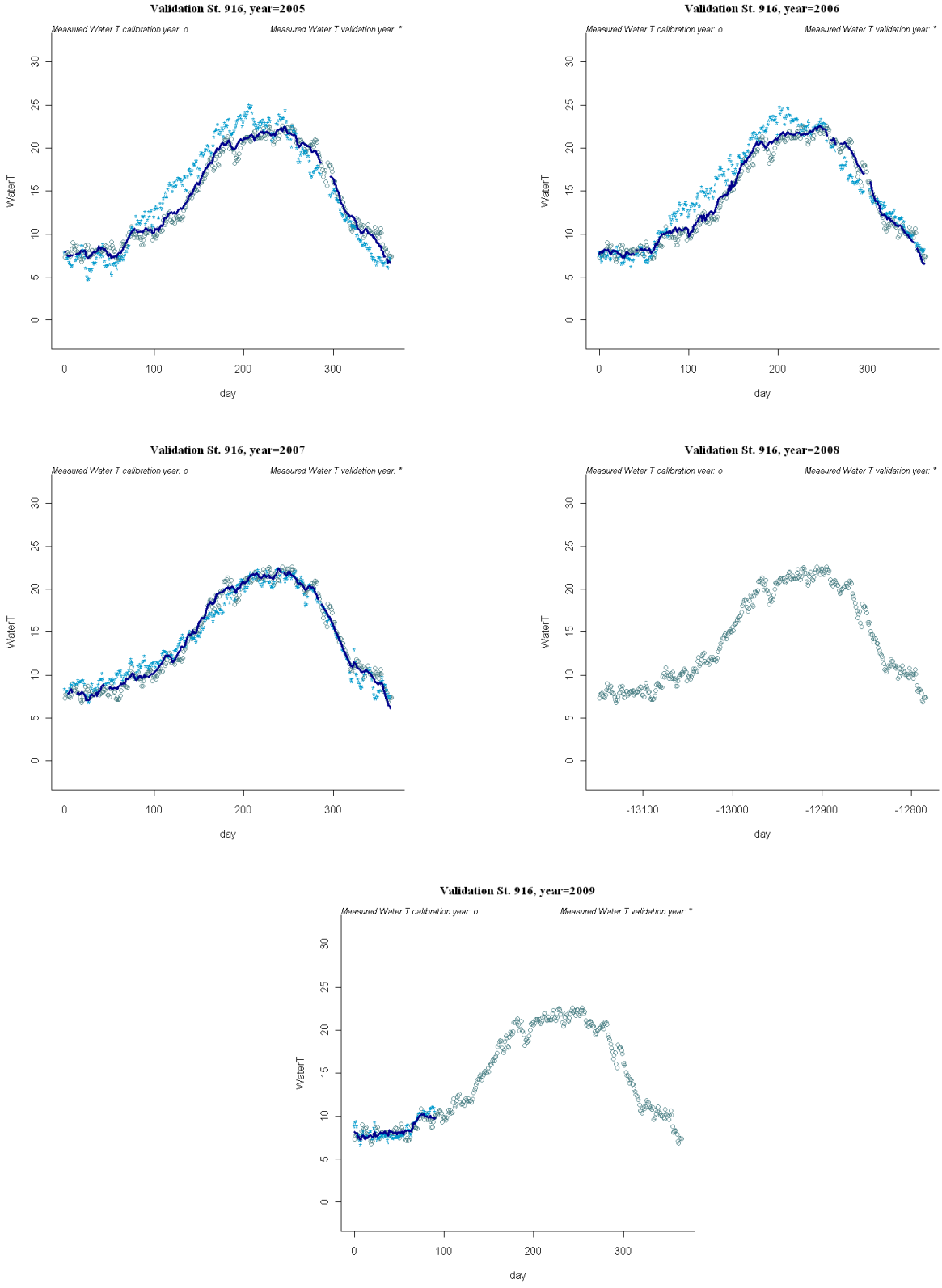
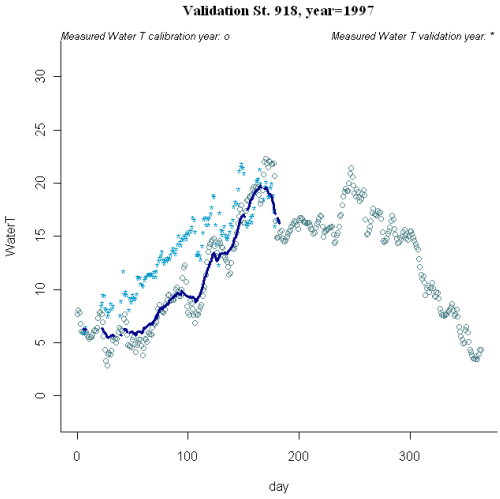
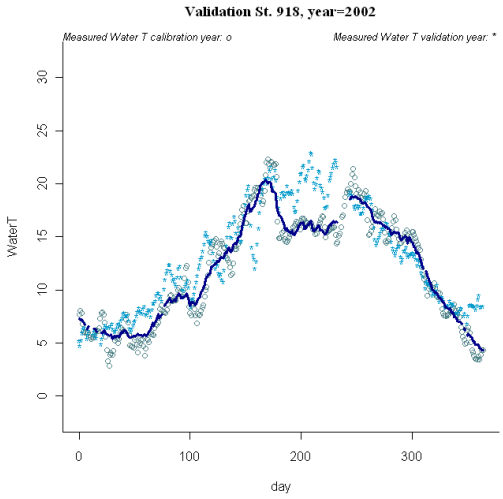
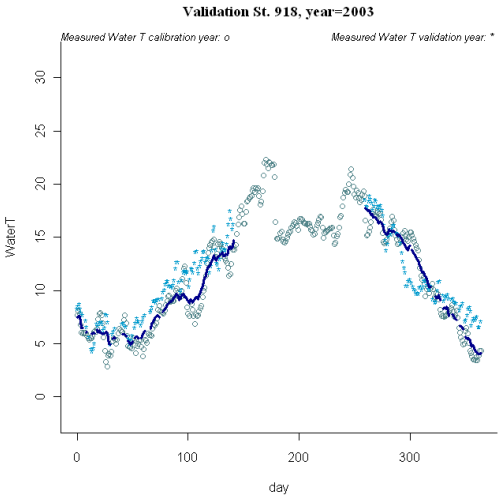
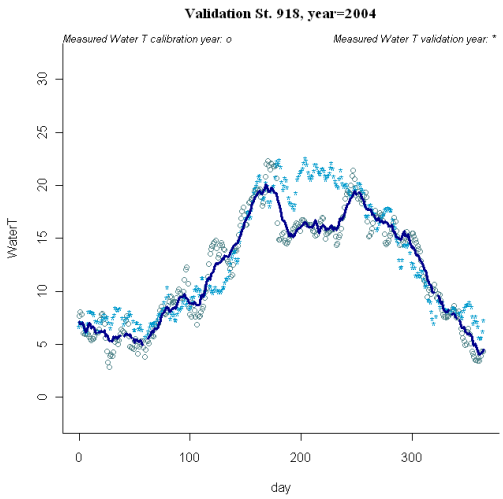


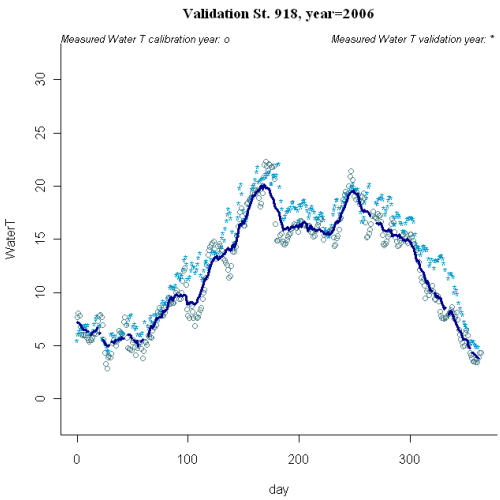
Figura A4-82 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “916”

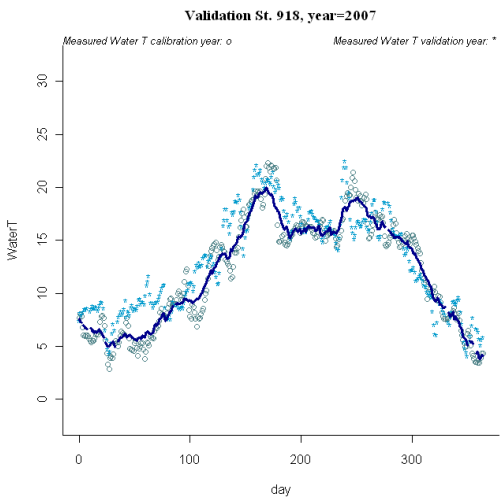

Validation St. 918, year=1997
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day

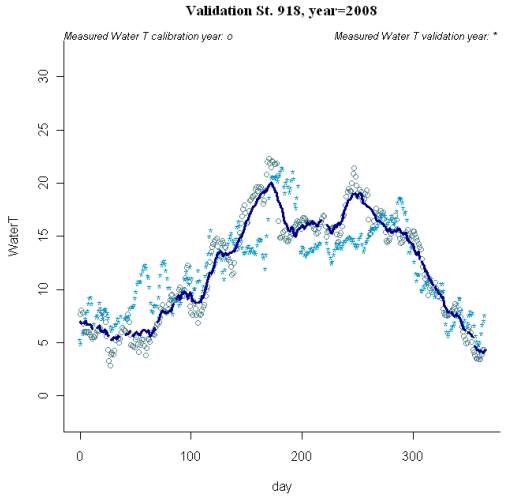

Validation St. 918, year=2002
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 918, year=2003
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 918, year=2004
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 918, year=2006
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 918, year=2007
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day



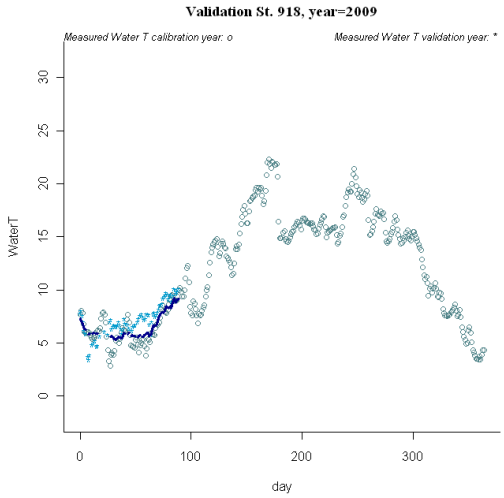
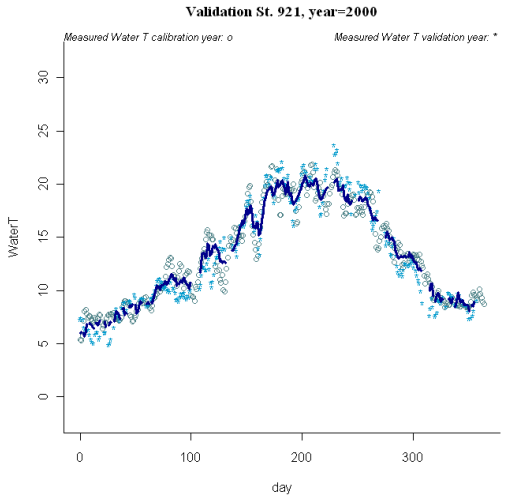
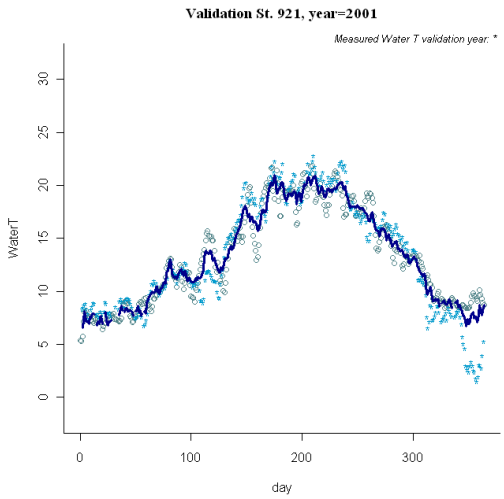
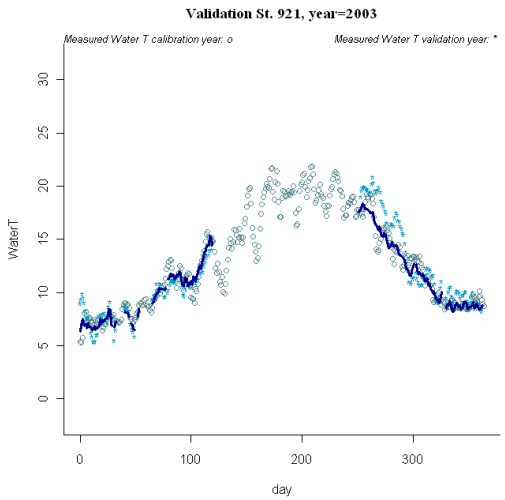
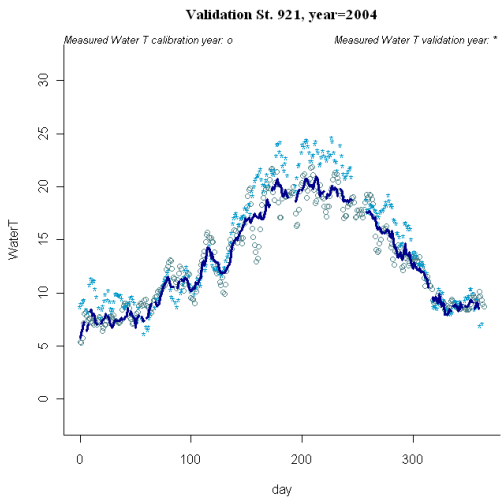


Figura A4-83 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “918”









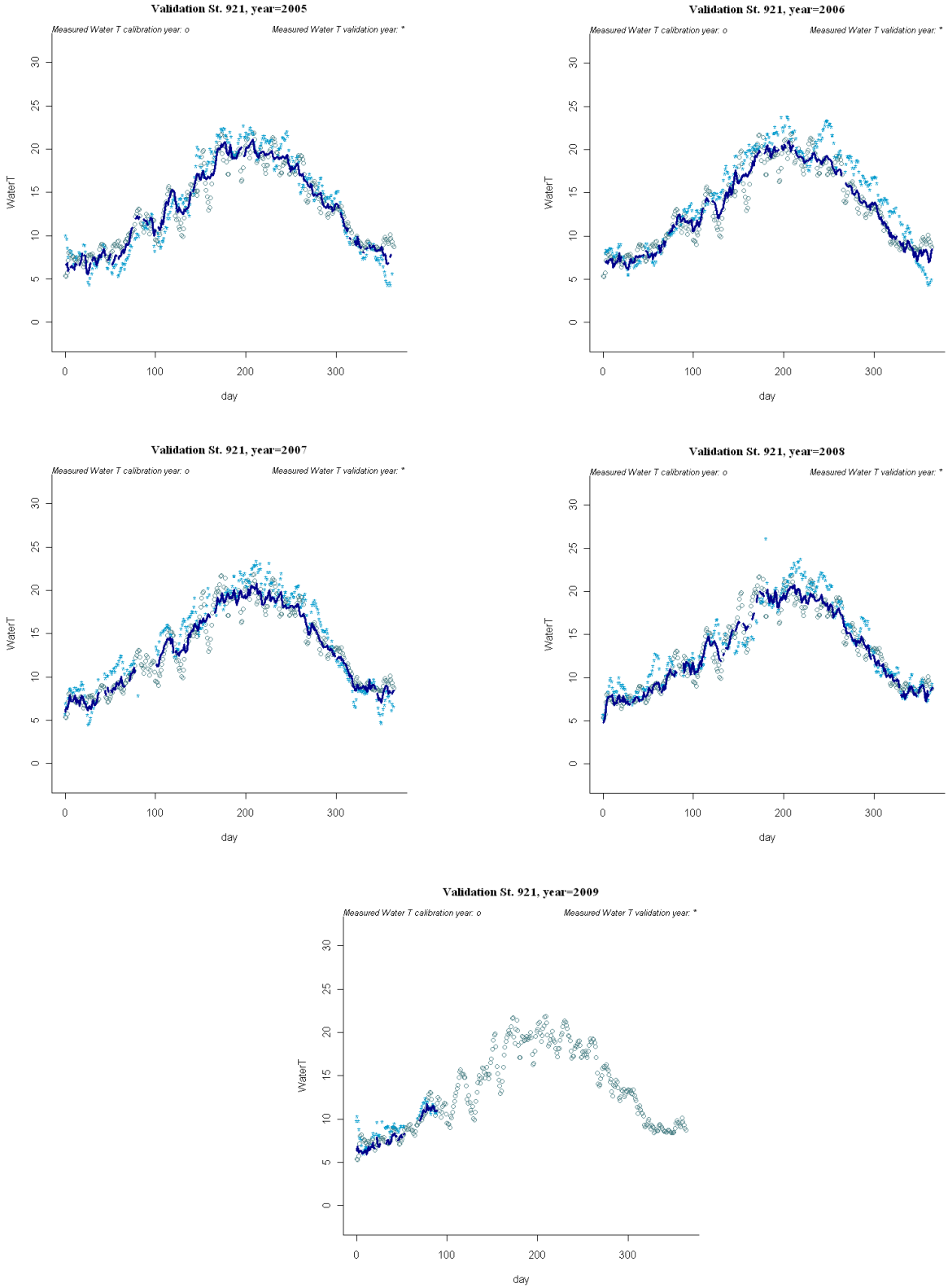
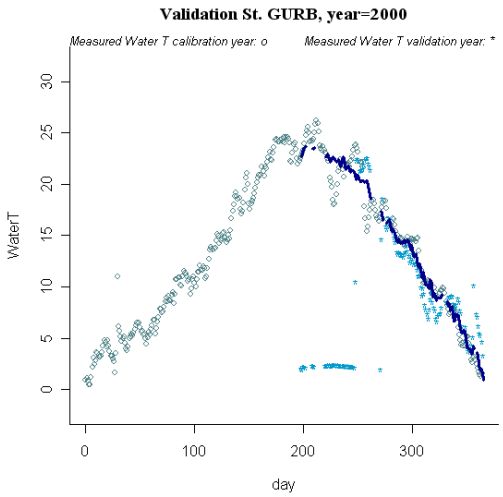
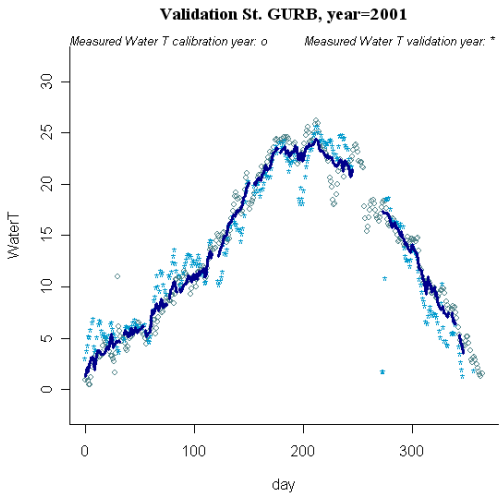
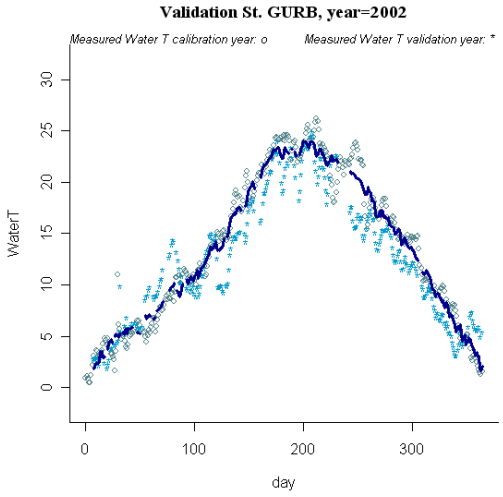
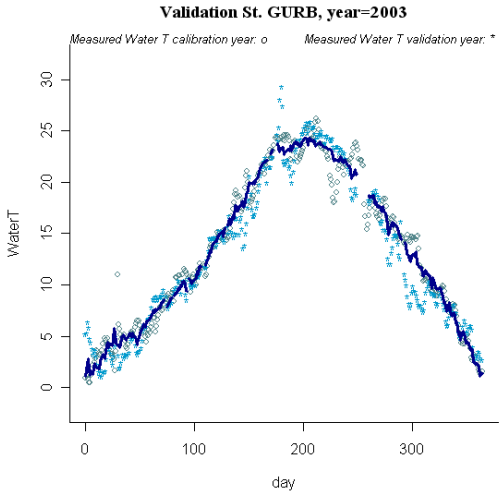


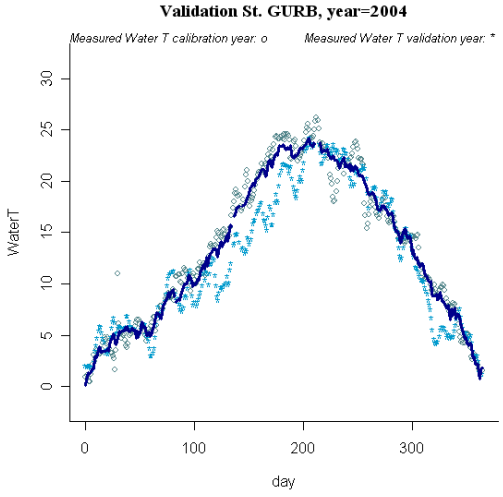
Figura A4-84 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “921”

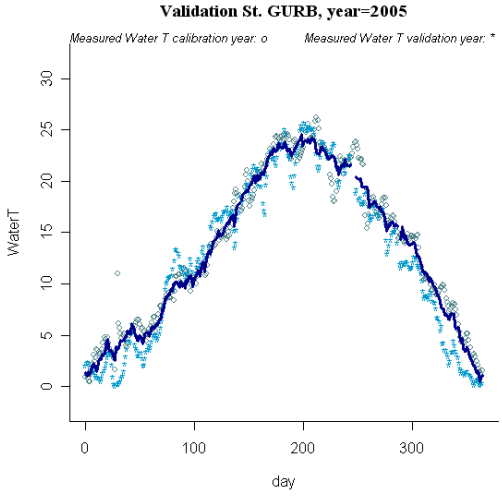

Validation St. GURB, year=2000
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. GURB, year=2001
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. GURB, year=2002
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. GURB, year=2003
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. GURB, year=2004
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. GURB, year=2005
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day

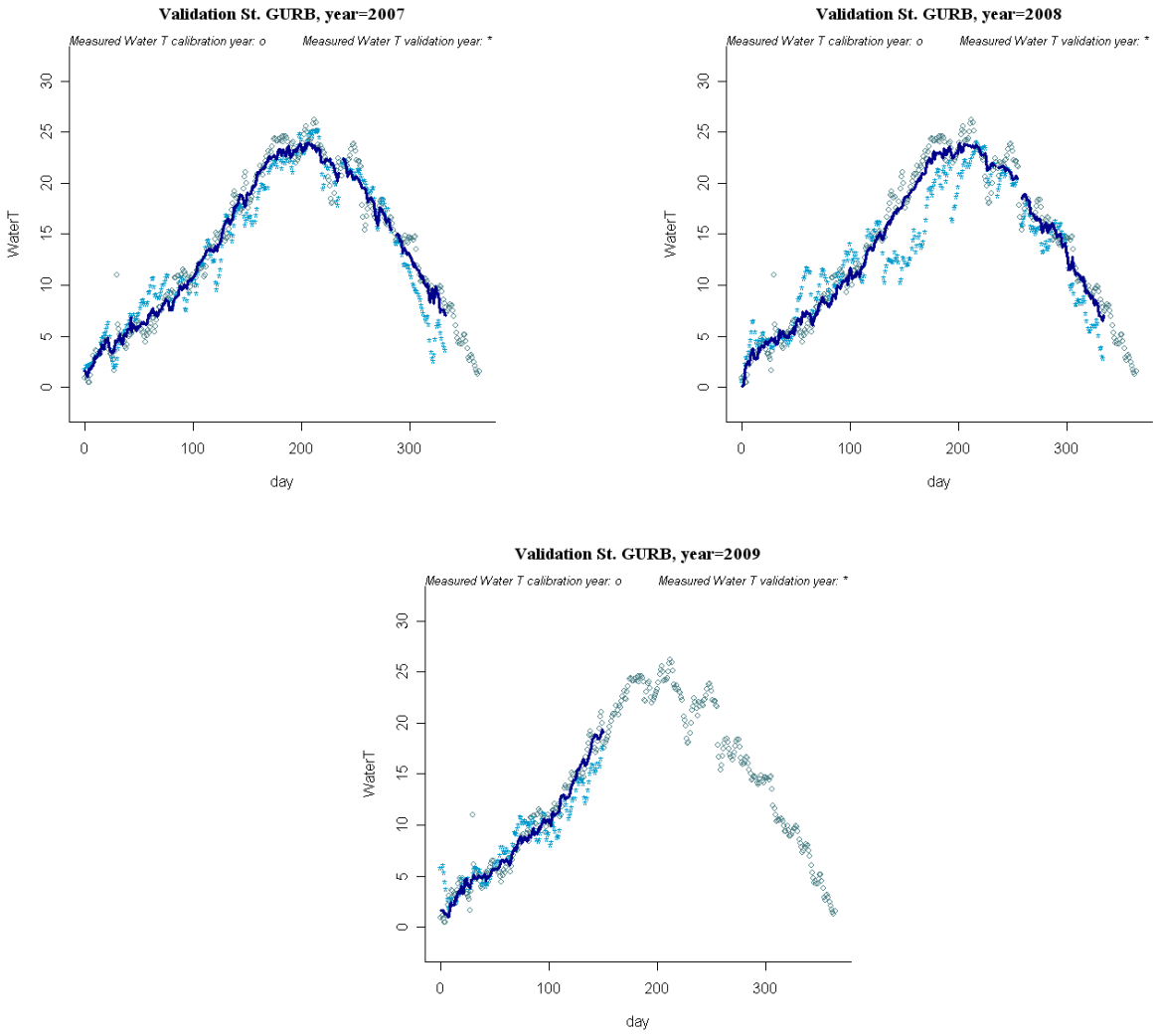
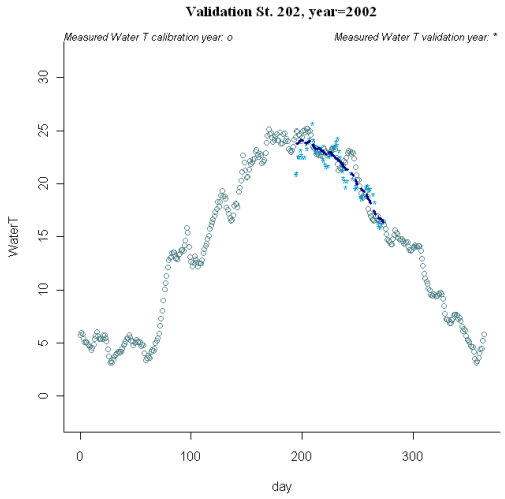
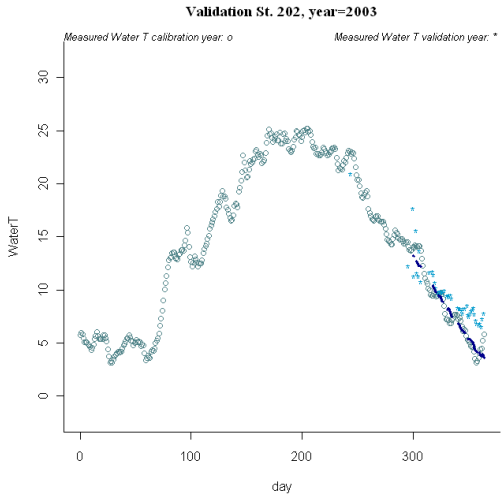
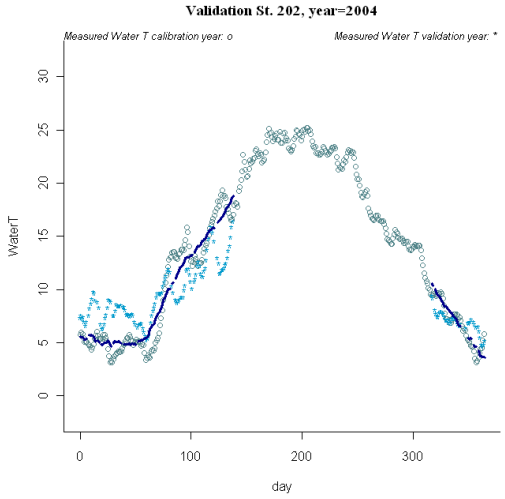


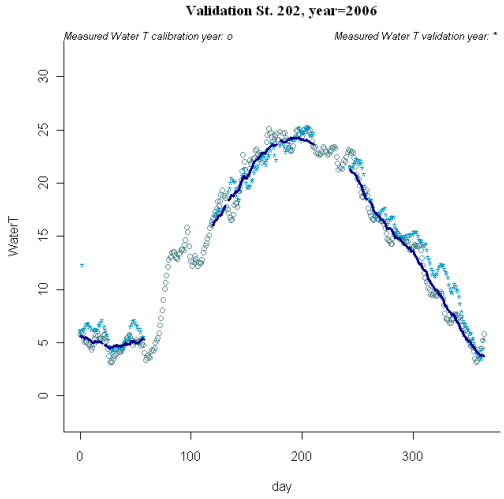
Figura A4-85 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “GURB”

A4-3.11 Tipo 16 “Ejes mediterráneo-continentales mineralizados”









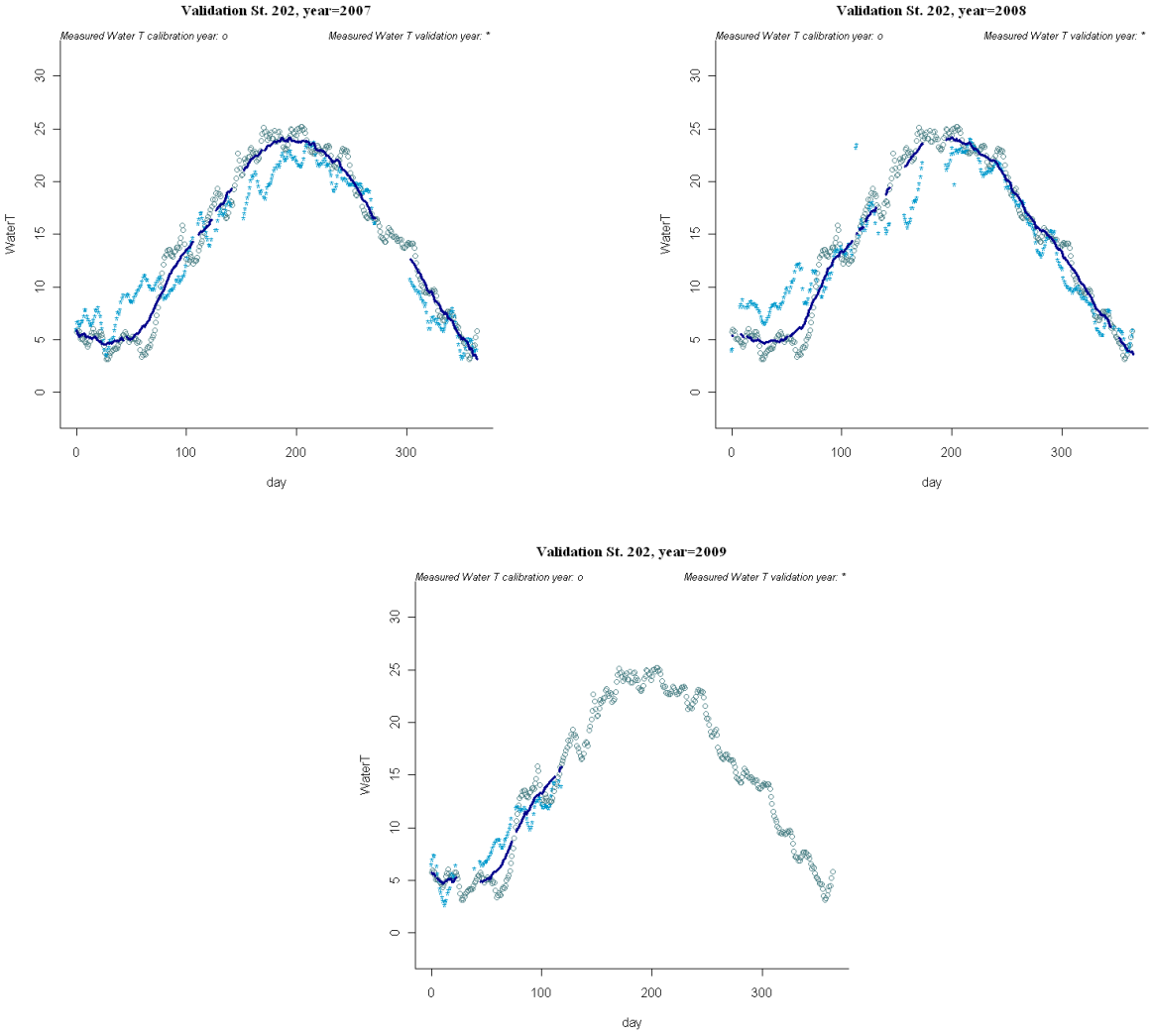
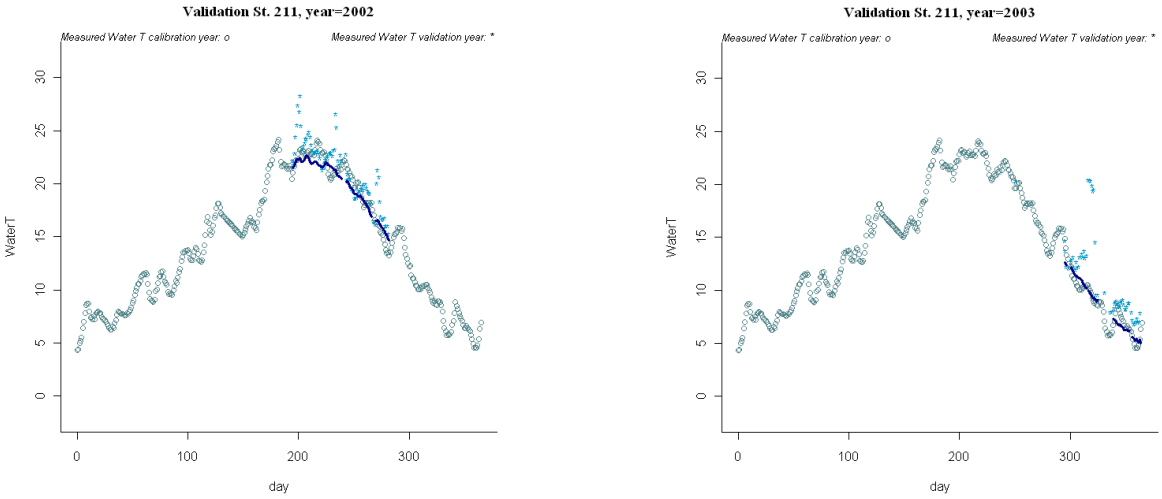


Figura A4-86 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “202”



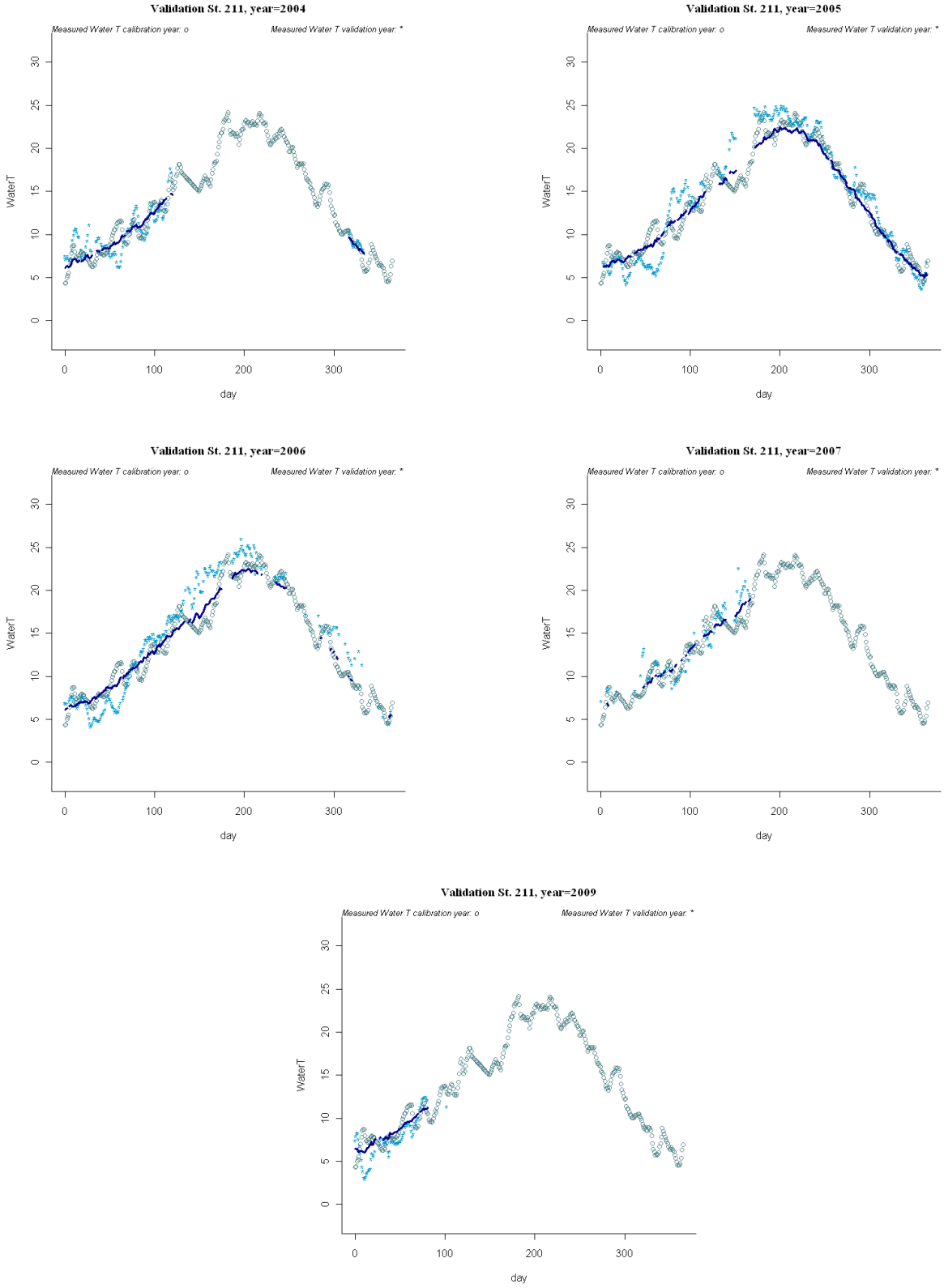


Figura A4-87 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “211”

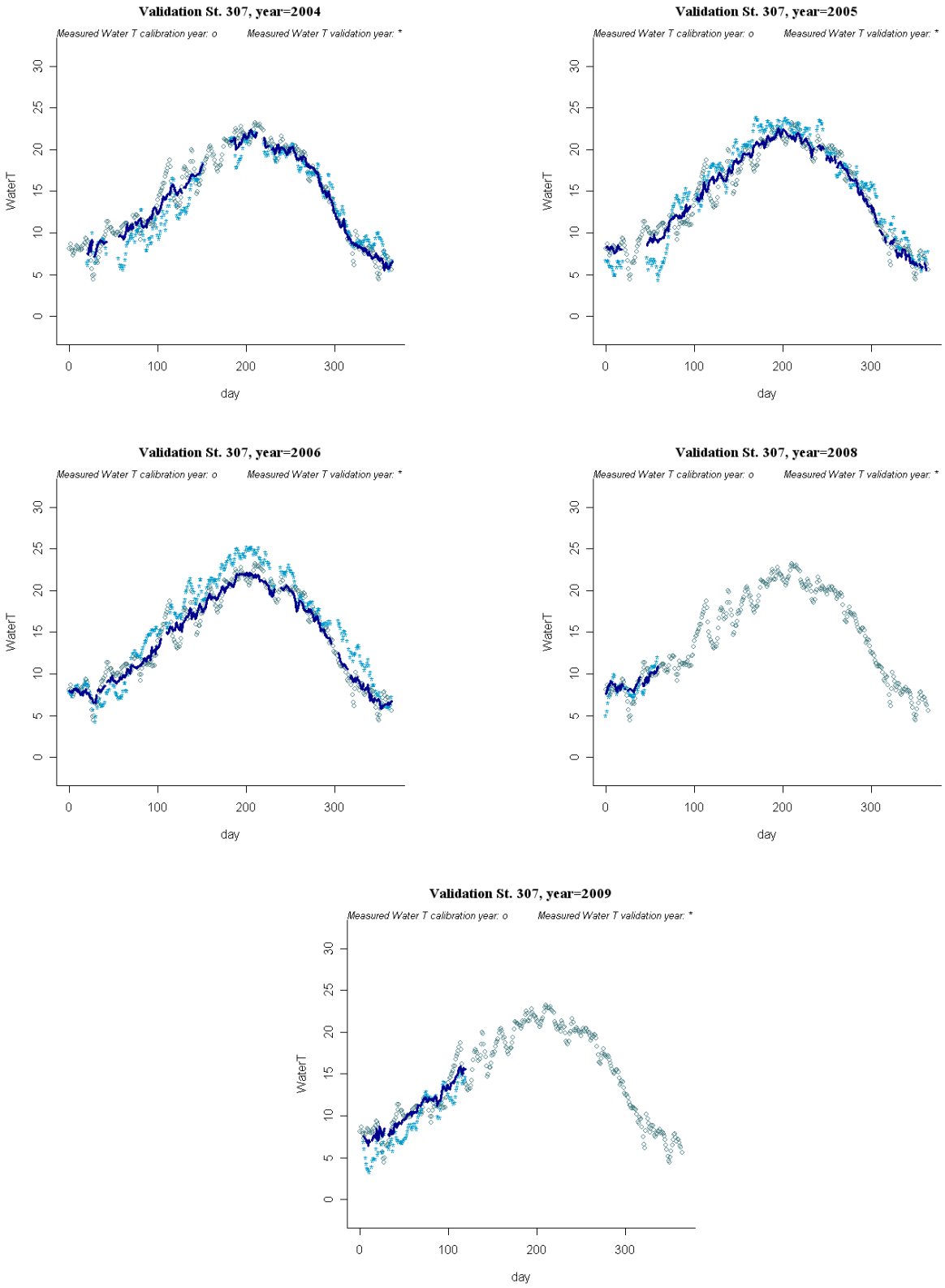


Figura A4-88 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “307”

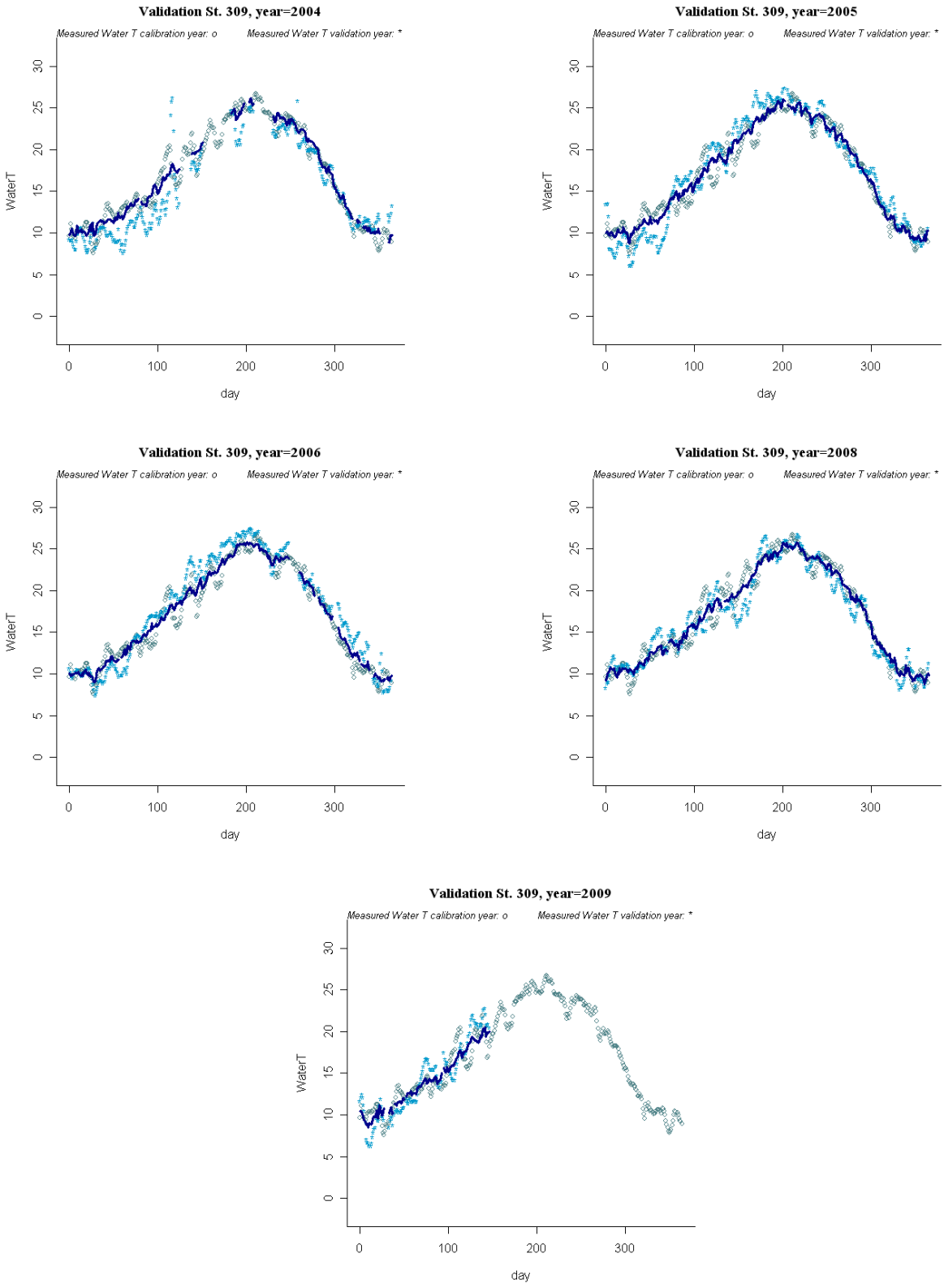


Figura A4-89 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “309”

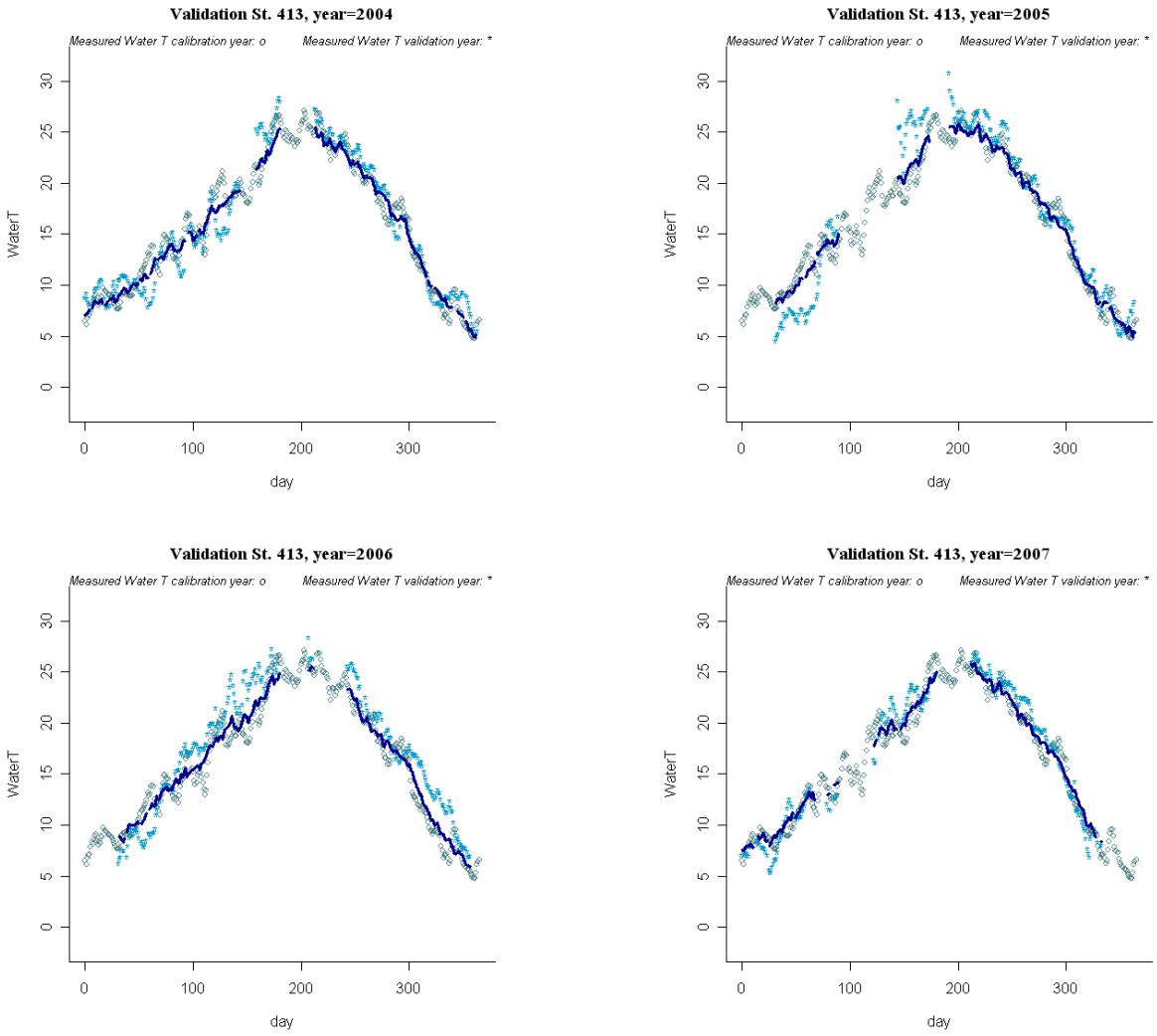


Figura A4-90 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “413”

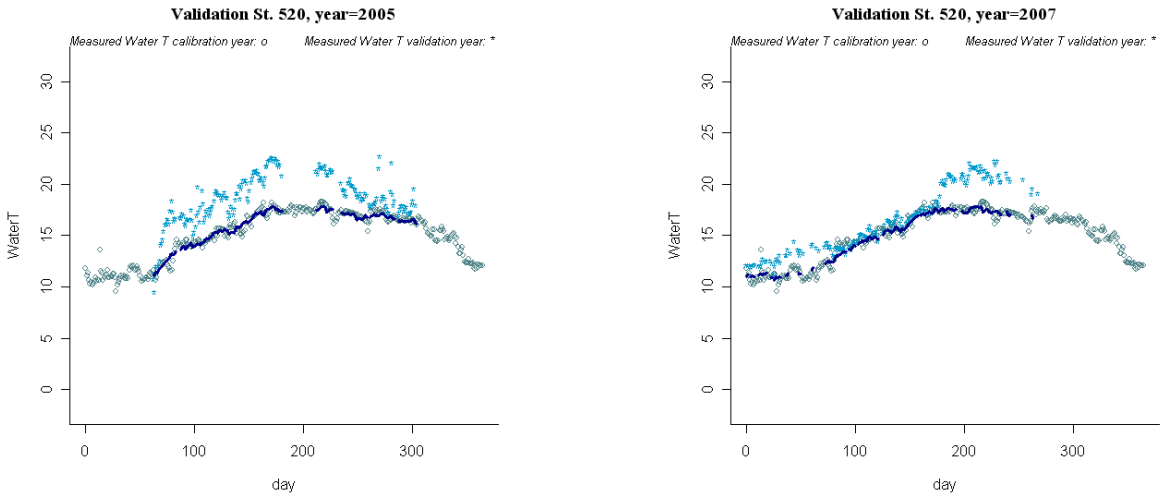
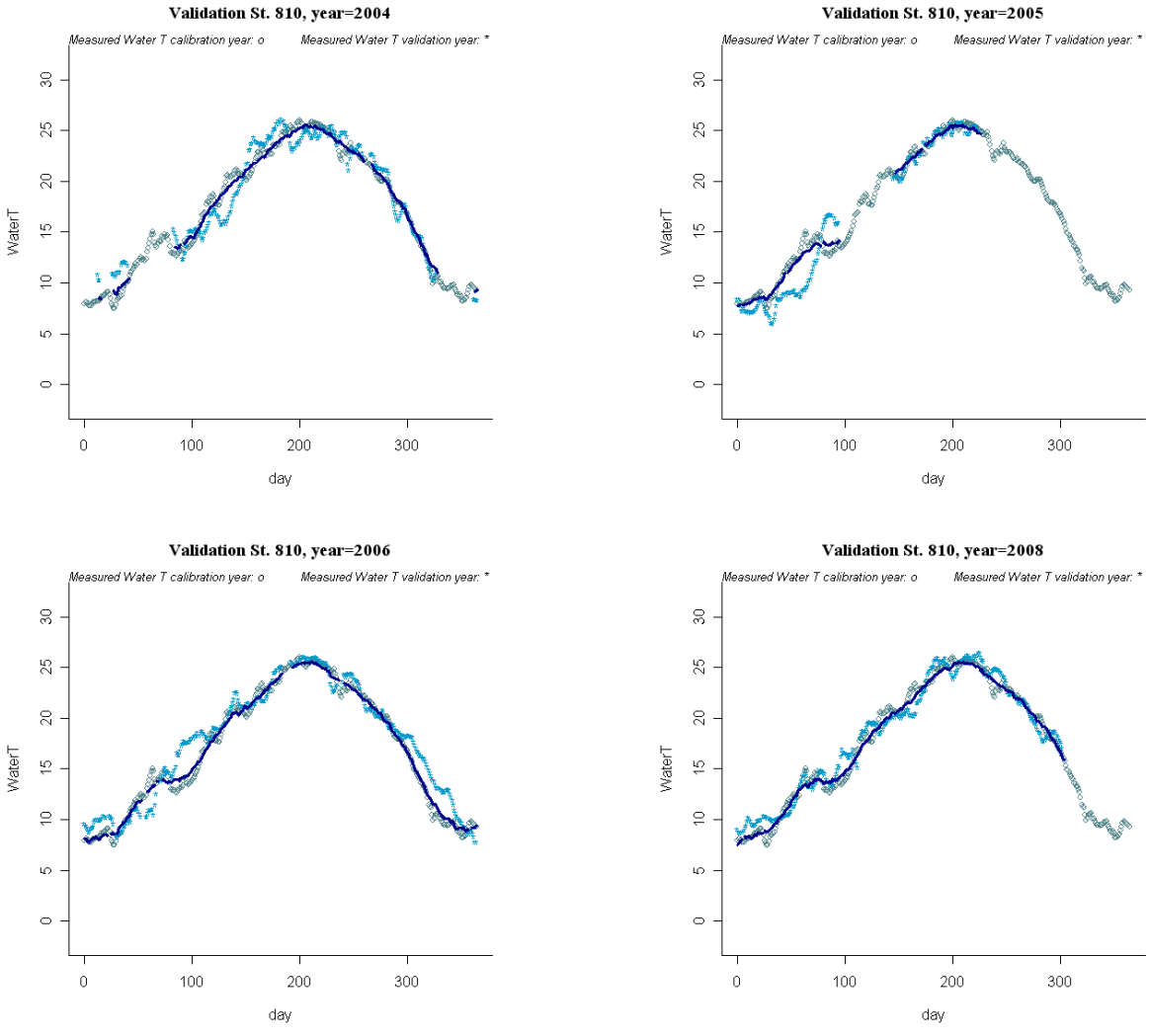


Figura A4-91 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “520”



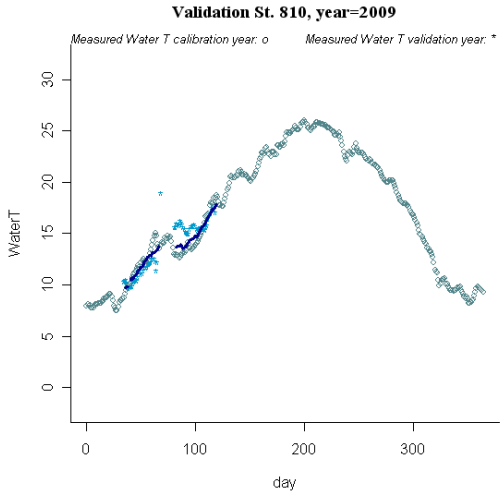
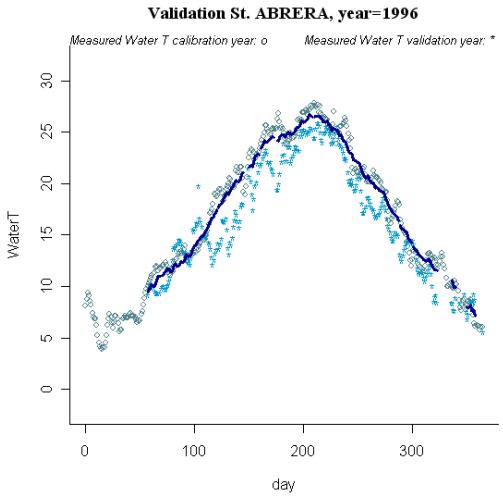
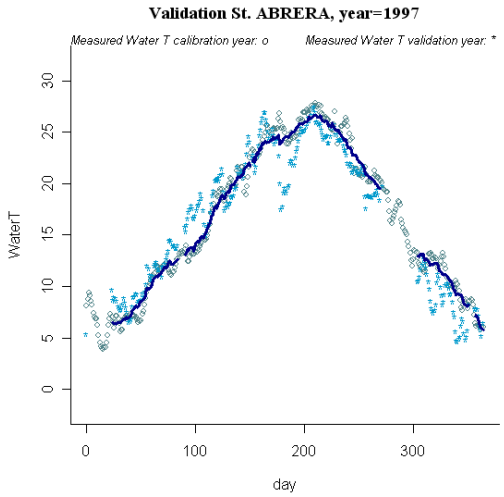
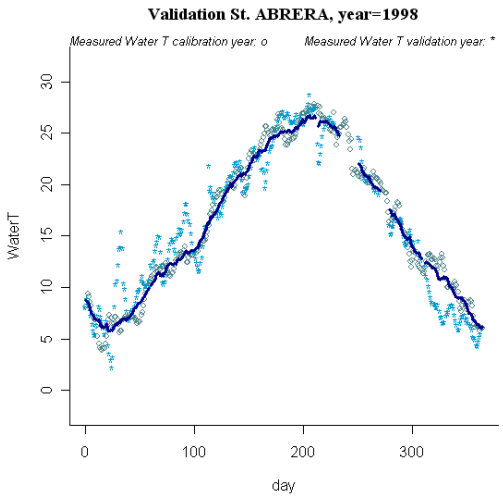
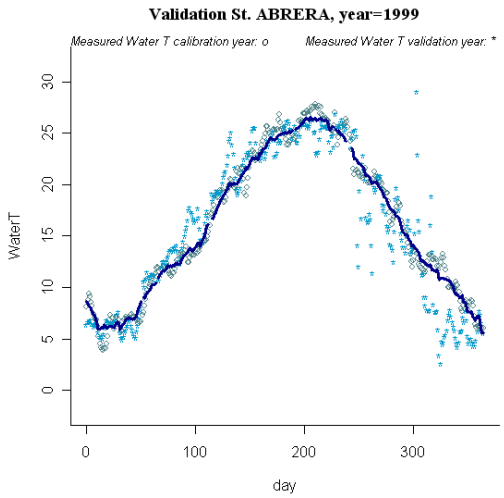


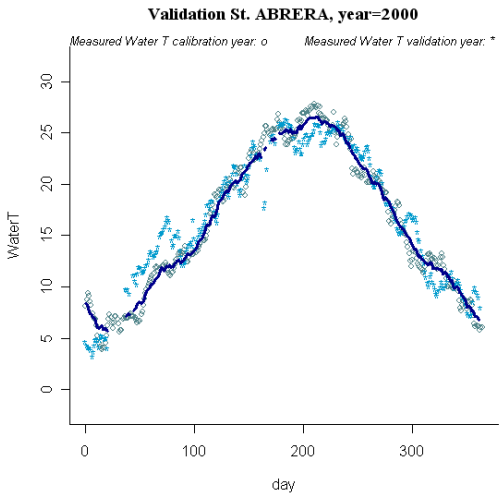
Figura A4-92 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “810”

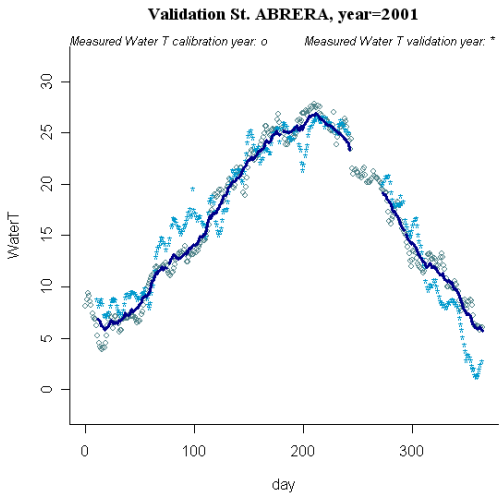


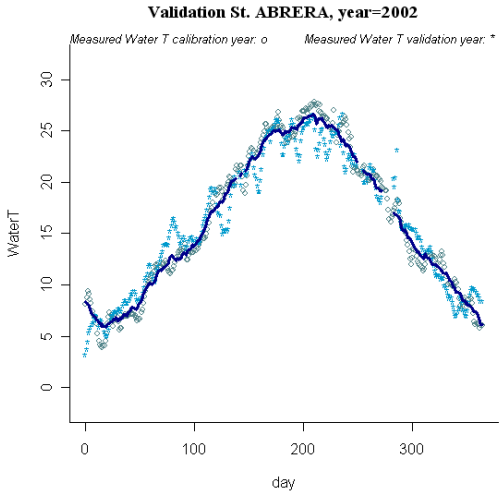


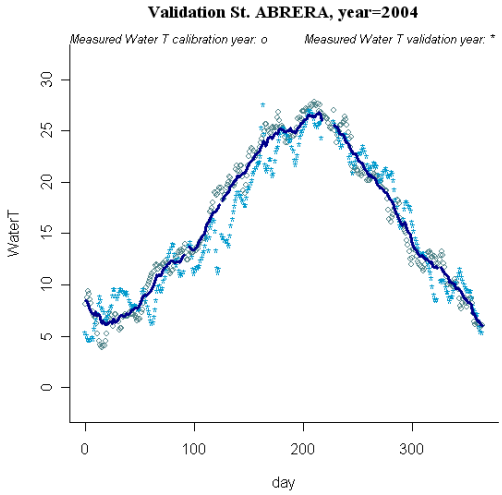


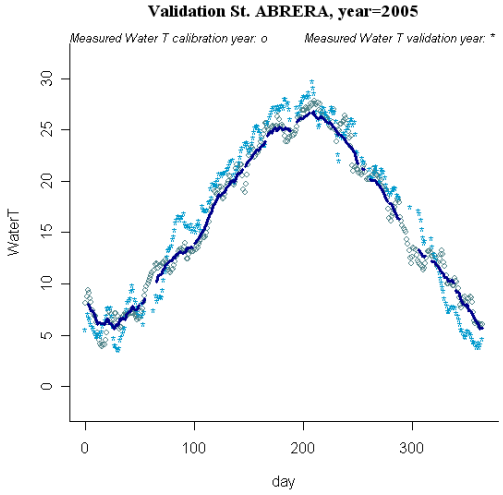


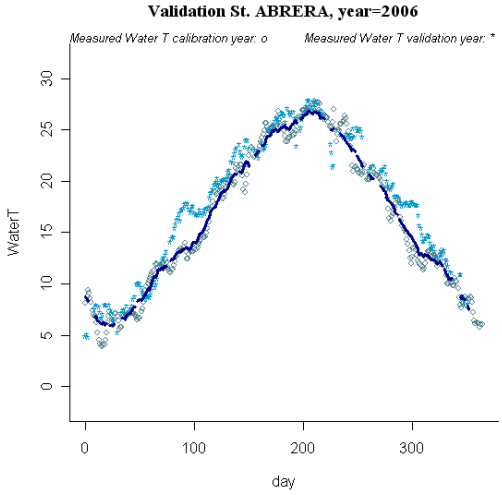

Validation St. ABRERA, year=2000
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. ABRERA, year=2001
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. ABRERA, year=2002
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. ABRERA, year=2004
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. ABRERA, year=2005
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. ABRERA, year=2006
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day

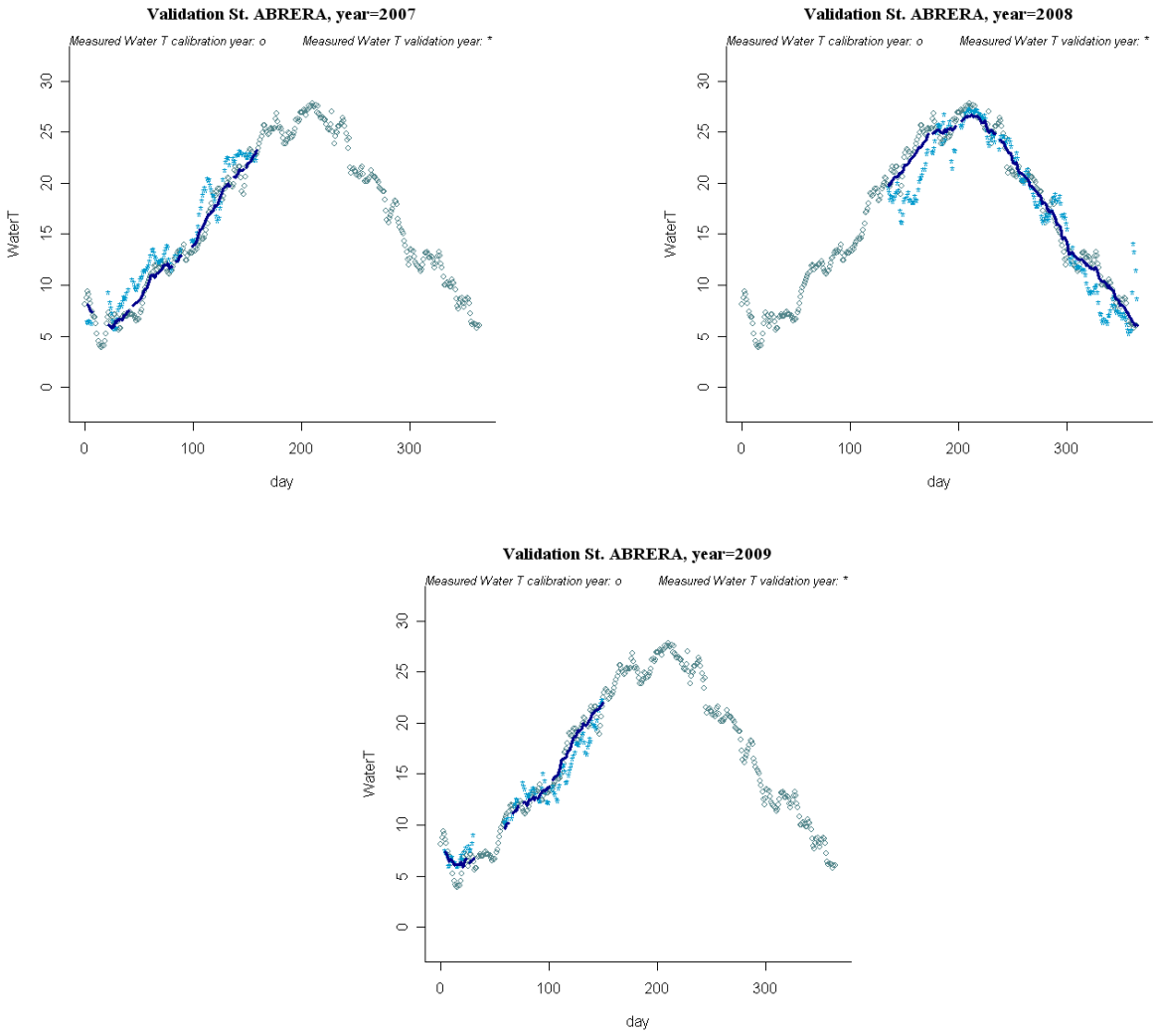
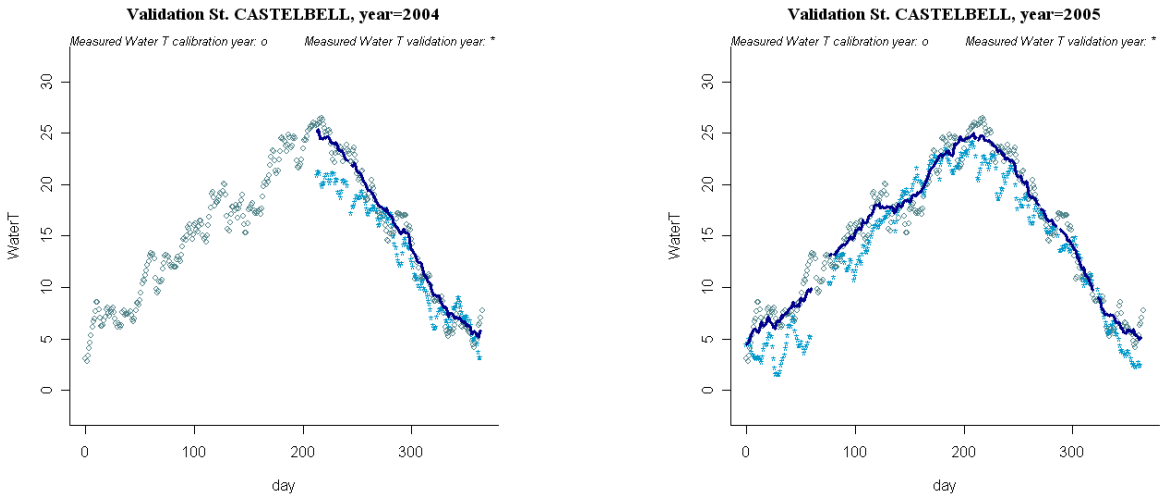


Figura A4-93 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “ABRERA”



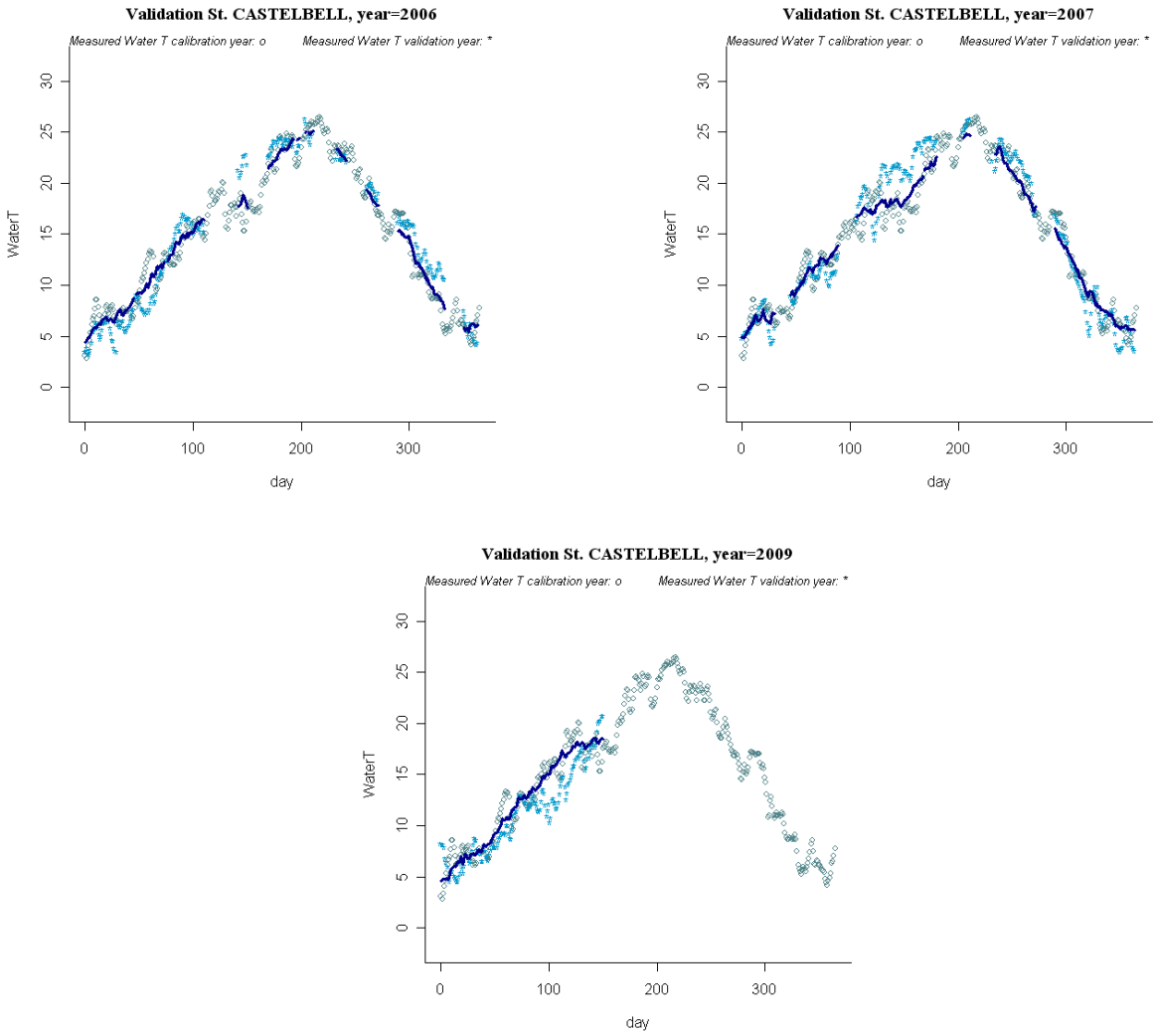
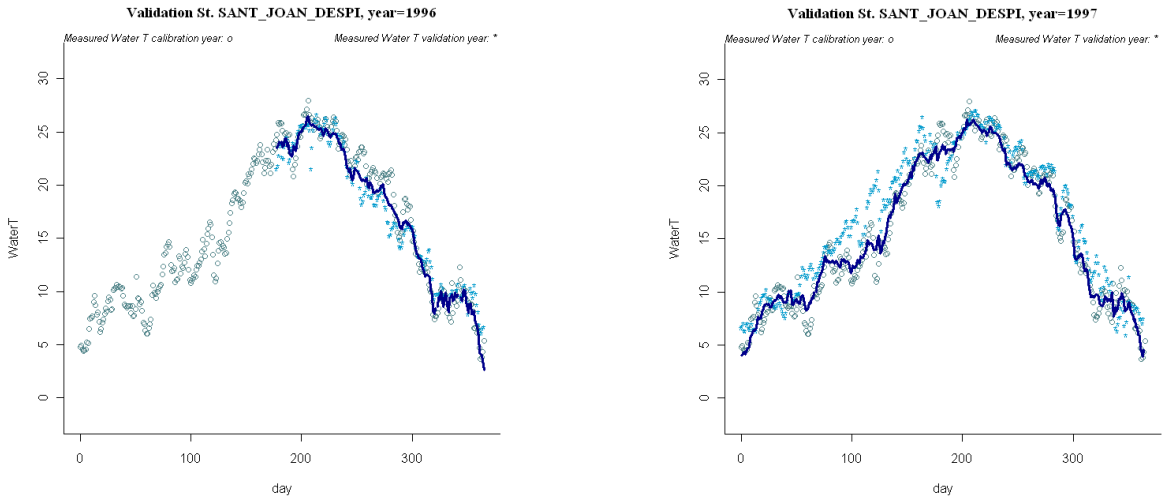
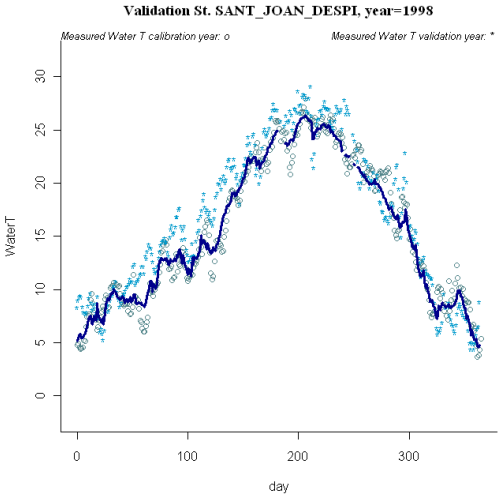
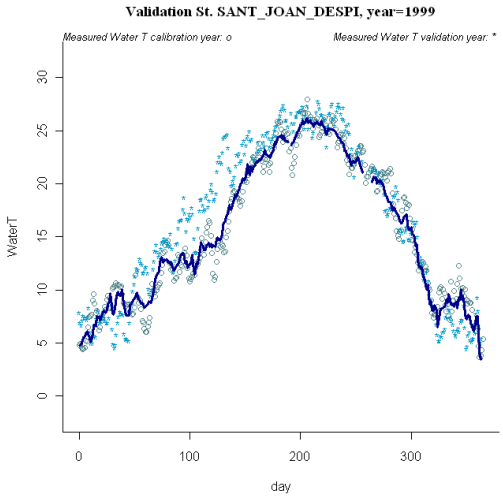
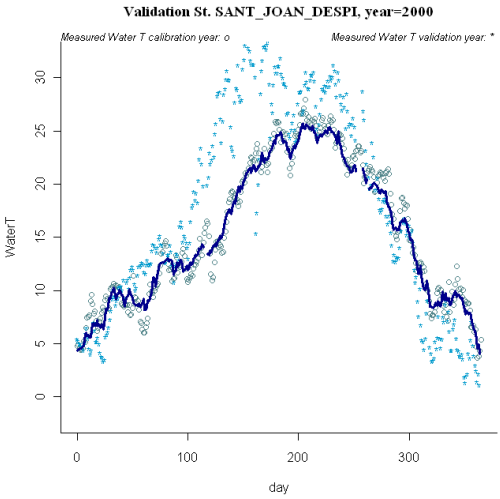


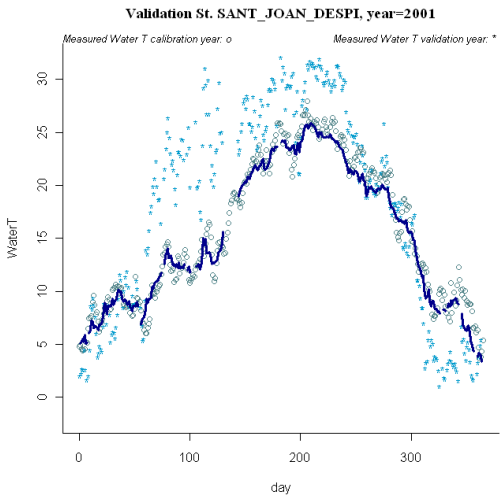
Figura A4-94 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “CASTELBELL”

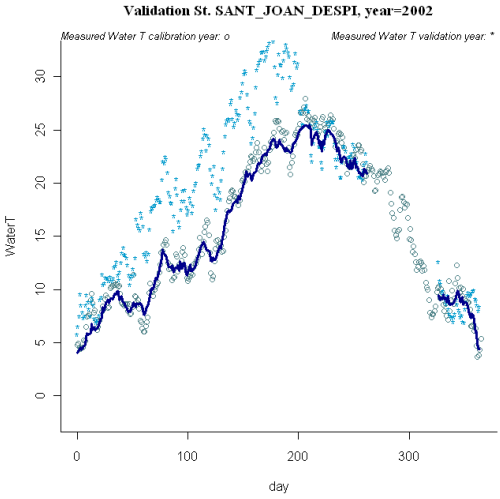


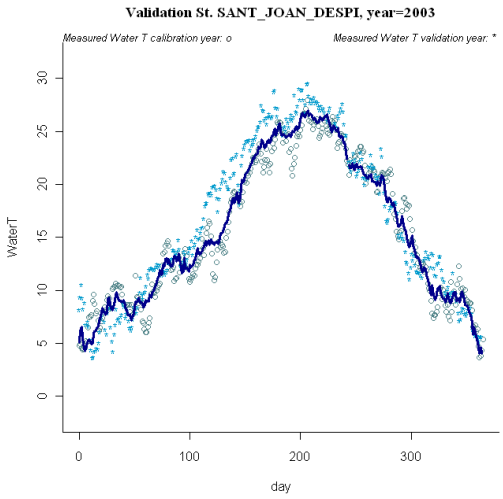

Validation St. SANT_JOAN_DESPI, year=1998
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. SANT_JOAN_DESPI, year=1999
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. SANT_JOAN_DESPI, year=2000
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. SANT_JOAN_DESPI, year=2001
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. SANT_JOAN_DESPI, year=2002
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. SANT_JOAN_DESPI, year=2003
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day

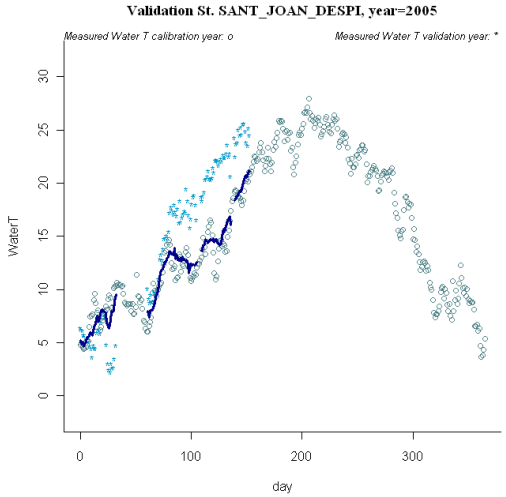
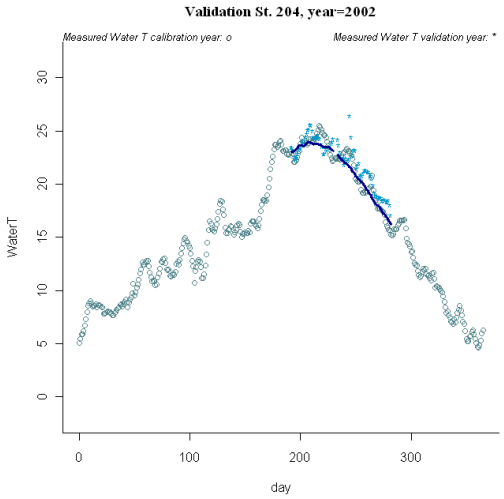
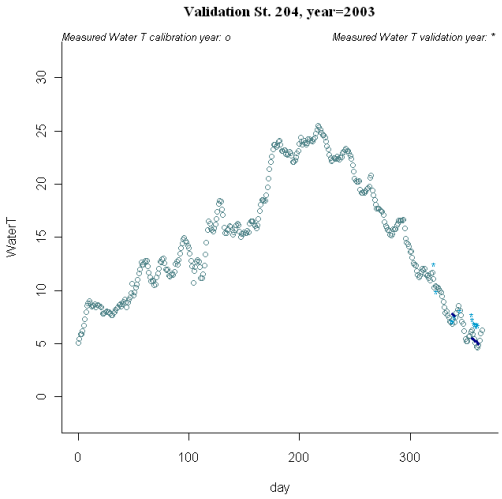


Figura A4-95 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA "SANT JOAN DESPÍ"

A4-3.12 Tipo 18 "Ríos costeros mediterráneos"





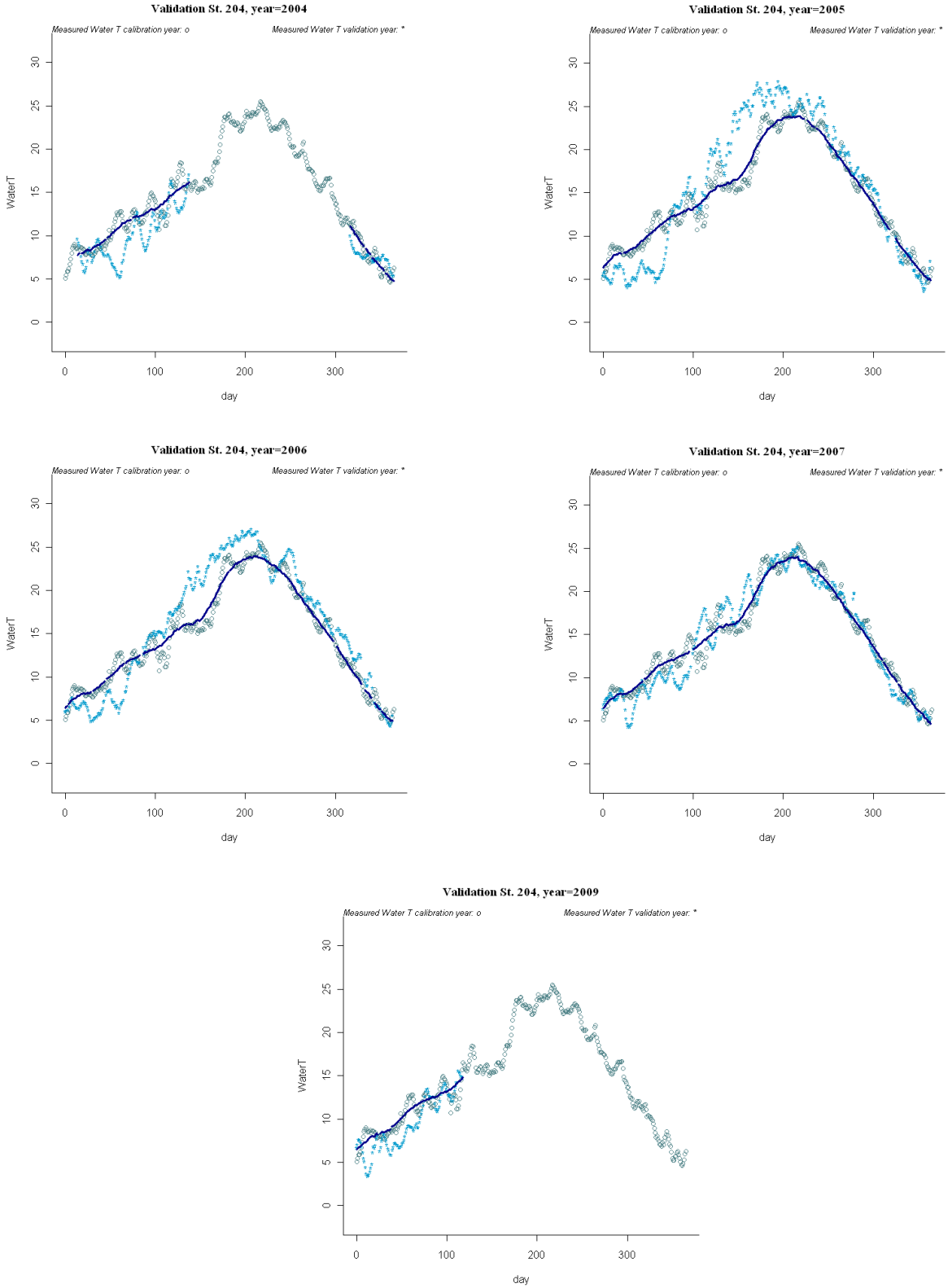
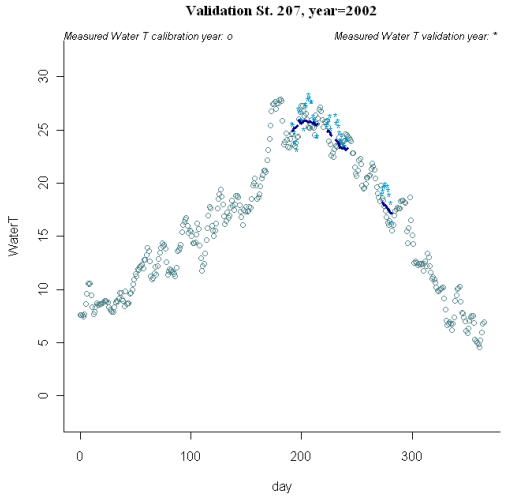
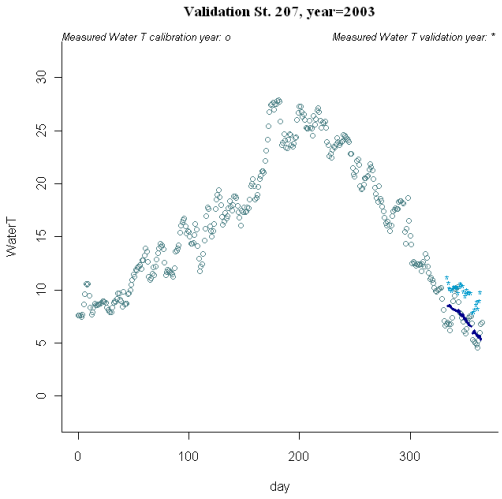
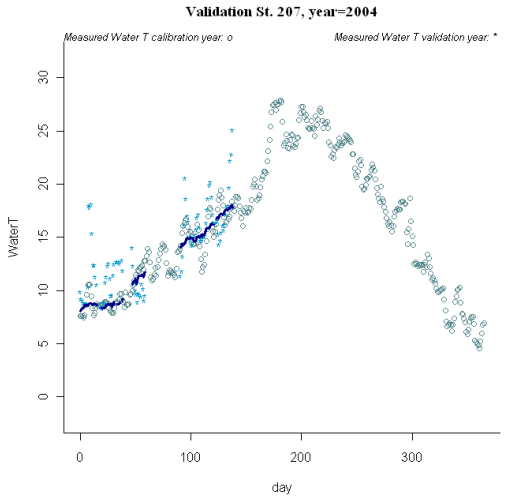
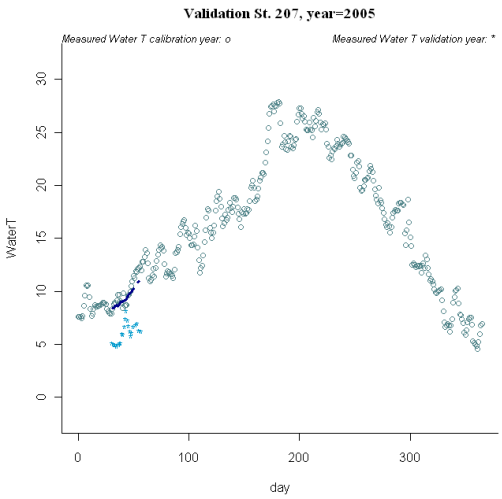


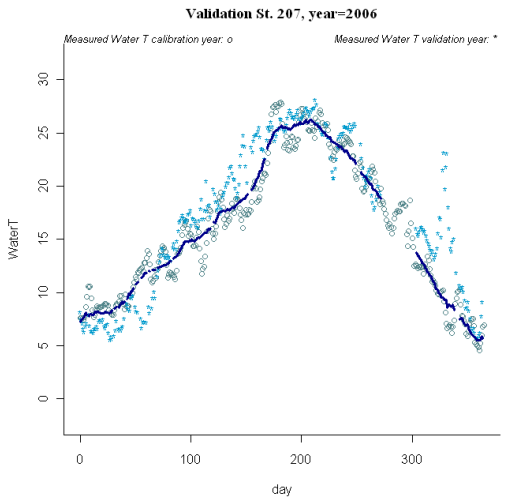
Figura A4-96 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “204”

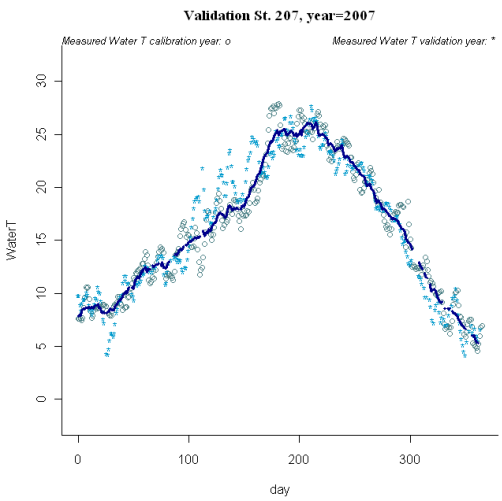

Validation St. 207, year=2002
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 207, year=2003
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 207, year=2004
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 207, year=2005
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 207, year=2006
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 207, year=2007
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day

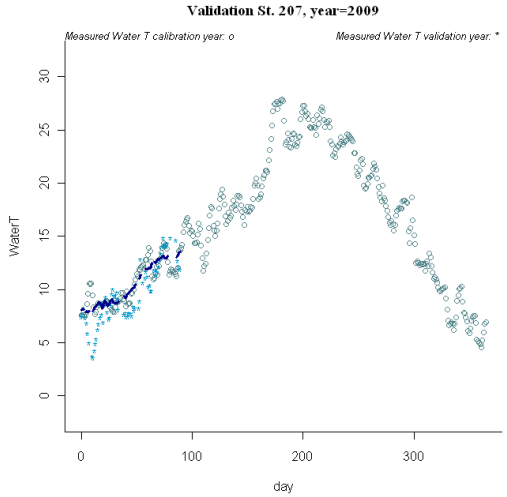
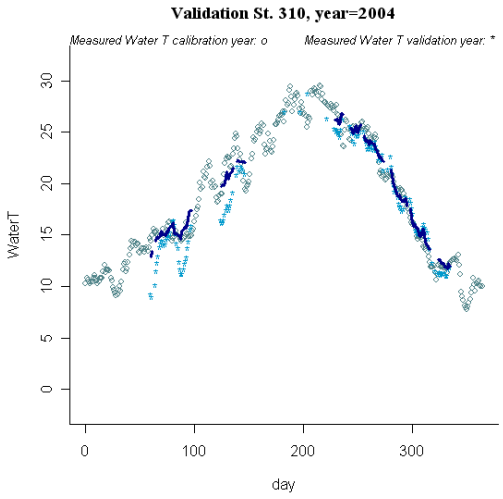
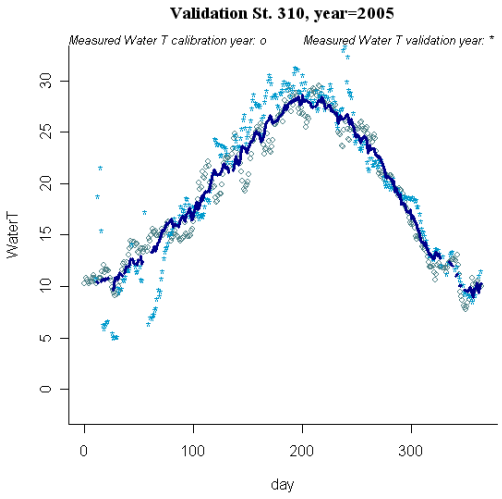
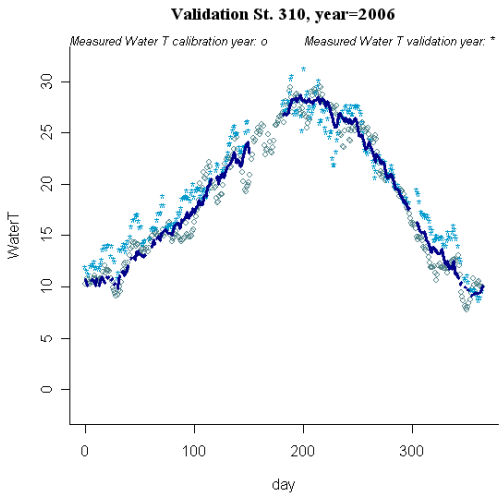
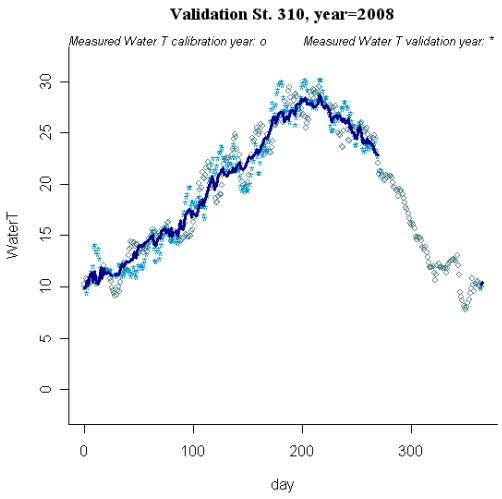


Figura A4-97 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “207”









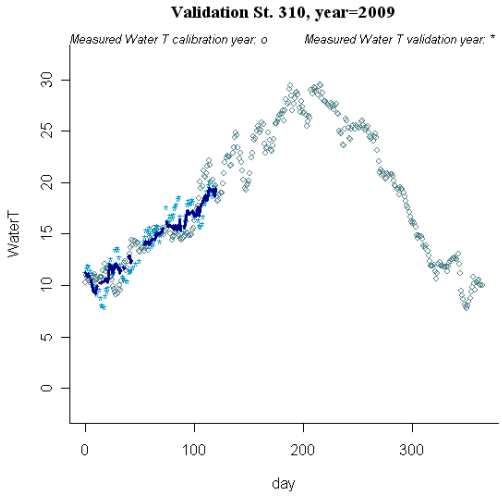
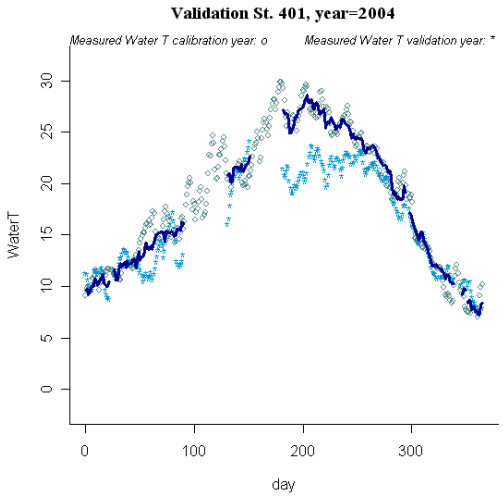
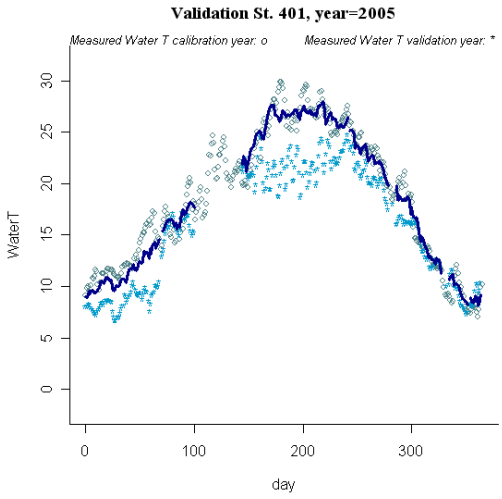
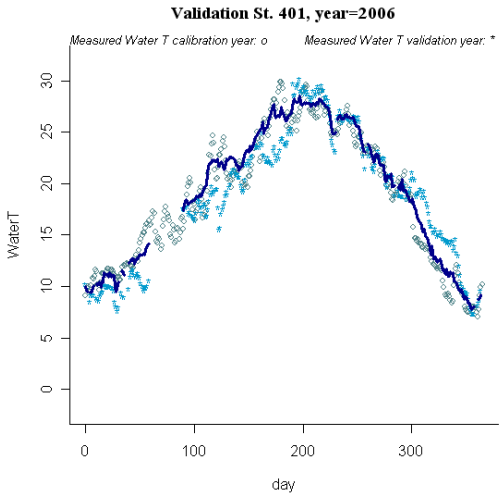
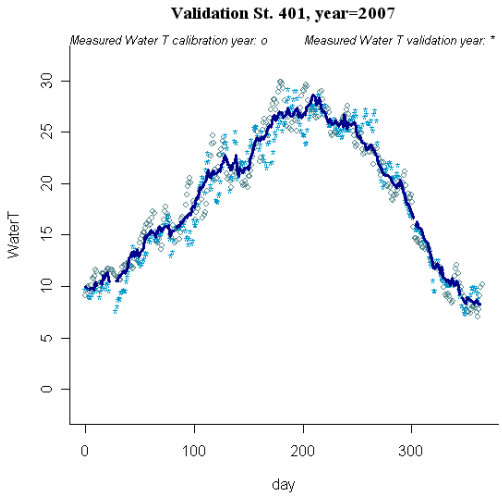


Figura A4-98 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “310”









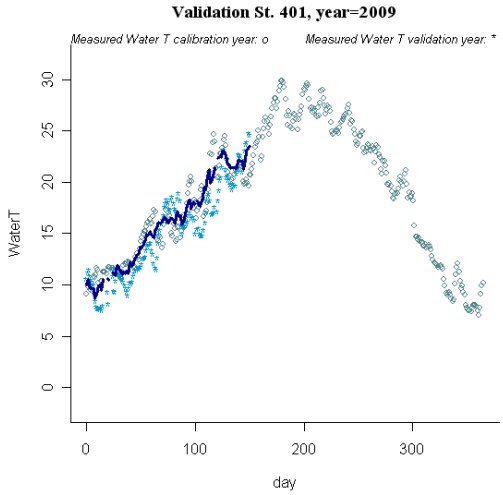


Figura A4-99 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “401”

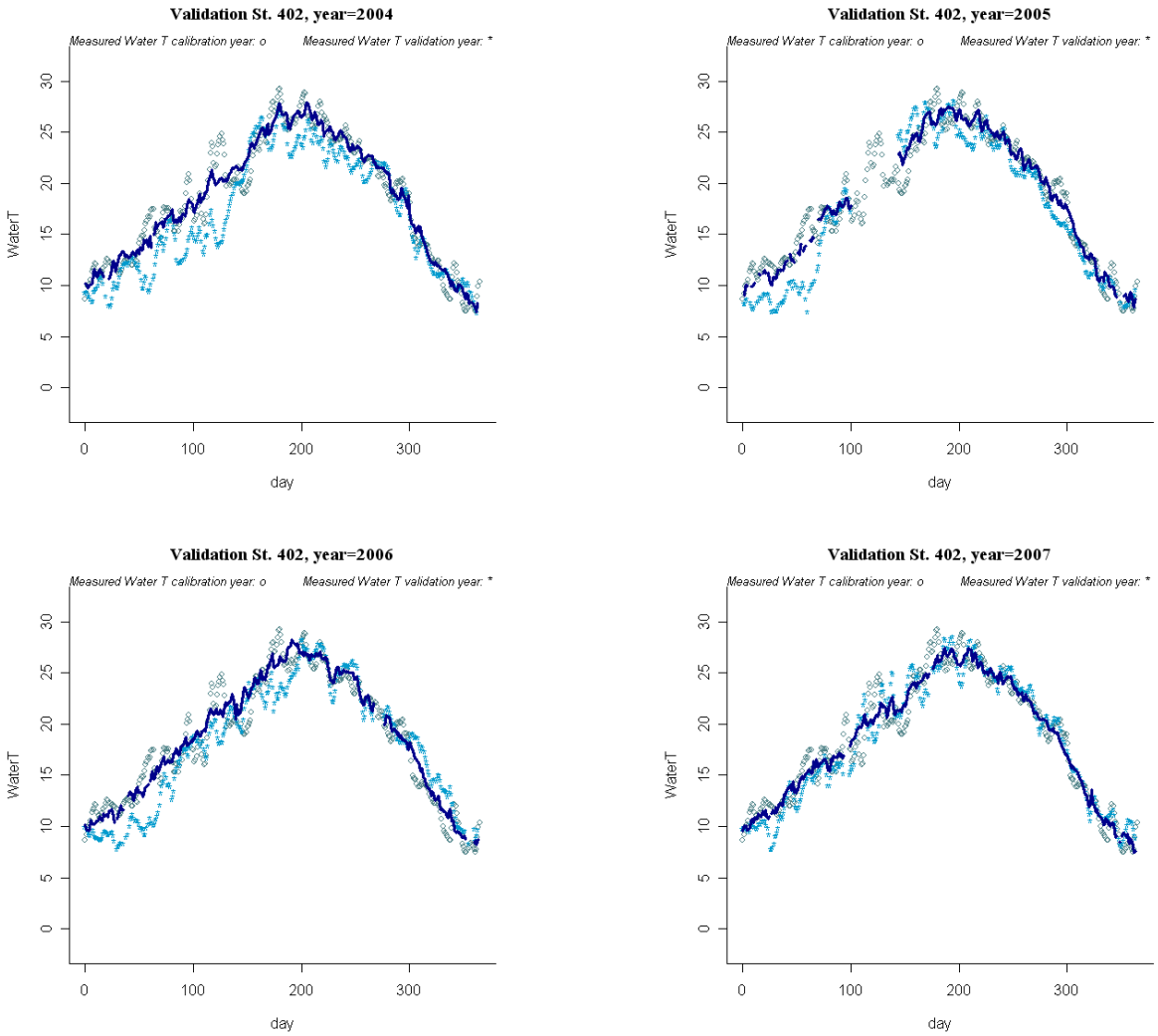


Figura A4-100 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “402”

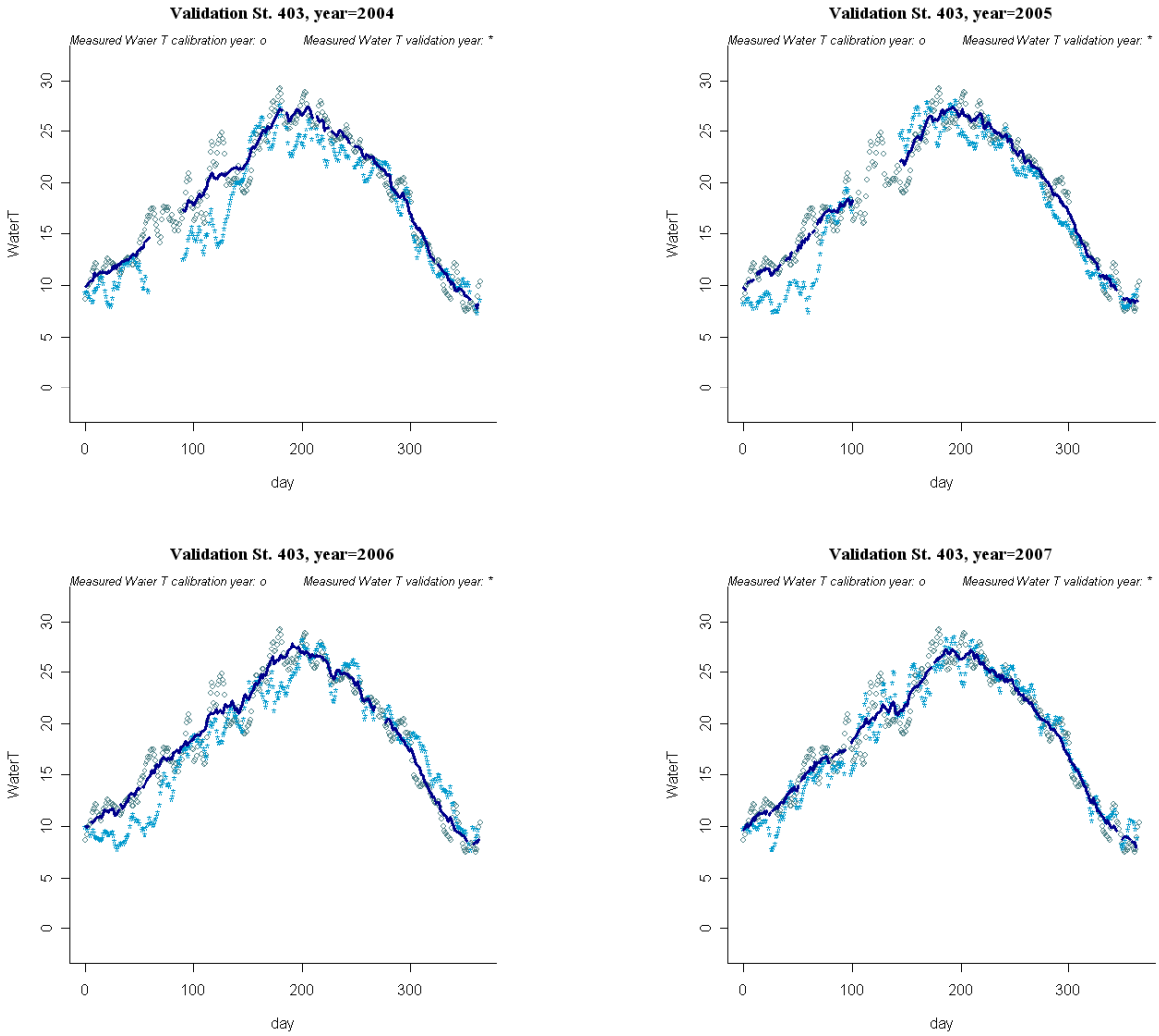


Figura A4-101 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “403”

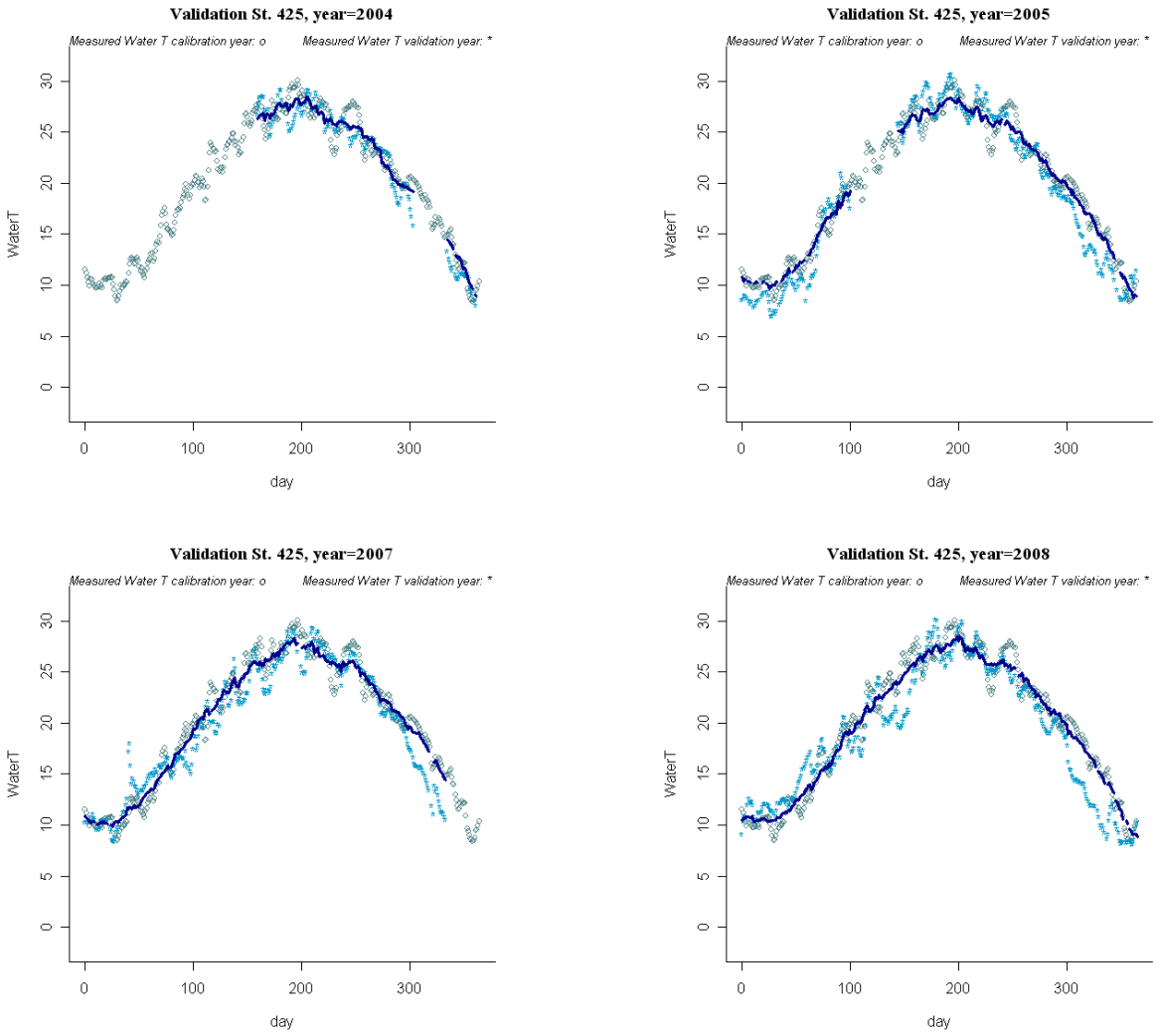


Figura A4-102 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “425”

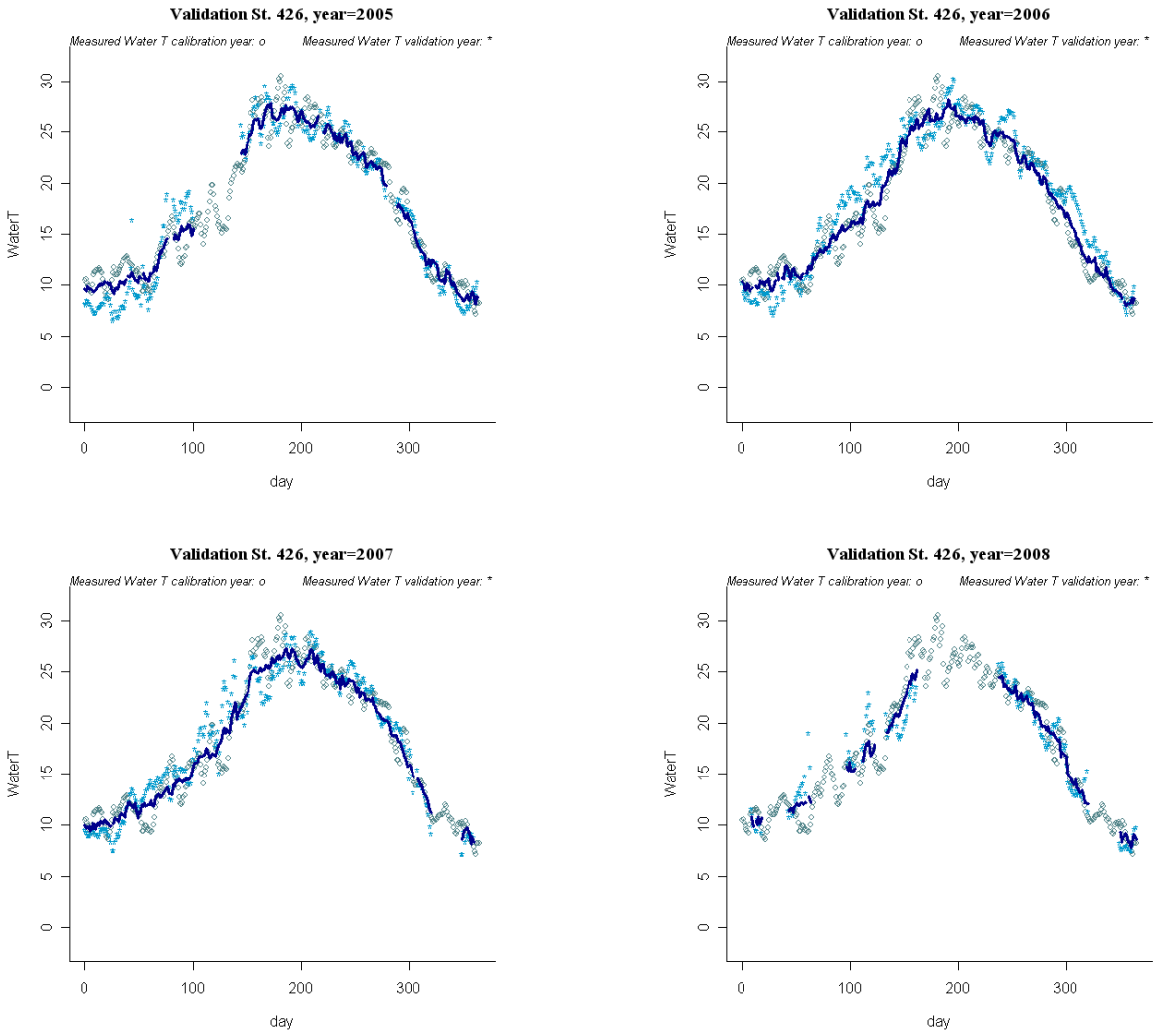
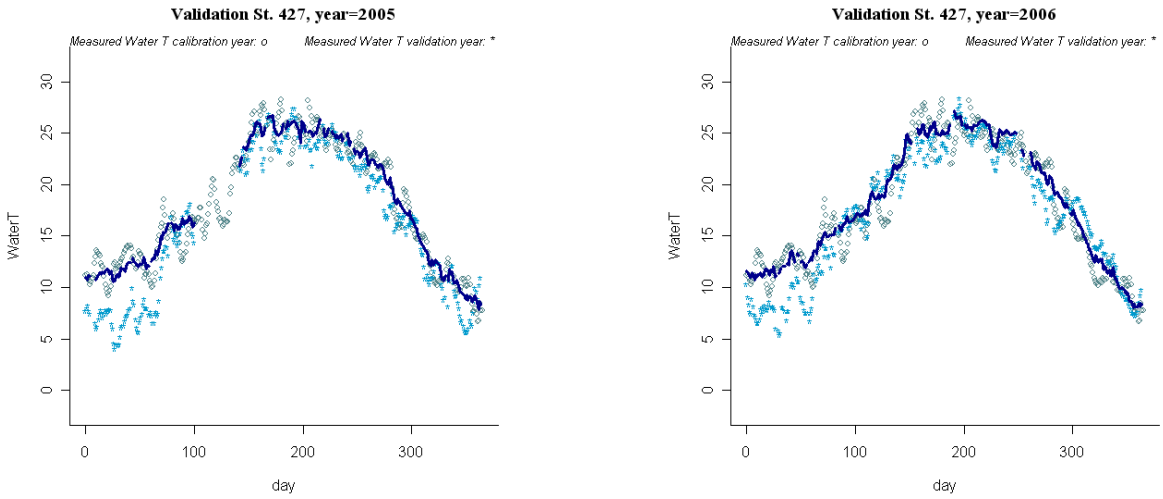


Figura A4-103 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “426”



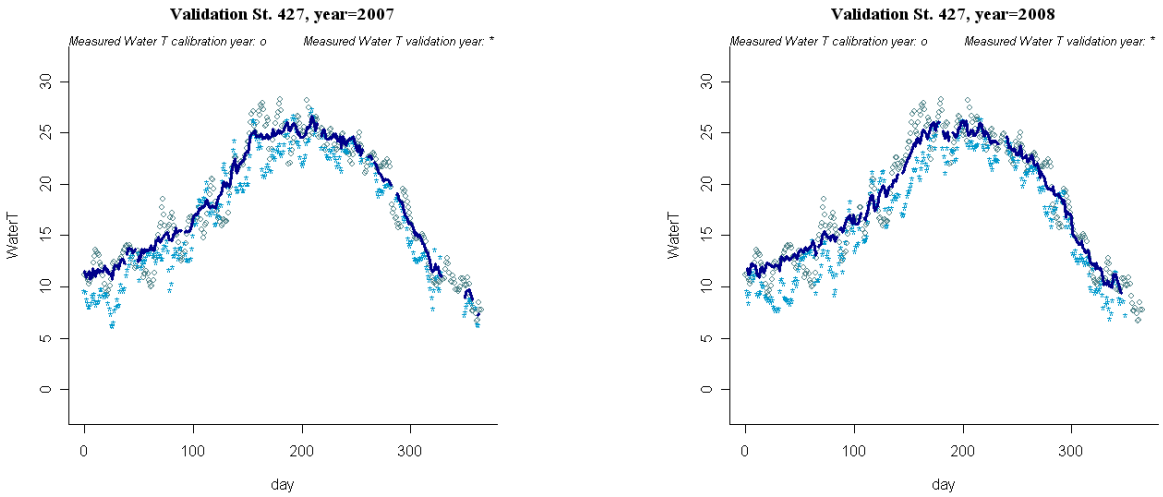


Figura A4-104 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA "427"

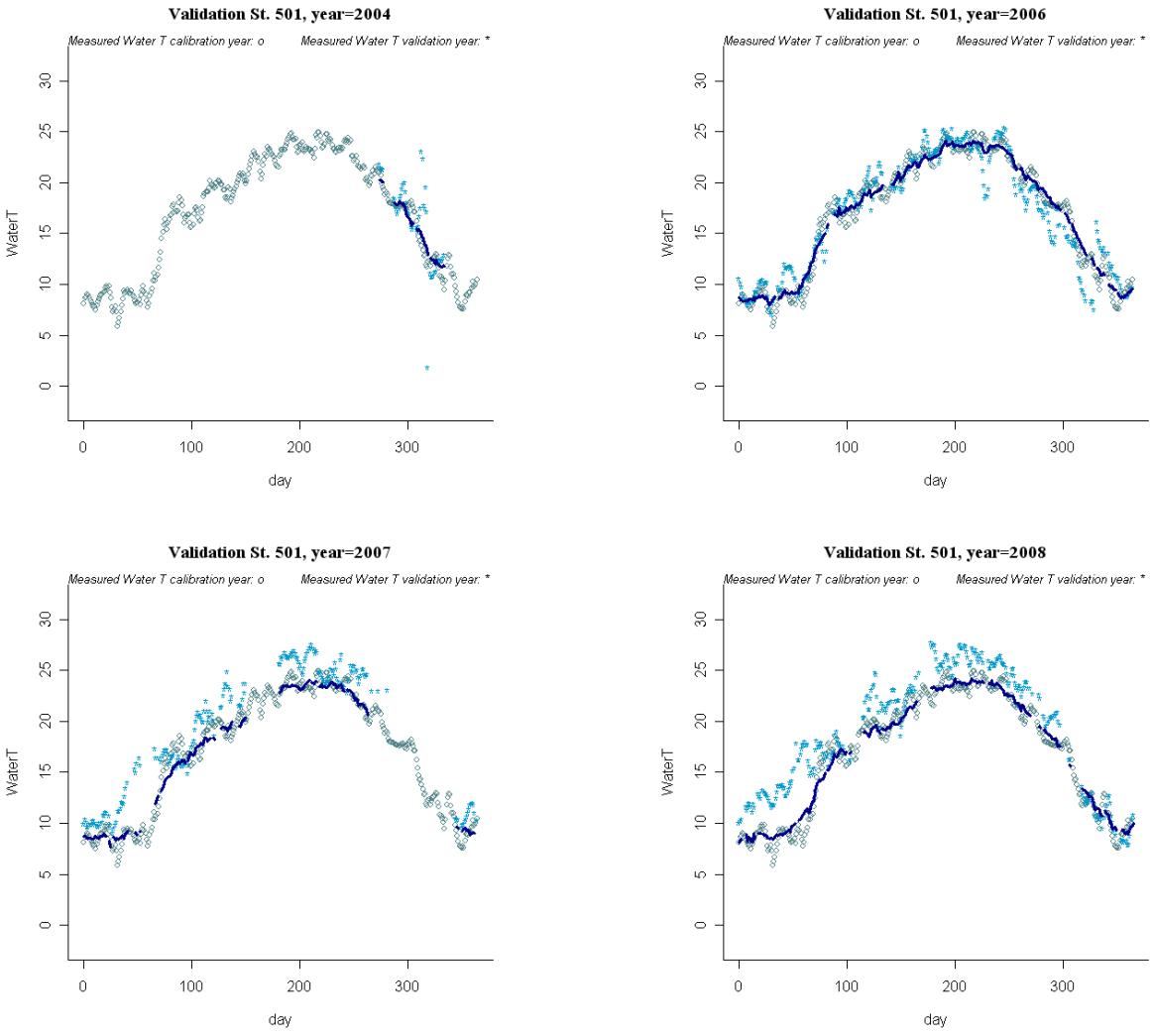


Figura A4-105 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA "501"

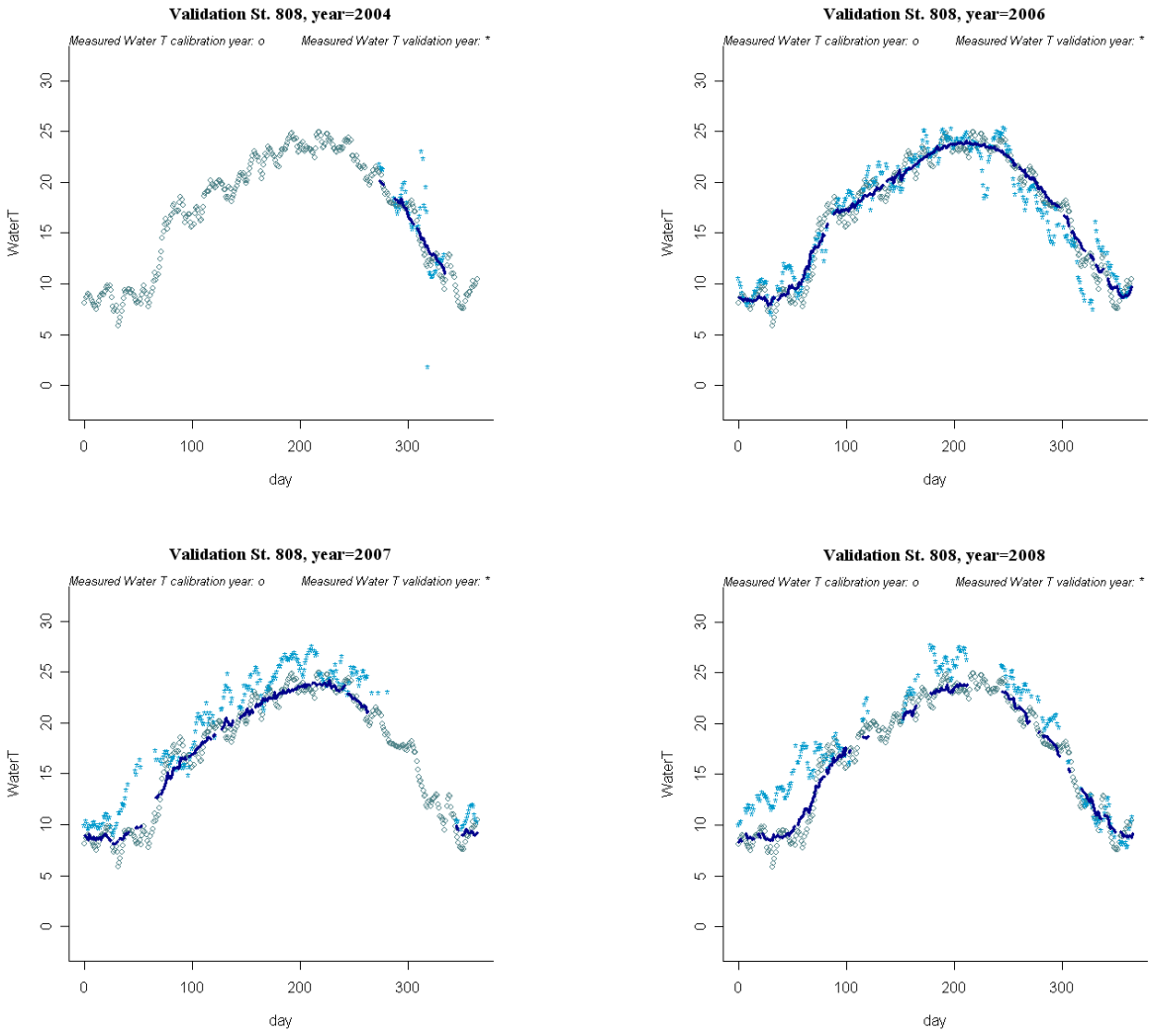
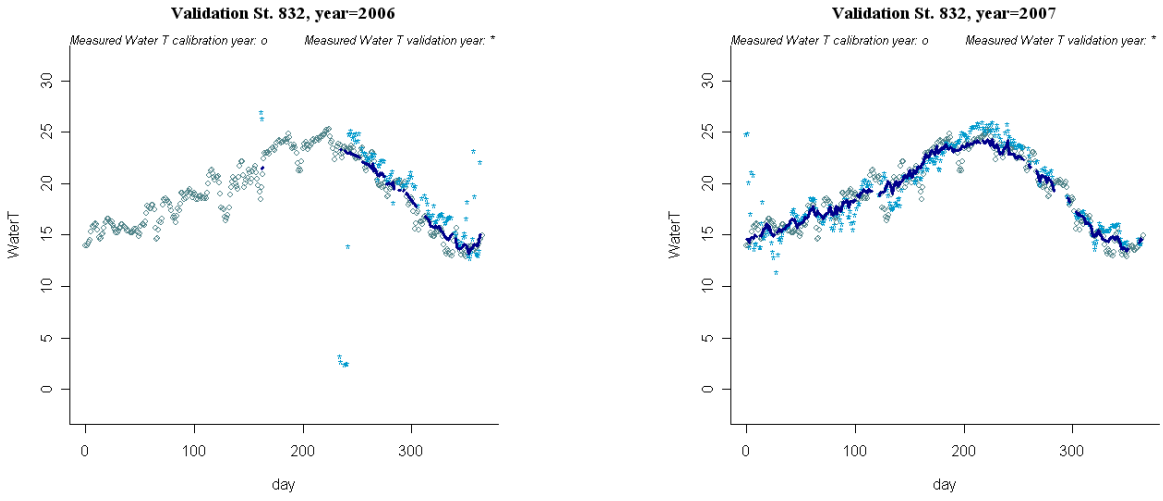


Figura A4-106 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “808”



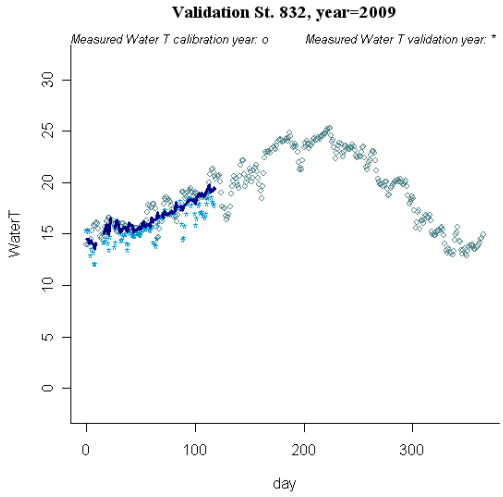


Figura A4-107 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “832”

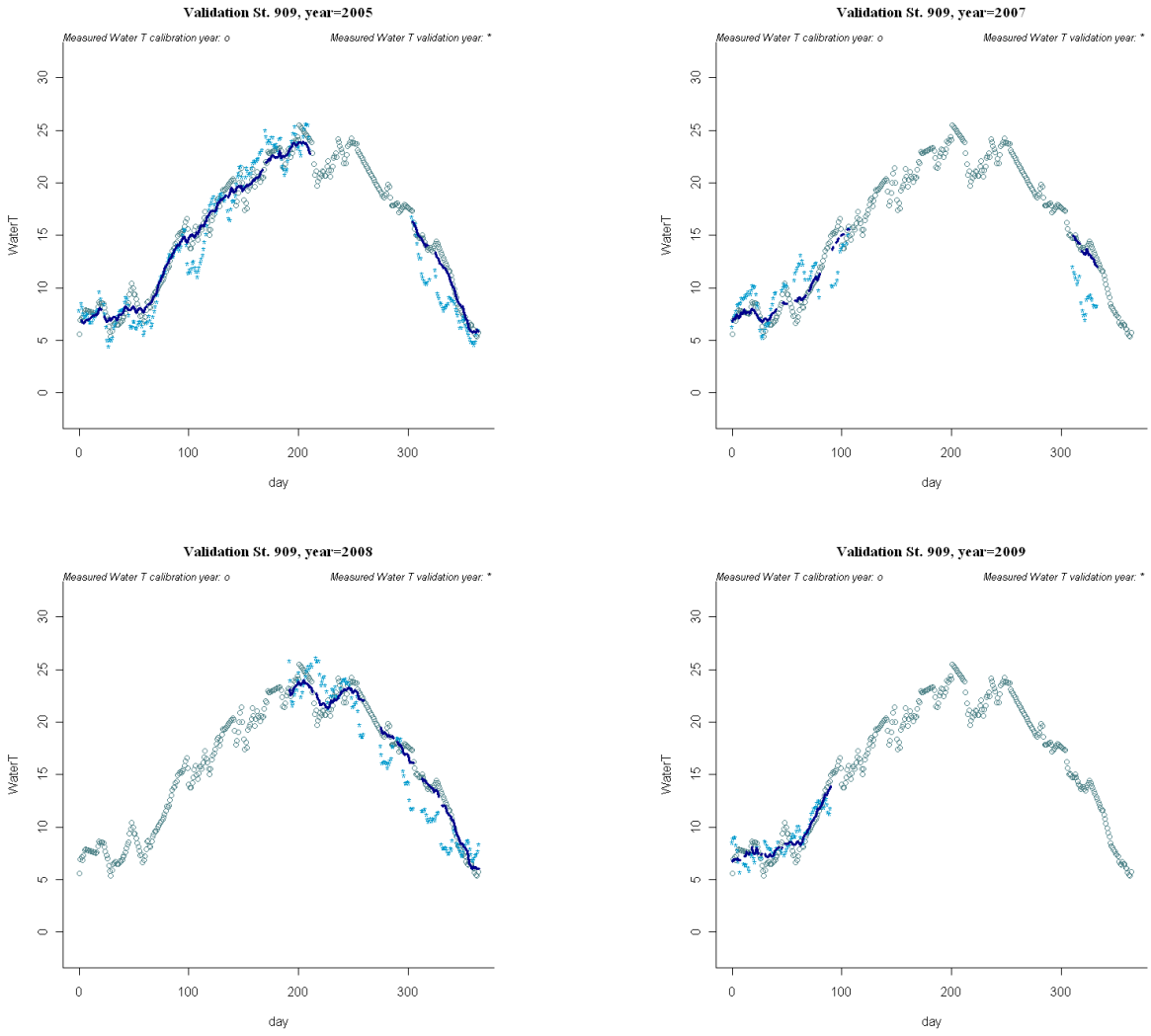
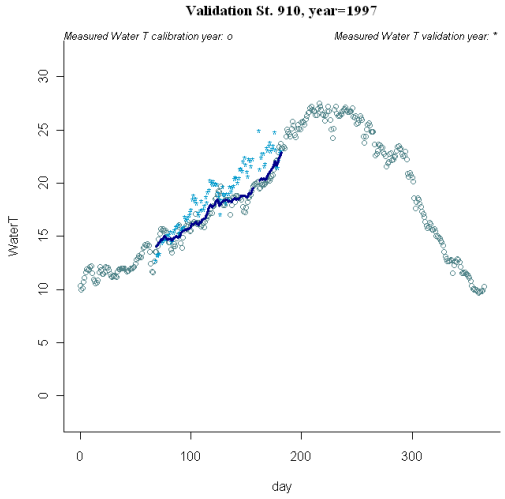
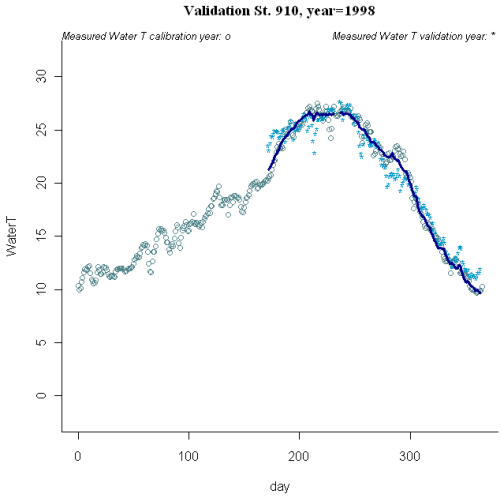
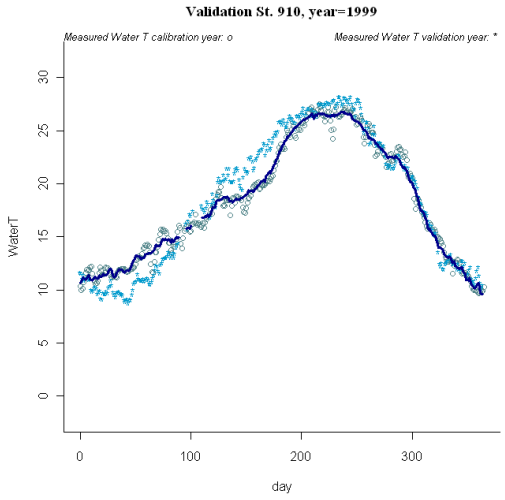
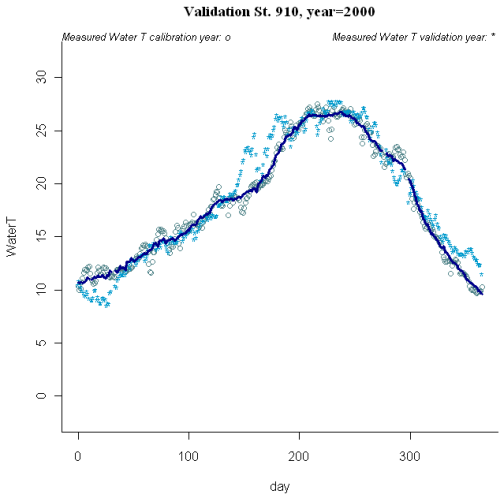


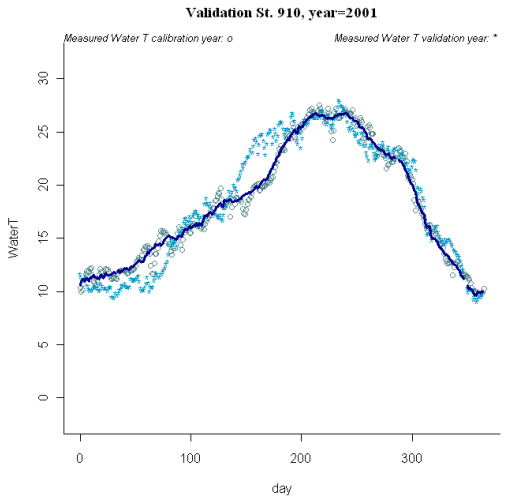
Figura A4-108 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “909”

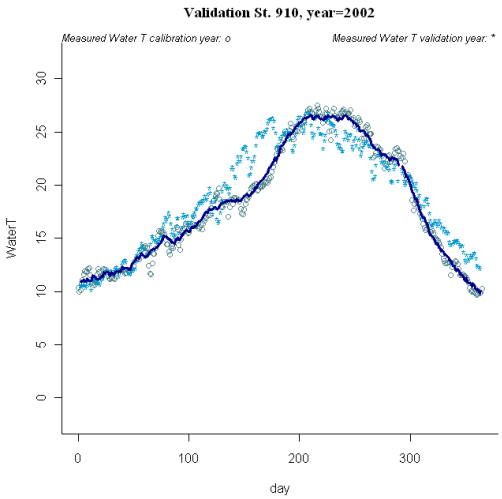

Validation St. 910, year=1997
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 910, year=1998
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 910, year=1999
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 910, year=2000
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 910, year=2001
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 910, year=2002
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day

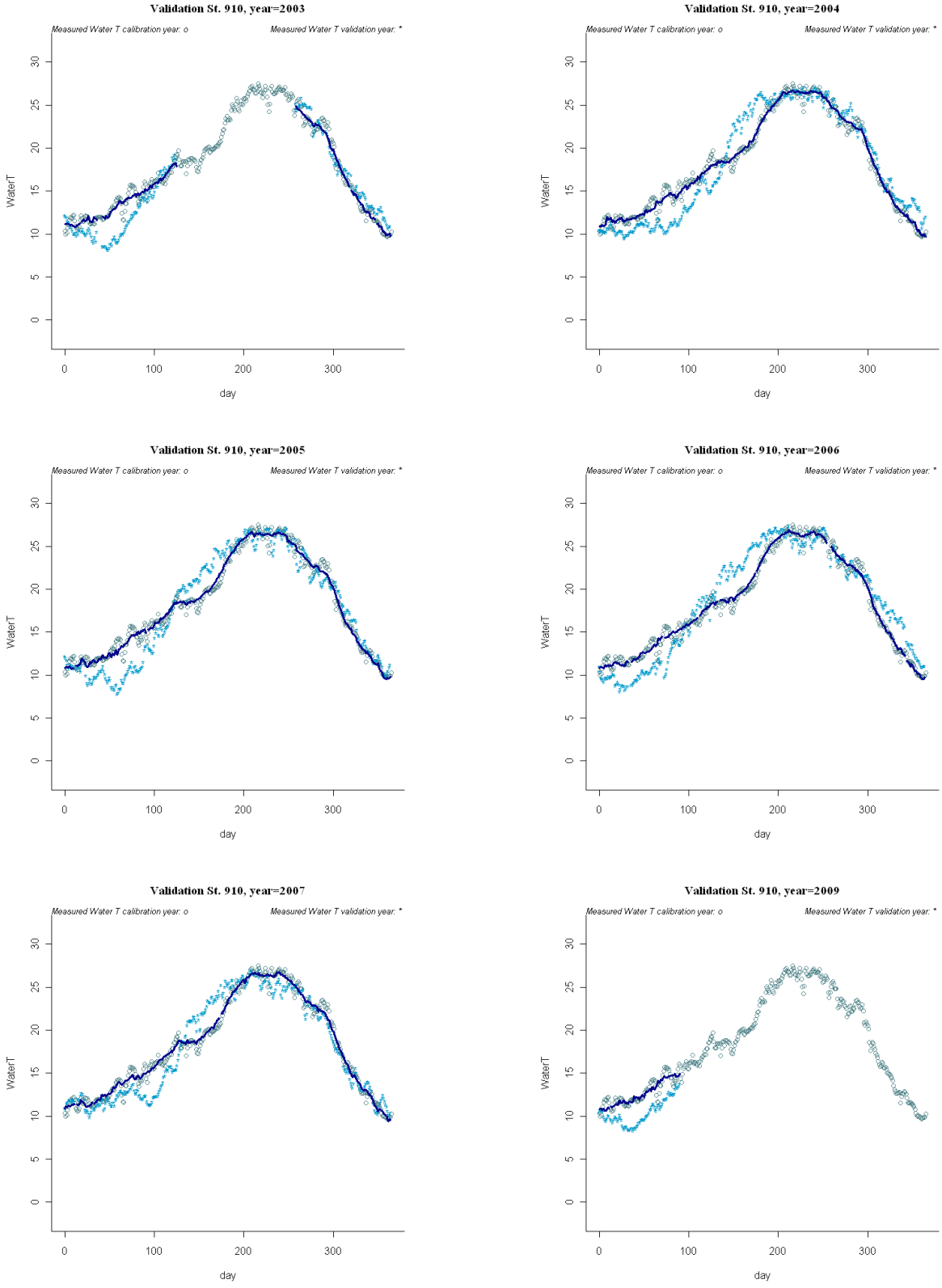
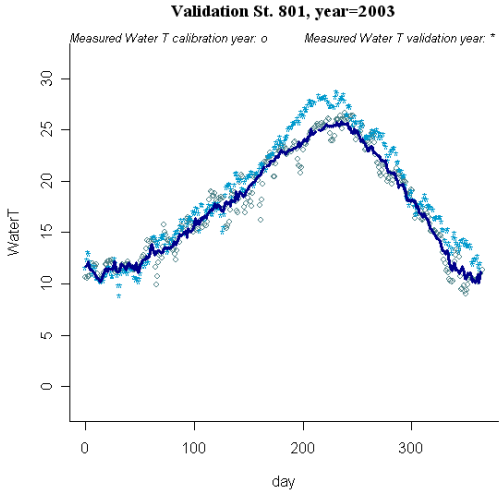
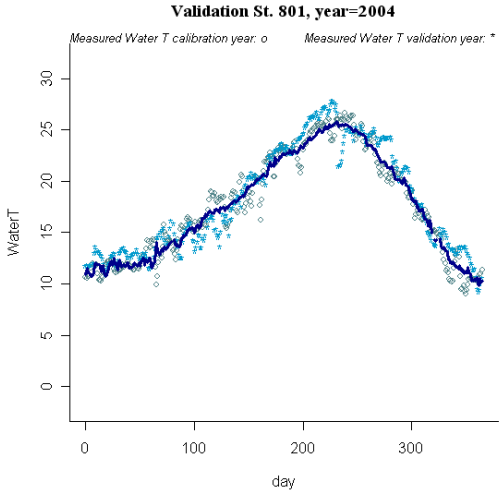
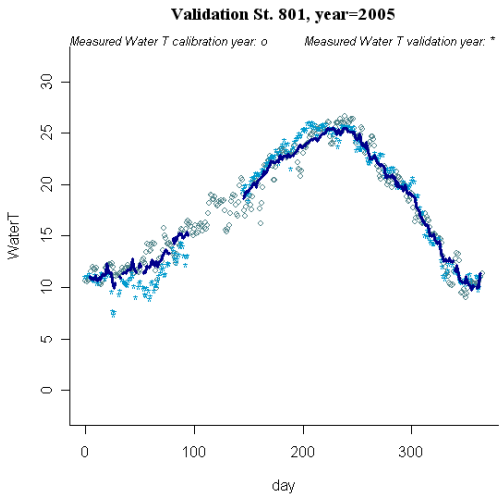


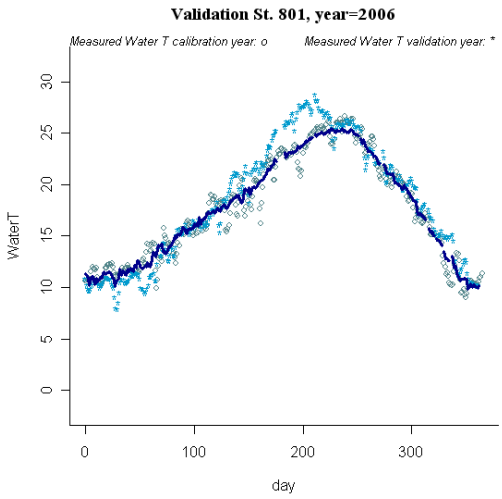
Figura A4-109 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “910”

A4-3.13 Tipo 18 “Ríos costeros mediterráneos”









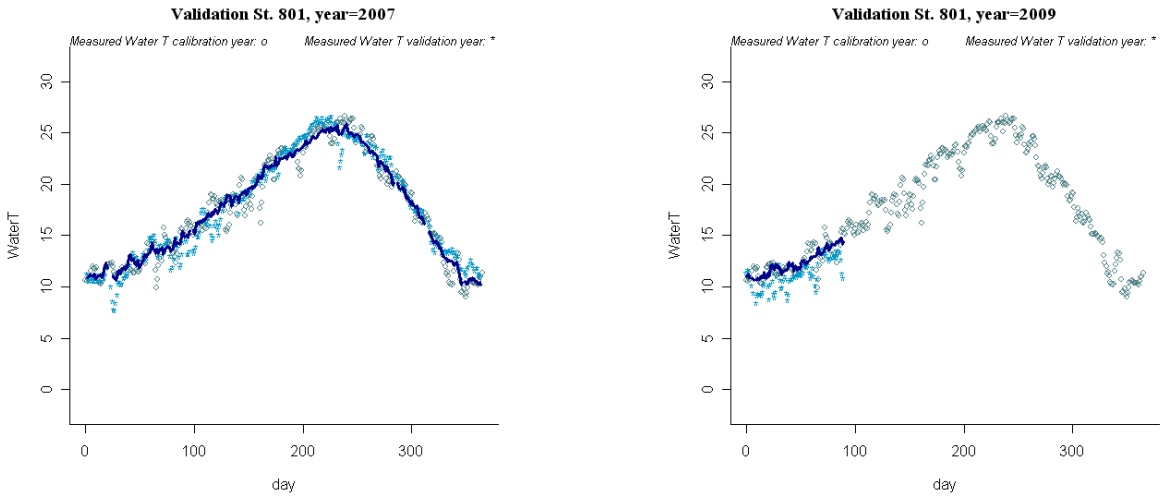
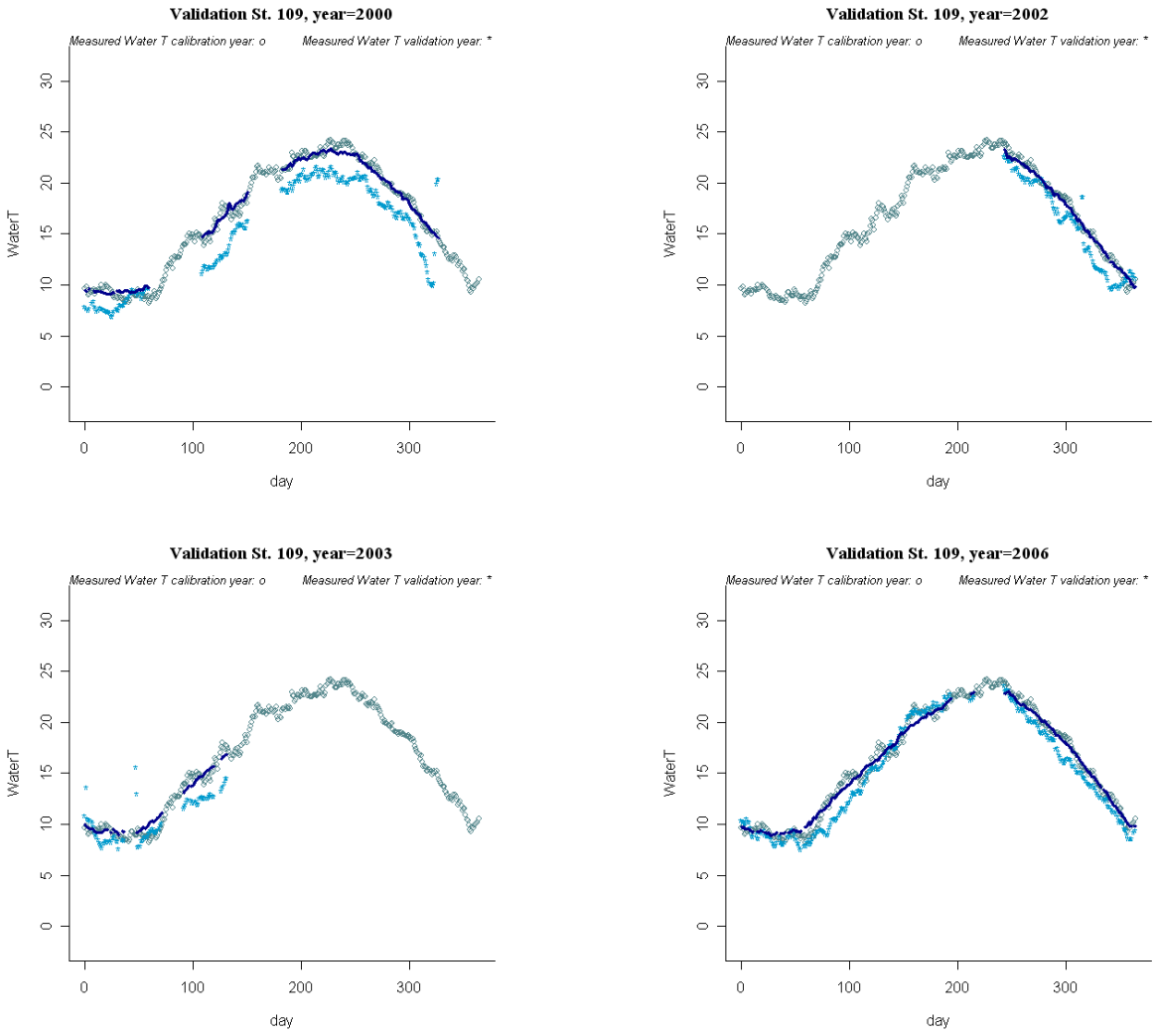


Figura A4-110 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “801”

A4-3.14 Tipo 21 “Ríos cántabro-atlánticos silíceos”



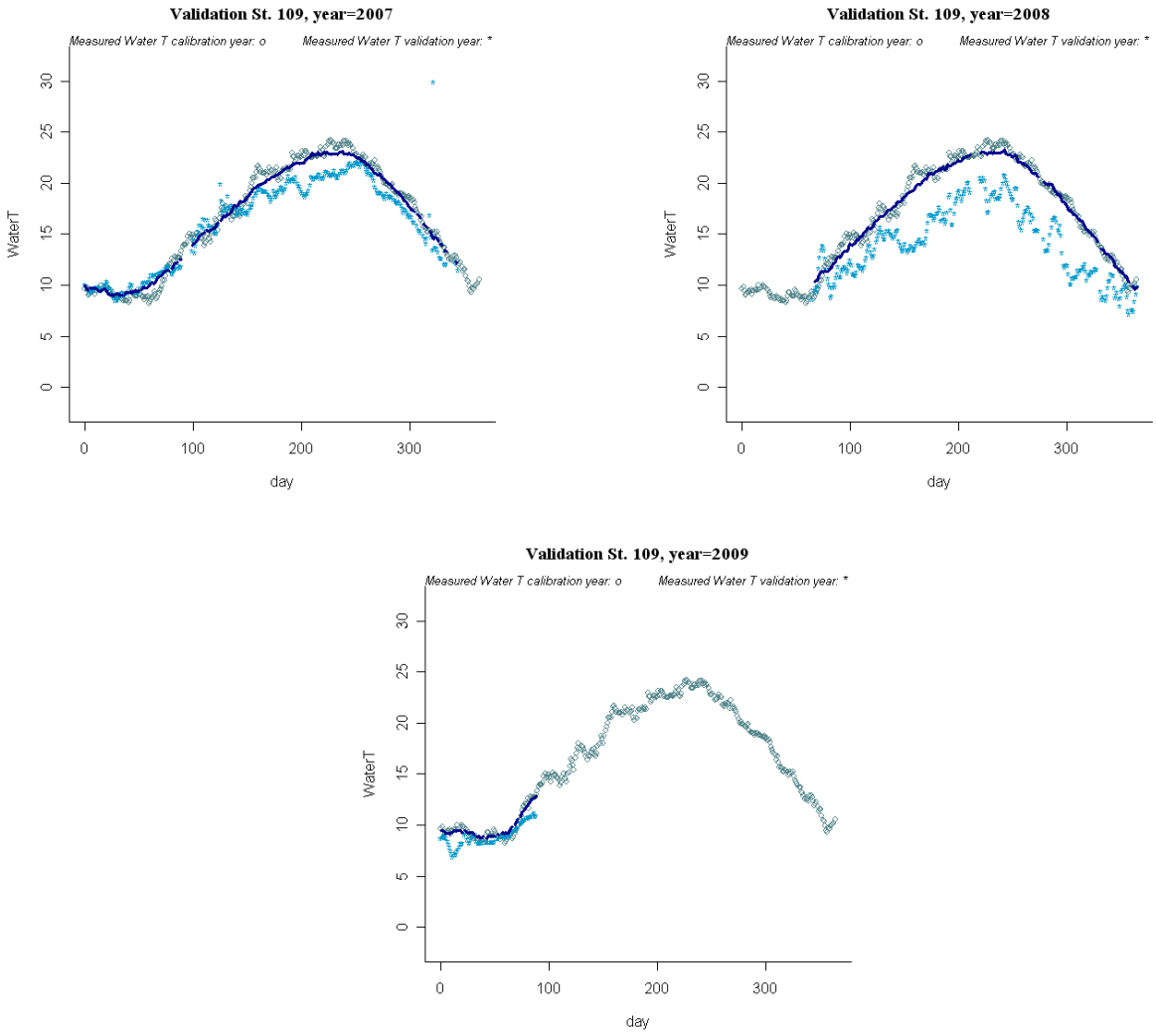
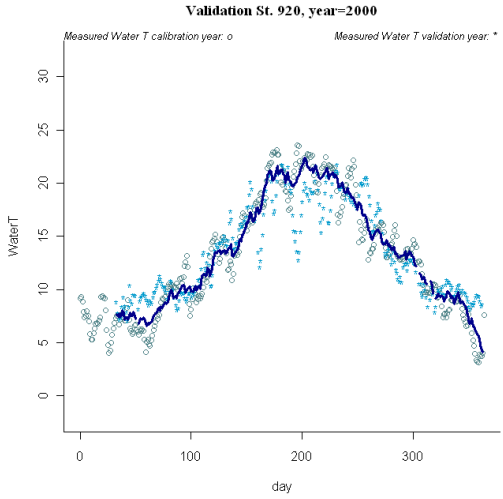
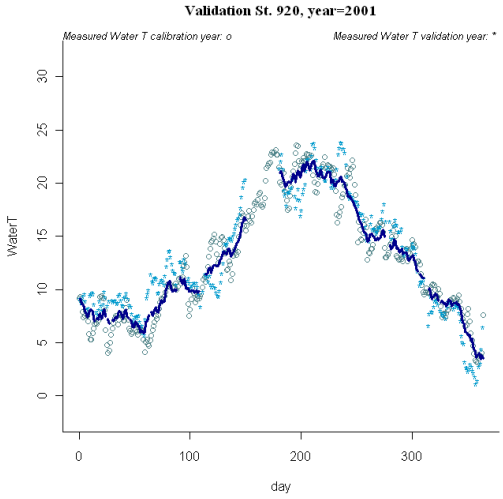
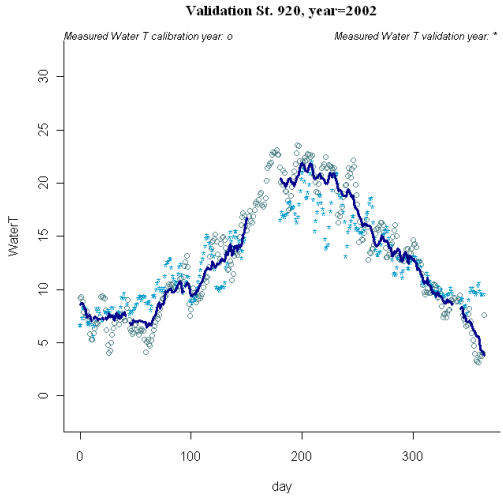


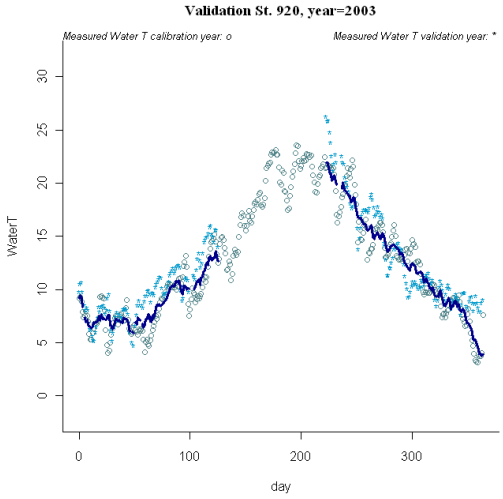
Figura A4-111 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “109”

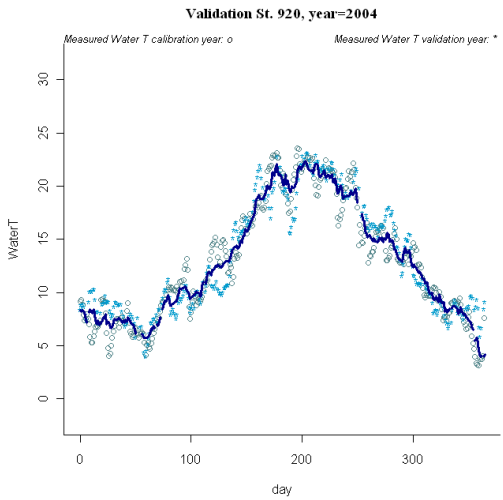
A4-3.15 Tipo 26 “Ríos de montaña húmeda calcárea”

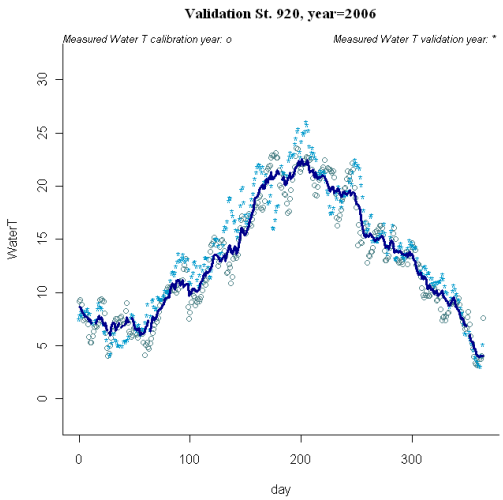












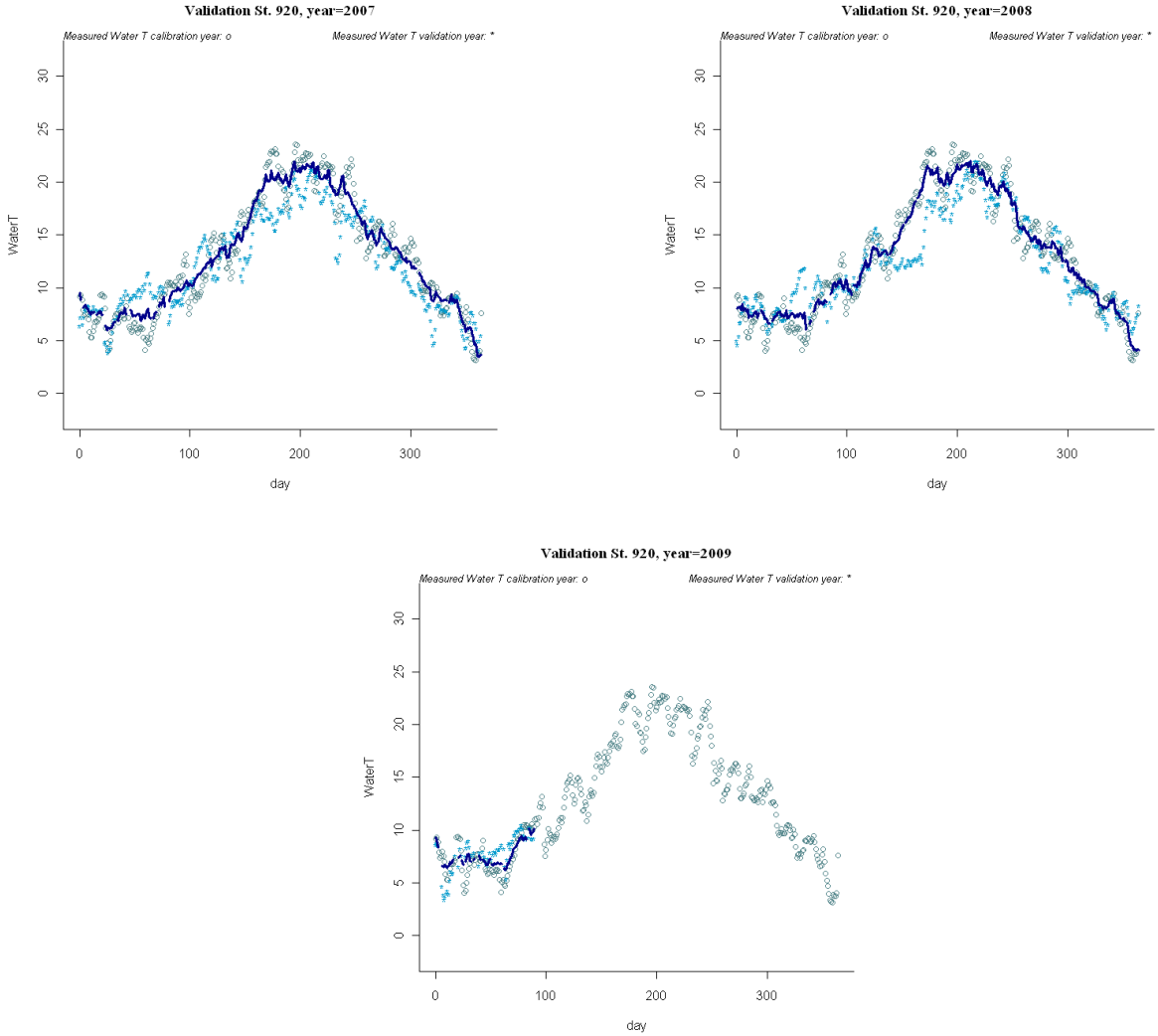
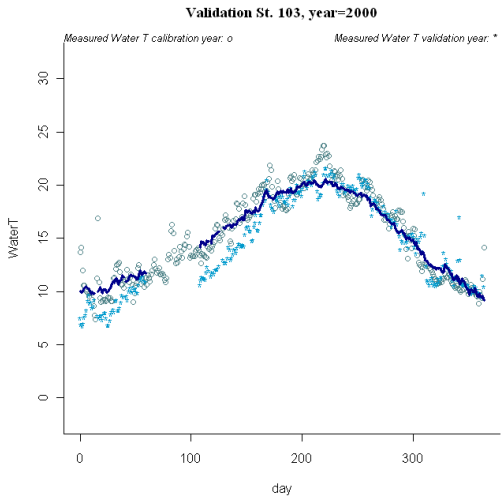
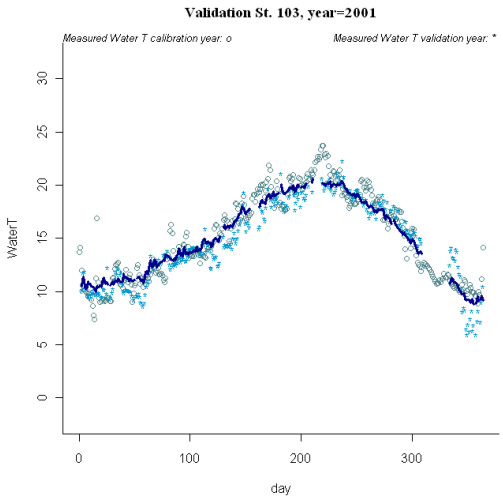
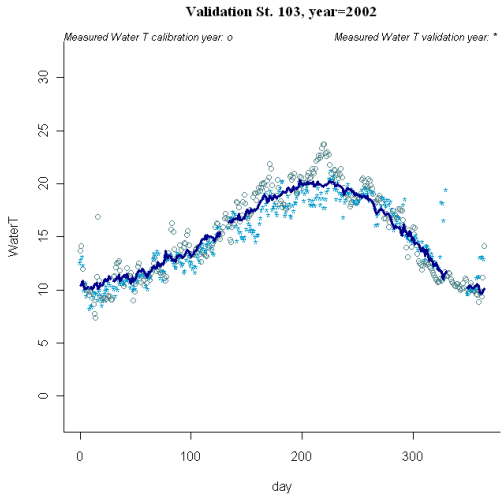


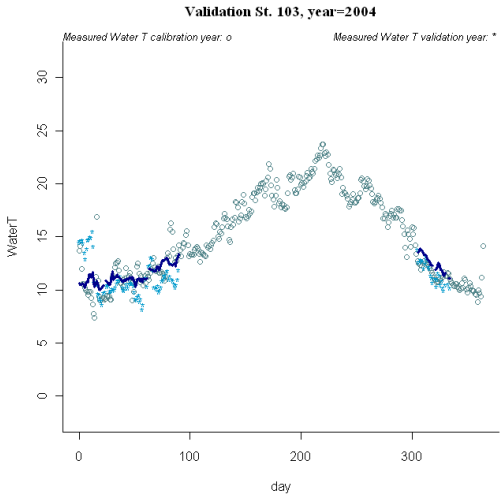
Figura A4-112 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “920”

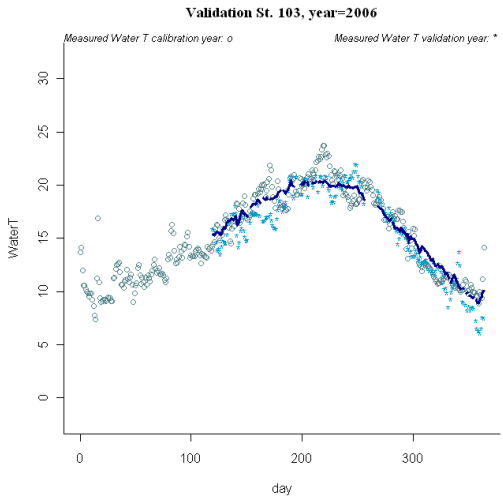
A4-3.16 Tipo 28 “Ejes fluviales principales cántabro-atlánticos silíceos”

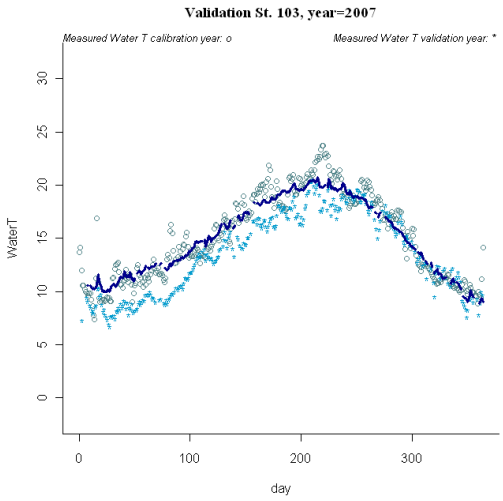












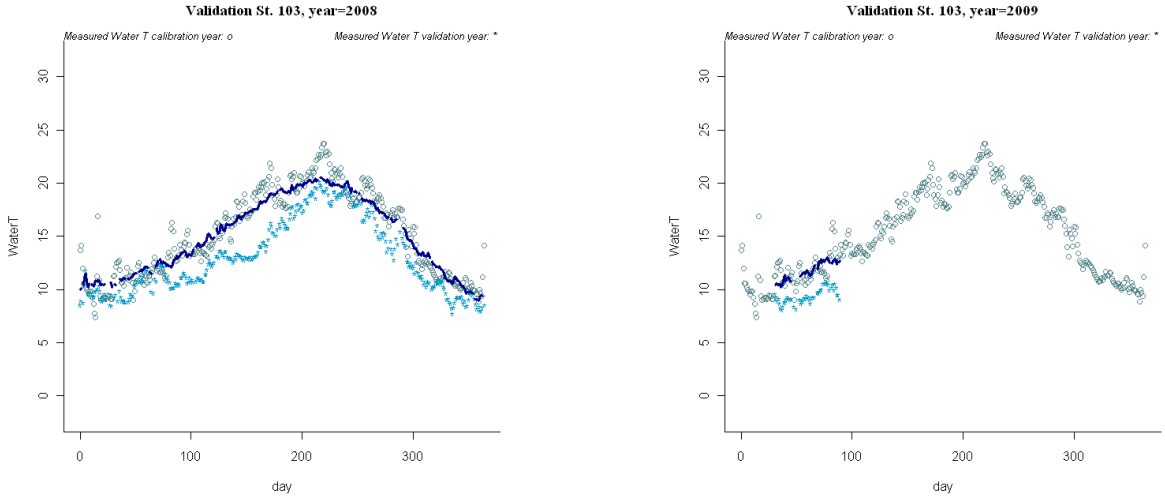


Figura A4-113 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “103”

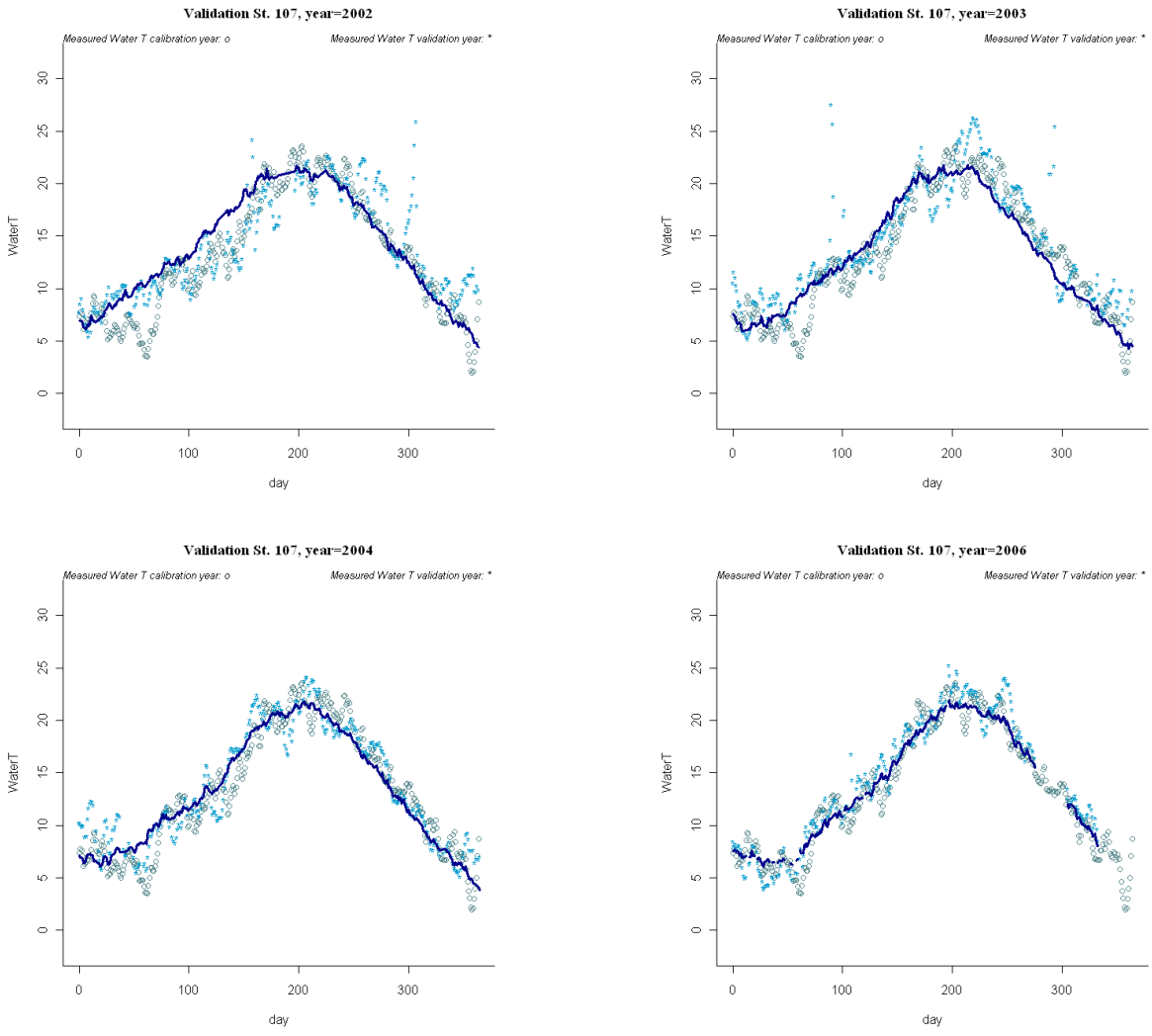
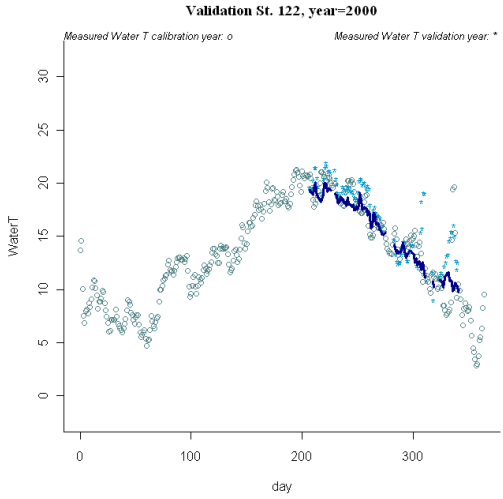
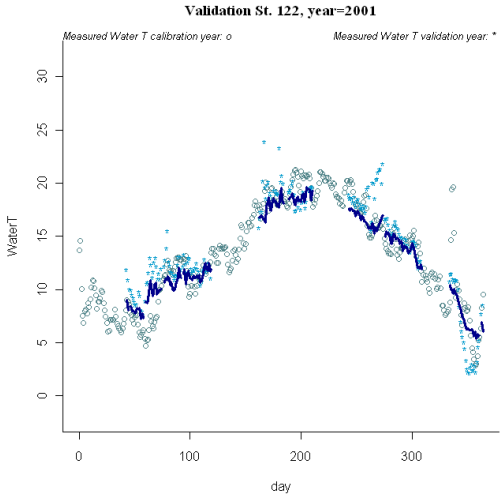
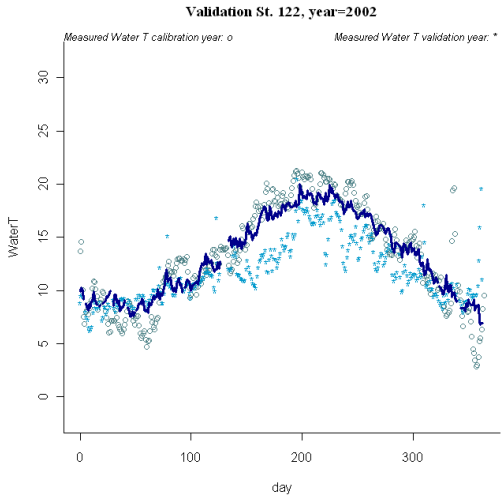
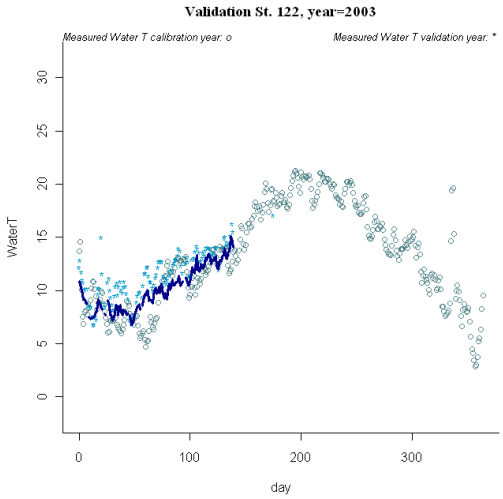


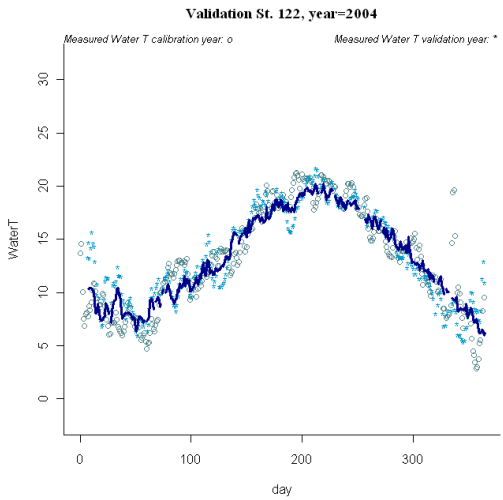
Figura A4-114 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “107”

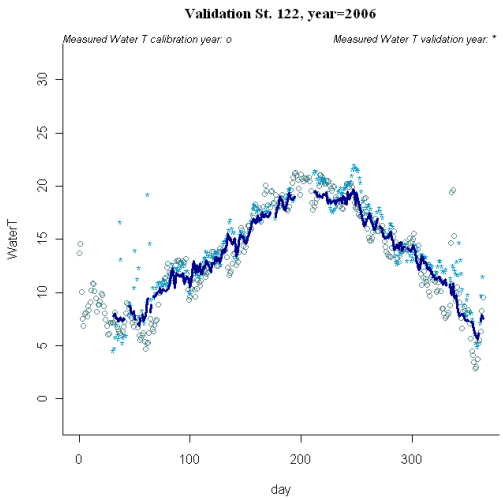

Validation St. 122, year=2000
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 122, year=2001
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 122, year=2002
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 122, year=2003
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 122, year=2004
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 122, year=2006
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day

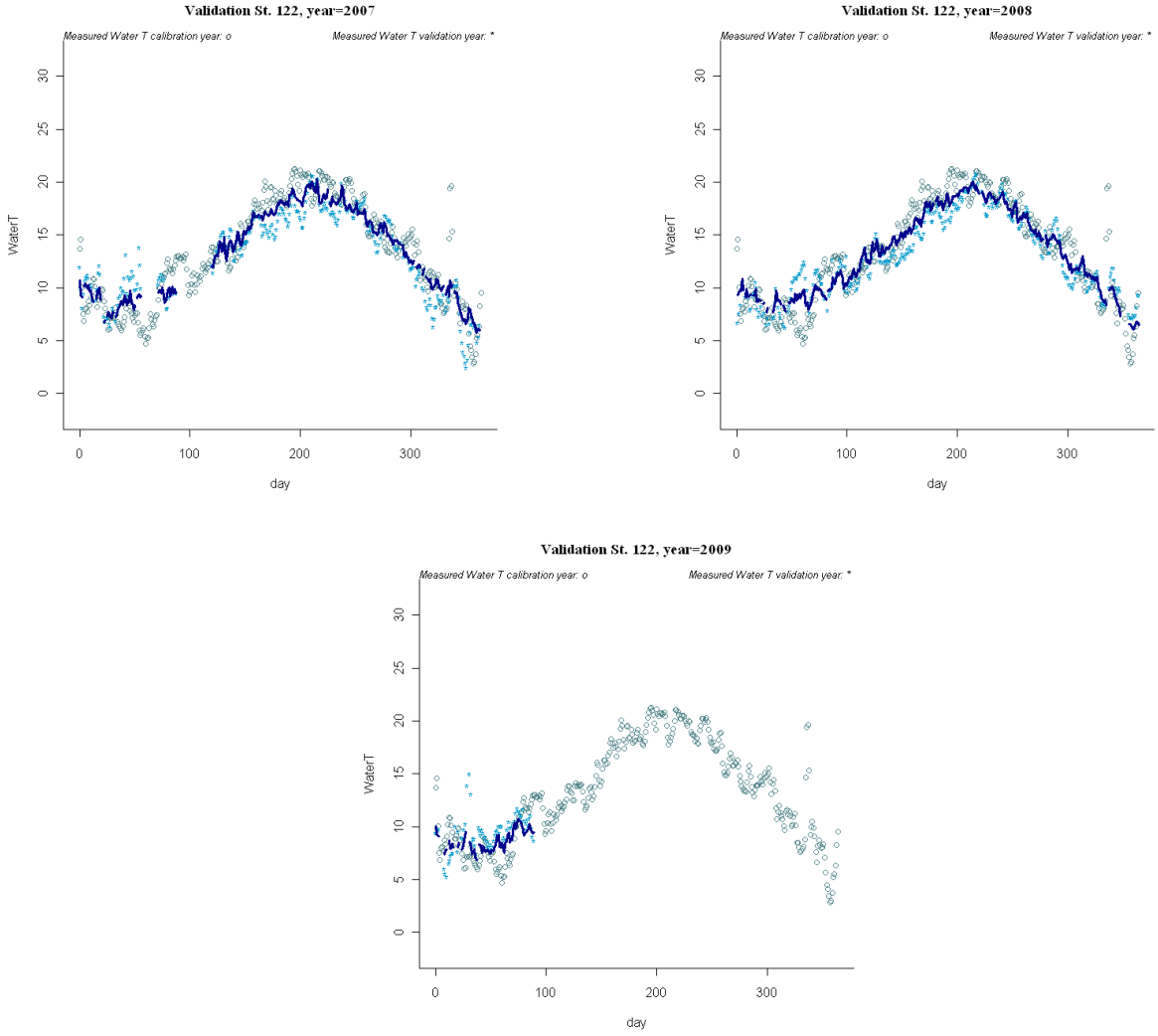
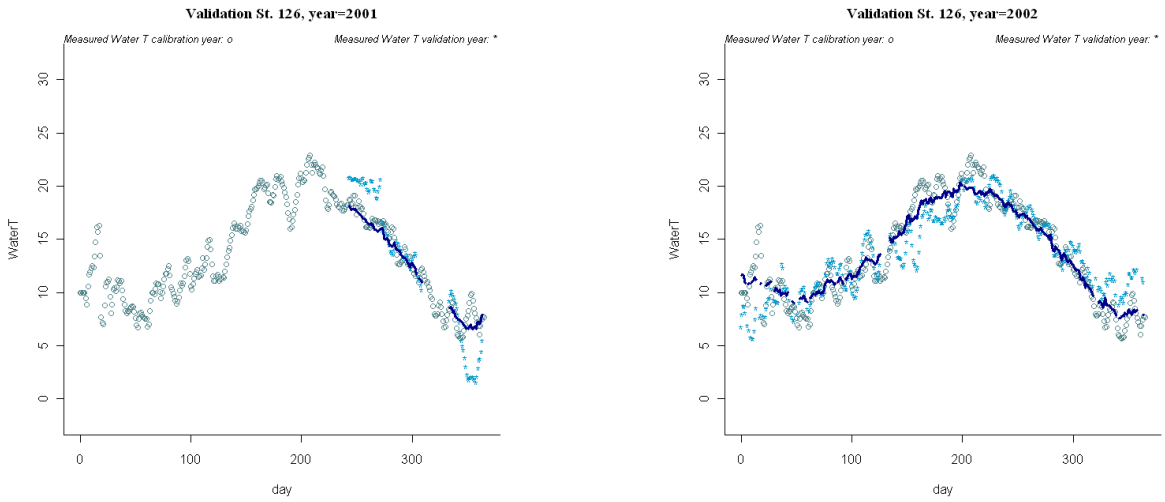


Figura A4-115 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “122”



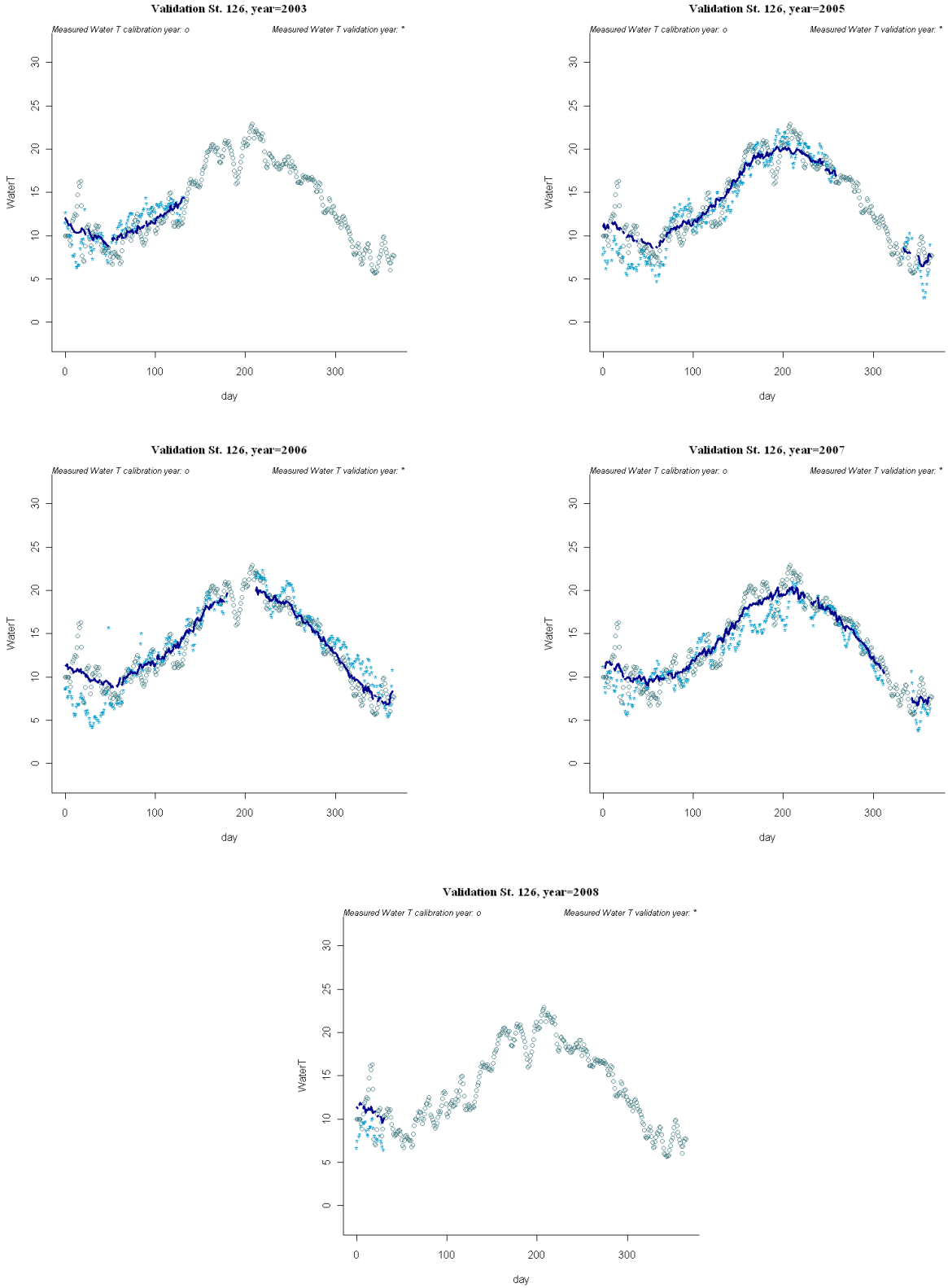


Figura A4-116 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “126”

A4-3.17 Tipo 29 “Ejes fluviales principales cántabro-atlánticos calcáreos”

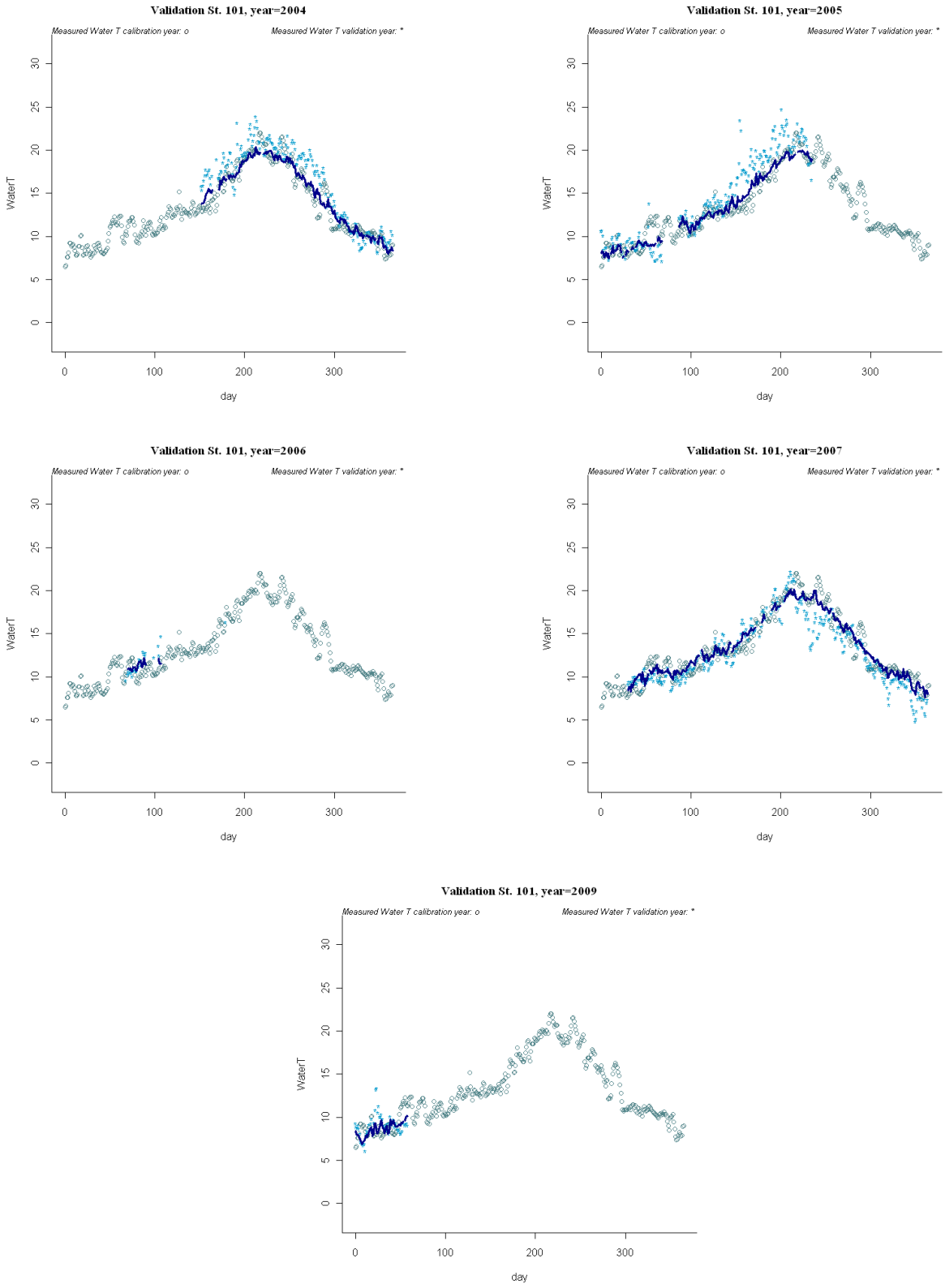


Figura A4-117 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “101”

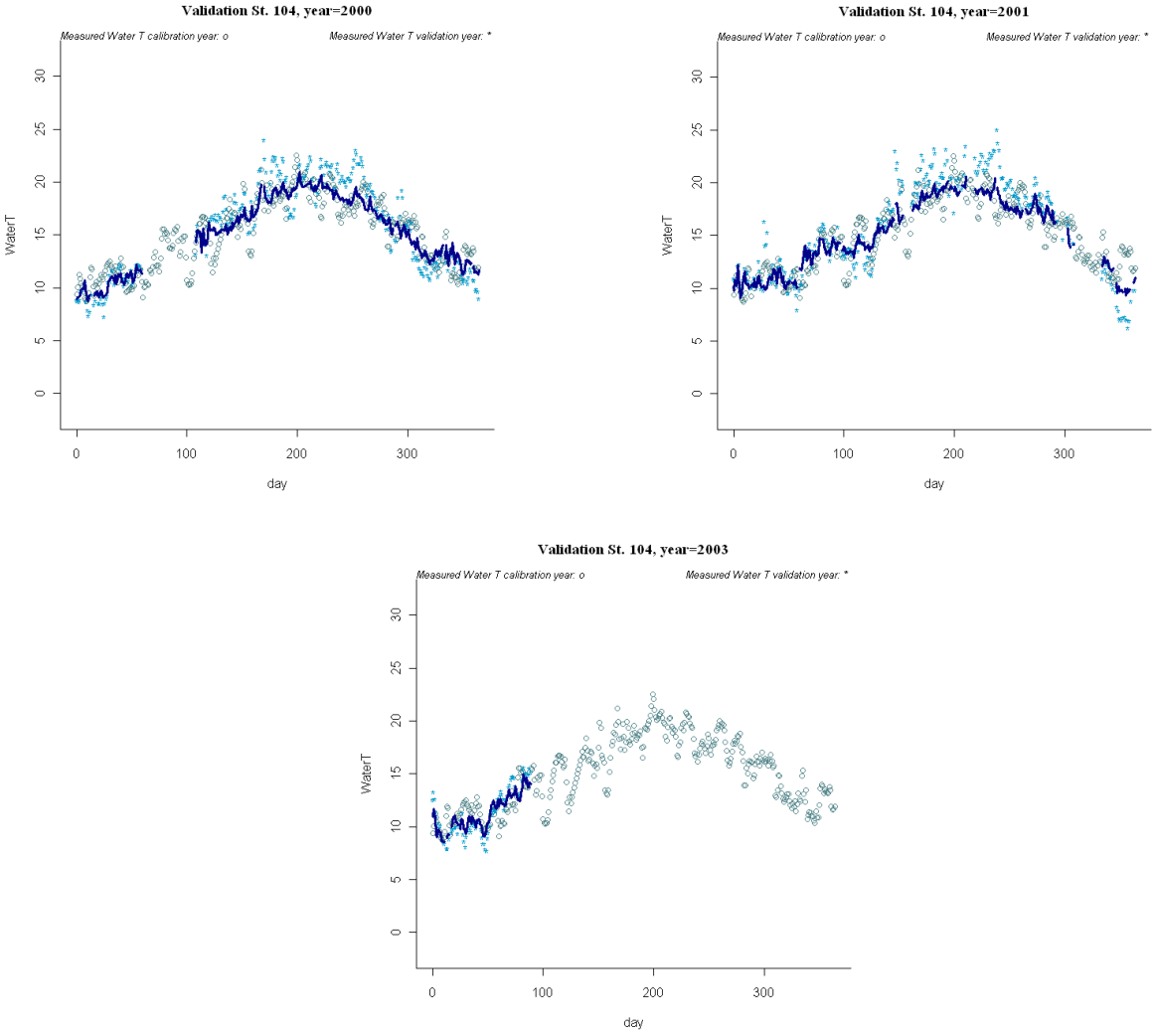


Figura A4-118 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “104”

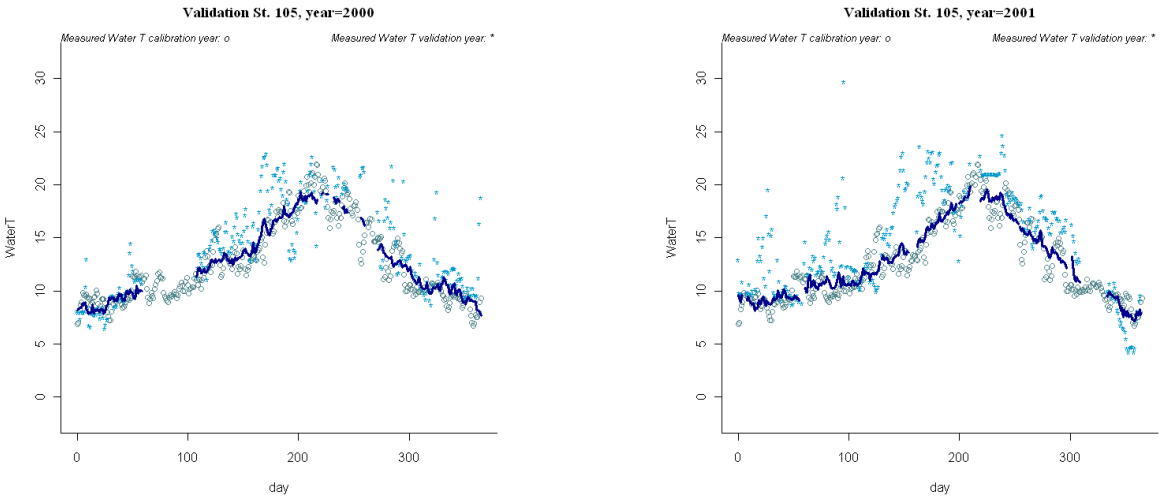
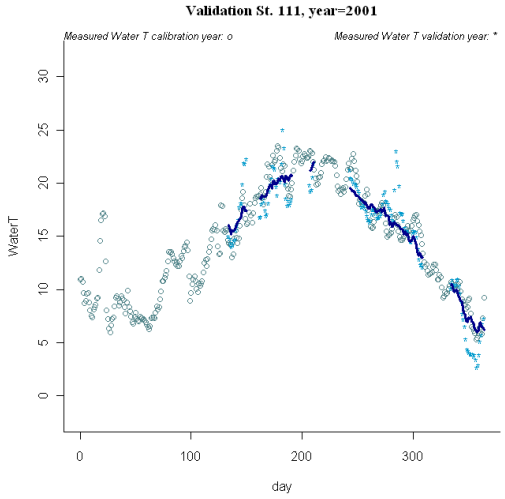
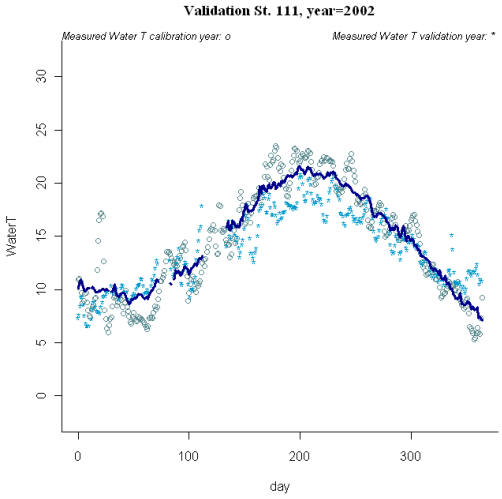
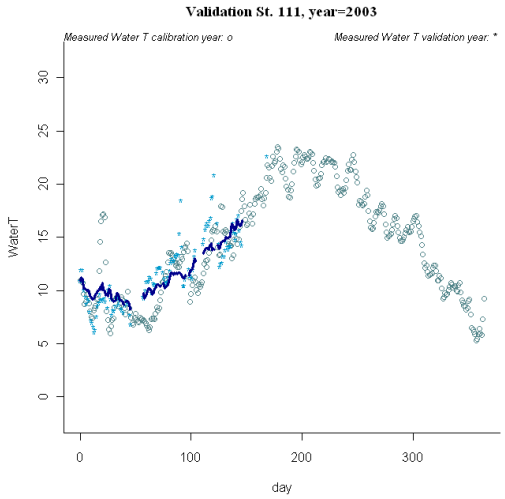
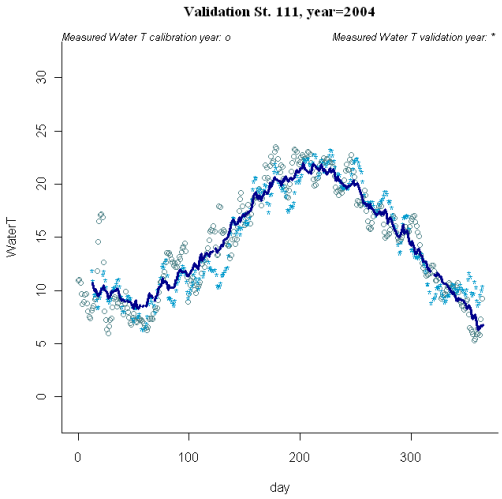


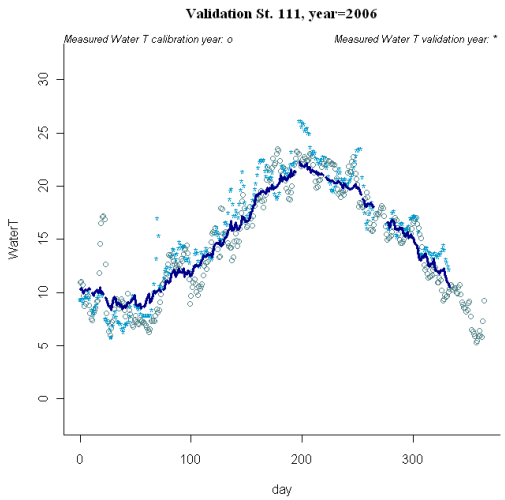
Figura A4-119 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “105”

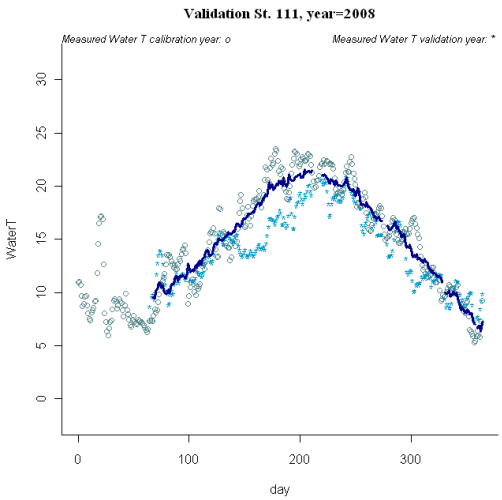

Validation St. 111, year=2001
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 111, year=2002
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 111, year=2003
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 111, year=2004
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 111, year=2006
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 111, year=2008
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day

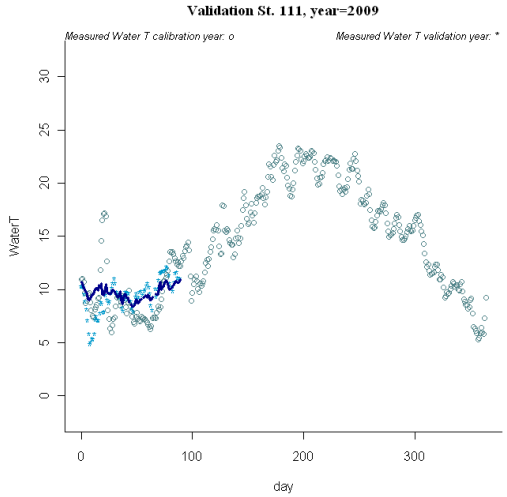
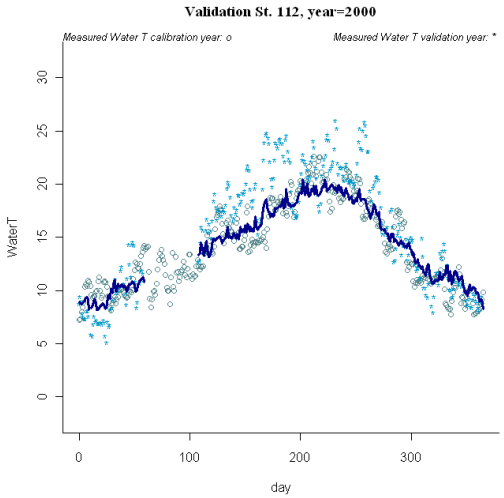
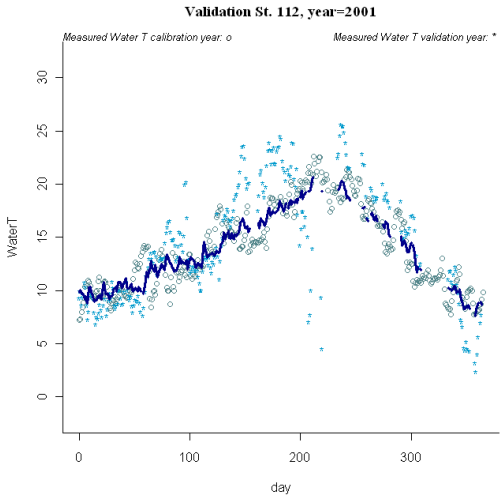
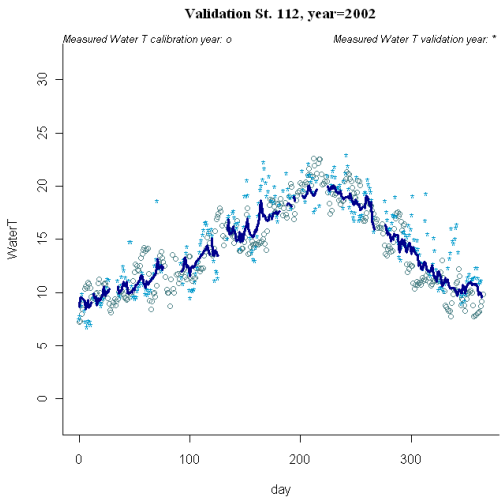
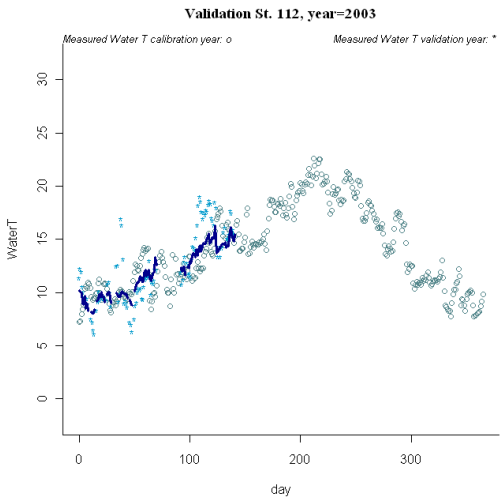


Figura A4-120 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “111”









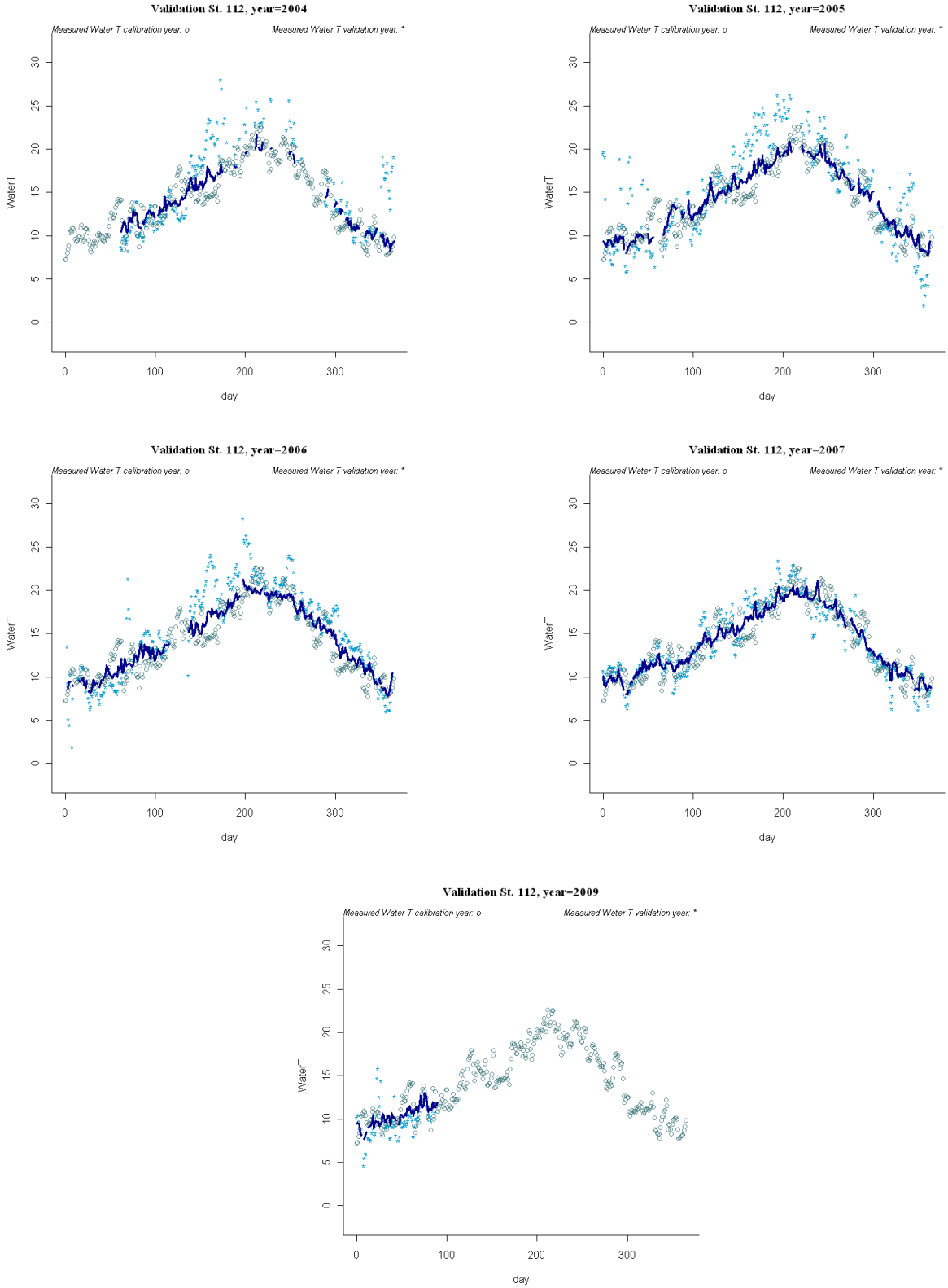
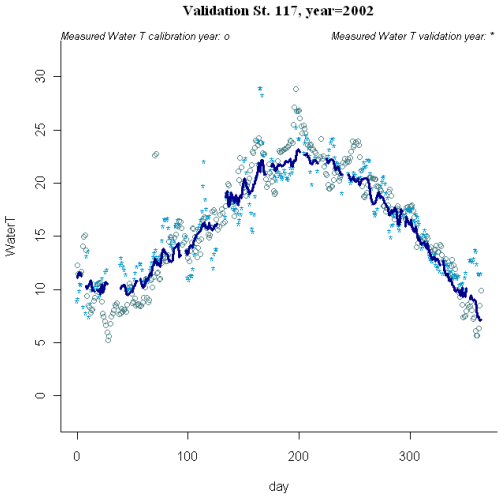
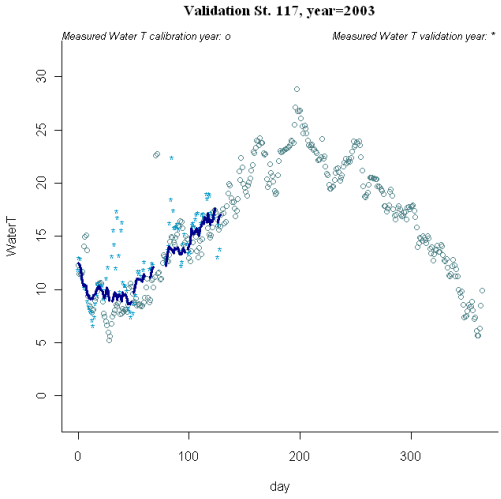
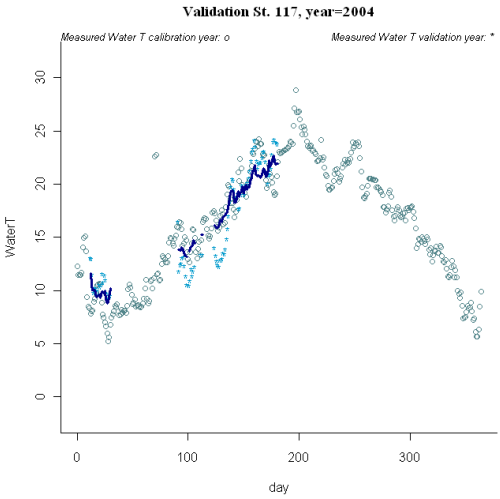
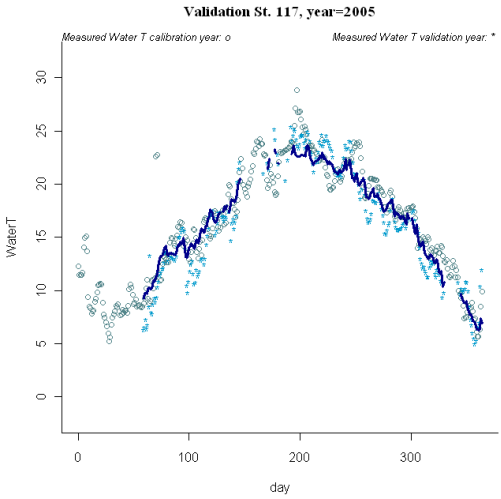


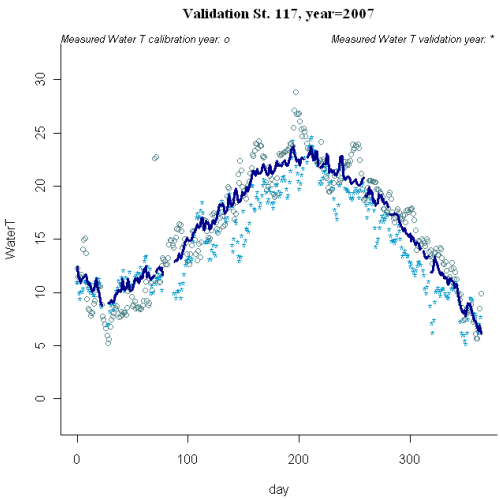
Figura A4-121 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “112”

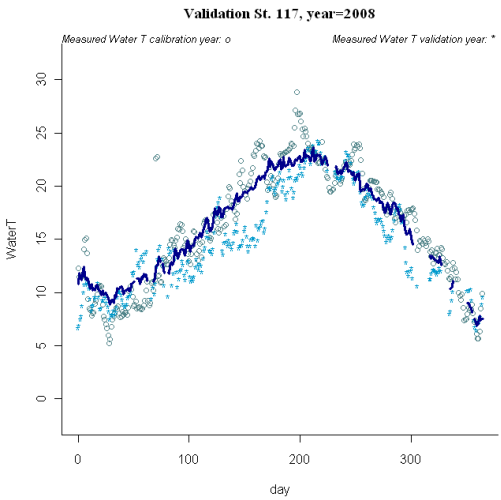

Validation St. 117, year=2002
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 117, year=2003
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 117, year=2004
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 117, year=2005
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 117, year=2007
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 117, year=2008
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day

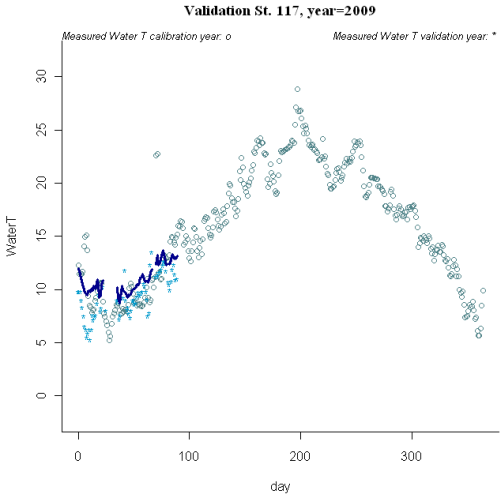
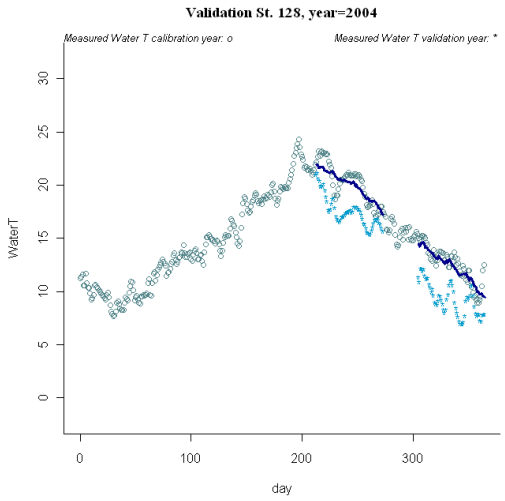
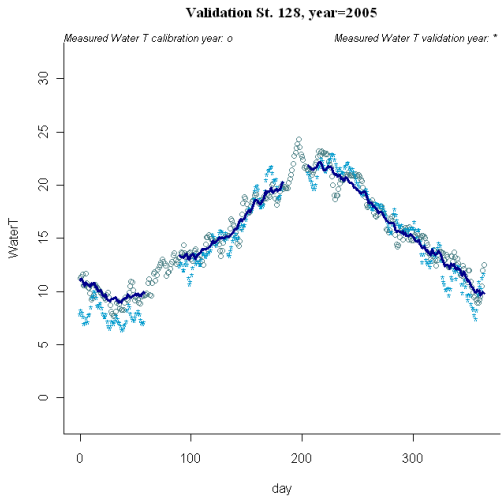


Figura A4-122 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “117”

A4-3.18 Tipo 31 “Pequeños ejes cántabro-atlánticos silíceos”





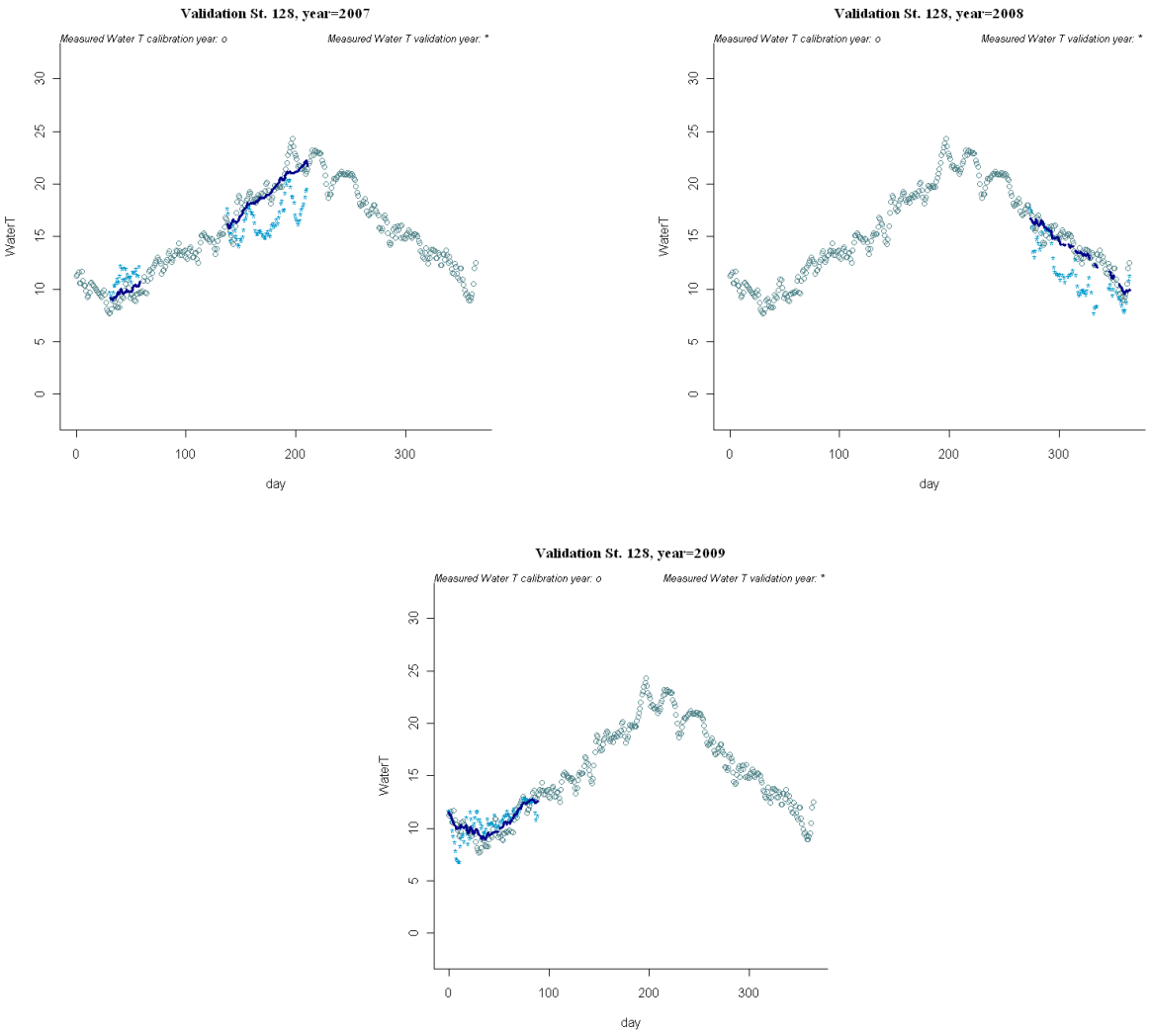
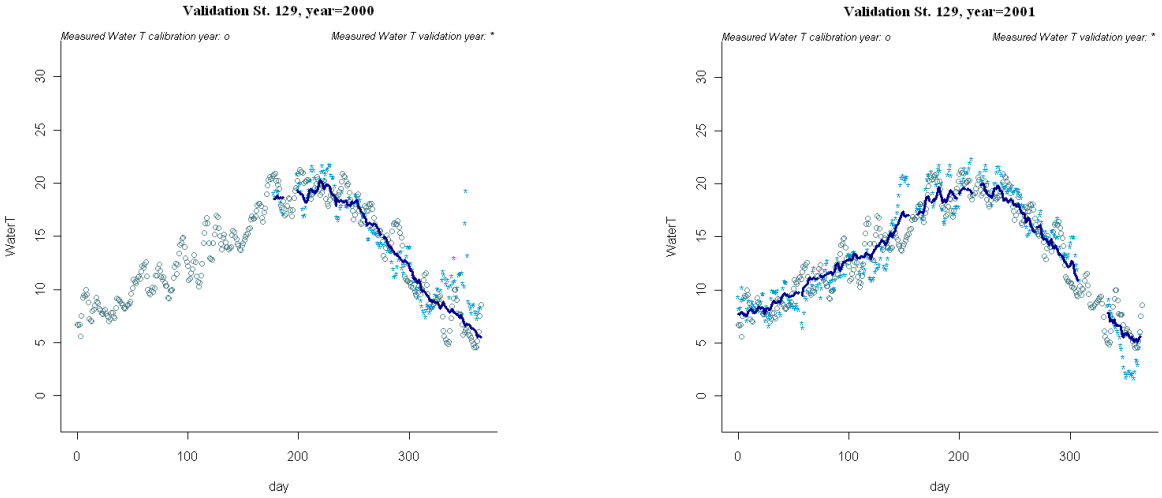
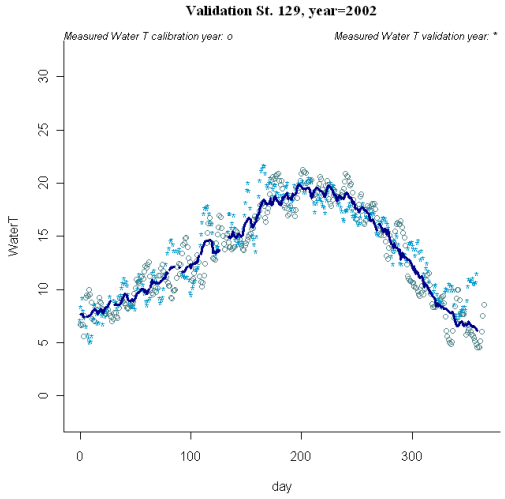
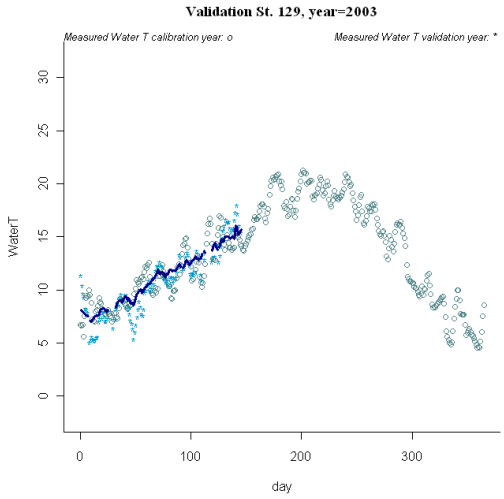
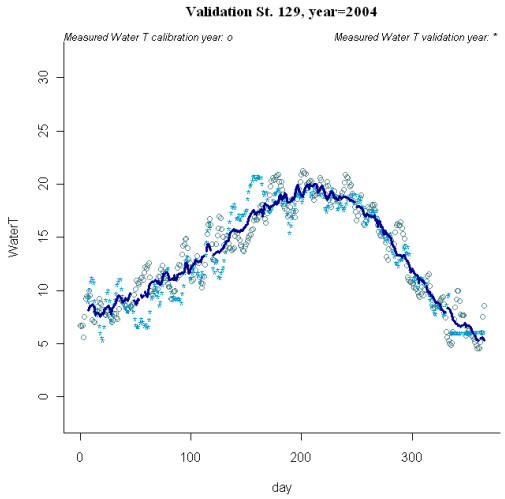


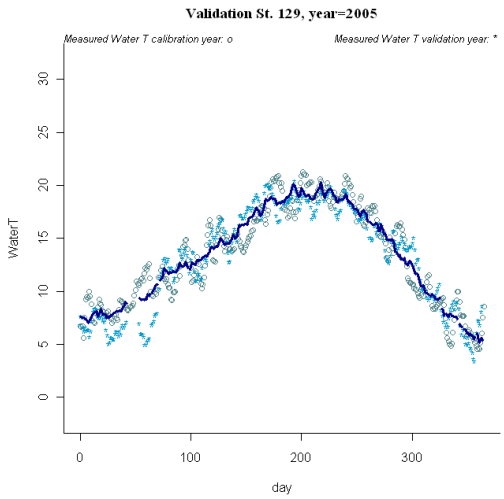
Figura A4-123 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “128”

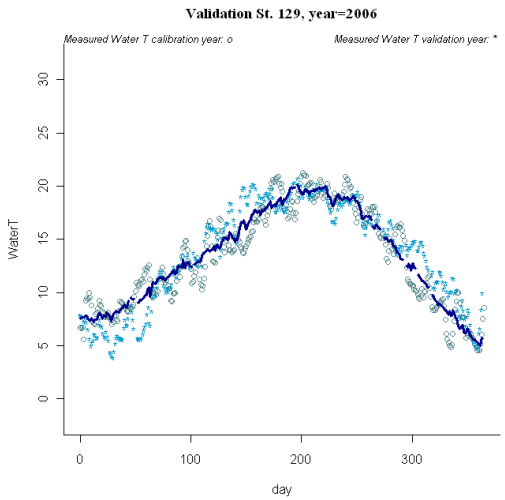


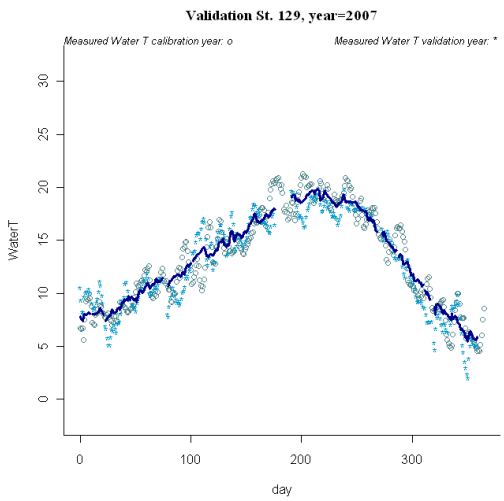

Validation St. 129, year=2002
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 129, year=2003
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 129, year=2004
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 129, year=2005
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 129, year=2006
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 129, year=2007
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day

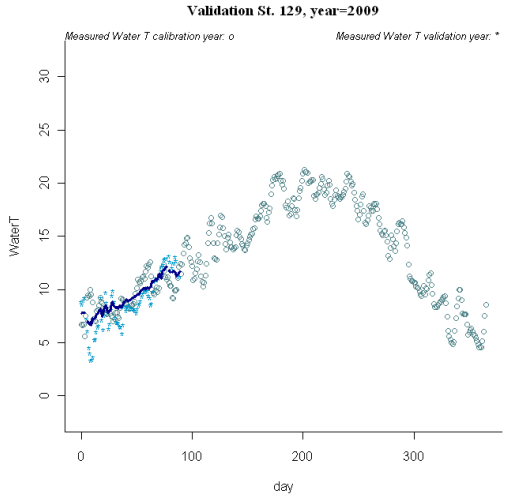
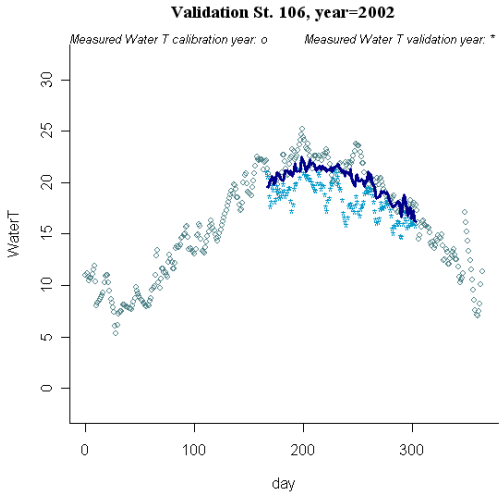
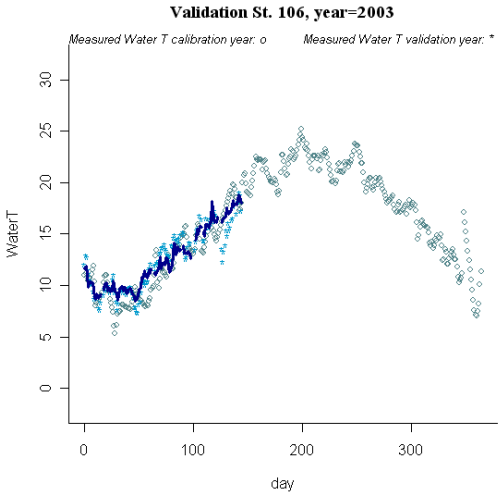


Figura A4-124 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “129”

A4-3.19 Tipo 32 “Pequeños ejes cántabro-atlánticos calcáreos”





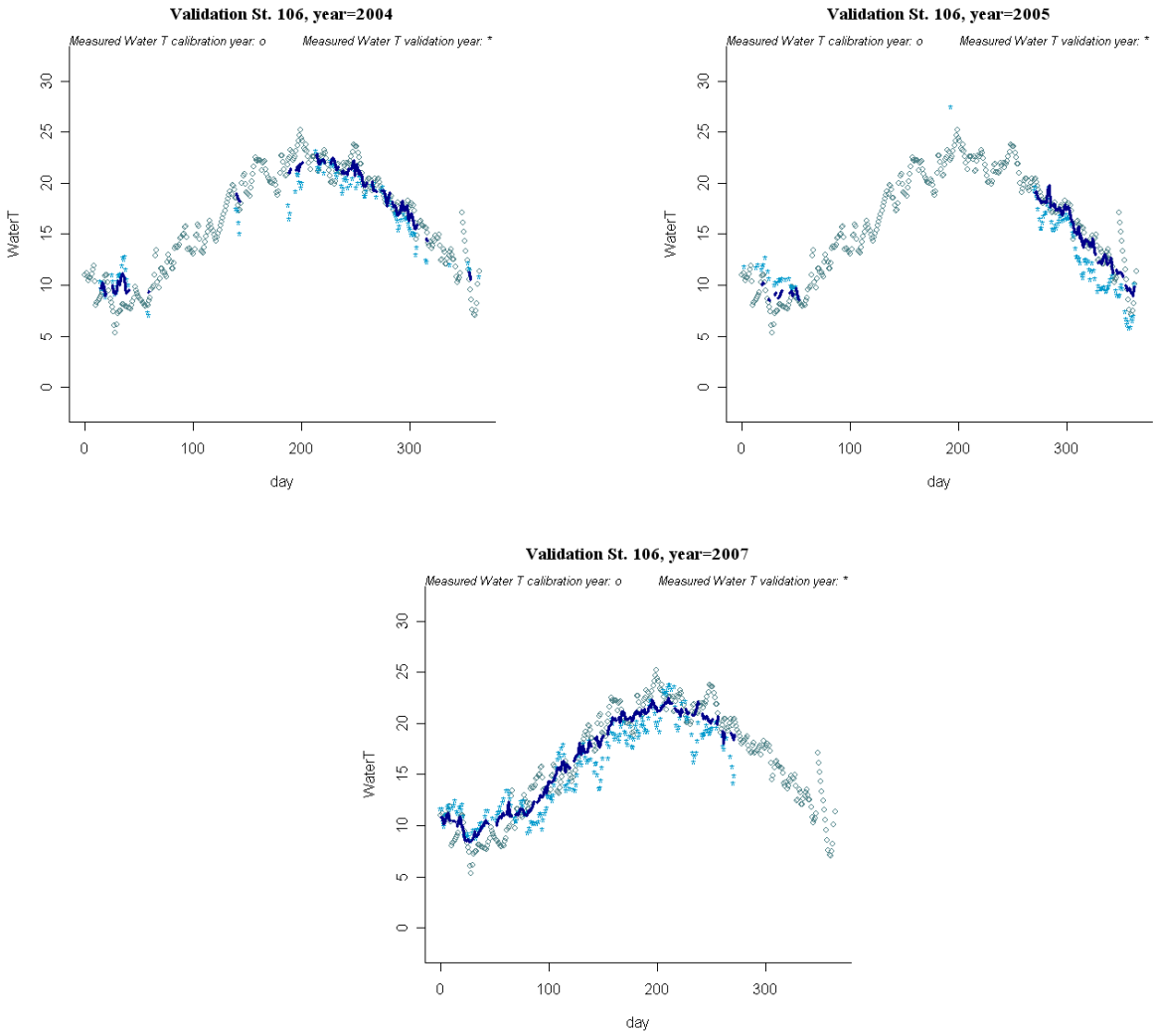
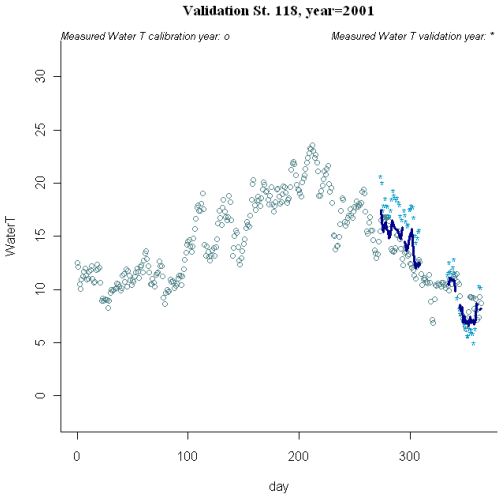
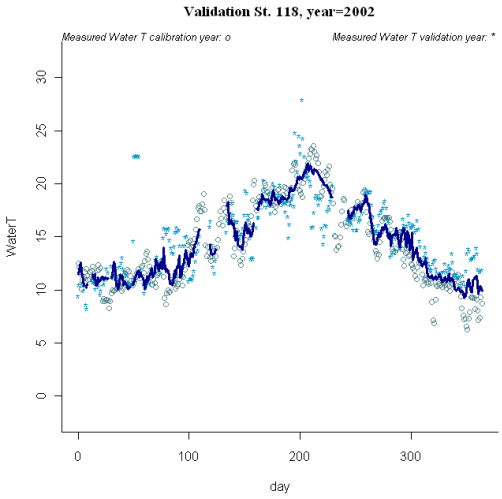
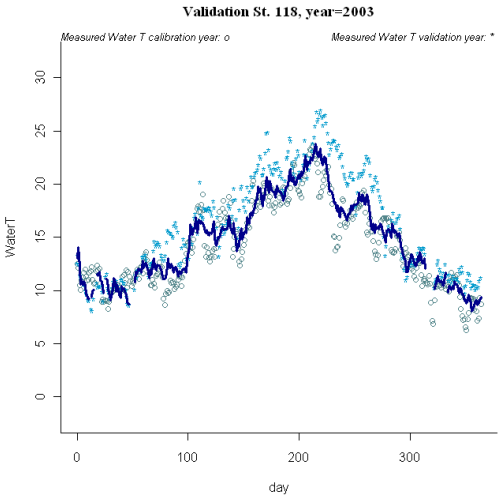
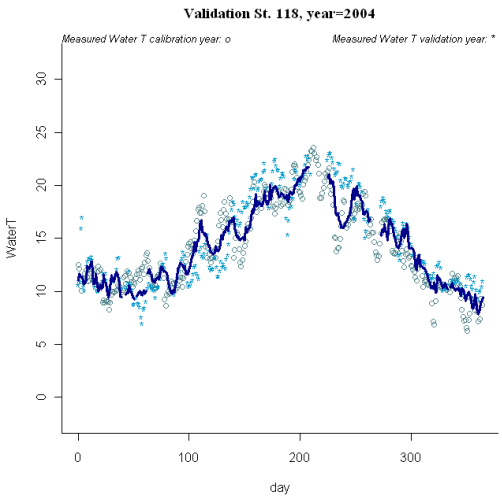


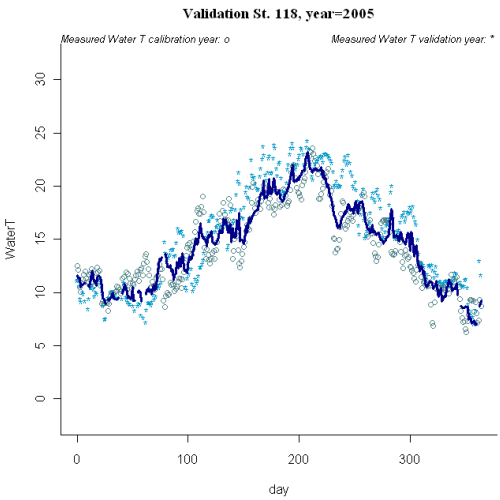
Figura A4-125 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “106”

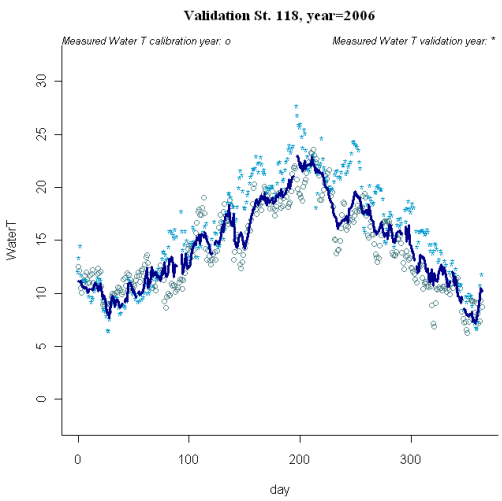

Validation St. 118, year=2001
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 118, year=2002
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 118, year=2003
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 118, year=2004
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 118, year=2005
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day


Validation St. 118, year=2006
Measured Water T calibration year: o
Measured Water T validation year: *
WaterT
day

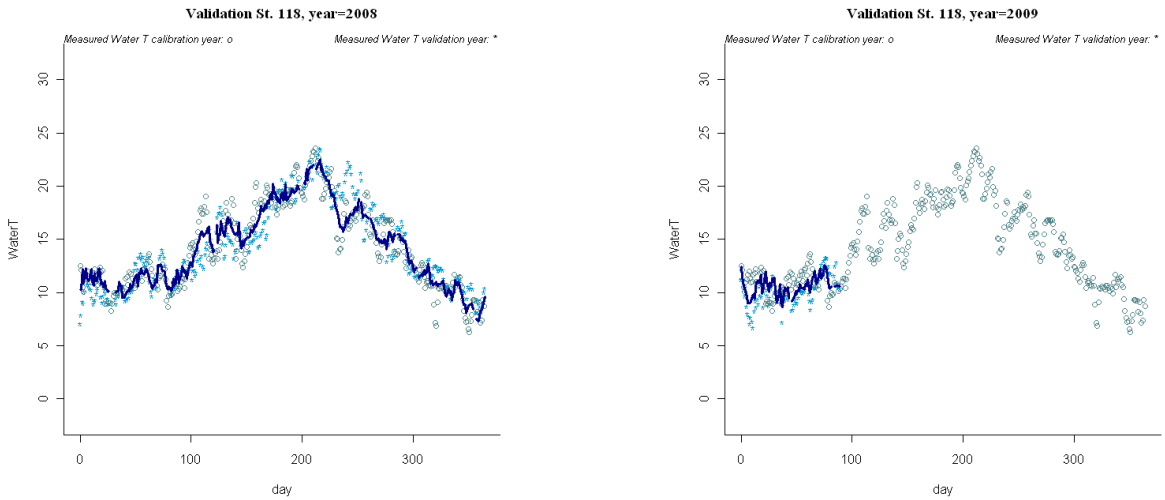
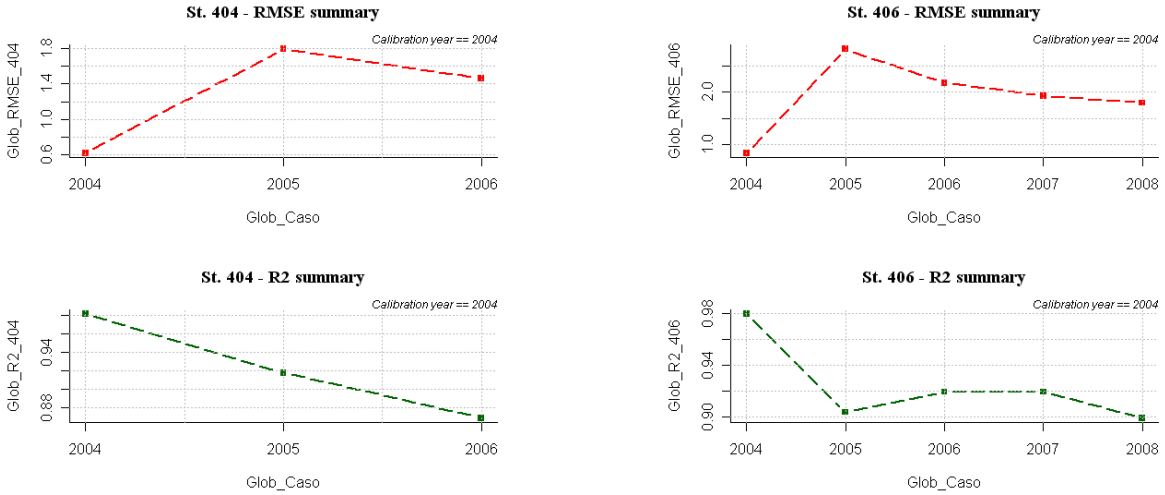


Figura A4-126 Gráficas de los años de validación de la temperatura del agua para la estación SAICA “118”

A4-4 CURVAS DEL ERROR CUADRÁTICO MEDIO Y DEL COEFICIENTE DE REGRESIÓN

A4-4.1 Tipo 1 “Ríos de llanuras silíceas del Tajo y Guadiana”



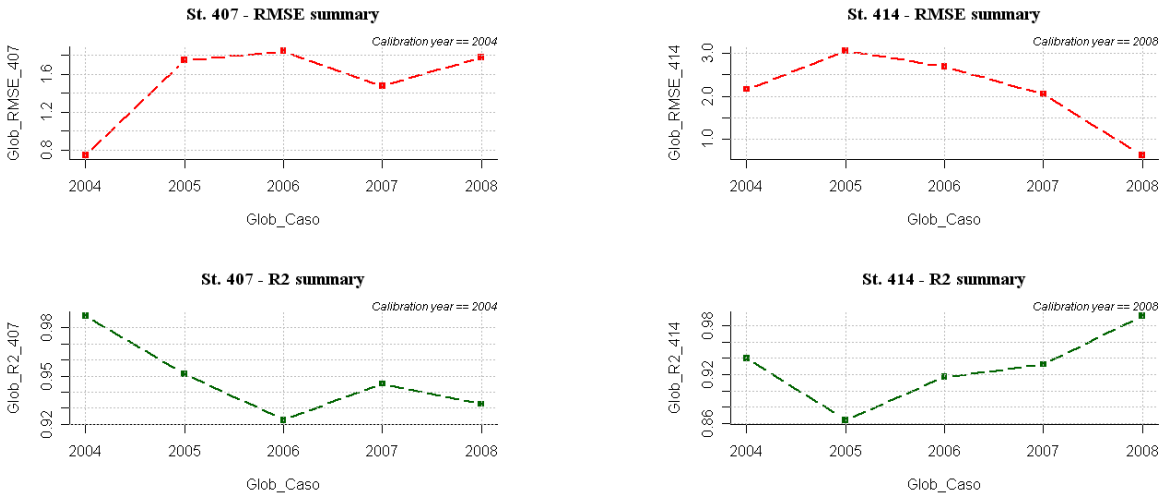


Figura A4-127 Error cuadrático medio (RMSE) y coeficiente de regresión (R2) para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 1 “Ríos de llanuras silíceas del Tajo y Guadiana”

A4-4.2 Tipo 2 “Ríos de la depresión del Guadalquivir”

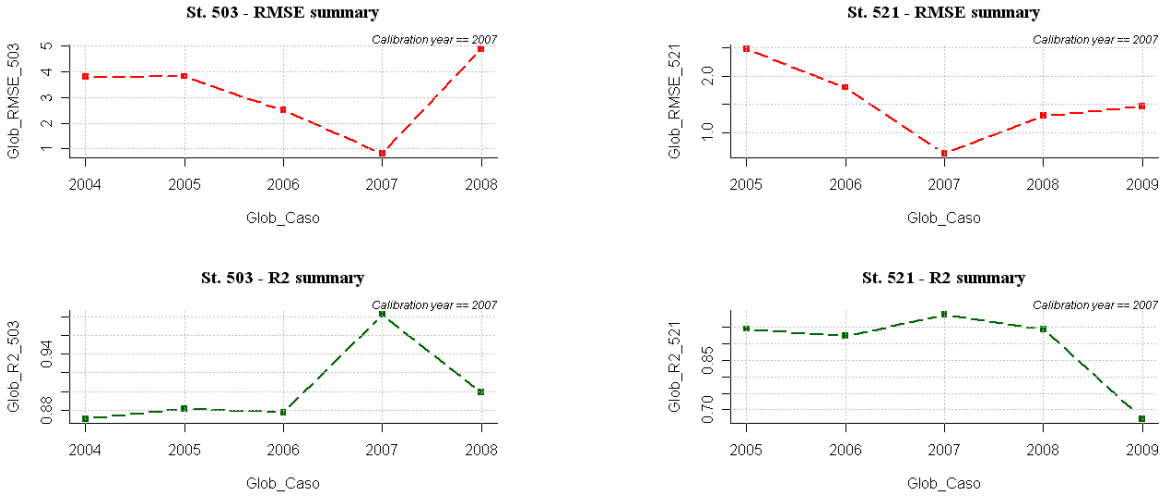


Figura A4-128 Error cuadrático medio (RMSE) y coeficiente de regresión (R2) para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 2 “Ríos de la depresión del Guadalquivir”

A4-4.3 Tipo 4 "Ríos mineralizados de la Meseta Norte"

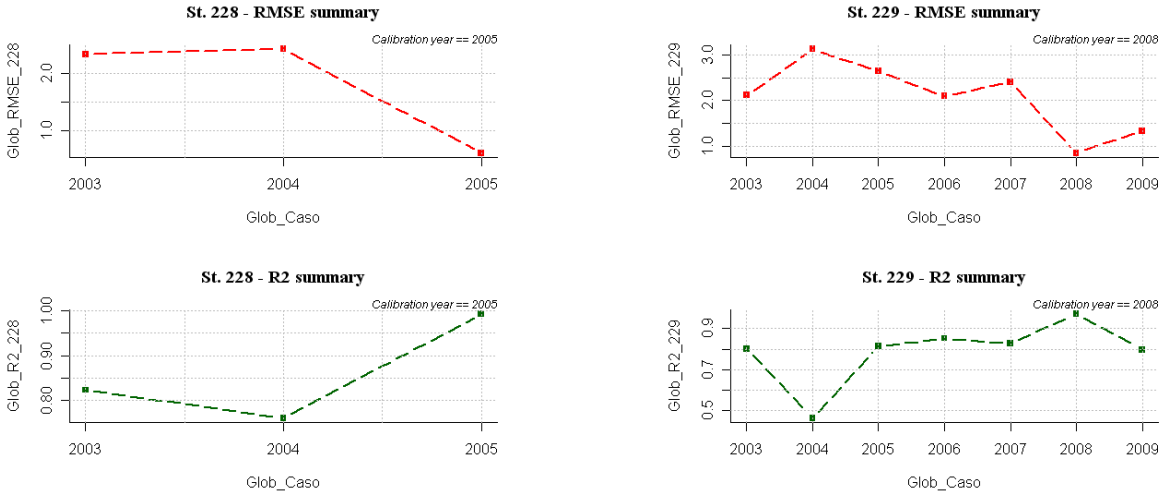


Figura A4-129 Error cuadrático medio (RMSE) y coeficiente de regresión (R2) para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 4 "Ríos mineralizados de la Meseta Norte"

A4-4.4 Tipo 6 "Ríos silíceos del piedemonte de Sierra Morena"

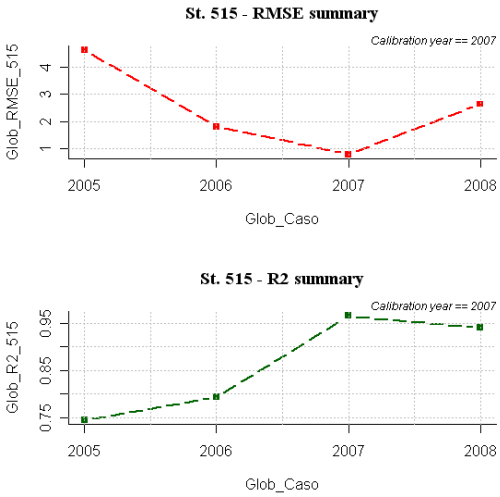


Figura A4-130 Error cuadrático medio (RMSE) y coeficiente de regresión (R2) para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 6 "Ríos silíceos del piedemonte de Sierra Morena"

A4-4.5 Tipo 7 "Ríos mineralizados mediterráneos de baja altitud"

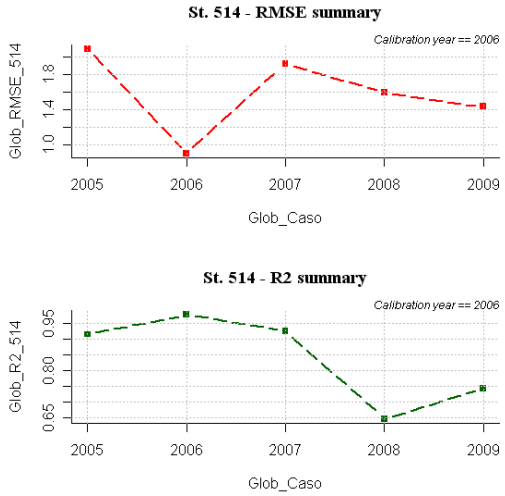
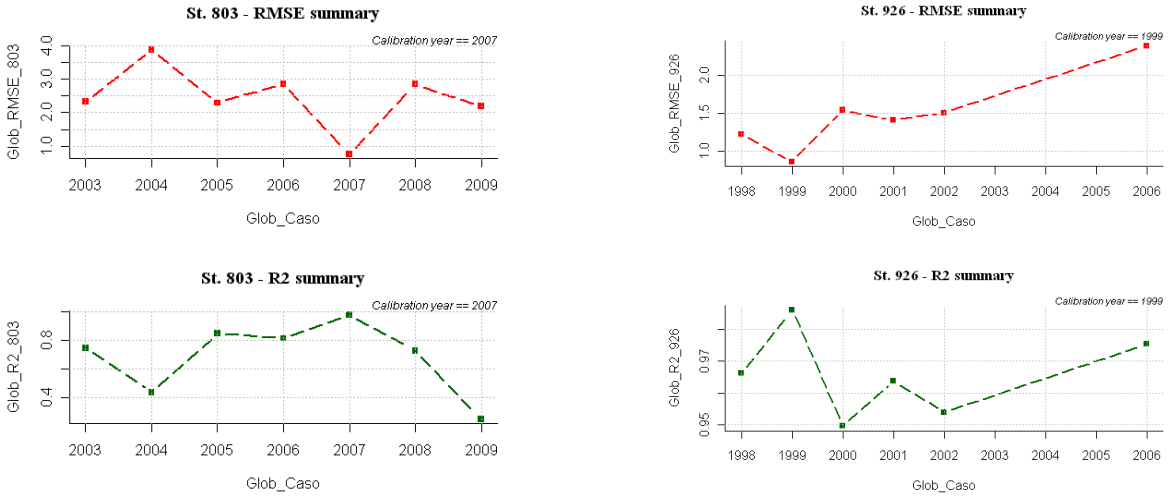


Figura A4-131 Error cuadrático medio (RMSE) y coeficiente de regresión (R2) para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 7 "Ríos mediterráneos de baja altitud"

A4-4.6 Tipo 9 "Ríos mineralizados de la baja montaña mediterránea"



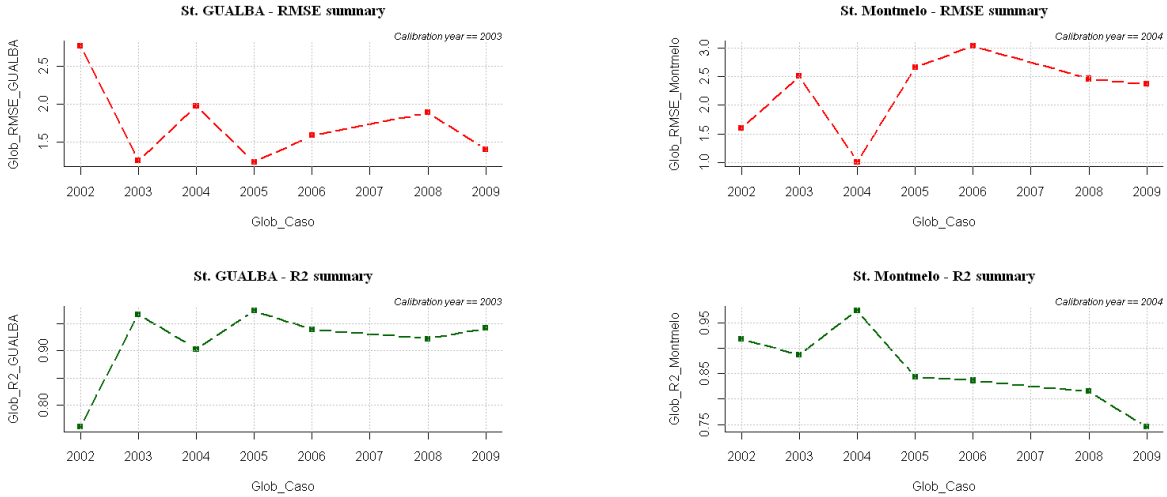


Figura A4-132 Error cuadrático medio (RMSE) y coeficiente de regresión (R2) para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 9 “Ríos mineralizados de la baja montaña mediterránea”

A4-4.7 Tipo 10 “Ríos mediterráneos con influencia cárstica”

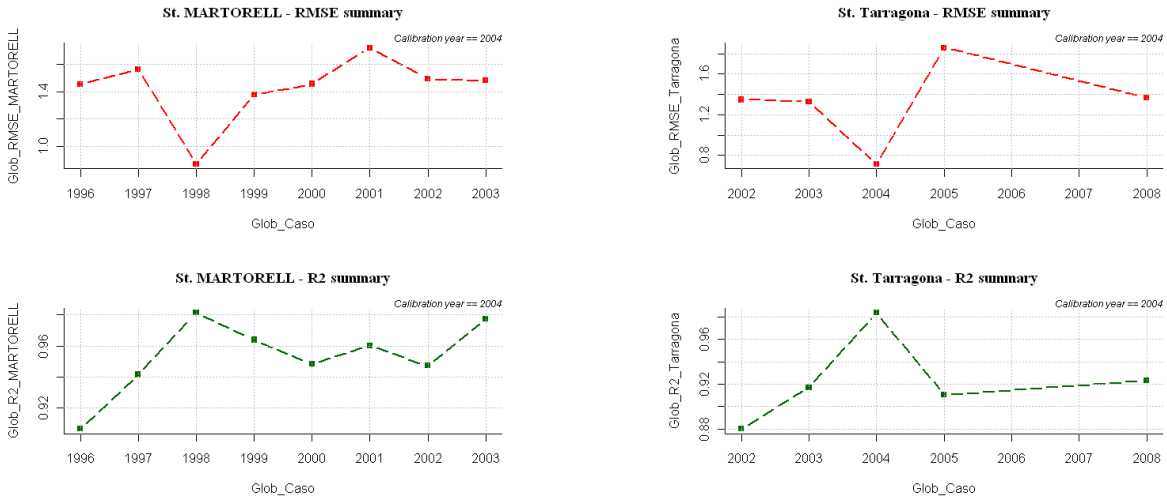
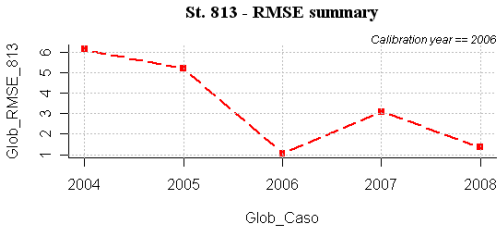
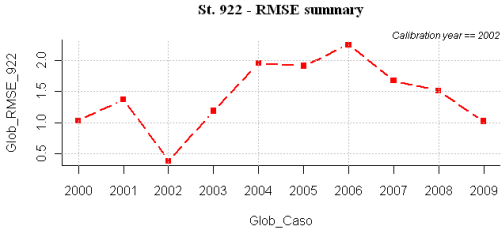
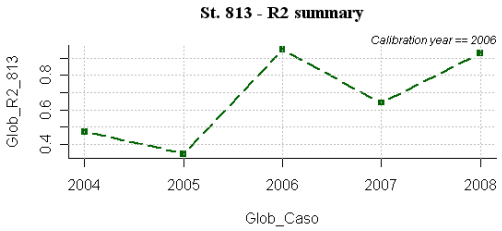


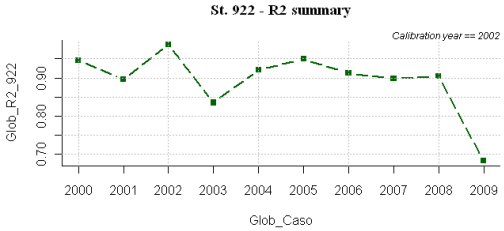
Figura A4-133 Error cuadrático medio (RMSE) y coeficiente de regresión (R2) para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 10 “Ríos mediterráneos con influencia cárstica”

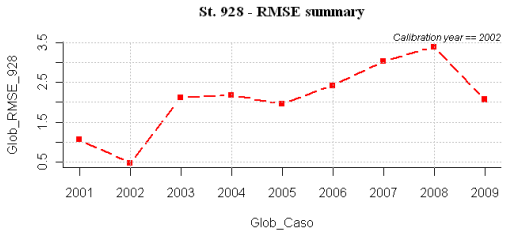
A4-4.8 Tipo 12 "Ríos de montaña mediterráneos calcárea"

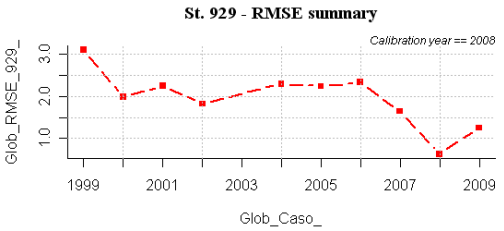


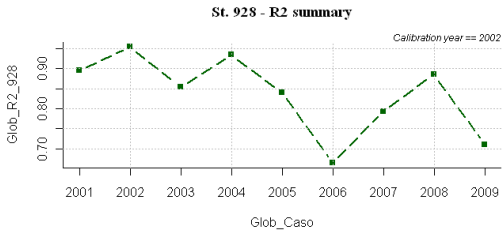


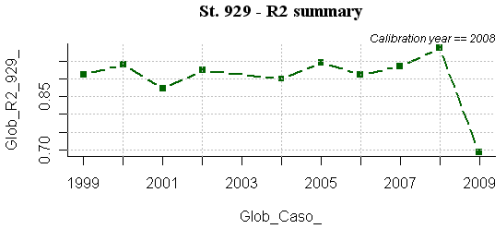


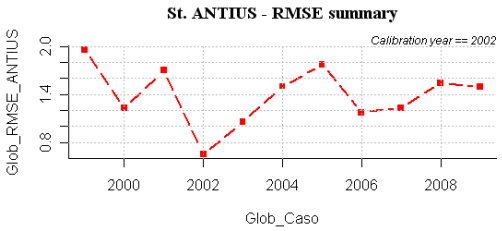


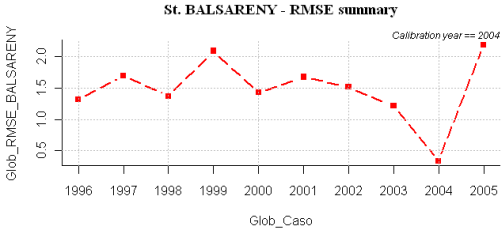


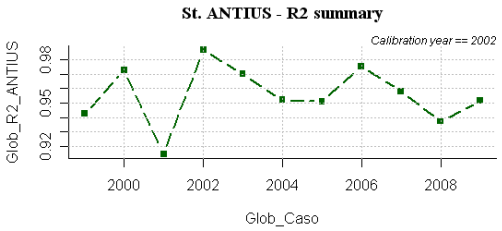


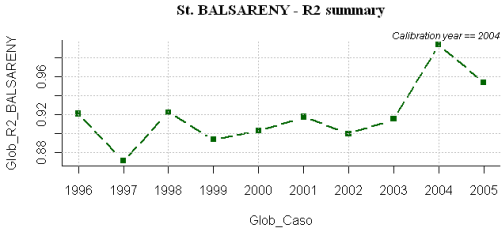












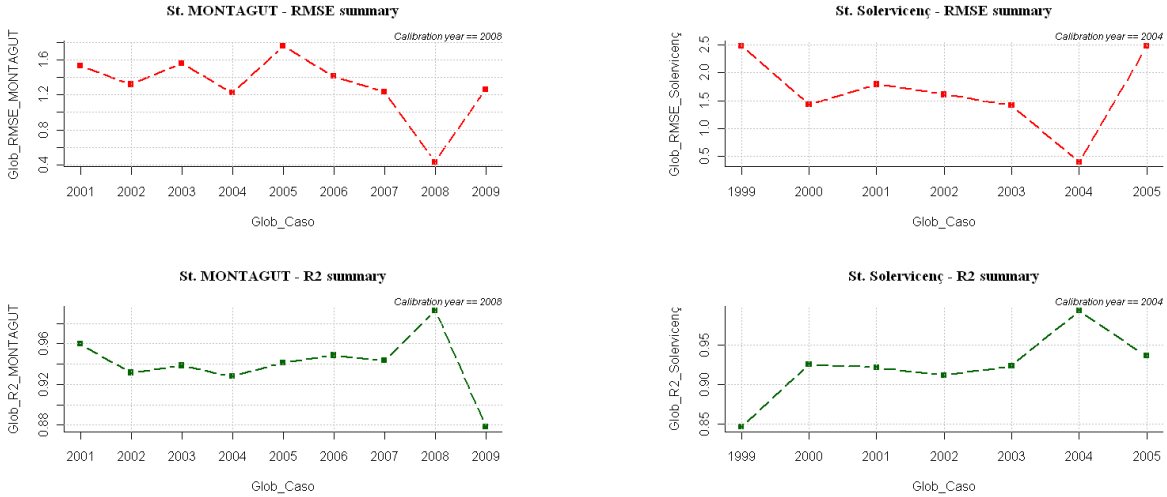
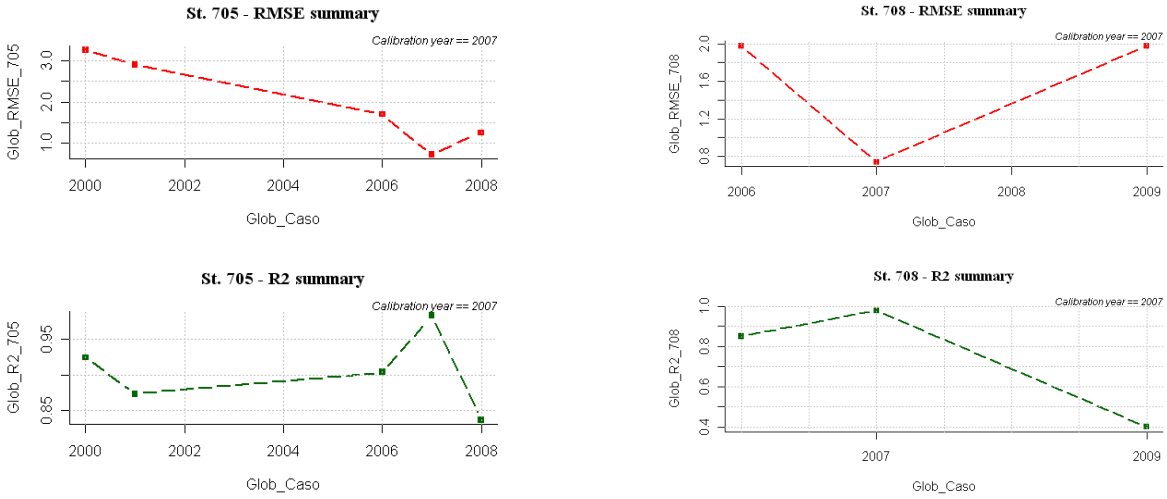


Figura A4-134 Error cuadrático medio (RMSE) y coeficiente de regresión (R2) para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 12 “Ríos de montaña mediterránea calcárea”

A4-4.9 Tipo 14 “Ejes mediterráneos de baja altitud”



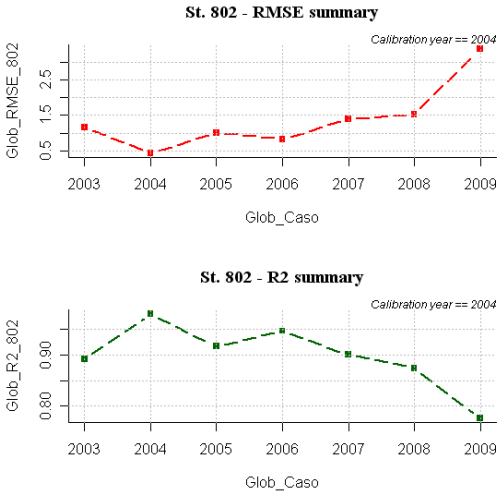
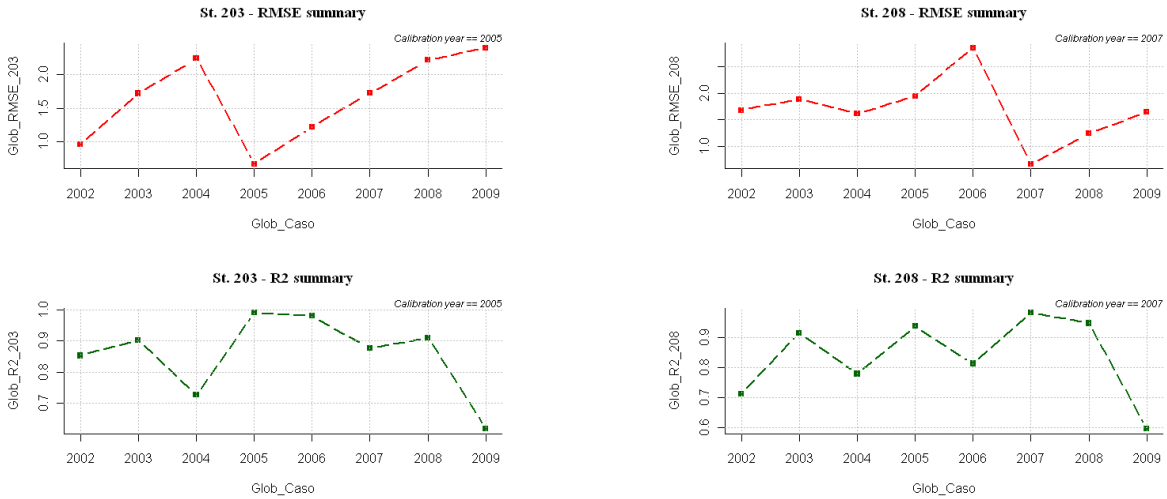
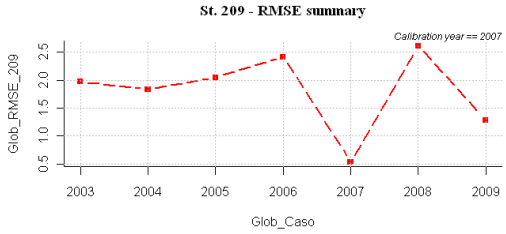
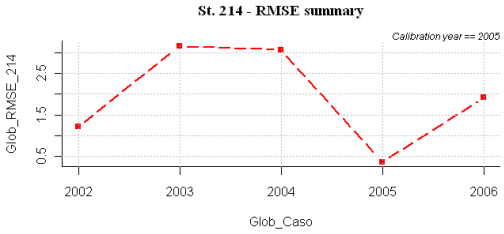


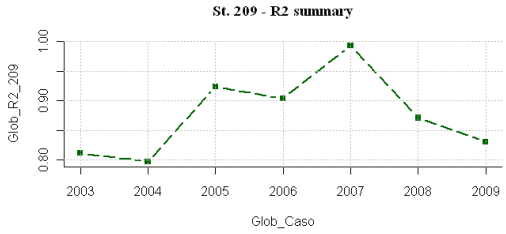
Figura A4-135 Error cuadrático medio (RMSE) y coeficiente de regresión (R2) para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 14 “Ejes mediterráneos de baja altitud”

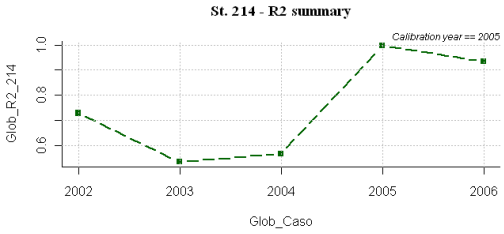
A4-4.10 Tipo 15 “Ejes mediterráneo-continentales poco mineralizados”

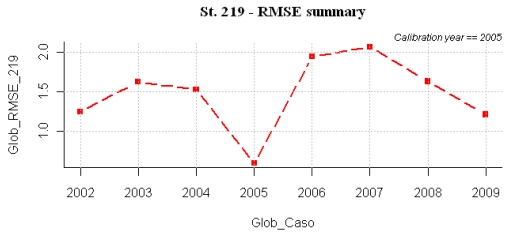


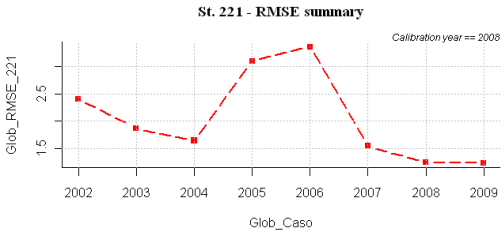

St. 209 - RMSE summary
Calibration year == 2007
Glob_RMSE_209
Glob_Caso

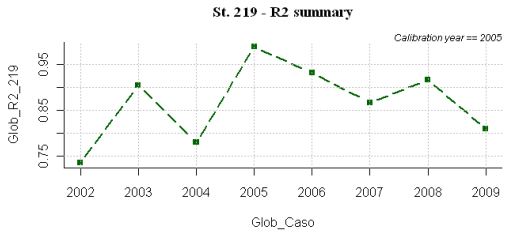

St. 214 - RMSE summary
Calibration year == 2005
Glob_RMSE_214
Glob_Caso

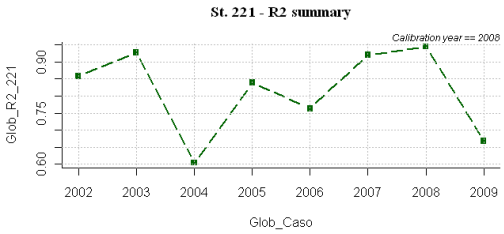

St. 209 - R2 summary
Glob_R2_209
Glob_Caso

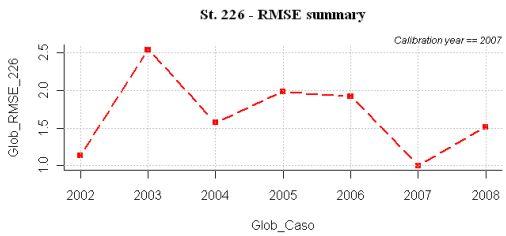

St. 214 - R2 summary
Calibration year == 2005
Glob_R2_214
Glob_Caso

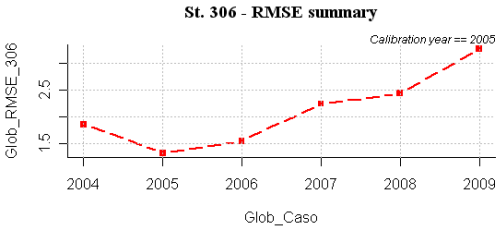

St. 219 - RMSE summary
Calibration year == 2005
Glob_RMSE_219
Glob_Caso

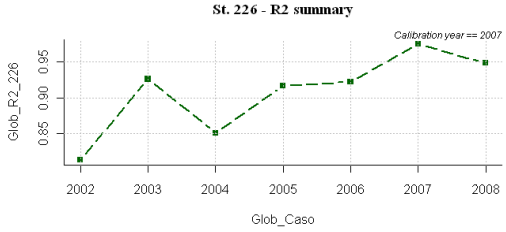

St. 221 - RMSE summary
Calibration year == 2008
Glob_RMSE_221
Glob_Caso

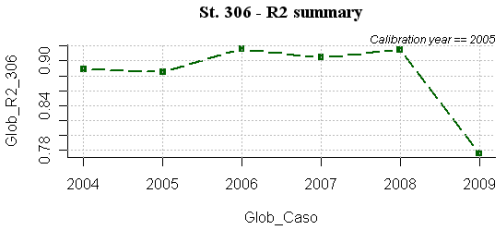

St. 219 - R2 summary
Calibration year == 2005
Glob_R2_219
Glob_Caso

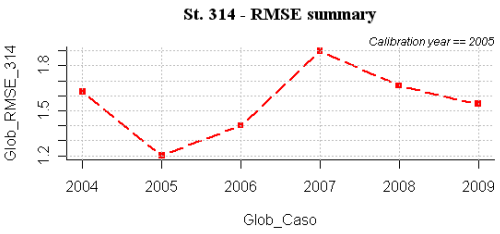

St. 221 - R2 summary
Calibration year == 2008
Glob_R2_221
Glob_Caso

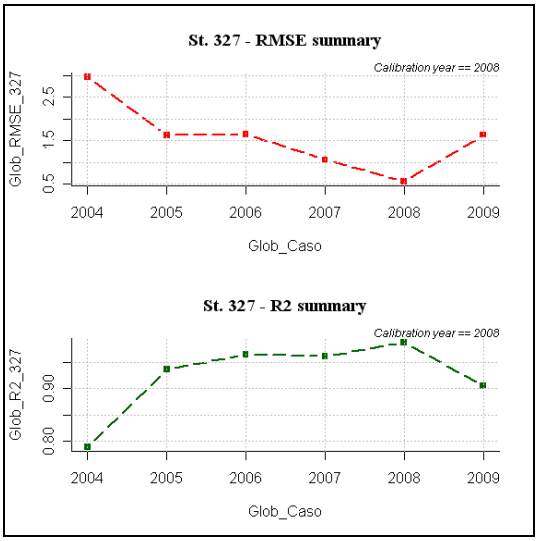

St. 226 - RMSE summary
Calibration year == 2007
Glob_RMSE_226
Glob_Caso

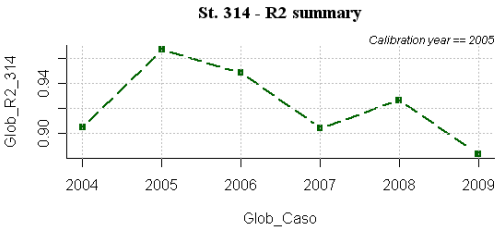

St. 306 - RMSE summary
Calibration year == 2005
Glob_RMSE_306
Glob_Caso

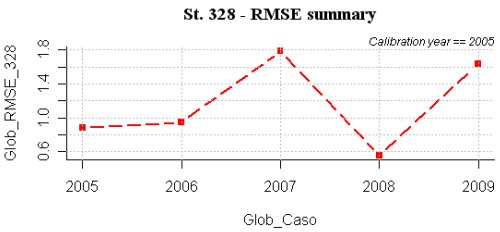

St. 226 - R2 summary
Calibration year == 2007
Glob_R2_226
Glob_Caso

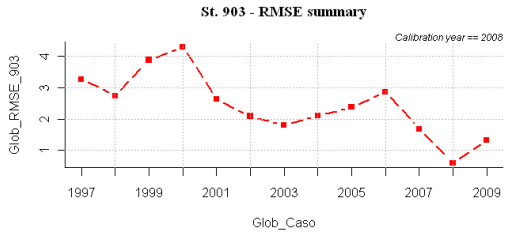

St. 306 - R2 summary
Calibration year == 2005
Glob_R2_306
Glob_Caso

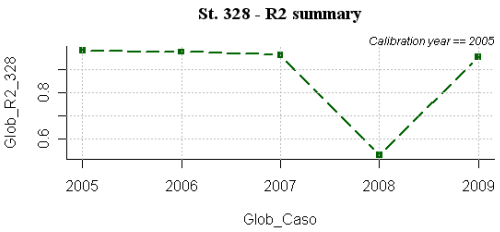

St. 314 - RMSE summary
Calibration year == 2005
Glob_RMSE_314
1.2
1.5
1.8
2004
2005
2006
2007
2008
2009
Glob_Caso

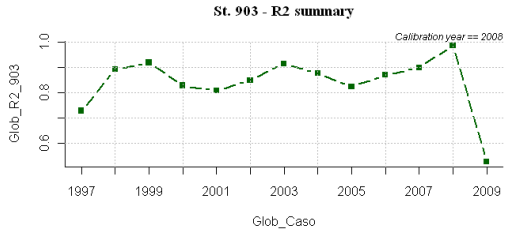

St. 327 - RMSE summary
Calibration year == 2008
Glob_RMSE_327
0.5
1.5
2.5
2004
2005
2006
2007
2008
2009
Glob_Caso
St. 327 - R2 summary
Calibration year == 2008
Glob_R2_327
0.80
0.90
2004
2005
2006
2007
2008
2009
Glob_Caso

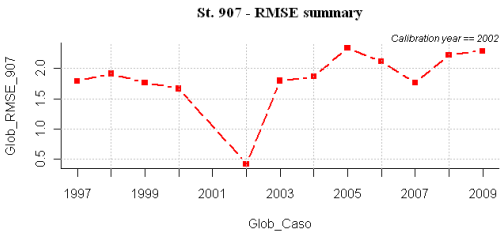

St. 314 - R2 summary
Calibration year == 2005
Glob_R2_314
0.90
0.94
2004
2005
2006
2007
2008
2009
Glob_Caso

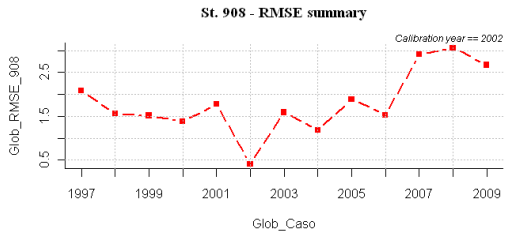

St. 328 - RMSE summary
Calibration year == 2005
Glob_RMSE_328
0.6
1.0
1.4
1.8
2005
2006
2007
2008
2009
Glob_Caso

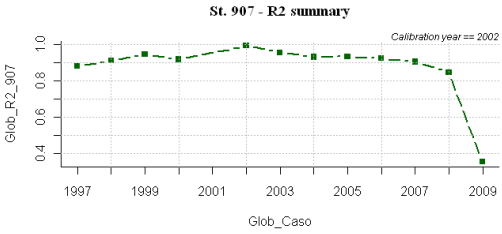

St. 903 - RMSE summary
Calibration year == 2008
Glob_RMSE_903
1
2
3
4
1997
1999
2001
2003
2005
2007
2009
Glob_Caso

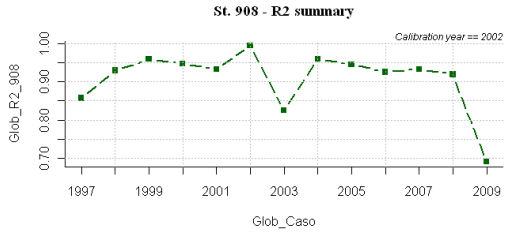

St. 328 - R2 summary
Calibration year == 2005
Glob_R2_328
0.6
0.8
2005
2006
2007
2008
2009
Glob_Caso


St. 903 - R2 summary
Calibration year == 2008
Glob_R2_903
0.6
0.8
1.0
1997
1999
2001
2003
2005
2007
2009
Glob_Caso


St. 907 - RMSE summary
Calibration year == 2002
Glob_RMSE_907
0.5
1.0
1.5
2.0
1997
1999
2001
2003
2005
2007
2009
Glob_Caso


St. 908 - RMSE summary
Calibration year == 2002
Glob_RMSE_908
0.5
1.5
2.5
1997
1999
2001
2003
2005
2007
2009
Glob_Caso


St. 907 - R2 summary
Calibration year == 2002
Glob_R2_907
0.4
0.6
0.8
1.0
1997
1999
2001
2003
2005
2007
2009
Glob_Caso


St. 908 - R2 summary
Calibration year == 2002
Glob_R2_908
0.70
0.80
0.90
1.00
1997
1999
2001
2003
2005
2007
2009
Glob_Caso

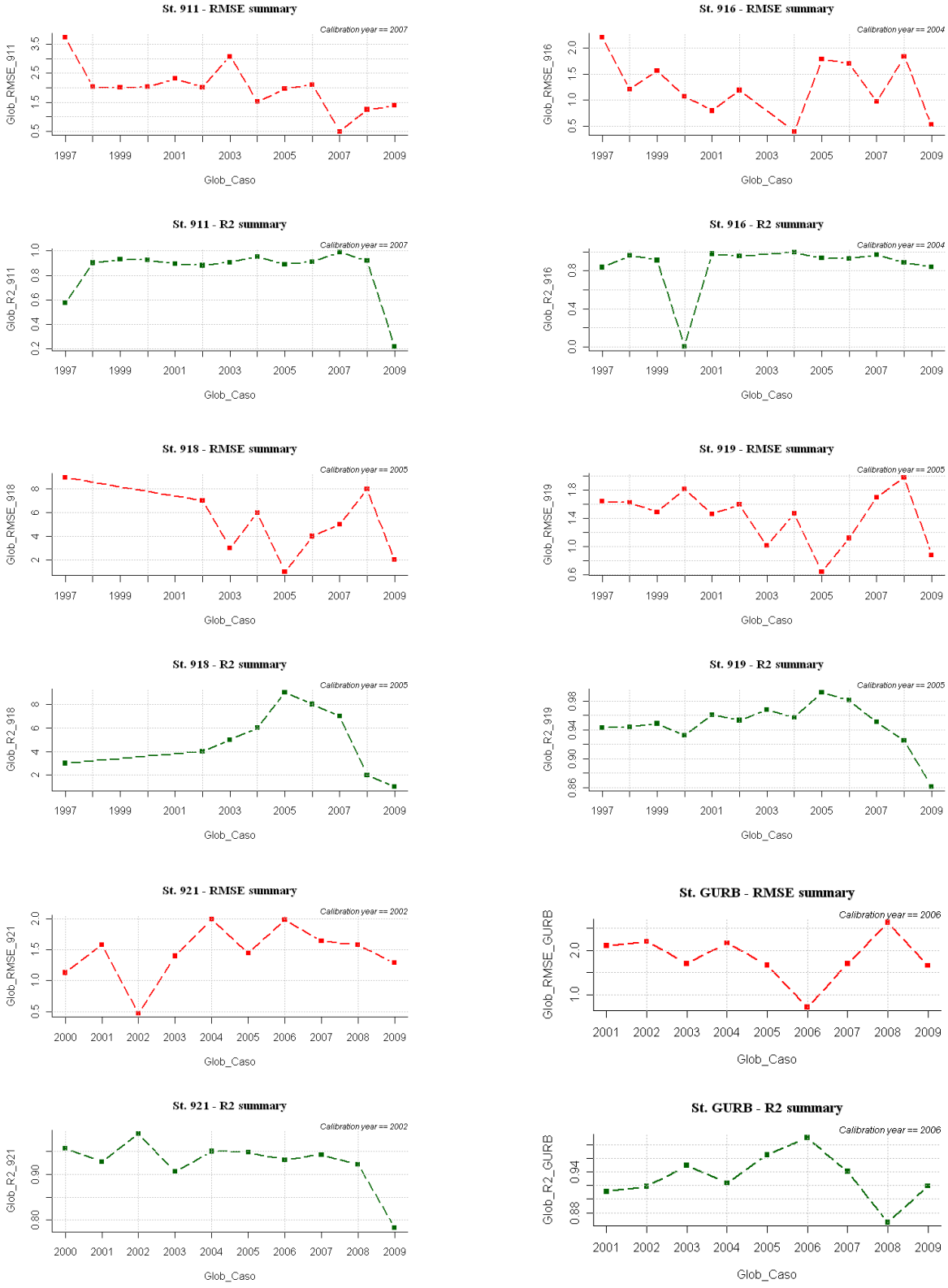
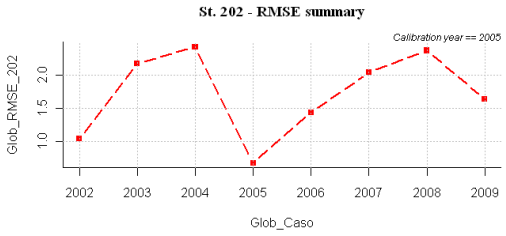
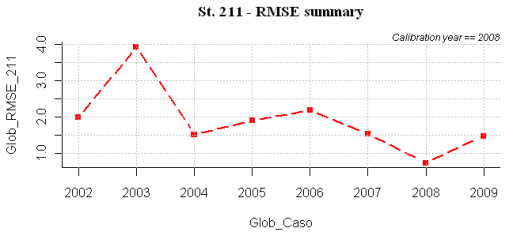
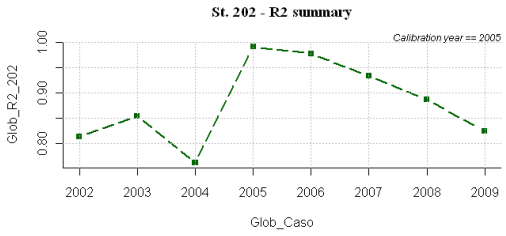


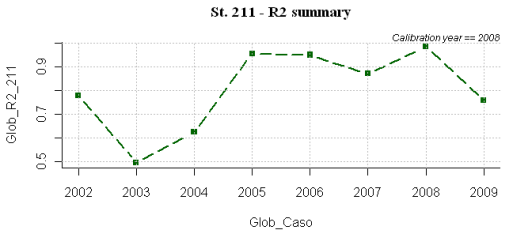
Figura A4-136 Error cuadrático medio (RMSE) y coeficiente de regresión (R2) para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 15 “Ejes mediterráneo-continentales poco mineralizados”

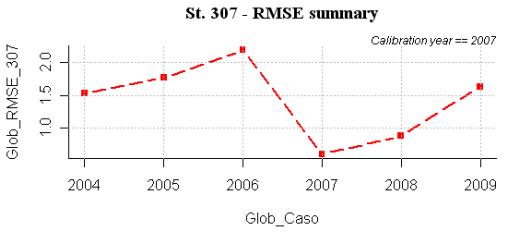
A4-4.11 Tipo 16 “Ejes mediterráneos-continentales mineralizados”

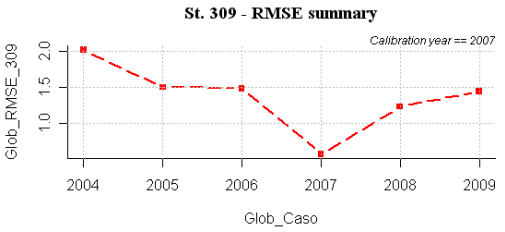


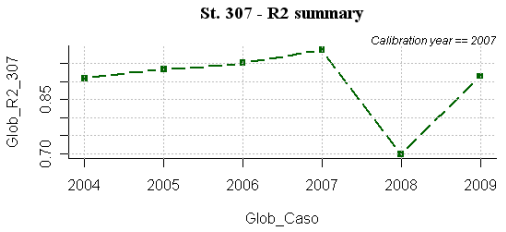


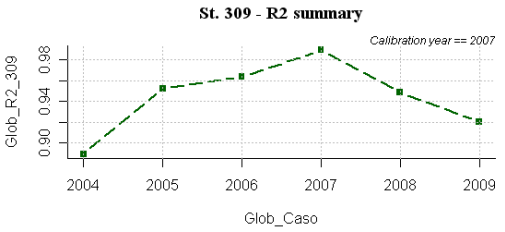


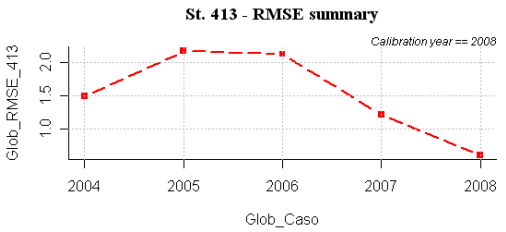


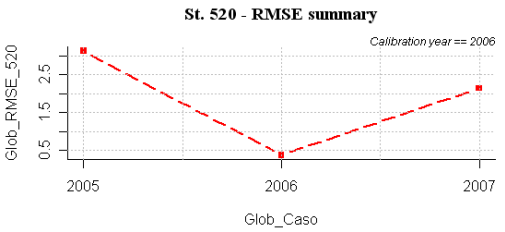


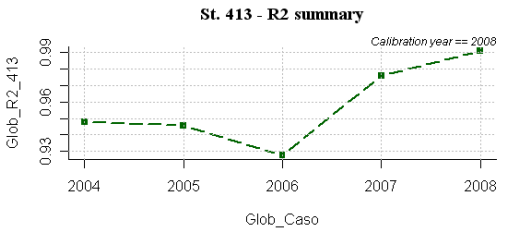


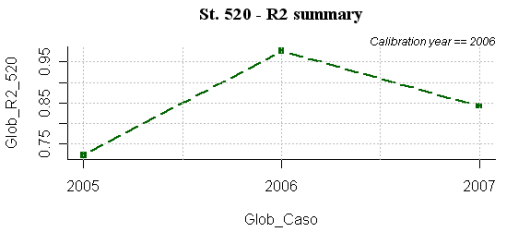












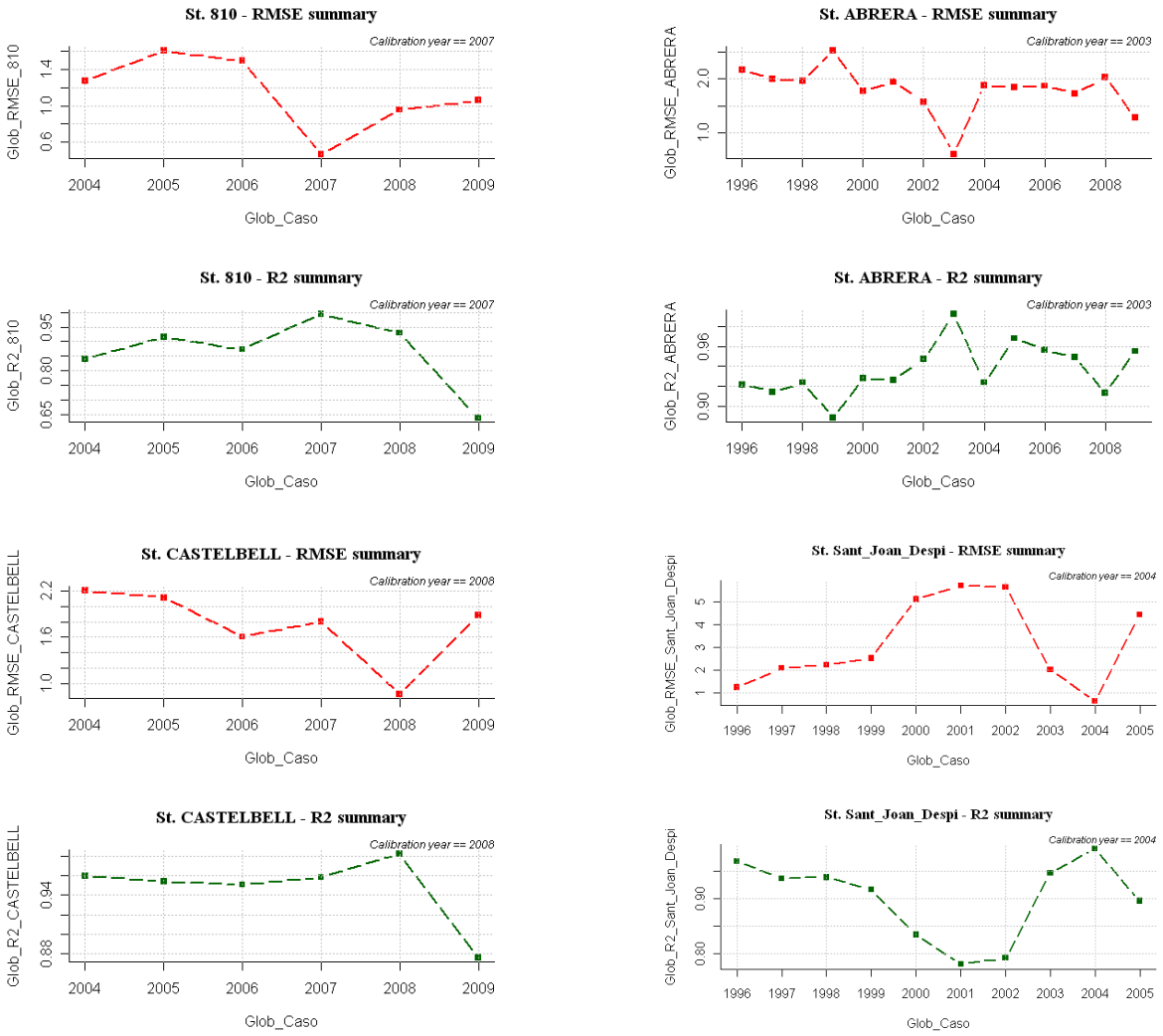
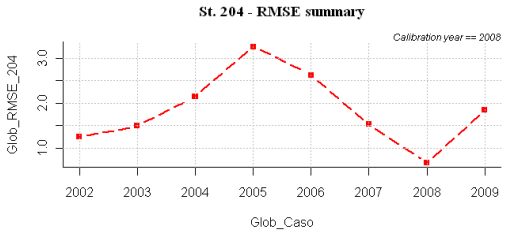
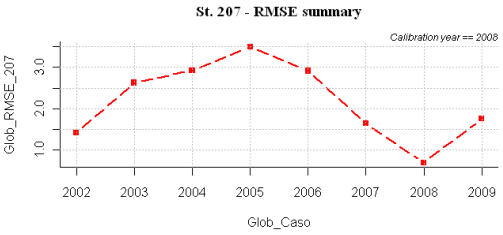
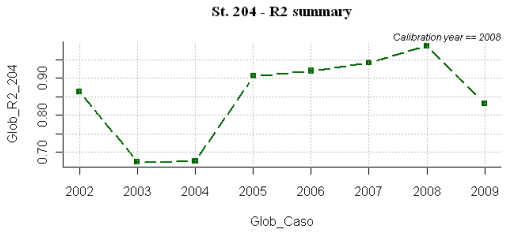


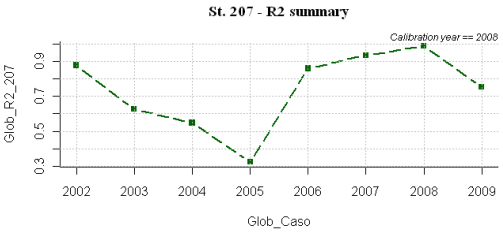
Figura A4-137 Error cuadrático medio (RMSE) y coeficiente de regresión (R2) para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 16 “Ejes mediterráneo-continentales mineralizados”

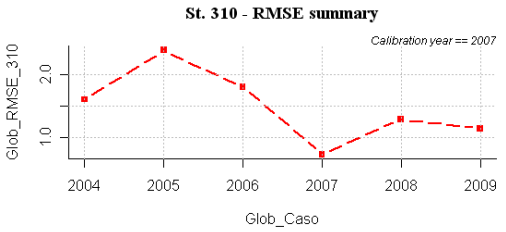
A4-4.12 Tipo 17 “Grandes ejes en ambiente mediterráneo”

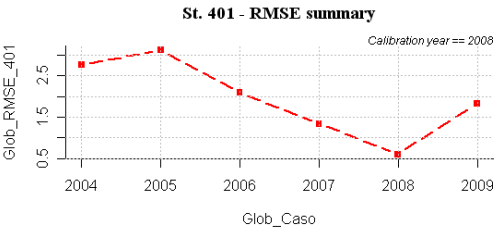


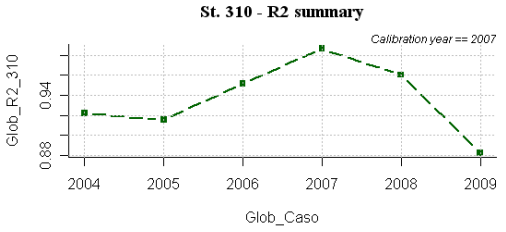


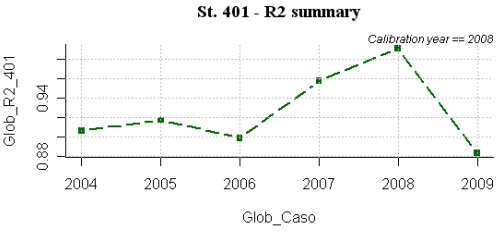


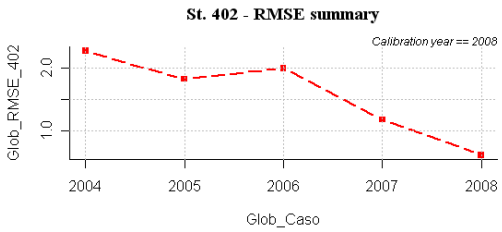


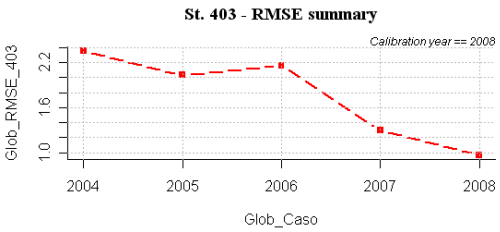


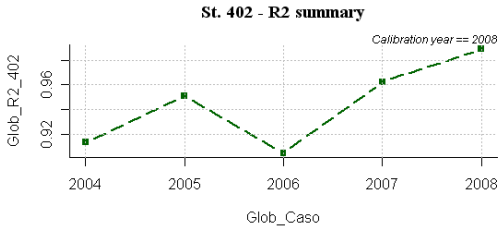


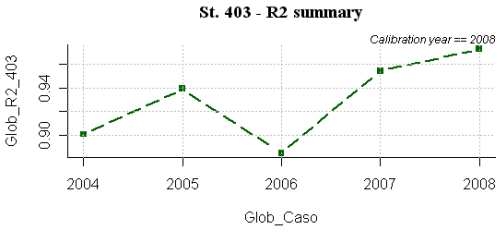


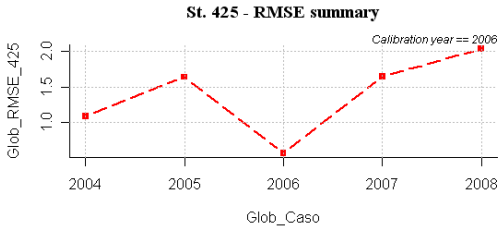


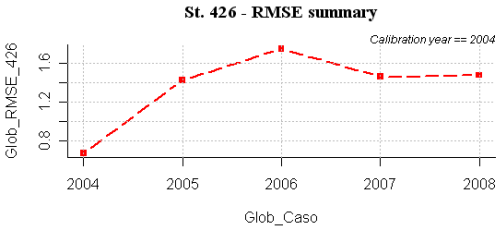

St. 402 - RMSE summary
Calibration year == 2008
Glob_RMSE_402
1.0
2.0
2004
2005
2006
2007
2008
Glob_Caso

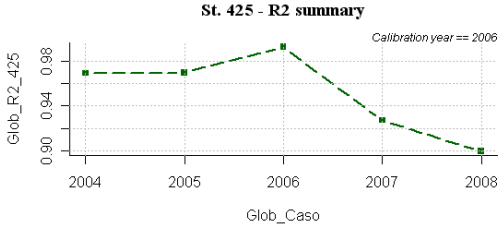

St. 403 - RMSE summary
Calibration year == 2008
Glob_RMSE_403
1.0
1.6
2.2
2004
2005
2006
2007
2008
Glob_Caso

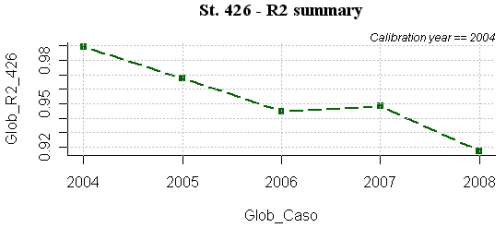

St. 402 - R2 summary
Calibration year == 2008
Glob_R2_402
0.92
0.96
2004
2005
2006
2007
2008
Glob_Caso

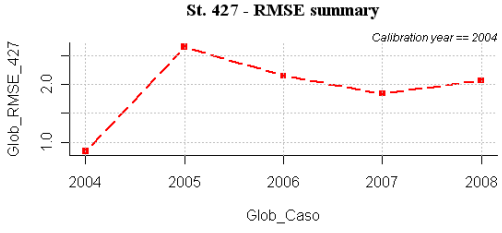

St. 403 - R2 summary
Calibration year == 2008
Glob_R2_403
0.90
0.94
2004
2005
2006
2007
2008
Glob_Caso

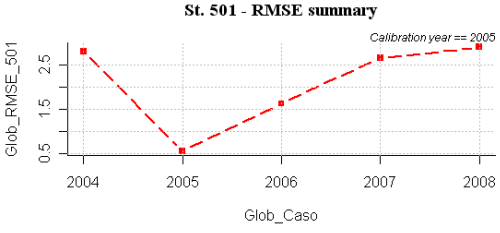

St. 425 - RMSE summary
Calibration year == 2006
Glob_RMSE_425
1.0
1.5
2.0
2004
2005
2006
2007
2008
Glob_Caso

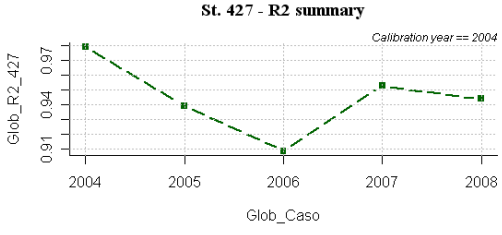

St. 426 - RMSE summary
Calibration year == 2004
Glob_RMSE_426
0.8
1.2
1.6
2004
2005
2006
2007
2008
Glob_Caso

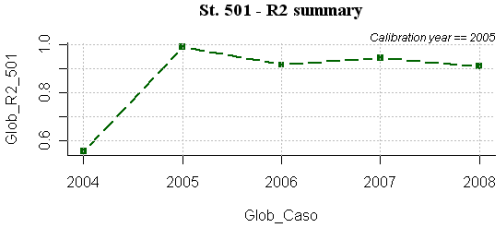

St. 425 - R2 summary
Calibration year == 2006
Glob_R2_425
0.90
0.94
0.98
2004
2005
2006
2007
2008
Glob_Caso


St. 426 - R2 summary
Calibration year == 2004
Glob_R2_426
0.92
0.95
0.98
2004
2005
2006
2007
2008
Glob_Caso


St. 427 - RMSE summary
Calibration year == 2004
Glob_RMSE_427
1.0
2.0
2004
2005
2006
2007
2008
Glob_Caso


St. 501 - RMSE summary
Calibration year == 2005
Glob_RMSE_501
0.5
1.5
2.5
2004
2005
2006
2007
2008
Glob_Caso


St. 427 - R2 summary
Calibration year == 2004
Glob_R2_427
0.91
0.94
0.97
2004
2005
2006
2007
2008
Glob_Caso


St. 501 - R2 summary
Calibration year == 2005
Glob_R2_501
0.6
0.8
1.0
2004
2005
2006
2007
2008
Glob_Caso

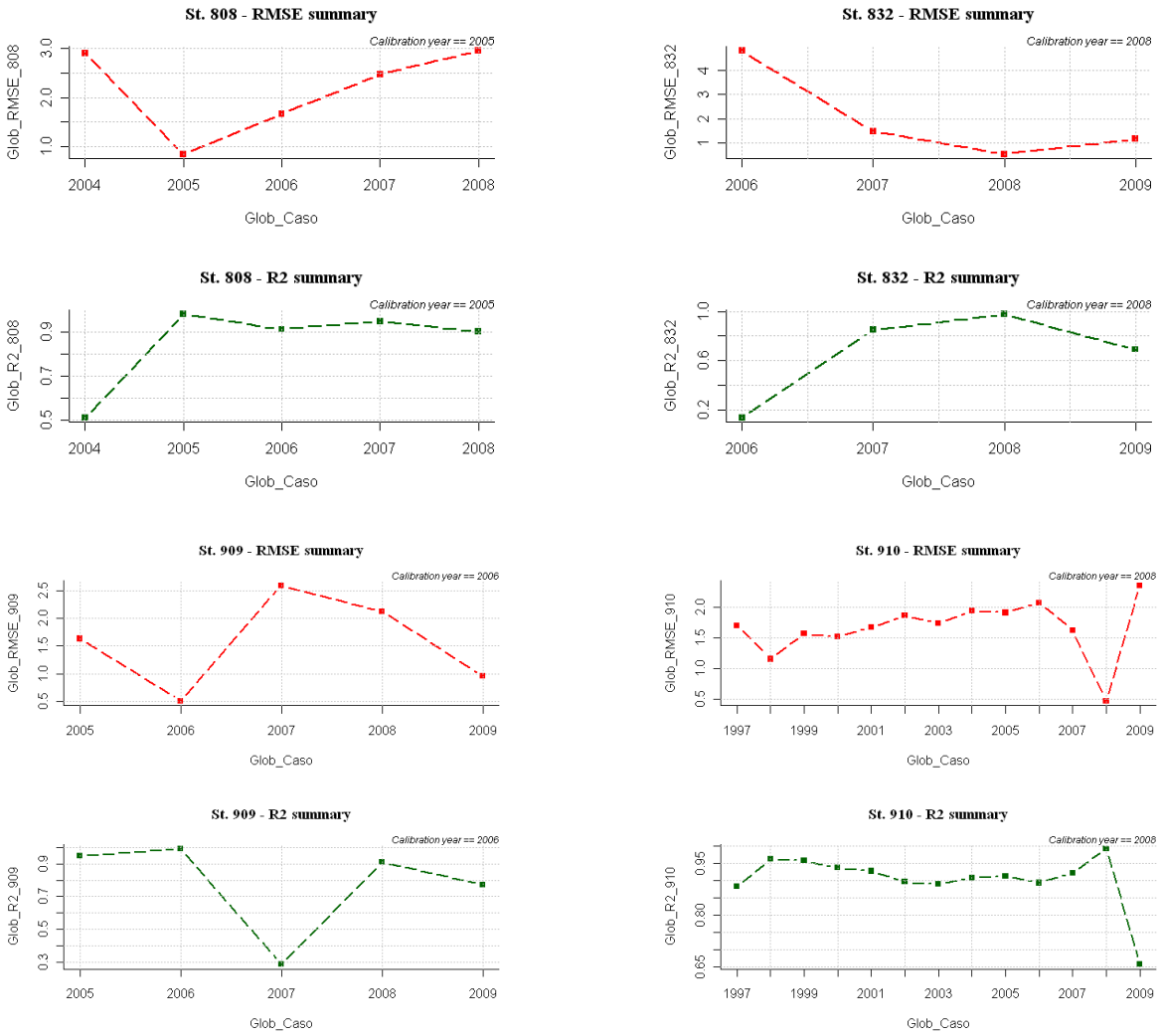


Figura A4-138 Error cuadrático medio (RMSE) y coeficiente de regresión (R2) para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 17 “Grandes ejes en ambiente mediterráneo”

A4-4.13 Tipo 18 “Ríos costeros mediterráneos”

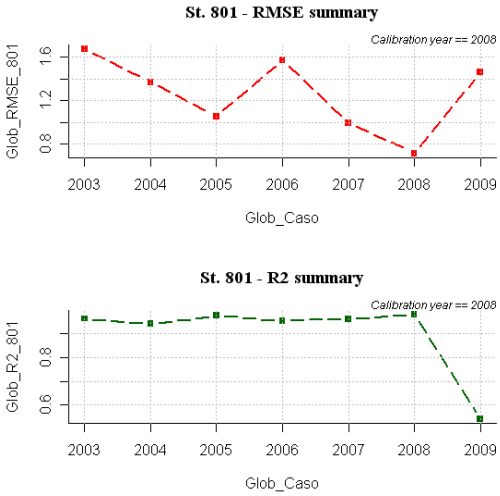


Figura A4-139 Error cuadrático medio (RMSE) y coeficiente de regresión (R2) para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 18 “Ríos costeros mediterráneos”

A4-4.14 Tipo 21 “Ríos cántabro-atlánticos silíceos”

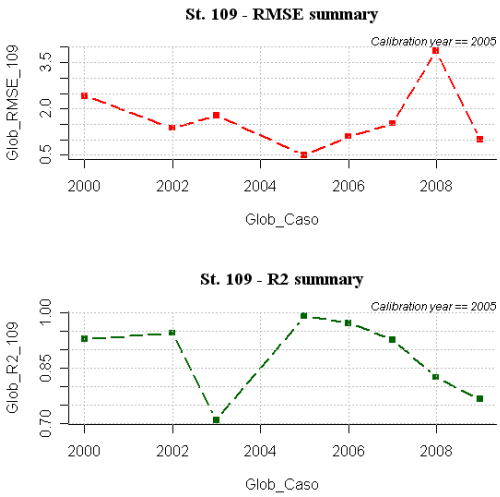


Figura A4-140 Error cuadrático medio (RMSE) y coeficiente de regresión (R2) para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 21 “Ríos cántabro-atlánticos silíceos”

A4-4.15 Tipo 26 “Ríos de montaña húmedo calcárea”

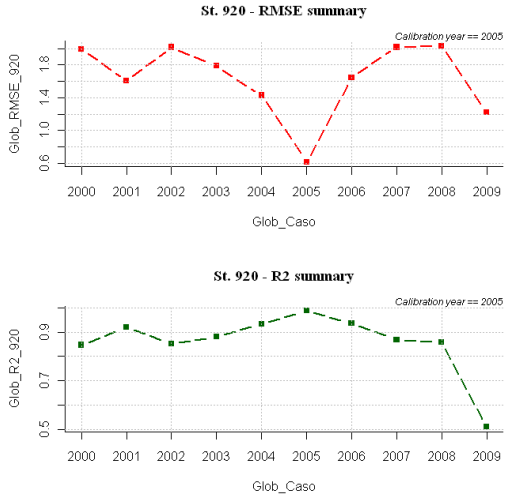
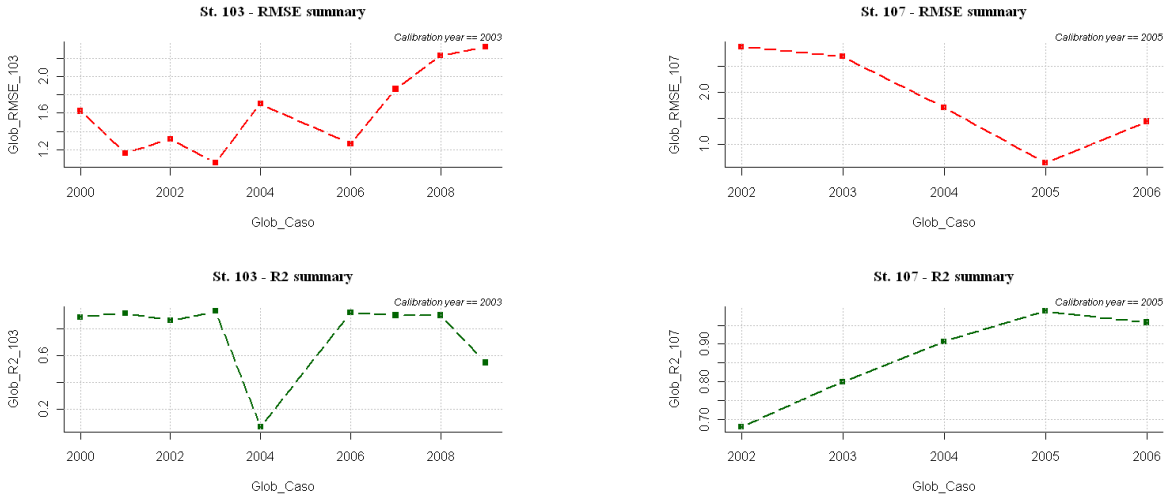


Figura A4-141 Error cuadrático medio (RMSE) y coeficiente de regresión (R2) para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 26 “Ríos de montaña húmedo calcárea”

A4-4.16 Tipo 28 “Ejes fluviales principales cántabro-atlánticos silíceos”



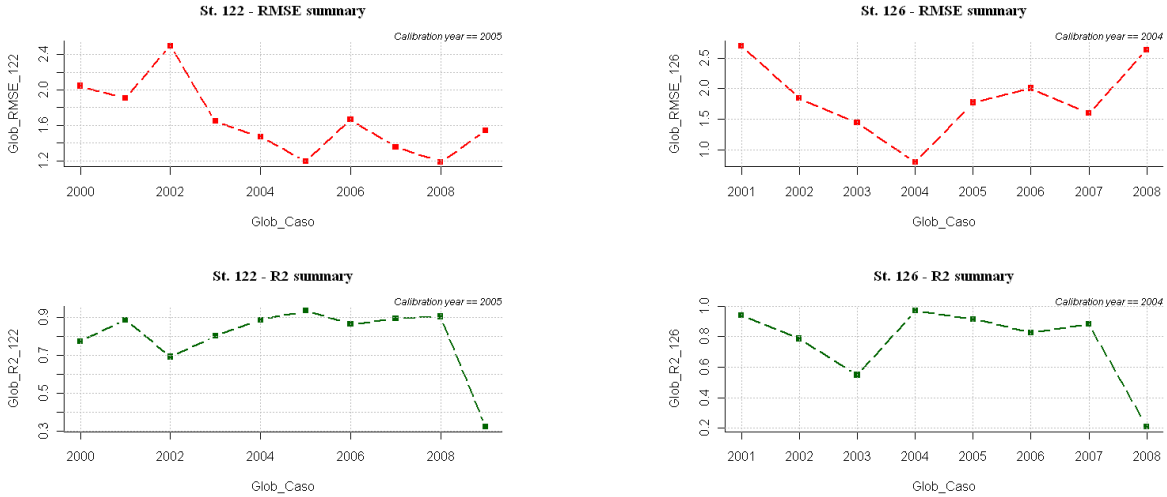
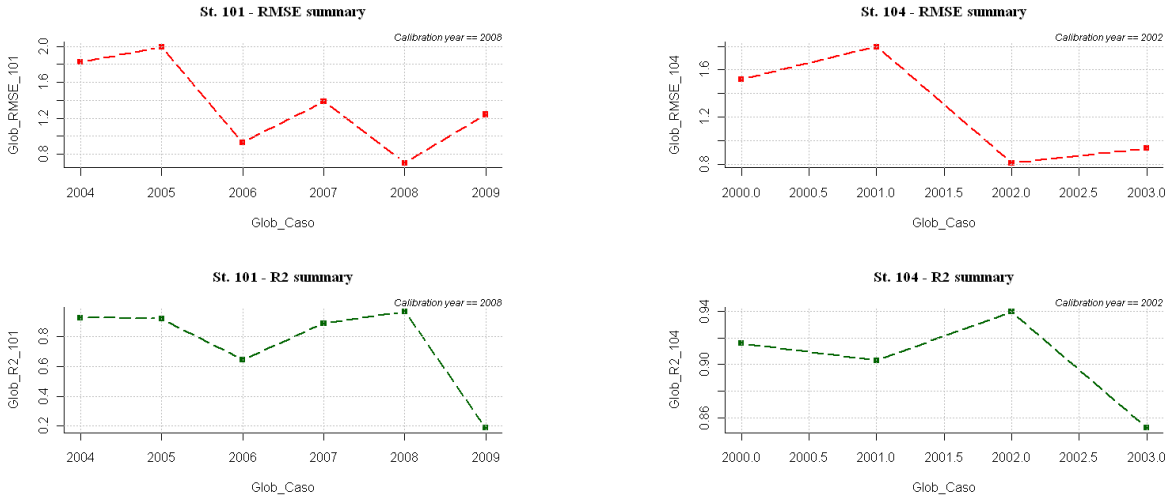


Figura A4-142 Error cuadrático medio (RMSE) y coeficiente de regresión (R2) para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 28 “Ejes fluviales principales cántabro-atlánticos silíceos”

A4-4.17 Tipo 29 “Ejes fluviales principales cántabro- atlánticos calcáreos”



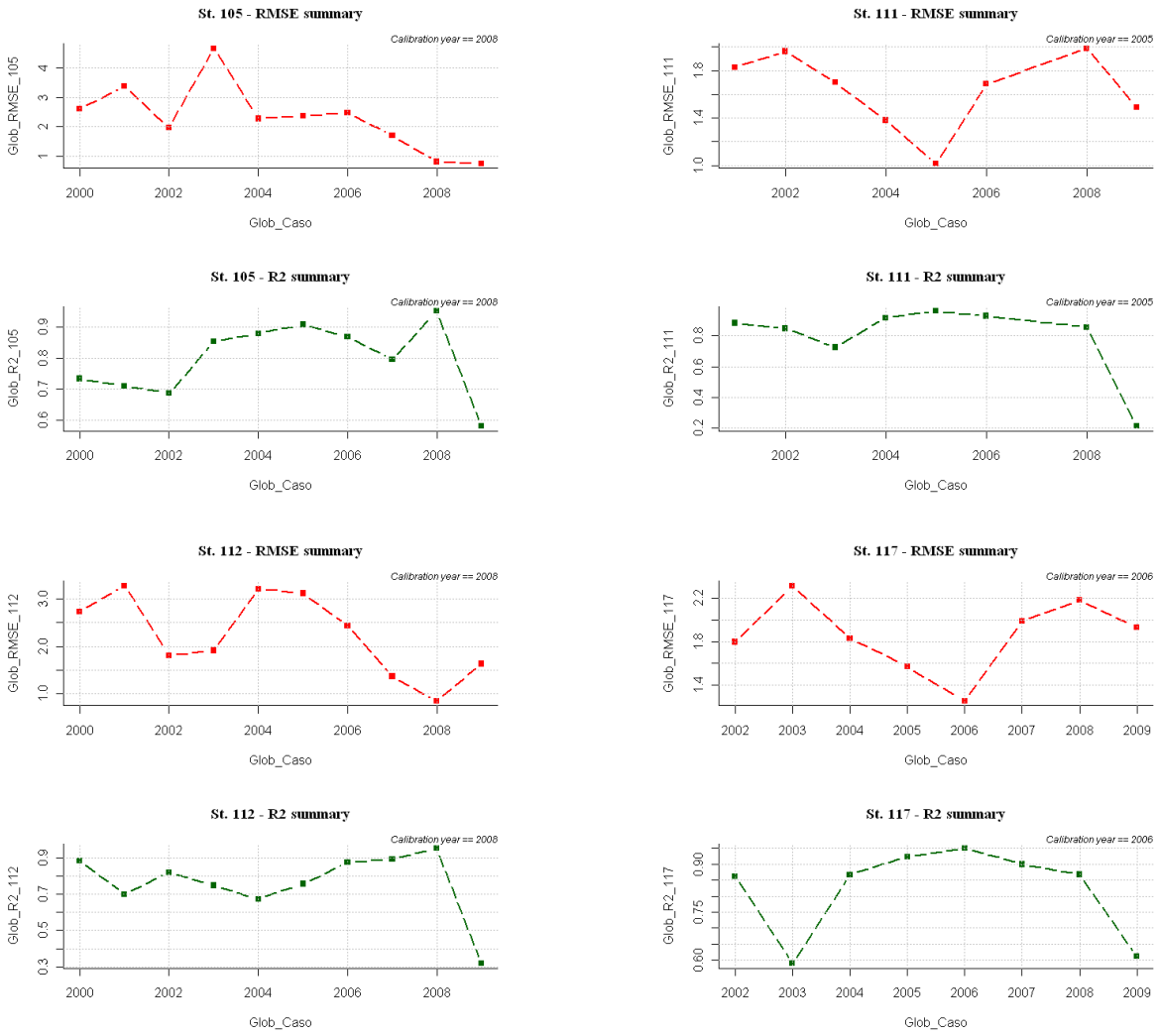


Figura A4-143 Error cuadrático medio (RMSE) y coeficiente de regresión (R2) para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 29 “Ejes fluviales principales cántabro-atlánticos calcáreos”

A4-4.18 Tipo 31 “Pequeños ejes cántabro-atlánticos silíceos”

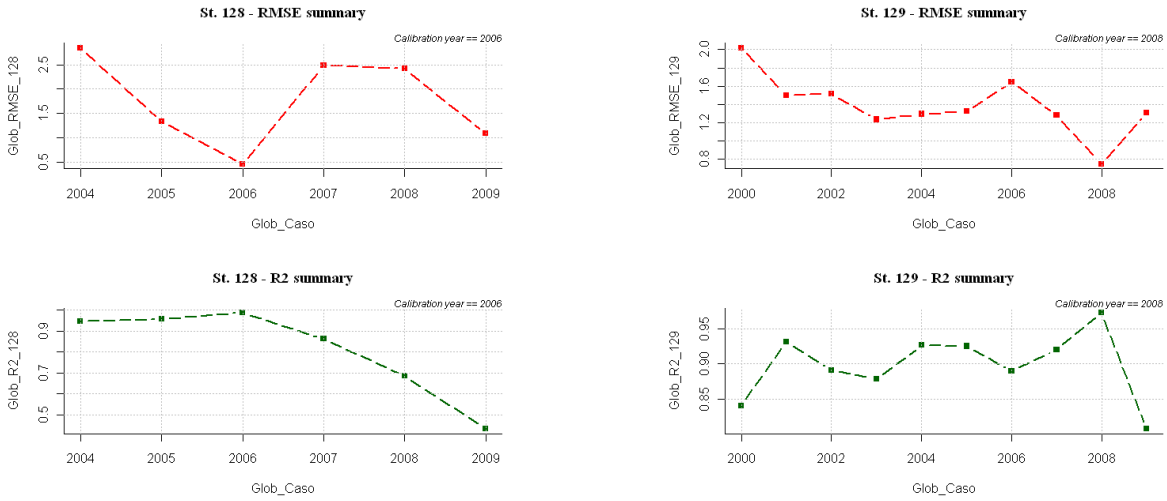


Figura A4-144 Error cuadrático medio (RMSE) y coeficiente de regresión (R2) para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 31 “Pequeños ejes cántabro-atlánticos silíceos”

A4-4.19 Tipo 32 “Pequeños ejes cántabro-atlánticos calcáreos”

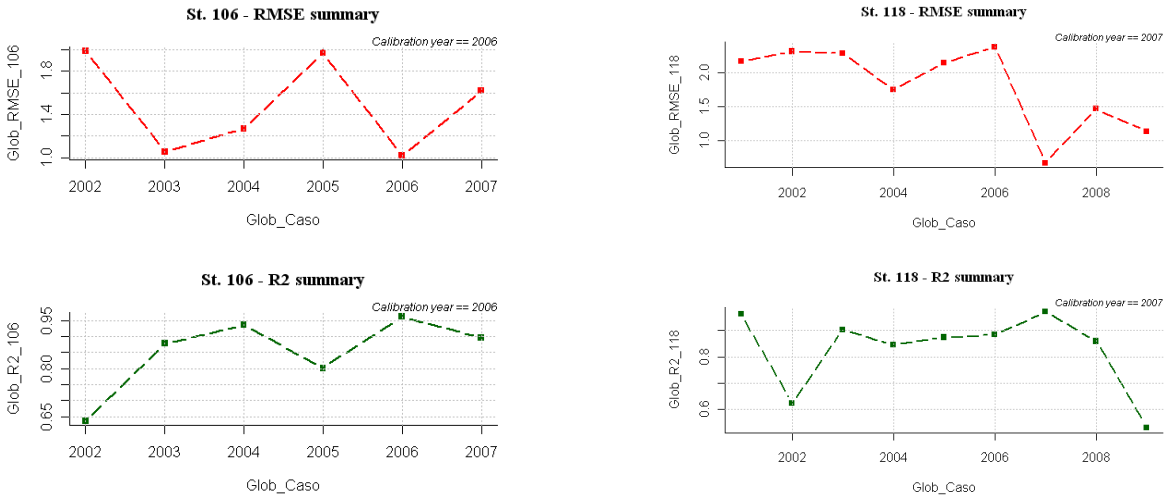


Figura A4-145 Error cuadrático medio (RMSE) y coeficiente de regresión (R2) para las estaciones SAICA que se encuentran en las masas de agua de la tipología 32 “Pequeños ejes cántabro-atlánticos calcáreos”

ANEXO V. P-VALORES OBTENIDOS CON EL TEST DE FRIEDMAN PARA LAS MASAS DE AGUA DE LA CUENCA DEL JÚCAR, CLASIFICADAS POR TIPOLOGIAS, PARA LAS PREDICCIONES 2011-2040, 2041-2070 Y 2071-2100 EN EL ESCENARIO A2.

A5-1 TIPO 5 " RÍOS MANCHEGOS"

	Predicción 2011-2040			Predicción 2041-2070			Predicción 2071-2100		
Código masa de agua	pvalor para Temperatura	pvalor para Amplitud térmica	pvalor para Caudal	pvalor para Temperatura	pvalor para Amplitud térmica	pvalor para Caudal	pvalor para Temperatura	pvalor para Amplitud térmica	pvalor para Caudal
18.07.01.01	6.49E-07	0.5484	0.0066	4.32E-08	0.0063	0.0024	4.32E-08	5.62E-07	0.0005
18.07.02.01	1.84E-07	0.2100	9.35E-08	4.32E-08	0.0029	7.30E-08	4.32E-08	7.15E-07	1.25E-07
18.09.01.01	1.10E-07	0.5370	1.91E-07	4.32E-08	0.0128	7.26E-08	4.32E-08	6.90E-07	9.28E-08
18.12.01.01	5.69E-07	0.5860	7.27E-08	4.32E-08	0.0659	7.31E-08	4.32E-08	1.69E-06	7.27E-08
18.12.01.02	4.65E-08	0.5600	3.06E-05	4.32E-08	0.0777	1.09E-07	4.32E-08	2.44E-06	4.30E-07
18.12.01.03	1.00E-07	0.0120	0.2636	4.32E-08	0.6769	0.1111	4.32E-08	0.0020	0.1188
18.14.01.03	4.57E-08	0.0007	4.03E-05	4.32E-08	0.0336	1.41E-05	4.32E-08	0.0450	2.89E-05
18.14.01.03.01.02	4.60E-08	0.0092	0.0046	4.32E-08	0.6678	0.0007	4.32E-08	0.0011	0.0009
18.14.01.04	4.37E-08	0.0007	0.2596	4.32E-08	0.2267	0.1437	4.32E-08	0.0146	0.1565
18.14.01.05	4.36E-08	0.0071	0.4906	4.32E-08	0.6540	0.4437	4.32E-08	0.0011	0.4519
18.14.01.06	4.68E-08	0.0411	0.4070	4.32E-08	0.5978	0.4788	4.32E-08	0.0003	0.4906
18.14.01.07	4.51E-08	0.5545	0.3995	4.32E-08	0.6806	0.4815	4.32E-08	0.0005	0.4680
18.15.01.01	1.31E-07	0.1892	7.28E-08	4.32E-08	0.3046	7.28E-08	4.32E-08	8.06E-06	7.28E-08
18.15.01.02	1.10E-07	0.0011	7.30E-08	4.32E-08	0.2835	7.27E-08	4.32E-08	4.78E-06	7.27E-08
18.15.01.02.01.01	5.39E-08	0.0109	7.31E-08	4.32E-08	0.1351	0.0807	4.32E-08	0.0103	0.0694
18.16.01.01	4.82E-08	0.0000	0.0002	4.32E-08	0.4557	2.46E-05	4.32E-08	0.0014	6.36E-05
32.01	6.89E-08	0.0000	0.0049	4.32E-08	6.615E-05	0.0015	4.32E-08	0.3314	0.0017
32.03	5.36E-08	0.0000	0.0083	4.32E-08	2.66097E-07	0.0034	4.32E-08	2.38E-05	0.0044
33.01	4.82E-08	0.0166	0.0347	4.32E-08	0.6768	0.0082	4.32E-08	0.0003	0.0103

Figura A5-1. p-valores para las masas de agua de la tipología 5 "Ríos manchegos", para las variables Temperatura media anual, Amplitud térmica anual y Caudal medio anual

MINISTERIO DE FOMENTO
MINISTERIO DE AGRICULTURA ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS
CEDEX

A5-2 TIPO 9 " RÍOS MINERALIZADOS CON INFLUENCIA CÁRSTICA"

Código masa de agua	Predicción 2011-2040			Predicción 2041-2070			Predicción 2071-2100		
	pvalor para Temperatura	pvalor para Amplitud térmica	pvalor para Caudal	pvalor para Temperatura	pvalor para Amplitud térmica	pvalor para Caudal	pvalor para Temperatura	pvalor para Amplitud térmica	pvalor para Caudal
01.01	0.0024	0.0145	1.71E-06	4.69E-07	0.1855	1.76E-06	4.46E-08	0.0999	8.21E-07
01.03	5.98E-06	0.2193	0.1621	4.55E-08	0.5756	0.1826	4.32E-08	0.0032	0.0333
01.04	4.40E-08	0.3447	0.2968	4.32E-08	0.5090	0.3256	4.32E-08	0.0012	0.1049
01.05	4.38E-08	0.2744	0.3565	4.32E-08	0.5633	0.3846	4.32E-08	0.0007	0.1506
03.01	0.0004	0.2316	0.4565	8.05E-08	0.5555	0.4750	4.32E-08	0.0044	0.2299
03.02	4.32E-08	0.0547	0.3039	4.32E-08	0.3419	0.2934	4.32E-08	0.0307	0.4605
05.01	0.0084	0.0924	0.0565	5.43E-07	0.4125	0.0509	4.35E-08	0.0182	0.0118
05.02	8.37E-08	0.0066	0.3849	4.32E-08	0.0840	0.3409	4.32E-08	0.2925	0.4939
07.01	2.08E-06	0.0172	0.0893	4.46E-08	0.1635	0.1036	4.32E-08	0.1308	0.0223
07.02	4.54E-08	0.0075	0.1492	4.32E-08	0.0701	0.1196	4.32E-08	0.3330	0.2498
10.06	0.1238	0.0139	0.0208	4.54E-04	0.0283	0.0500	7.93E-08	0.5621	0.0447
10.06.01.01	0.0003	0.0003	3.58E-05	4.54E-08	0.0006	0.0005	4.32E-08	0.2636	0.0006
10.06.02.01	0.0005	0.0002	0.0006	2.36E-07	0.0004	0.0046	4.35E-08	0.0966	0.0037
10.06.03.01	3.56E-05	0.0002	0.0024	4.74E-08	0.0010	0.0011	4.32E-08	0.2504	0.0005
10.07	1.14E-05	8.34E-05	0.0036	4.55E-08	0.0037	0.0114	4.32E-08	0.5510	0.0111
10.07.01.01	0.3043	1.88E-05	0.3730	0.0092	2.49E-05	0.2977	9.80E-07	0.0065	0.3769
10.07.02.02	4.21E-05	7.68E-05	0.2601	3.79E-07	1.85E-05	0.2062	1.31E-07	0.0023	0.2704
10.07.02.03	3.26E-05	9.62E-05	0.1308	1.53E-07	0.0001	0.0874	4.46E-08	0.0287	0.1408
10.07.02.04	3.36E-07	2.65E-05	0.0002	4.32E-08	0.0003	0.0002	4.32E-08	0.1932	1.42E-05
10.08	7.89E-08	3.23E-05	0.0003	4.32E-08	0.0007	0.0001	4.32E-08	0.5173	7.65E-06
10.10	4.73E-08	3.39E-05	0.0003	4.32E-08	0.0005	0.0001	4.32E-08	0.1719	4.42E-06

10.11	4.37E-08	1.35E-05	0.0001	4.32E-08	0.0002	9.20E-05	4.32E-08	0.0429	5.94E-06
10.12	0.0023	0.0911	0.0134	1.31E-07	0.3245	0.0178	4.32E-08	0.0539	0.0015
10.12.01.01	0.0648	0.0831	0.0605	1.23E-05	0.3625	0.0873	4.43E-08	0.0504	0.0308
10.12.01.02	0.0677	0.0065	0.2234	0.2414	0.0650	0.1555	6.02E-06	0.1995	0.2381
10.12.01.02.01.01	7.97E-05	0.0010	0.0557	4.65E-08	0.0711	0.0416	4.32E-08	0.4104	0.0790
10.12.01.02.01.01.01.01	9.17E-07	0.0062	0.4836	4.40E-08	0.1043	0.4733	4.32E-08	0.2513	0.4881
10.12.01.02.01.02	7.83E-08	0.0051	0.4944	4.32E-08	0.0605	0.4289	4.32E-08	0.3518	0.2257
10.12.01.03	4.76E-08	0.0021	0.0094	4.32E-08	0.0474	0.0080	4.32E-08	0.3851	0.0171
10.12.01.03.01.01	0.0003	0.0001	0.0515	9.85E-08	0.0005	0.0601	4.38E-08	0.3025	0.0219
10.12.01.04	8.23E-08	0.0022	0.2730	4.32E-08	0.0166	0.2988	4.32E-08	0.5033	0.1567
10.12.01.04.01.01	4.87E-08	0.0013	0.0023	4.32E-08	0.0125	0.0024	4.32E-08	0.5501	0.0010
10.12.01.04.01.03	4.86E-08	2.02E-05	0.0013	4.32E-08	0.0001	0.0010	4.32E-08	0.0881	0.0008
10.12.01.06	4.39E-08	1.82E-05	5.98E-06	4.32E-08	0.0002	3.80E-06	4.32E-08	0.0554	4.35E-07
13.01	0.0260	4.81E-05	0.0010	4.89E-06	0.0004	0.0017	4.38E-08	0.1087	0.0010
13.02	0.0001	7.35E-05	0.0230	5.06E-08	0.0008	0.0331	4.32E-08	0.2141	0.0185
13.03	4.46E-06	8.97E-05	0.1201	4.66E-08	0.0010	0.1677	4.32E-08	0.2478	0.0788
13.05	9.74E-08	0.0004	0.0000	4.32E-08	0.0027	6.48E-06	4.32E-08	0.3995	7.77E-06
13.05.01.01	8.28E-08	0.0002	0.4667	4.32E-08	0.0019	0.4478	4.32E-08	0.3633	0.4772
13.06	4.45E-08	0.0008	0.2444	4.32E-08	0.9900	0.2028	4.32E-08	0.4992	0.3025
13.08	4.38E-08	1.26E-06	0.0855	4.32E-08	0.9860	0.0726	4.32E-08	0.0140	0.1348
13.09	4.34E-08	9.99E-06	0.0734	4.32E-08	0.9960	0.0668	4.32E-08	0.0439	0.1263
14.01	4.35E-08	0.0001	0.1925	4.32E-08	0.9960	0.2447	4.32E-08	0.1527	0.0992
14.02	4.32E-08	3.47E-06	0.3742	4.32E-08	0.9970	0.3831	4.32E-08	0.0256	0.2064
15.09	4.43E-08	0.5476	3.48E-05	4.32E-08	0.9974	1.70E-05	4.32E-08	0.0001	2.75E-06
15.10.01.01	0.0007	0.5086	8.77E-07	8.30E-08	0.9976	3.57E-06	4.32E-08	0.0014	4.78E-06
15.11	1.03E-06	0.0086	2.26E-05	4.35E-08	0.9791	2.07E-05	4.32E-08	0.4975	7.98E-07
15.12.01.01	0.0007	0.0722	0.0110	5.02E-08	0.9975	0.0103	4.32E-08	0.1041	0.0121

15.12.01.02	0.0008	0.0152	1.11E-05	8.11E-08	0.9960	1.56E-05	4.32E-08	0.5172	2.58E-05	
15.12.01.02.01.01	8.24E-08	0.0019	0.4485	4.32E-08	0.9960	0.4473	4.32E-08	0.5227	0.3742	
15.13	0.1575	0.0567	0.1600	9.86E-05	0.9975	0.2376	4.46E-08	0.4104	0.1358	
15.13.01.01	1.12E-05	7.50E-05	0.4370	4.66E-08	0.9960	0.4874	4.32E-08	0.0976	0.4118	
15.13.01.03	8.07E-08	4.69E-05	1.06E-05	4.32E-08	0.9970	6.33E-06	4.32E-08	0.1305	6.82E-07	
15.14.01.01	8.63E-08	0.0008	0.0005	4.32E-08	0.9940	0.0014	4.32E-08	0.4680	0.0003	
15.14.01.02	4.43E-08	0.0020	9.77E-05	4.32E-08	0.9960	0.0003	4.32E-08	0.5431	8.32E-05	
15.14.01.02.01.01	4.32E-08	0.0003	0.3287	4.32E-08	0.9970	0.3666	4.32E-08	0.2956	0.2235	
15.14.02.01	8.10E-08	0.0006	1.06E-06	4.32E-08	0.9960	4.47E-06	4.32E-08	0.3675	1.66E-06	
15.14.02.02	4.43E-08	0.0009	0.0045	4.32E-08	0.9960	0.0076	4.32E-08	0.4946	0.0011	
16.01	4.38E-08	3.58E-05	0.1678	4.32E-08	0.9970	0.1747	4.32E-08	0.0688	0.0611	
16.02	4.38E-08	3.64E-05	0.4440	4.32E-08	0.9960	0.4456	4.32E-08	0.0991	0.2847	
16.03	4.33E-08	3.23E-05	0.4497	4.32E-08	0.9970	0.4425	4.32E-08	0.0302	0.2846	
16.04	4.32E-08	7.63E-06	0.4719	4.32E-08	0.9970	0.4810	4.32E-08	0.0042	0.3290	
18.16.02.01	2.81E-05	0.1512	3.83E-07	4.48E-08	0.9971	1.89E-07	4.32E-08	0.0000	1.85E-06	
18.20.01.01	1.31E-06	0.2908	9.61E-07	4.39E-08	0.9992	2.25E-07	4.32E-08	0.0073	1.25E-06	
18.20.01.02	1.01E-07	0.5214	4.10E-06	4.32E-08	0.9997	8.31E-07	4.32E-08	0.0001	4.64E-06	
18.20.02.01	3.65E-05	0.5269	0.4782	4.49E-08	0.9985	0.4993	4.32E-08	0.0009	0.4986	
18.21.01.10.01.01	0.0005	0.2505	6.00E-05	4.79E-08	0.9991	6.65E-06	4.32E-08	0.0294	1.95E-05	
18.21.01.10.01.02	1.71E-07	0.3603	0.0254	4.32E-08	0.9991	0.0104	4.32E-08	0.0108	0.0085	
18.21.01.10.02.01	0.0003	0.4380	1.24E-06	4.60E-08	0.9894	3.75E-07	4.32E-08	0.0015	4.14E-06	
18.25.01.01	4.60E-07	0.0560	0.0178	4.38E-08	0.9933	0.0041	4.32E-08	0.2854	0.0033	
18.25.01.02.01.01	7.65E-07	0.0160	2.01E-05	4.35E-08	0.9973	1.76E-06	4.32E-08	0.4598	1.11E-05	
18.25.01.02.02.01	8.59E-08	0.0265	0.0066	4.32E-08	0.9970	0.0023	4.32E-08	0.5390	0.0015	
18.28.01.01	4.79E-08	0.0022	8.40E-07	4.32E-08	0.9980	1.37E-07	4.32E-08	0.4594	8.72E-07	
18.28.01.02	4.73E-08	0.0132	4.83E-07	4.32E-08	0.9984	1.06E-07	4.32E-08	0.5267	5.11E-07	
18.28.01.02.01.01	4.38E-08	0.0199	0.0022	4.32E-08	0.9983	0.0002	4.32E-08	0.5463	0.0006	

18.28.01.02.01.02	4.32E-08	0.0012	0.3206	4.32E-08	0.9980	0.1804	4.32E-08	0.4456	0.1650
18.29.01.01	4.32E-08	0.0007	0.4163	4.32E-08	0.9980	0.2404	4.32E-08	0.3722	0.1723
18.29.01.02.01.01	4.33E-08	6.33E-05	0.0006	4.32E-08	0.9970	3.48E-05	4.32E-08	0.0761	7.87E-05
18.29.01.03	4.32E-08	0.0006	0.3386	4.32E-08	0.9900	0.4411	4.32E-08	0.1929	0.5148
18.29.01.04	0.0003	0.0004	2.98E-05	1.45E-07	0.0040	1.27E-06	4.40E-08	0.5539	1.21E-05
18.29.01.04.01.01	8.36E-08	0.0032	0.2964	4.32E-08	0.0146	0.4210	4.32E-08	0.5456	0.4535
18.29.01.04.01.01.01.01	4.32E-08	0.0004	0.0118	4.32E-08	0.0012	0.0041	4.32E-08	0.1297	0.0029
18.29.01.04.02.01	4.33E-08	0.0005	0.0231	4.32E-08	0.0012	0.0524	4.32E-08	0.2423	0.0621
18.29.01.05	4.32E-08	0.0003	0.0172	4.32E-08	0.0023	0.0365	4.32E-08	0.2455	0.0419
18.30.01.01	4.33E-08	1.02E-06	0.0017	4.32E-08	8.10E-06	0.0004	4.32E-08	0.0026	0.0006
18.30.01.02	4.32E-08	0.0002	0.0566	4.32E-08	0.0009	0.0345	4.32E-08	0.1779	0.0205
18.31.01.01	4.36E-08	0.0002	1.35E-05	4.32E-08	0.0006	2.81E-06	4.32E-08	0.0974	8.70E-06
18.31.01.02	4.33E-08	0.0002	0.2301	4.32E-08	0.0006	0.1506	4.32E-08	0.1373	0.0898
18.32.01.01	0.3492	0.4487	1.20E-07	0.0002	0.0919	7.24E-08	4.35E-08	3.85E-05	4.60E-07
18.32.01.02	0.4978	0.5239	0.2623	0.0034	0.2020	0.1953	8.62E-08	0.0003	0.1523
18.32.01.03	0.4942	0.5111	0.4120	0.0008	0.2705	0.3736	8.64E-08	0.0011	0.2807
18.32.01.04	0.0240	0.5019	0.4978	1.83E-06	0.3308	0.4558	4.32E-08	0.0014	0.3766
18.32.01.05	5.90E-05	0.3602	4.71E-07	4.49E-08	0.5659	6.33E-07	4.32E-08	0.0217	1.76E-06
18.32.01.05.01.01	0.0003	0.2386	0.3776	4.65E-08	0.5069	0.3924	4.32E-08	0.0528	0.4648
18.32.01.07	7.99E-08	3.55E-05	0.2952	4.32E-08	4.47E-05	0.3162	4.32E-08	0.0335	0.3845
18.32.01.08	0.0003	0.0057	2.88E-07	5.03E-08	0.0050	5.82E-07	4.32E-08	0.4951	1.10E-06
18.32.01.08.01.01	4.32E-08	2.36E-05	0.0013	4.32E-08	5.66E-05	0.0012	4.32E-08	0.0400	0.0004
18.32.01.08.01.02	8.23E-08	3.87E-06	0.2491	4.32E-08	1.73E-05	0.2880	4.32E-08	0.0151	0.3412
18.32.01.09	7.79E-08	6.39E-05	0.0013	4.32E-08	0.0001	0.0001	4.32E-08	0.0543	0.0001
18.32.01.09.01.01	4.43E-08	0.0002	0.0730	4.32E-08	0.0001	0.0902	4.32E-08	0.0752	0.1330
18.32.01.10	4.38E-08	0.0009	0.0593	4.32E-08	0.0020	0.0842	4.32E-08	0.2261	0.1157
18.32.01.11	4.33E-08	0.0002	0.0514	4.32E-08	0.0007	0.0764	4.32E-08	0.0976	0.1123

18.32.01.12	4.32E-08	2.91E-05	0.0585	4.32E-08	8.09E-05	0.0747	4.32E-08	0.0540	0.1098
21.01	0.0001	0.0166	3.45E-05	4.87E-08	0.0261	1.37E-05	4.32E-08	0.5540	3.91E-06
21.02	1.49E-06	0.0008	0.0379	4.52E-08	0.0008	0.0223	4.32E-08	0.2325	0.0054
21.03	7.77E-08	0.0115	0.0256	4.32E-08	0.0320	0.0039	4.32E-08	0.5273	0.0045
21.03.01.01	4.32E-08	3.65E-05	0.5044	4.32E-08	9.35E-05	0.5111	4.32E-08	0.0540	0.4747
21.05	2.61E-07	1.74E-06	1.83E-06	4.52E-08	2.20E-05	1.74E-07	4.32E-08	0.0069	5.09E-07
21.05.01.01	4.32E-08	8.41E-07	0.3019	4.32E-08	8.91E-06	0.4107	4.32E-08	0.0016	0.4753
21.06	8.99E-08	2.56E-07	0.2672	4.32E-08	3.96E-07	0.3526	4.32E-08	6.78E-06	0.4389
21.07	4.35E-08	2.66E-07	0.1979	4.32E-08	4.23E-07	0.2755	4.32E-08	1.40E-05	0.3648
21.08	4.32E-08	6.69E-06	0.0542	4.32E-08	1.43E-05	0.0789	4.32E-08	0.0153	0.1244

Figura A5-2. p-valores para las masas de agua de la tipología 9 "Ríos mineralizados de media-baja montaña mediterránea", para las variables Temperatura media anual, Amplitud térmica anual y Caudal medio anual

A5-3 TIPO 10 " RÍOS MEDITERRÁNEOS CON INFLUENCIA CÁRSTICA"

	Predicción 2011-2040			Predicción 2041-2070			Predicción 2071-2100		
Código masa de agua	pvalor para Temperatura	pvalor para Amplitud térmica	pvalor para Caudal	pvalor para Temperatura	pvalor para Amplitud térmica	pvalor para Caudal	pvalor para Temperatura	pvalor para Amplitud térmica	pvalor para Caudal
28.01	1.09E-07	0.0012	0.0000	4.32E-08	0.1848	9.56E-08	4.32E-08	0.5839	2.75E-07
28.02	4.60E-08	0.0006	0.0002	4.32E-08	0.5433	2.15E-05	4.32E-08	0.3957	2.20E-05
28.02.01.02	4.32E-08	4.30E-05	0.0030	4.32E-08	0.5141	0.0007	4.32E-08	0.0142	0.0004
28.02.01.03	4.32E-08	0.0002	0.0001	4.32E-08	0.5515	3.23E-05	4.32E-08	0.0846	3.19E-05
28.03	4.32E-08	1.83E-05	0.1046	4.32E-08	0.5649	0.0664	4.32E-08	0.0002	0.0294

Figura A5-3. p-valores para las masas de agua de la tipología 5 "Ríos manchegos", para las variables Temperatura media anual, Amplitud térmica anual y Caudal medio anual

A5-4 TIPO 12 " RÍOS DE MONTAÑA MEDITERRÁNEA CALCÁREA"

	Predicción 2011-2040			Predicción 2041-2070			Predicción 2071-2100		
Código masa de agua	pvalor para Temperatura	pvalor para Amplitud térmica	pvalor para Caudal	pvalor para Temperatura	pvalor para Amplitud térmica	pvalor para Caudal	pvalor para Temperatura	pvalor para Amplitud térmica	pvalor para Caudal
10.01	0.2903	0.5502	0.0013	0.0003	0.0911	0.0080	1.97E-07	2.04E-05	0.0114
10.02	0.0023	0.3627	0.1623	2.13E-06	0.5307	0.2834	8.03E-08	0.0006	0.3459
10.03	0.1941	0.4401	0.0011	0.0002	0.5600	0.0050	2.65E-07	0.0008	0.0122
10.03.01.01	1.31E-06	0.0006	0.0299	8.28E-08	0.0010	0.0576	4.32E-08	0.2418	0.1069
10.03.02.01	1.13E-06	0.0037	0.0650	8.99E-08	0.0052	0.1386	4.35E-08	0.5264	0.1762
10.03.03.01	1.19E-06	0.0038	0.0275	8.66E-08	0.0097	0.0155	4.35E-08	0.5592	0.0116
10.04	2.39E-07	1.27E-05	0.0010	6.11E-08	4.08E-05	0.0056	4.38E-08	0.0073	0.0092
10.04.01.01	2.25E-07	0.0001	0.0097	5.42E-08	0.0001	0.0059	4.35E-08	0.0409	0.0054
10.07.02.01	0.0048	0.0001	0.4716	2.93E-05	0.0003	0.4143	1.87E-07	0.2887	0.4023
15.01	0.0010	0.0165	0.4652	1.05E-06	0.0001	0.0072	5.07E-08	2.91E-07	0.0119
15.01.01.01	0.0702	0.3805	0.0412	2.30E-05	0.0268	0.0307	7.12E-08	2.72E-06	0.0253
15.02	5.19E-05	0.0065	0.0188	2.58E-07	6.41E-05	0.0141	4.51E-08	1.45E-07	0.0129
15.04	0.0051	0.0880	0.0723	1.82E-06	0.0023	0.0409	5.99E-08	5.00E-07	0.0402
15.04.01.01	3.80E-05	0.0783	0.0197	2.74E-07	0.0015	0.0132	4.49E-08	5.67E-07	0.0100
15.04.01.02	1.69E-05	0.0072	0.0155	2.28E-07	9.21E-05	0.0107	4.73E-08	4.42E-07	0.0096
15.05	2.04E-06	0.5237	0.0004	9.68E-08	0.0640	0.0002	4.38E-08	1.13E-05	9.94E-05
15.06	0.0015	0.0021	0.4737	4.58E-06	0.0066	0.4029	1.33E-07	0.4807	0.3943
15.06.01.01	1.04E-06	0.3828	0.0004	7.38E-08	0.0376	0.0004	4.32E-08	7.50E-06	0.0007
15.06.02.01	1.55E-07	0.4658	7.91E-05	4.57E-08	0.3923	2.32E-05	4.32E-08	0.0003	2.29E-05
15.07	9.67E-08	0.5348	0.1012	4.32E-08	0.4403	0.1457	4.32E-08	6.31E-05	0.2218
15.07.01.01	4.44E-08	0.5480	5.27E-05	4.32E-08	0.1506	4.52E-05	4.32E-08	8.40E-06	3.11E-05

MINISTERIO DE FOMENTO
MINISTERIO DE AGRICULTURA ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS
CEDEX

15.08	4.44E-08	0.3262	4.83E-05	4.32E-08	0.0560	1.76E-05	4.32E-08	2.36E-06	1.19E-05
18.01	0.1706	0.3529	0.4902	6.20E-05	0.0080	0.4872	1.77E-07	1.42E-06	0.4927
18.02	0.0592	0.2102	0.3494	1.32E-05	0.0036	0.3774	7.85E-08	1.02E-06	0.4000
18.04	1.36E-05	0.0183	0.1408	2.14E-07	0.4579	0.1570	4.37E-08	0.0444	0.2048
18.05	1.73E-07	0.5478	1.02E-06	4.35E-08	0.0519	1.69E-07	4.32E-08	1.16E-05	5.39E-07
18.05.01.01	7.43E-06	0.0703	8.67E-08	1.12E-07	0.5688	7.24E-08	4.32E-08	0.0020	9.41E-08
18.05.02.01	1.01E-05	0.5490	4.72E-07	1.51E-07	0.0650	1.12E-07	4.55E-08	2.19E-05	4.52E-07
18.05.03.01	2.98E-07	0.4036	4.65E-05	4.43E-08	0.0055	4.54E-06	4.32E-08	2.99E-06	6.14E-06
18.05.03.02	8.33E-07	0.5748	4.49E-05	6.06E-08	0.0522	4.07E-06	4.32E-08	9.63E-06	9.15E-06
18.05.03.03	8.60E-07	0.4426	0.0340	6.04E-08	0.0111	0.0430	4.32E-08	3.22E-06	0.0641
18.06	4.58E-07	0.0433	7.24E-08	4.80E-08	0.0015	7.24E-08	4.32E-08	7.61E-07	7.24E-08
18.06.01.01	1.04E-07	0.0027	0.0034	4.38E-08	4.68E-05	0.0046	4.32E-08	1.12E-07	0.0061
18.07.03.01	9.45E-08	8.82E-05	0.0026	4.40E-08	1.13E-06	1.76E-07	4.32E-08	6.87E-08	7.07E-07
18.07.04.01	3.89E-07	0.0088	0.0002	4.62E-08	6.37E-05	4.11E-05	4.32E-08	1.49E-07	2.73E-05
18.07.04.02	8.68E-08	0.0002	0.0014	4.38E-08	8.56E-06	0.0005	4.32E-08	7.53E-08	0.0001
18.07.04.03	9.60E-08	0.0002	0.1597	4.32E-08	8.36E-06	0.0852	4.32E-08	6.52E-08	0.0357
18.14.01.01	7.21E-08	0.0000	7.24E-08	4.47E-08	2.21E-05	7.24E-08	4.32E-08	6.37E-08	3.81E-07
18.14.01.02	5.62E-08	0.0838	0.0022	4.32E-08	0.0154	0.0002	4.32E-08	9.23E-07	0.0005
18.14.01.03.01.01	9.86E-08	0.0025	9.29E-07	4.38E-08	0.0004	9.06E-07	4.32E-08	1.31E-07	6.01E-06
18.21.01.01	0.5031	0.0002	0.1767	0.1623	0.0004	0.1378	0.0003	0.0221	0.1489
18.21.01.02	0.0012	0.0182	0.1427	2.26E-06	0.1265	0.1130	7.04E-08	0.1784	0.1031
18.21.01.03	0.0083	0.4666	0.2833	1.35E-05	0.3451	0.3309	1.29E-07	0.0019	0.3253
18.21.01.03.01.01	3.97E-05	0.5527	0.4363	5.90E-07	0.4957	0.4012	5.94E-08	0.0021	0.4216
18.21.01.03.01.01.01.01	5.63E-06	0.4770	0.0948	1.40E-07	0.1414	0.0890	4.38E-08	8.46E-06	0.0883
18.21.01.04	2.79E-07	0.0061	0.0081	4.46E-08	0.0001	0.0061	4.32E-08	1.29E-07	0.0073
18.21.01.05	5.05E-08	0.0010	0.0064	4.32E-08	2.69E-05	0.0063	4.32E-08	9.29E-08	0.0098
18.21.01.06	6.85E-06	0.0003	0.0005	1.14E-07	4.57E-05	9.54E-05	4.38E-08	1.91E-07	6.21E-05

18.21.01.06.01.01	1.13E-06	0.0019	0.1821	7.86E-08	4.71E-05	0.2150	4.32E-08	1.37E-07	0.3073
18.21.01.06.01.01.01.01	6.60E-07	0.1025	0.0029	5.50E-08	0.0012	0.0011	4.32E-08	3.95E-07	0.0002
18.21.01.06.01.02	1.56E-07	0.0904	0.0671	4.49E-08	0.0010	0.0818	4.32E-08	2.16E-07	0.1393
18.21.01.06.01.02.01.01	8.27E-08	0.0464	0.0005	4.38E-08	0.0016	0.0006	4.32E-08	3.07E-07	0.0011
18.21.01.07.01.01	5.95E-08	0.0140	1.02E-07	4.32E-08	0.0002	8.71E-08	4.32E-08	1.28E-07	4.77E-07
18.21.01.07.02.01	6.68E-08	0.0160	0.2320	4.40E-08	0.0003	0.2258	4.32E-08	1.08E-07	0.2971
18.21.01.07.02.02	5.61E-08	0.3811	0.3746	4.32E-08	0.0357	0.3691	4.32E-08	2.18E-06	0.4310
18.21.01.07.02.03	5.78E-08	0.0784	0.4787	4.32E-08	0.0013	0.5019	4.32E-08	3.87E-07	0.5099

Figura A5-4. p-valores para las masas de agua de la tipología 12 "Ríos de montaña mediterránea calcárea", para las variables Temperatura media anual, Amplitud térmica anual y Caudal medio anual

A5-5 TIPO 13 " RÍOS MEDITERRÁNEOS MUY MINERALIZADOS"

	Predicción 2011-2040			Predicción 2041-2070			Predicción 2071-2100		
Código masa de agua	pvalor para Temperatura	pvalor para Amplitud térmica	pvalor para Caudal	pvalor para Temperatura	pvalor para Amplitud térmica	pvalor para Caudal	pvalor para Temperatura	pvalor para Amplitud térmica	pvalor para Caudal
30.01	0.2422	0.0003	0.3258	0.0571	0.0003	0.2188	9.07E-08	0.0096	0.1789
30.03	1.21E-05	0.0001	0.0031	4.32E-08	0.0001	0.0007	4.32E-08	0.0140	0.0009
30.03.01.01	0.0057	0.0002	0.4707	4.15E-07	0.0004	0.0008	4.32E-08	0.0276	0.3085
30.04	5.42E-08	3.57E-05	0.3895	4.32E-08	7.07E-05	0.4651	4.32E-08	0.0040	0.4645
30.05	6.06E-08	3.21E-05	0.2330	4.32E-08	4.69E-05	0.2962	4.32E-08	0.0015	0.2955
31.01	0.0069	0.0048	5.31E-06	0.4156	0.0096	5.65E-07	2.17E-05	0.5555	7.42E-07
31.02	0.1942	0.3689	0.0738	0.0308	0.5555	0.0522	6.33E-08	0.0131	0.0265
31.03	0.3169	0.2435	0.0850	0.0026	0.3596	0.1263	6.34E-08	0.0804	0.0503
31.04	0.5202	0.0247	0.1425	7.73E-05	0.0354	0.1863	5.78E-08	0.5067	0.2558
31.05	0.2536	0.0062	0.0660	2.31E-06	0.0056	0.1145	4.32E-08	0.4684	0.1119
31.06	9.40E-06	0.0003	2.74E-02	4.32E-08	0.0004	0.0422	4.32E-08	0.0211	0.0333
31.07	1.95E-07	8.88E-05	2.40E-02	4.32E-08	7.04E-05	0.0364	4.32E-08	0.0013	0.0306

MINISTERIO DE FOMENTO
MINISTERIO DE AGRICULTURA ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS
CEDEX

31.08	5.95E-08	2.20E-05	2.80E-02	4.32E-08	1.34E-05	0.0333	4.32E-08	0.0002	0.0314
31.09	7.00E-08	4.10E-05	2.62E-02	4.32E-08	1.44E-05	0.0392	4.32E-08	0.0002	0.0311
31.10	2.38E-07	3.52E-06	1.85E-02	4.32E-08	2.56E-06	0.0260	4.32E-08	1.06E-05	0.0253

Figura A5-5. p-valores para las masas de agua de la tipología 13 "Ríos mediterráneos muy mineralizados", para las variables Temperatura media anual, Amplitud térmica anual y Caudal medio anual

A5-6 TIPO 14 " EJES MEDITERRÁNEOS DE BAJA ALTITUD"

	Predicción 2011-2040			Predicción 2041-2070			Predicción 2071-2100		
Código masa de agua	pvalor para Temperatura	pvalor para Amplitud térmica	pvalor para Caudal	pvalor para Temperatura	pvalor para Amplitud térmica	pvalor para Caudal	pvalor para Temperatura	pvalor para Amplitud térmica	pvalor para Caudal
10.13	1.42E-07	0.0628	6.17E-06	4.32E-08	0.1684	2.46E-05	4.32E-08	0.4971	3.69E-05
15.14	4.32E-08	0.1679	1.07E-05	4.32E-08	0.2050	4.80E-05	4.32E-08	0.2340	9.69E-05
15.15	4.32E-08	0.0673	1.02E-05	4.32E-08	0.1305	4.39E-05	4.32E-08	0.4818	0.0001
15.16	1.87E-07	0.0315	1.27E-05	4.32E-08	0.0366	6.06E-05	4.32E-08	0.4167	0.0001
15.17	2.47E-05	0.0224	1.36E-05	4.32E-08	0.0649	5.95E-05	4.32E-08	0.5273	0.0002
15.18	1.91E-07	0.0180	2.07E-05	4.32E-08	0.0616	5.20E-05	4.32E-08	0.5212	0.0001
15.19	1.89E-07	0.0091	2.70E-05	4.32E-08	0.0431	9.47E-05	4.32E-08	0.5301	9.99E-05

Figura A5-6. p-valores para las masas de agua de la tipología 13 " Ejes mediterráneos de baja altitud", para las variables Temperatura media anual, Amplitud térmica anual y Caudal medio anual

A5-7 TIPO 16 " EJES MEDITERRÁNEOS-CONTINENTALES MINERALIZADOS"

	Predicción 2011-2040			Predicción 2041-2070			Predicción 2071-2100		
Código masa de agua	pvalor para Temperatura	pvalor para Amplitud térmica	pvalor para Caudal	pvalor para Temperatura	pvalor para Amplitud térmica	pvalor para Caudal	pvalor para Temperatura	pvalor para Amplitud térmica	pvalor para Caudal
18.08	3.45E-06	0.0166	7.24E-08	4.44E-08	0.0173	7.24E-08	4.32E-08	9.28E-08	8.71E-08
18.09	3.68E-06	0.0227	7.24E-08	4.39E-08	0.0235	7.24E-08	4.32E-08	9.83E-08	9.13E-08
18.10	1.60E-05	0.3398	7.24E-08	6.49E-08	0.3193	7.24E-08	4.32E-08	1.30E-06	9.13E-08
18.11	7.36E-05	0.2498	7.24E-08	9.09E-08	0.2614	7.24E-08	4.32E-08	1.51E-05	9.41E-08
18.12	1.08E-06	0.1771	7.24E-08	4.32E-08	0.1689	7.24E-08	4.32E-08	9.17E-06	9.18E-08
18.13	3.16E-07	0.5177	7.24E-08	4.32E-08	0.5087	7.24E-08	4.32E-08	2.88E-05	9.96E-08
18.14	9.49E-08	0.5648	7.24E-08	4.32E-08	0.5591	7.24E-08	4.32E-08	1.18E-05	1.03E-07
18.15	3.06E-07	0.5326	9.31E-08	4.32E-08	0.5328	7.24E-08	4.32E-08	1.22E-05	1.50E-07
18.16	5.11E-07	0.0263	9.50E-08	4.32E-08	0.0312	7.24E-08	4.32E-08	0.0050	1.78E-07
18.17	5.27E-07	0.0659	9.96E-08	4.32E-08	0.0668	7.24E-08	4.32E-08	0.0006	1.74E-07
18.18	2.10E-07	0.1014	9.68E-08	4.32E-08	0.1126	7.24E-08	4.32E-08	0.0014	1.81E-07
18.20	4.82E-08	0.0105	1.15E-07	4.32E-08	0.0086	7.24E-08	4.32E-08	0.0059	2.75E-07
18.21.01.08	6.56E-08	0.1480	7.24E-08	4.32E-08	0.1355	7.24E-08	4.32E-08	0.0001	1.17E-07
18.21.01.09	8.23E-08	0.0039	7.24E-08	4.32E-08	0.0039	7.24E-08	4.32E-08	0.0257	1.18E-07
18.21.01.10	4.93E-08	8.69E-05	7.47E-08	4.32E-08	6.80E-05	7.24E-08	4.32E-08	0.3704	1.50E-07

Figura A5-7. p-valores para las masas de agua de la tipología 16 " Ejes mediterráneos-continentales mineralizados", para las variables Temperatura media anual, Amplitud térmica anual y Caudal medio anual

MINISTERIO DE FOMENTO
MINISTERIO DE AGRICULTURA ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS
CEDEX

A5-8 TIPO 17 " GRANDES EJES EN AMBIENTE MEDITERRÁNEO"

Código masa de agua	Predicción 2011-2040			Predicción 2041-2070			Predicción 2071-2100		
	pvalor para Temperatura	pvalor para Amplitud térmica	pvalor para Caudal	pvalor para Temperatura	pvalor para Amplitud térmica	pvalor para Caudal	pvalor para Temperatura	pvalor para Amplitud térmica	pvalor para Caudal
18.24	9.84E-07	0.0001	1.06E-07	4.49E-08	9.61E-05	8.71E-08	4.32E-08	0.0400	1.39E-07
18.26	6.23E-08	0.0002	1.22E-07	4.32E-08	0.0003	9.56E-08	4.32E-08	0.0512	1.47E-07
18.27	4.40E-08	0.0001	1.18E-07	4.32E-08	0.0001	9.36E-08	4.32E-08	0.0159	1.63E-07
18.28	4.50E-08	7.76E-05	1.45E-07	4.32E-08	0.0005	9.18E-08	4.32E-08	0.0568	1.50E-07
18.29	4.51E-08	0.0002	1.27E-07	4.32E-08	0.0006	9.51E-08	4.32E-08	0.0517	1.63E-07
18.30	4.98E-08	2.50E-05	1.96E-07	4.32E-08	0.0001	1.22E-07	4.32E-08	0.0180	2.40E-07
18.31	4.98E-08	2.59E-05	2.63E-07	4.32E-08	0.0001	1.25E-07	4.32E-08	0.0173	2.65E-07
18.32	4.98E-08	1.92E-05	3.19E-07	4.32E-08	5.06E-05	1.41E-07	4.32E-08	0.0050	2.83E-07
18.33	4.99E-08	1.04E-05	5.32E-07	4.32E-08	2.79E-05	2.37E-07	4.32E-08	0.0010	4.56E-07
18.34	5.38E-08	3.10E-06	5.12E-07	4.32E-08	1.06E-05	3.15E-07	4.32E-08	0.0002	3.14E-07
18.35	5.31E-08	1.15E-05	4.43E-07	4.32E-08	1.41E-05	2.63E-07	4.32E-08	0.0010	5.32E-07
18.36	5.12E-08	9.62E-06	5.60E-07	4.32E-08	1.76E-05	2.68E-07	4.32E-08	0.0015	3.77E-07

Figura A5-8. p-valores para las masas de agua de la tipología 17 " Grandes ejes en ambiente mediterráneo", para las variables Temperatura media anual, Amplitud térmica anual y Caudal medio anual

A5-9 TIPO 18 " RÍOS COSTEROS MEDITERRÁNEOS"

	Predicción 2011-2040			Predicción 2041-2070			Predicción 2071-2100		
Código masa de agua	pvalor para Temperatura	pvalor para Amplitud térmica	pvalor para Caudal	pvalor para Temperatura	pvalor para Amplitud térmica	pvalor para Caudal	pvalor para Temperatura	pvalor para Amplitud térmica	pvalor para Caudal
02.01	1.34E-07	1.95E-05	7.24E-08	4.32E-08	1.32E-06	1.56E-07	4.32E-08	5.34E-08	2.49E-07
04.01	4.32E-08	0.0015	1.21E-05	4.32E-08	0.0004	5.83E-05	4.32E-08	4.52E-07	1.71E-05
06.01	0.0003	0.0124	0.5307	4.32E-08	0.0027	0.5078	4.32E-08	2.99E-06	0.5174
07.02.01.01	1.25E-07	0.0136	1.38E-06	4.32E-08	0.0008	5.59E-06	4.32E-08	1.20E-06	8.05E-06
08.01	1.19E-07	0.0348	5.98E-06	4.32E-08	0.0031	2.14E-05	4.32E-08	2.86E-06	1.91E-05
09.01	7.32E-07	0.1084	1.94E-06	4.32E-08	0.0486	8.12E-06	4.32E-08	2.22E-05	1.29E-05
09.02	1.13E-07	0.5082	0.0131	4.32E-08	0.2052	0.0120	4.32E-08	0.0001	0.0040
11.01	2.96E-07	0.4264	0.1571	4.32E-08	0.2164	0.0977	4.32E-08	7.57E-05	0.0795
12.01	2.88E-07	0.1337	0.0691	4.32E-08	0.0527	0.1143	4.32E-08	1.40E-05	0.0598
17.01	1.19E-07	0.3167	6.94E-05	4.32E-08	0.2340	1.58E-05	4.32E-08	0.0028	1.53E-05
17.02	5.08E-08	0.4309	0.0013	4.32E-08	0.3545	0.0003	4.32E-08	0.0070	0.0002
19.01	1.13E-07	0.4189	0.5804	4.32E-08	0.4002	0.5639	4.32E-08	0.0060	0.5485
19.02	5.11E-08	0.5459	0.3064	4.32E-08	0.5390	0.2542	4.32E-08	0.0133	0.3810
20.01	5.12E-08	0.5404	0.0005	4.32E-08	0.4754	4.27E-05	4.32E-08	0.0027	0.0001
21.07.01.01	0.0073	0.1428	0.0002	4.32E-08	0.1267	7.49E-06	4.32E-08	9.04E-05	3.72E-05
21.07.01.02	1.12E-07	0.5248	0.2688	4.32E-08	0.5532	0.3551	4.32E-08	0.0169	0.3003
22.01	3.23E-07	0.4192	0.0562	4.32E-08	0.5036	0.0076	4.32E-08	0.0742	0.0119
23.01	4.32E-08	0.5038	0.0402	4.32E-08	0.3665	0.0021	4.32E-08	0.0014	0.0111
24.01	4.32E-08	0.3975	5.30E-06	4.32E-08	0.1429	2.64E-07	4.32E-08	8.97E-05	1.96E-06
25.01	3.77E-06	0.0044	0.0063	4.32E-08	0.0015	0.0003	4.32E-08	2.40E-06	0.0014
25.02	1.17E-07	0.4817	0.5109	4.32E-08	0.3408	0.4430	4.32E-08	0.0029	0.5234
26.01	3.39E-07	0.4897	0.0104	4.32E-08	0.4960	0.0019	4.32E-08	0.1074	0.0021

MINISTERIO DE FOMENTO
MINISTERIO DE AGRICULTURA ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS
CEDEX

27.01	0.0008	0.0988	0.2516	4.32E-08	0.0329	0.3782	4.32E-08	4.40E-05	0.4490
27.02	4.12E-07	0.3602	0.0188	4.32E-08	0.3243	0.0416	4.32E-08	0.3968	0.0533
29.01	1.19E-07	0.0278	0.0085	4.32E-08	0.0123	0.0020	4.32E-08	2.80E-06	0.0055
29.02.01.01	1.20E-07	0.1116	0.0029	4.32E-08	0.0468	0.0002	4.32E-08	1.35E-05	0.0002
29.03	5.11E-08	0.3418	0.5208	4.32E-08	0.4708	0.2998	4.32E-08	0.0845	0.3928
29.04	1.21E-07	0.4456	0.5574	4.32E-08	0.5296	0.3422	4.32E-08	0.0430	0.4240

Figura A5-9. p-valores para las masas de agua de la tipología 18 " Ríos costeros mediterráneos", para las variables Temperatura media anual, Amplitud térmica anual y Caudal medio anual