

Trabajo Fin de Máster

ACTUALIZACIÓN Y VALIDACIÓN DE UN MODELO DE CALIDAD DE AGUA DE LA CUENCA DEL RÍO SEGURA

Intensificación: *HIDRÁULICA URBANA*

Autor:

ALBERTO GAY GARRIGUES

Director:

DR. JAVIER PAREDES ARQUIOLA

Codirector/es:

ENERO 2016



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**

máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma

Resumen

El proyecto realizado consiste en la Validación y Actualización de un modelo de calidad de agua para la cuenca del río Segura, empleando para este propósito el software Aquatool y el módulo Gescal.

La primera parte del informe, consiste en una descripción de la zona de estudio que abordará los datos físico-climáticos, hidrológicos y por otro lado, los usos del suelo y demandas en la cuenca hidrológica del Segura. También se realiza un pequeño análisis de los distintos afluentes que la conforman, en cuanto a geografía y topología de los mismos.

En segundo lugar, se presentan los datos disponibles para este trabajo, como son los modelos proporcionados, y dentro de ellos, las conducciones que los conforman, y sus características físicas; las estaciones de calidad y aforo que existen en la cuenca; los embalses e infraestructuras de abastecimiento y defensa; las aportaciones naturales y los vertidos existentes. Estos dos últimos, se tratan desde un punto de vista cualitativo y cuantitativo, dado el objetivo del proyecto.

El punto central consiste en la calibración y validación, para lo cual se realiza un análisis y completado de los datos de calidad y caudal, estudiando su comportamiento y detectando anomalías existentes en los datos proporcionados.

Durante este proceso, se realizan algunas modificaciones que van a afectar de forma generalizada al modelo; principalmente referidas a la entrada de aportaciones, con la adición del nuevo período temporal que se va a estudiar (2005-2011).

El proceso de recalibración consiste en el estudio de los pares simulado-observado en las distintas estaciones de calidad distribuidas por la cuenca, para los siguientes constituyentes: conductividad, DBO5, fosfatos, oxígeno disuelto, amonio y nitrato. Para este estudio se han realizado perfiles para cada uno de los afluentes y un análisis zonal para el río principal, dado el mayor grado de detalle que proporcionan las estaciones de calidad existentes en el mismo.

Por último, el proyecto concluye con un capítulo de puntos conflictivos en el modelo, que sirve como análisis crítico de las soluciones obtenidas, dando recomendaciones sobre datos susceptibles de ser revisados; y zonas y aportaciones, que resultan conflictivas de acuerdo a los datos aportados y que deberían ser controladas más detalladamente.

Y sobre las zonas susceptibles de depuración, se ha realizado un último apartado denominado simulaciones y análisis de resultados, donde se analiza la calidad de los tramos, y se proponen elementos de depuración sobre la cuenca para alcanzar el buen estado de las masas de agua. Posteriormente, el proceso se acompaña con las simulaciones tras la aplicación de los procesos descritos.

Las conclusiones finalizan con una síntesis del trabajo realizado y están acompañadas de la bibliografía utilizada y los anejos con los gráficos que acompañan a los argumentos expuestos.

Resum

El projecte realitzat consisteix en la Validació i Actualització d'un model de qualitat d'aigua per a la conca del riu Segura, emprant per a aquest propòsit, el programa Aquatool i el mòdul Gescal.

La primera part de l'informe, consisteix en una descripció de la zona d'estudi que abordarà les dades físic-climàtiques, hidrològiques i d'altra banda, els usos del sòl i demandes a la conca hidrològica del Segura. També es realitza un xicotet anàlisi dels diferents afluents que la conformen, en quant a geografia i topologia dels mateixos.

En segon lloc, es presenten les dades disponibles per a aquest treball, com són els models proporcionats, i dins d'ells, les conduccions que els conformen, i les seues característiques físiques; les estacions de qualitat i aforament que hi ha a la conca; els embassaments i infraestructures de proveïment i defensa; les aportacions naturals i els abocaments existents. Aquests dos últims, es tracten des d'un punt de vista qualitatiu i quantitatiu, donat l'objectiu del projecte.

El punt central consisteix en el calibratge i validació, per això, es realitza una anàlisi i completat de les dades de qualitat i cabal, estudiant el seu comportament i detectant anomalies existents en les dades proporcionades.

Durant aquest procés, es realitzen algunes modificacions que afectaran de forma generalitzada al model; principalment referides a l'entrada d'aportacions, amb l'addició del nou període temporal que s'ha de estudiar (2005-2011).

El procés de recalibració consisteix en l'estudi dels parells simulat-observat en les diferents estacions de qualitat distribuïdes per la conca, per als següents constituents: conductivitat, DBO5, fòsfats, oxigen dissolt, amoni i nitrat. Per a aquest estudi, s'han realitzat perfils per a cada un dels afluents i una anàlisi zonal per al riu principal, donat el major grau de detall que proporcionen les estacions de qualitat existents en el mateix.

Finalment, el projecte conclou amb un capítol de punts conflictius en el model, que serveix com anàlisi crítica de les solucions obtingudes, donant recomanacions sobre dades susceptibles de ser revisades; i zones i aportacions, que resulten conflictives d'acord a les dades aportades i que haurien de ser controlades amb més detall.

I sobre les zones susceptibles de depuració, s'ha realitzat un últim apartat anomenat simulacions i anàlisi de resultats, on s'analitza la qualitat dels trams, i es proposen elements de depuració sobre la conca per assolir el bon estat de les masses d'aigua. Posteriorment, el procés s'acompanya amb les simulacions després de l'aplicació dels processos descrits.

Les conclusions finalitzen amb una síntesi del treball realitzat i estan acompanyades de la bibliografia utilitzada i els annexos amb els gràfics que acompanyen els arguments exposats.

Summary

This master's thesis consists in the development of the Validation and updating of a water quality model for the Segura River basin, using for this purpose the Aquatool software and Gescal module. The first part of the report consists of a description of the study area, presenting the physical-climatic data, hydrology and land use and demands on the Segura river basin. A short analysis of the different existing affluents is also done, in terms of geography and topology.

Secondly, the data available for this work are presented, as the models provided, with their lines and physical characteristics; quality and gauge stations; reservoirs and supply infrastructures; natural contributions and sewages. The latter two are discussed from a qualitative and quantitative point of view, given the purpose of the project.

The report main point is the calibration and validation, for which a complete analysis and data quality and flow is done, by studying their behaviour and identifying existing anomalies in the data provided.

During this process, some changes that will widely affect the model are done; mainly related to the entry of contributions, with the addition of a new temporary period (2005-2011). That is one of the first main goals of the project.

The recalibration process is the study of simulated-observed graphs in the different quality stations distributed throughout the basin, to the following constituents: conductivity, BOD5, phosphates, dissolved oxygen, ammonium and nitrate. For this study, we have been made profiles for each of the affluents and zonal analysis for the main river, as the degree of detail provided by the quality stations existing in it, is bigger.

Finally, the project concludes with a chapter of trouble spots in the model, which serves as a critical analysis of the obtained solutions, giving recommendations about data that can be reviewed; and areas and contributions, where there are problems in calibration according to the data provided and should be monitored more closely.

On areas susceptible to depuration, it has been made a final section called simulations and analysis of results, where the quality of the sections is analyzed and depuration elements in the basin are proposed to achieve the good status of water bodies. Subsequently, the process is accompanied by simulations after the application of the processes described.

The conclusions end up with a synthesis of the work done and are followed by the bibliography and annexes with graphics.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. OBJETIVO.....	5
1.2. ESTRUCTURA DEL PROYECTO	7
2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	9
2.1. DATOS FÍSICO-CLIMÁTICOS.....	10
2.2. DATOS HIDROLÓGICOS	12
2.3. USOS DEL SUELO Y DEMANDAS	18
3. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE EMPLEADO	20
3.1. MÓDULO GESCAL.....	20
3.1.1. MODELACIÓN EN CONDUCCIONES	22
3.1.2. MODELACIÓN EN EMBALSES	24
4. DATOS DISPONIBLES	25
4.1. MODELOS.....	25
4.2. CONDUCCIONES.....	28
4.2.1. Mundo + Arroyo Tobarra	30
4.2.2. Alto Segura	32
4.2.3. Moratalla.....	33
4.2.4. Argos.....	34
4.2.5. Quípar.....	35
4.2.6. Mula	36
4.2.7. Guadalentín	37
4.2.8. Segura. Principal 1.....	39
4.2.9. Segura. Principal 2.....	39
4.2.10. Segura. Principal 3.....	40
4.2.11. Segura. Principal 4.....	41
4.2.12. Segura. Principal 5.....	43
4.2.13. Segura. Principal 6.....	44
4.3. ESTACIONES DE CALIDAD Y ESTACIONES DE AFORO	46
4.4. EMBALSES	49
4.5. APORTACIONES NATURALES.....	55
4.5.1. Caracterización de aportaciones.....	58
4.6. VERTIDOS	65
4.6.1. Caracterización de vertidos.....	70
4.7. DEMANDAS	75
5. ANÁLISIS Y COMPLETADO DE LOS DATOS	82
5.1. DATOS DE CALIDAD.....	83
5.2. DATOS DE CAUDALES.....	85

6. RECALIBRACIÓN DEL MODELO	88
6.1. PERFILES DE CALIDAD	90
6.1.1. Segura (río principal)	90
6.1.2. Mundo + Arroyo Tobarra	96
6.1.3. Alto Segura	98
6.1.4. Moratalla	100
6.1.5. Argos.....	101
6.1.6. Quípar.....	102
6.1.7. Mula	104
6.1.8. Guadalentín	105
6.2. ESTUDIO POR ZONAS	108
6.2.1. Tramo 1 (Mundo + Alto Segura + Moratalla)	108
6.2.2. Tramo 2 (Tramo 1 + Argos)	109
6.2.3. Tramo 3 (Tramo 2 + Quípar).....	110
6.2.4. Tramo 4 (continuación Tramo 3)	114
6.2.5. Tramo 5 (Tramo 4 + Mula)	119
6.2.6. Tramo 6 (Tramo 5 + Guadalentín).....	123
7. PUNTOS CONFLICTIVOS EN EL MODELO	131
7.1. Datos susceptibles de revisión.....	131
7.2. Zonas susceptibles de contar con una estación de calidad	133
7.3. Aportaciones susceptibles de contar con una estación de calidad	133
8. SIMULACIONES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	134
8.1. Análisis de calidad en los tramos	134
8.2. Mejora en los tratamientos de depuración de los vertidos	144
8.3. Resultado de las simulaciones realizadas	151
8.4. Recapitulación.....	157
9. CONCLUSIONES	159
10. BIBLIOGRAFÍA.....	161
11. ANEJOS.....	162

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Distribución territorial en el ámbito de la CHS. [Fuente:	9
Tabla 2	Distribución poblacional en el ámbito de la CHS. [Fuente:	10
Tabla 3	Relación de masas de agua subterráneas y superficie.	18
Tabla 4	Curvas de temperatura.	28
Tabla 5	Valores típicos para los coeficientes hidráulicos [Fuente: (Paredes et	29
Tabla 6	Características de las conducciones. Alto Mundo.	30
Tabla 7	Características de las conducciones. Alto Segura.	32
Tabla 8	Características de las conducciones. Moratalla.	33
Tabla 9	Características de las conducciones. Argos.	34
Tabla 10	Características de las conducciones. Quípar.	35
Tabla 11	Características de las conducciones. Mula.	36
Tabla 12	Características de las conducciones. Guadalentín.	38
Tabla 13	Características de las conducciones. Segura. Tramo principal 1.	39
Tabla 14	Características de las conducciones. Segura. Tramo principal 2.	39
Tabla 15	Características de las conducciones. Segura. Tramo principal 3.	40
Tabla 16	Características de las conducciones. Segura. Tramo principal 4.	42
Tabla 17	Características de las conducciones. Segura. Tramo principal 5.	43
Tabla 18	Características de las conducciones. Segura. Tramo principal 6.	44
Tabla 19	Descripción de las estaciones de calidad que forman parte del modelo.	47
Tabla 20	Embalses en el modelo y usos de los mismos.	50
Tabla 21	Información sobre vertidos.	67
Tabla 22	Relación de demandas y puntos desde los que se abastecen.	77
Tabla 23	Afecciones de los vertidos sobre las aportaciones.	82
Tabla 24	Objetivos de calidad para los distintos cauces de la cuenca del Segura, separados por grupos de calidad .	134
Tabla 25	Umbrales máximos para establecer el límite del buen estado de algunos indicadores fisicoquímicos de los ríos (IPH, 2008).	135
Tabla 26	Características cualitativas de las entradas al río Argos	145
Tabla 27	Características cualitativas de las entradas al río Mula.	146
Tabla 28	Características cualitativas del vertido Fca. Curtidos.	147
Tabla 29	Propuestas de mejora en la depuración.	148
Tabla 30	Características cualitativas del vertido Fca. Curtidos.	149
Tabla 31	Estadísticas de la propuesta de depuración. Río Argos	152
Tabla 32	Estadísticas de la propuesta de depuración. Río Mula.	152
Tabla 33	Estadísticas de la propuesta de depuración. Conductividad. Río Guadalentín	154
Tabla 34	Estadísticas de la propuesta de depuración. Conductividad. Río Guadalentín	155
Tabla 35	Estadísticas de la propuesta de depuración. Amonio. Río Guadalentín	155
Tabla 36	Estadísticas de la propuesta de depuración. Nitrato. Río Guadalentín	156

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Hoces del Segura (Letur). [Fuente:www.lospradillos.es]	5
Figura 2	Situación geopolítica de la cuenca hidrográfica. [Fuente: www.chsegura.es].	9
Figura 3	Clasificación climática según Köppen. [Fuente: Instituto Nacional de Meteorología (MMA)].	10
Figura 4	Precipitación media anual (mm/año). [Fuente: www.chsegura.es]	11
Figura 5	Principales cauces de la cuenca del río Segura. [Fuente: Elaboración propia]	12
Figura 6	Desembocadura del Río Segura. [Fuente: www.marjalcostablanca.com]	15
Figura 7	Mapa de unidades hidrogeológicas y acuíferos en la cuenca del Segura. [Fuente: www.chsegura.es].	16
Figura 8	Mapa de usos del suelo en la cuenca hidrográfica. [Fuente: CORINE Land Cover]	18
Figura 9	Esquema Río Mundo y Arroyo Tobarra	31
Figura 10	Esquema Alto Segura y Taibilla.	33
Figura 11	Esquema Moratalla.	34
Figura 12	Esquema Argos.	35
Figura 13	Esquema Quípar.	36
Figura 14	Esquema Mula.	37
Figura 15	Esquema Guadalentín.	38
Figura 16	Esquema Segura. Tramo Principal 1.	39
Figura 17	Esquema Segura. Tramo Principal 2.	40
Figura 18	Esquema Segura. Tramo principal 3.	41
Figura 19	Esquema Segura. Tramo Principal 4.	42
Figura 20	Esquema Segura. Tramo principal 5.	43
Figura 21	Esquema Segura. Tramo Principal 6.	45
Figura 22	Estaciones de calidad y aforo a lo largo de la cuenca	48
Figura 23	Evolución del volumen almacenado en el embalse del Talave.	51
Figura 24	Evolución del volumen almacenado en el embalse de Camarillas.	51
Figura 25	Evolución del volumen almacenado en el embalse de la Fuensanta.	52
Figura 26	Evolución del volumen almacenado en el embalse del Cenajo.	52
Figura 27	Evolución del volumen almacenado en el embalse de Argos.	53
Figura 28	Evolución del volumen almacenado en el embalse de Alfonso XIII.	53
Figura 29	Evolución del volumen almacenado en el embalse de la Cierva.	54
Figura 30	Evolución del volumen almacenado en el embalse de Valdeinfierno.	55
Figura 31	Evolución del volumen almacenado en el embalse de Puentes.	55
Figura 32	Esquema de aportaciones que intervienen en la cuenca.	57
Figura 33	Caudal promedio mensual de las aportaciones en el Alto Mundo.	59
Figura 34	Histórico de caudales en el Río Mundo	59
Figura 35	Caudal promedio mensual de las aportaciones en el Alto Segura.	60
Figura 36	Histórico de caudales en el Alto Segura.	61

Figura 37	Caudal promedio de los afluentes del río principal.	61
Figura 38	Histórico de caudales en Moratalla, Argos y Quípar.	62
Figura 39	Histórico de caudales en el tramo previo al azud de Ojós	63
Figura 40	Histórico de caudales en el tramo posterior al azud de Ojós	64
Figura 41	Caudal promedio mensual de las aportaciones en el río Guadalentín.	64
Figura 42	Histórico de caudales en el río Guadalentín.	65
Figura 43	Esquema de vertidos que intervienen en el modelo.	69
Figura 44	Caudal promedio mensual de los vertidos principales de la cuenca del Segura.	71
Figura 45	Caudal promedio del resto de vertidos de la cuenca del Segura.	71
Figura 46	Valores de DBO5 para vertidos destacables de la cuenca.	72
Figura 47	Valores de nitratos para vertidos destacables de la cuenca.	73
Figura 48	Valores de amonio para vertidos destacables de la cuenca.	74
Figura 49	Azud de Ojós para derivación de las aguas.	78
Figura 50	Demandas mensuales promedio sobre Azud de Ojós.	79
Figura 51	Demandas mensuales promedio en el río Guadalentín.	80
Figura 52	Demandas mensuales promedio en la Vega Baja.	81
Figura 53	Caudal observado-simulado para la estación de aforo Camarillas.	85
Figura 54	Caudal observado-simulado para la estación de aforo Cenajo.	86
Figura 55	Caudal observado-simulado para la estación de aforo Calasparra.	86
Figura 56	Caudal observado-simulado para la estación de aforo Contraparada	87
Figura 57	Perfil de caudales promedio en los distintos puntos de aforo del río Segura.	87
Figura 58	Detalle de entradas al modelo a la altura de Contraparada	91
Figura 59	Perfil de conductividad promedio en distintos puntos del río Segura.	94
Figura 60	Perfil de DBO5 promedio en distintos puntos del río Segura.	94
Figura 61	Perfil de fosfato promedio en distintos puntos del río Segura.	94
Figura 62	Perfil de oxígeno disuelto promedio en distintos puntos del río Segura.	95
Figura 63	Perfil de amonio promedio en distintos puntos del río Segura.	95
Figura 64	Perfil de nitrato promedio en distintos puntos del río Segura.	95
Figura 65	Perfiles de los diferentes parámetros estudiados para el Río Mundo + Arroyo Tobarra.	97
Figura 66	Representación de los valores de oxígeno disuelto simulado y observado	98
Figura 67	Perfiles de los diferentes parámetros estudiados para el Alto Segura.	99
Figura 68	Fragmento del mapa geológico de Isso de la serie Magna 50 (IGME). El terreno numerado como 1, aparece descrito como arcillas rojas y yesos; mientras que el número 26 se trata de margas blancas con yeso	100
Figura 69	Representación de los valores de amonio simulado y observado.	101

Figura 70	Representación de los valores de fosfato simulado y observado.	102
Figura 71	Representación de los valores de nitrato simulado y observado.	102
Figura 72	Representación de los valores de DBO5 simulado y observado.	103
Figura 73	Representación de los valores de nitrato simulado y observado.	104
Figura 74	Representación de los valores de oxígeno disuelto simulado y observado.	105
Figura 75	Representación de los valores de amonio simulado y observado.	106
Figura 76	Representación de los valores de nitrato simulado y observado.	106
Figura 77	Perfiles de los diferentes parámetros estudiados para el Río Guadalentín.	107
Figura 78	Representación de los valores de conductividad simulada y observada.	109
Figura 79	Representación de los valores de DBO5 simulado y observado.	111
Figura 80	Representación de los valores de nitrato simulado y observado.	112
Figura 81	Representación de los valores de amonio simulado y observado.	112
Figura 82	Representación de los valores de nitrato simulado y observado.	113
Figura 83	Representación de los valores de fosfato simulado y observado.	113
Figura 84	Representación de los valores de nitrato simulado y observado.	114
Figura 85	Representación de los valores de nitrato simulado y observado.	115
Figura 86	Representación de los valores de nitrato simulado y observado.	116
Figura 87	Representación de los valores de conductividad simulada y observada.	117
Figura 88	Representación de los valores de conductividad simulada y observada.	118
Figura 89	Representación de los valores de DBO5 simulado y observado.	118
Figura 90	Representación de los valores de amonio simulado y observado.	118
Figura 91	Representación de los valores de oxígeno disuelto simulado y observado.	119
Figura 92	Representación de los valores de nitrato simulado y observado.	120
Figura 93	Representación de los valores de fosfato simulado y observado.	121
Figura 94	Representación de los valores de nitrato simulado y observado.	121
Figura 95	Representación de los valores de conductividad simulada y observada.	122
Figura 96	Representación de los valores de nitrato simulado y observado.	122
Figura 97	Representación de los valores de DBO5 simulado y observado.	123
Figura 98	Representación de los valores de amonio simulado y observado.	124
Figura 99	Representación de los valores de nitrato simulado y observado.	124
Figura 100	Representación de los valores de amonio simulado y observado.	125
Figura 101	Representación de los valores de nitrato simulado y observado.	125
Figura 102	Representación de los valores de nitrato simulado y observado.	126
Figura 103	Representación de los valores de amonio simulado y observado.	126
Figura 104	Representación de los valores de fosfato simulado y observado.	127
Figura 105	Representación de los valores de nitrato simulado y observado.	128
Figura 106	Representación de los valores de DBO5 simulado y observado.	128
Figura 107	Representación de los valores de fosfato simulado y observado.	129

Figura 108	Representación de los valores de nitrato simulado y observado.	129
Figura 109	Representación de los valores de DBO5 simulado y observado.	130
Figura 110	Propuesta de depuración de nitratos EDAR Calasparra	148
Figura 111	Propuesta de depuración de nitratos en Baños de Mula	148
Figura 112	Propuesta de depuración para conductividad en Fca. Curtidos.	149
Figura 113	Propuesta de depuración para amonio en EDAR San Antón.	150
Figura 114	Propuesta de depuración para nitrato en EDAR San Antón.	150
Figura 115	Propuesta de depuración para amonio en EDAR Orihuela.	150
Figura 116	Propuesta de depuración para nitrato en EDAR Orihuela.	151
Figura 117	Propuesta de depuración. Río Argos	151
Figura 118	Propuesta de depuración. Río Mula.	152
Figura 119	Propuesta de depuración. Conductividad en Río Guadalentín.	153
Figura 120	Propuesta de depuración. DBO5 en Río Guadalentín.	154
Figura 121	Propuesta de depuración. Amonio en Río Guadalentín.	155
Figura 122	Propuesta de depuración. Amonio. Perfil Río Segura	156
Figura 123	Propuesta de depuración. Nitrato. Perfil Río Segura	157

1. INTRODUCCIÓN

En todo sistema natural, el desarrollo de la actividad biológica lleva asociado de forma intrínseca, la existencia de agua resultando imprescindible bien como constituyente o como medio donde se genera dicha actividad. A lo largo de la historia del ser humano, la disponibilidad hídrica, tanto en calidad como en cantidad, ha condicionado el asentamiento de poblaciones. Su consecuencia se traduce en un continuo incremento de la presión sobre el recurso, por la generación de nuevas actividades, así como el progresivo aumento en las necesidades hídricas de las personas.

A lo largo de los últimos siglos, los problemas sobre el agua se han visto incrementados. Las poblaciones se acumulan en grandes urbes, la agricultura y ganadería intensiva requiere de mayores cantidades de agua, y elimina la estacionalidad en la disponibilidad hídrica asociada a la agricultura tradicional; y los problemas medioambientales a nivel global, como el cambio climático, están provocando una redistribución del recurso que no favorece a los países con mayores carencias del mismo. Cuantitativamente, se está recurriendo a otros recursos, por ejemplo, los subterráneos, como solución frente a esta carencia, pero a un ritmo tal que resulta ingenuo pensar en ello como una alternativa definitiva.

Cualitativamente, las afecciones crecen exponencialmente. Históricamente, las corrientes fluviales han servido siempre como un elemento de depuración natural. Sin embargo, la colmatación de la capacidad máxima de degradación del medio debido a los vertidos con alto contenido orgánico que se realizan, así como la generación de compuestos más complejos y difíciles de degradar, está provocando problemas de índole ecológica, como la pérdida de biodiversidad del medio, la entrada de especies invasoras, la alteración del medio abiótico; y económicos, asociados a la instalación de mayores tratamientos para la mejora de la calidad del agua, que conllevan un importante desembolso por parte de los organismos encargados de preservar el medio.

Ambos problemas, calidad y cantidad, forman un conjunto indivisible, puesto que limitan la utilización del recurso en todos sus usos.

Históricamente, las administraciones han realizado un tratamiento de este problema mediante limitaciones en la calidad de los vertidos, un control sobre la cantidad de agua utilizada y redes de medida, para el control de unos estándares de calidad que garanticen un buen estado cuantitativo cualitativo del agua.

Un hito en este campo fue la implementación de la Directiva 2000/60/CE, conocida como Directiva Marco del Agua (DMA), que ha supuesto un marco europeo común para la protección del agua y garantizar la sostenibilidad en su uso. En su artículo 4, la Directiva indica que los estados miembros habrán de aplicar las medidas necesarias para prevenir el deterioro del estado de todas las masas de agua superficial, así como proteger, mejorar y regenerar, las ya existentes, en caso de no cumplir con el concepto de “buen estado” cualitativo y cuantitativo. Dicho concepto, está referido al estado ecológico y químico de las aguas tomando como punto de partida, el estado de la masa de agua en su condición natural.

Por ello, uno de las consecuencias de esta directiva, es la consideración de las variables de decisión que intervienen en la modificación de la cantidad y calidad del agua; entendiendo como variables de decisión, la repercusión que una determinada actuación tendrá sobre una cuenca con una consideración espacial y temporal suficiente, tomando en cuenta los aspectos ecológicos, ambientales, sociales y económicos.

Bajo esta definición, los sistemas de soporte de decisión (SSD) resultan una herramienta fundamental, para estudiar el comportamiento del recurso a lo largo de la cuenca, y por ello, están siendo objeto de desarrollo por parte de diferentes universidades y organismos.

Uno de estos proyectos, es el SSD Aquatool (Andreu et al., 1991), desarrollado en la Universidad Politécnica de Valencia, dentro del que se integran los módulos SIMGES (Andreu et al, 1992) y GESCAL (Paredes et al., 2004), para la Simulación en la Gestión de Recursos Hídricos y la Gestión de la Calidad, respectivamente.

1.1. OBJETIVO

El objetivo de la citada actividad es la actualización de un modelo de calidad de aguas desarrollado previamente en la Confederación Hidrográfica del Segura (CHS) con el módulo GESCAL, desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia.

Este modelo, incluirá la cuenca hidrográfica del Río Segura junto a sus afluentes, tomando en consideración las aportaciones existentes en el modelo, los usos y demandas del agua, los vertidos y retornos realizados, y otras cargas contaminantes.



Figura 1. Hoces del Segura (Letur). [Fuente:www.lospradillos.es]

El empleo de este software permite introducir el cálculo de todos los procesos de modificación de la calidad del agua tanto en tramos de río como en embalses y realiza este cálculo con cada elemento del esquema de la cuenca. Aplicándolo a diferentes alternativas de decisión en la gestión de la cuenca permite evaluar las consecuencias en materia de calidad del agua que tiene para toda la cuenca cualquier decisión que se plantee.

De este modo, es posible realizar la simulación de escenarios hipotéticos de cargas contaminantes, así como el conocimiento del estado cualitativo de las aguas del río en todos sus puntos aunque carezcan de estación de calidad.

Inicialmente, el modelo proporcionado estaba calibrado para el período 1999-2005. Desde este momento, se ha realizado en la cuenca una importante inversión en la instalación de estaciones depuradoras de aguas residuales, depuradoras para el tratamiento de vertidos industriales y la instalación de tratamientos secundarios y terciarios, que han repercutido en una mejora muy apreciable de la calidad de las aguas del río.

Una de las limitaciones del trabajo se encuentra en la carencia y/o fiabilidad de los datos aportados. Bien por localización, bien en ciertos intervalos de la serie temporal, los vacíos en cuanto a las observaciones dentro del modelo, complican la comprobación de la calibración en ciertos puntos de la cuenca. Del mismo modo, la calidad de los datos, influye en la calidad del trabajo obtenido. Un último punto a destacar proviene de la propia discretización, dado que un dato mensual y una serie relativamente corta, de tan solo 12 años, puede enmascarar algunos estados del río o no reflejar adecuadamente el estado global de la cuenca fluvial.

La actualización del modelo para los datos cualitativos del período 1999-2011, se realizará con una discretización mensual, para introducir de este modo, los cambios que se han ido produciendo en la cuenca durante este nuevo intervalo temporal, tratando con especial relevancia la calibración de los últimos años de la serie temporal. De este modo, se pretende conseguir un modelo que represente de manera fiable la realidad observada.

Con la recalibración, el objetivo será conseguir un modelo que se adapte a posteriores entradas de calidad, cumpliendo así con el objetivo de la Directiva 2000/60/CE, respecto a la consideración de las variables de decisión que intervienen en la modificación de la cantidad y calidad del agua.

Por último, entre los objetivos del proyecto, se van a proponer una serie de mejoras que repercutan en la precisión del modelo, como la instalación de estaciones de calidad en zonas donde resultaría necesario, o la medición y vigilancia de puntos donde se observan anomalías.

Este punto incluye también, la realización de simulaciones para representar los resultados de una propuesta de depuración y sus repercusiones sobre la calidad del agua de la cuenca.

1.2. ESTRUCTURA DEL PROYECTO

Estructuralmente, el proyecto va a estar compuesto por los siguientes puntos:

En primer lugar, en el capítulo 2 se va a realizar una descripción de la zona de estudio que abordará los datos físico-climáticos, hidrológicos y por otro lado, los usos del suelo y demandas en la cuenca hidrológica del Segura. También se realiza un pequeño análisis de los distintos afluentes que la conforman, en cuanto a geografía y topología de los mismos.

El capítulo 3 presenta el software empleado para la modelación de calidad, así como los módulos que lo conforman y realiza una breve presentación de los elementos que aparecen en la modelación, así como la formulación matemática que hay tras la interfaz. Una descripción más extensa, puede encontrarse en los manuales propios del software.

Tras esta exposición, el capítulo 4 presenta los datos disponibles para este trabajo, como son los modelos proporcionados para el trabajo, y dentro de ellos, las conducciones que los conforman, y sus características físicas; las estaciones de calidad y aforo que existen en la cuenca; los embalses e infraestructuras de abastecimiento y defensa; las aportaciones naturales y los vertidos existentes. Estos dos últimos, se tratan desde un punto de vista cualitativo y cuantitativo, dado el objetivo del proyecto.

Una vez presentados, el propósito del capítulo 5, será la realización de un análisis y completado de los datos de calidad y caudal, estudiando su comportamiento y detectando anomalías existentes en los datos proporcionados. Dado que los caudales han sido proporcionados, se han tomados como invariables, y las posibles modificaciones serán realizadas sobre los datos de calidad.

Durante este proceso, se realizan algunas modificaciones que van a afectar de forma generalizada al modelo; principalmente referidas a la entrada de aportaciones, con la adición del nuevo período temporal que se va a estudiar (2005-2011), así como la

retirada de las cargas difusas que formaban parte del modelo anterior, evitando su uso abusivo y buscando una mejor calibración a través de los parámetros.

El capítulo 6, recalibración del modelo, centra la mayor parte del trabajo. Consiste en el estudio de los pares simulado-observado en las distintas estaciones de calidad distribuidas por la cuenca, para los siguientes constituyentes: conductividad, DBO5, fosfatos, oxígeno disuelto, amonio y nitrato. Este estudio se ha realizado por perfiles para cada uno de los afluentes y en un análisis zonal para el río principal, dado el mayor grado de detalle que proporcionan las estaciones de calidad existentes en el mismo.

Dentro de este capítulo, el apartado puntos conflictivos en el modelo, sirve como análisis crítico de las soluciones obtenidas, dando recomendaciones sobre datos susceptibles de ser revisados; y zonas y aportaciones, que resultan conflictivas de acuerdo a los datos aportados y que deberían ser controladas más detalladamente.

Sobre las zonas susceptibles de depuración, se ha realizado un último capítulo 7 denominado simulaciones y análisis de resultados, donde se analiza la calidad de los tramos, y se proponen elementos de depuración sobre la cuenca para alcanzar el buen estado de las masas de agua. Posteriormente, el proceso se acompaña con las simulaciones tras la aplicación de los procesos descritos.

Las conclusiones finalizan con una síntesis del trabajo realizado y están acompañadas de la bibliografía utilizada y los anejos con los gráficos que acompañan a los argumentos expuestos.

A continuación, se describen los puntos aquí descritos para la consecución de este documento.

2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El informe se centra en la cuenca del río Segura y sus afluentes, situada en el suroeste de la península ibérica, cuya influencia se extiende a las comunidades autónomas de Castilla La Mancha, Andalucía, Murcia y la Comunidad Valenciana (ver Figura 2).



Figura 2. Situación geopolítica de la cuenca hidrográfica. [Fuente: www.chsegura.es].

La cuenca hidrográfica del Segura se extiende a lo largo de 19025 km². Tanto en términos de área como de población, la provincia murciana es la que mayor influencia ejerce sobre la cuenca.

Comunidad Autónoma	Superficie en la cuenca (km ²)	Fracción de la cuenca (%)	Municipios
Región de Murcia	11.180	58,8	45
Com. Valenciana	1.299	6,8	37
Castilla-La Mancha	4.759	25	36
Andalucía	1.787	9,4	19
Total	19.025	100	137

Tabla 1. Distribución territorial en el ámbito de la CHS. [Fuente: www.chsegura.es].

Comunidad Autónoma	Nº Habitantes	Fracción de la cuenca (%)	Densidad (Hab./km ²)
Región de Murcia	1.472.049	73,4	132
Com.Valenciana	442.366	22	341
Castilla-La Mancha	67.963	3,4	14
Andalucía	24.416	1,2	14
Total	2.006.794	100	105

Tabla 2. Distribución poblacional en el ámbito de la CHS. [Fuente: www.chsegura.es].

2.1. DATOS FÍSICO-CLIMÁTICOS

Topográficamente, la cuenca del Segura, tiene una variedad orográfica importante, puesto que el nacimiento de la misma, se genera en las sierras limítrofes con la comunidad andaluza, alcanzando alturas de 2000 metros, en la Sierra del Segura, lo que supone una diferencia de alturas considerable dada la cercanía a la costa. De acuerdo a la curva hipsométrica existente, el 80% de la cuenca, se sitúa por debajo de los 1000 metros y el 40% por debajo de los 500 metros, dando lugar a grandes valles y llanuras hasta la llegada a la costa.



Figura 3. Clasificación climática según Köppen. [Fuente: Instituto Nacional de Meteorología (MMA)].

Esta distribución espacial repercute en grandes contrastes, existiendo fenómenos de sequía, lluvias torrenciales, temperaturas elevadas y heladas, coincidiendo en espacios relativamente cercanos. Puede decirse que debido a todos los factores climáticos que conviven (latitud, componentes atmosféricos climáticos, topografía, orientación y exposición, y distancia al mar), se genera una diversidad de climas locales muy variados. De acuerdo a la clasificación de Koppen, puede catalogarse la mayor parte de la cuenca, como clima estepario (tipo B) (ver Figura 3). Este clima se describe como árido o sub-árido cuya precipitación está muchas veces asociada, a fenómenos convectivos de gran intensidad y corta o muy corta duración.

Existe una relación acusada entre precipitación y relieve, superando en algunas zonas los valores medios de 1000 mm/año (a destacar la Sierra del Segura, catalogada según Koppen, como clima templado lluvioso). Sin embargo, la distribución espacial de las sierras montañosas suroeste/noreste, dificulta el avance de los frentes atlánticos, provocando una disminución de la precipitación en las zonas más próximas a la costa, con valores mínimos medios inferiores a 300 mm (ver Figura 4).

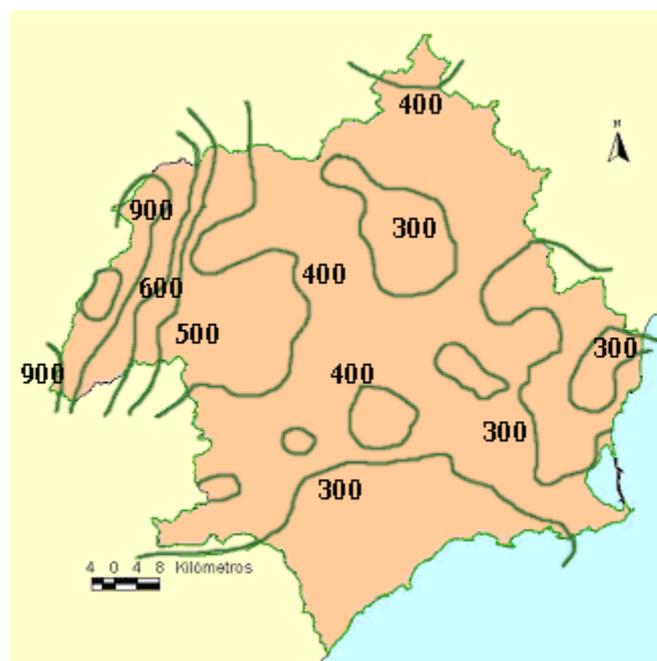


Figura 4. Precipitación media anual (mm/año). [Fuente: www.chsegura.es]

Desde el punto de vista geológico, el ámbito de la cuenca del Segura se encuentra bajo la influencia de las cordilleras béticas, lo que genera una distribución heterogénea en los materiales existentes. Las zonas internas, más afectadas por la orogénesis presentan

procesos de metamorfismo, mientras que las zonas externas, están formadas por plegamientos de materiales terciarios depositados, destacando los depósitos aluviales, margas, yesos y arcillas.

Este hecho, es causa de la existencia de fenómenos kársticos y fenómenos hidrotermales importantes en la zona, los cuales, tendrán especial repercusión en la medida sobre la conductividad en los cauces fluviales.

Destacable también, las importantes explotaciones mineras que han existido en la cuenca, principalmente asociadas a la zona de Cehegín con explotaciones de azufre y hierro. Actualmente, en la zona de Mina María – Baños de Gilico (Cehegín), se pretende reabrir la explotación minera al encontrar un nuevo yacimiento de magnetita, por lo que en caso de iniciarse la explotación, deberá estudiarse que consecuencias provocaría sobre la calidad del agua.

2.2. DATOS HIDROLÓGICOS



Figura 5. Principales cauces de la cuenca del río Segura. [Fuente: Elaboración propia]

La cuenca hidrográfica del Segura, y en especial, la componente superficial, constituye la principal fuente de recurso hídrico en el suroeste de la península ibérica (ver Figura 5). Consta de dos cabeceras, el río Mundo y el alto Segura, que aportan la mayor parte del caudal circulante por el río y una serie de afluentes de carácter principalmente ocasional.

El río Mundo nace en el Parque natural de los Calares del Río Mundo y de la Sima, situado en Riópar, provincia de Albacete. El río nace bajo una enorme cascada desde la llamada Cueva de los Chorros, a una altura de 1140 metros. Su origen está conectado con un acuífero de tipo kárstico que otorga un mayor o menor flujo de agua en función de la época del año.

A lo largo de su cuenca, el río se ve embalsado en las presas del Talave y de Camarillas. En el primero de ellos, es donde se reciben las aguas del conocido trasvase Tajo-Segura, utilizado principalmente para satisfacer demandas agrícolas de la Vega Media y Baja, en la parte más baja del río.

En la otra cabecera, el río Segura nace a 1410 metros de altura en la aldea de Fuente Segura (Jaén) dentro de la sierra del mismo nombre. En su curso, estrecho y profundo, recibe el caudal de ríos pequeños pero abundantes como el Madera, el Zumeta y el Tus. Existen un par de embalses de aprovechamiento hidroeléctrico como son el embalse de la Fuensanta y el embalse del Cenajo, que también se utilizan como embalses de regulación en la parte alta y media del río.

El curso medio del río comienza con la confluencia de los dos ríos cabecera, de caudales promedio similares. Esta confluencia se produce a tan solo 200 metros sobre el nivel del mar, lo que explica la sinuosidad del río hasta la costa.

Los principales afluentes se concentran en la margen derecha del mismo siendo estos, el Moratalla, Quípar, Argos, Mula y Guadalentín, y su aportación al río es escasa ya que son aprovechados, casi en su totalidad para satisfacer los usos de las localidades colindantes.

Los tres primeros tienen el perfil de río mediterráneo, de tipo escaso y torrencial. Ambos transcurren siguiendo una dirección cuasi paralela.

El río Moratalla (o Alhárabe, antes de la confluencia con el arroyo Benamor), es un río de caudal escaso que nace en la pedanía de El Sabinar, rodeando el municipio de Moratalla (Murcia) y termina juntándose al cauce principal en la localidad de Calasparra.

El río Argos nace en el término de Caravaca de la Cruz, desde donde continúa al término de Cehegín, remansa sus aguas en el embalse de Argos, y termina confluyendo con el Segura, también en la localidad de Calasparra, en su zona sur. Este embalse se utiliza principalmente para el riego de los cultivos de la zona.

En tercer lugar, el río Quípar nace también en la zona de Caravaca de la Cruz, al sur de la localidad. Transcurre en paralelo al río Argos, del cual recibe los excedentes del embalse del Argos. Atraviesa la zona minera de Gilico, donde se forma un lago dado el corte que produjo la mina en el suelo, para continuar llegando al embalse de Alfonso XIII. Finalmente, desemboca en el cañón de los Almadenes.

En la margen izquierda, los afluentes son de poca importancia. Está surcada por ramblas estacionales, y su influencia sobre el río se limita a episodios de carácter torrencial. A destacar, la rambla del Judío y la rambla del Moro.

A lo largo del curso medio del río Segura, se encuentran algunas de las principales infraestructuras para el aprovechamiento de los caudales del mismo, donde destaca el Azud de Ojós, principal infraestructura desde la que se derivan los caudales provenientes del trasvase Tajo-Segura.

Un segundo azud es el Azud de la Contraparada, de origen musulmán (aunque algunos estudios consideran que podría existir desde la época romana). Esta pequeña presa, sirve para elevar el nivel del agua y dar servicio a las acequias de Aljufía y Alquibla, utilizadas en el riego de la Vega Media. Finalizando la Vega Media, se reciben los caudales de los ríos Mula y Guadalentín, con un marcado carácter torrencial.

El río Mula nace de la confluencia de varios arroyos y ramblas, en los términos de Bullas y Cehegín. Se le une el río Pliego a la altura de la Puebla de Mula, para finalmente desaguar al río Segura en el municipio de Alguazas. Consta del pequeño embalse de la Cierva con un uso principal de regulación en la primera mitad del río.

El principal afluente del río Segura, es el río Guadalentín. Nace en la sierra de María (Almería) desde donde se dirige a los términos de Lorca, Alhama de Murcia, Totana y Librilla, con pequeñas aportaciones de ramblas efímeras. Consta de dos embalses en la parte superior del río: los embalses de Puentes y Valdeinfierno, cuyas aguas se aprovechan para los diversos regadíos de la región.

Desde un punto de vista cualitativo, es un afluente de especial repercusión debido a las actividades industriales (curtido de pieles) localizadas alrededor del mismo.

Una vez atravesados las localidades de Murcia y Beniel, el río entra en el tramo bajo del mismo, la denominada Vega Baja. Siguiendo un recorrido muy sinuoso, marcado por la poca pendiente media hasta la desembocadura (promedio de 5 por 10000), el río se encuentra encajado en una enorme llanura de inundación. En este tramo, el cauce se encuentra fuertemente canalizado para evitar posibles inundaciones.

La desembocadura se produce en la zona norte de Guardamar, atravesando las dunas existentes. El encauzamiento en desembocadura posee un ancho de 220 metros, con un dique central en su mitad y un puerto deportivo en su margen derecha (ver Figura 6).



Figura 6. Desembocadura del Río Segura. [Fuente: www.marjalcostablanca.com]

Entre otras aportaciones relevantes, cabe destacar la aportación proveniente del Tajo, en el denominado trasvase Tajo-Segura que sirve para garantizar la demanda urbana de abastecimiento, y la demanda de riego de la Vega Media y Baja.

Su origen se sitúa en el embalse de Bolarque, desde donde se bombea hasta el embalse de la Bujeda, que se utiliza como depósito superior (7 Hm³) de la central de Altomira. El canal desagua al embalse de Alarcón, en la cuenca del Júcar, de cuyas inmediaciones, y en régimen de entradas por salidas, parte el otro tramo de canal hacia el embalse de Talave (río Mundo), ya en la cuenca del Segura. El transporte de los recursos a la cuenca se produce físicamente mediante un canal de 33 m³/s de capacidad, que sería teóricamente suficiente para trasvasar hasta 1.000 hm³/año a caudal continuo. Dentro de la cuenca, las infraestructuras del Postrasvase permiten la distribución de estos recursos trasvasados a sus diferentes áreas de utilización.

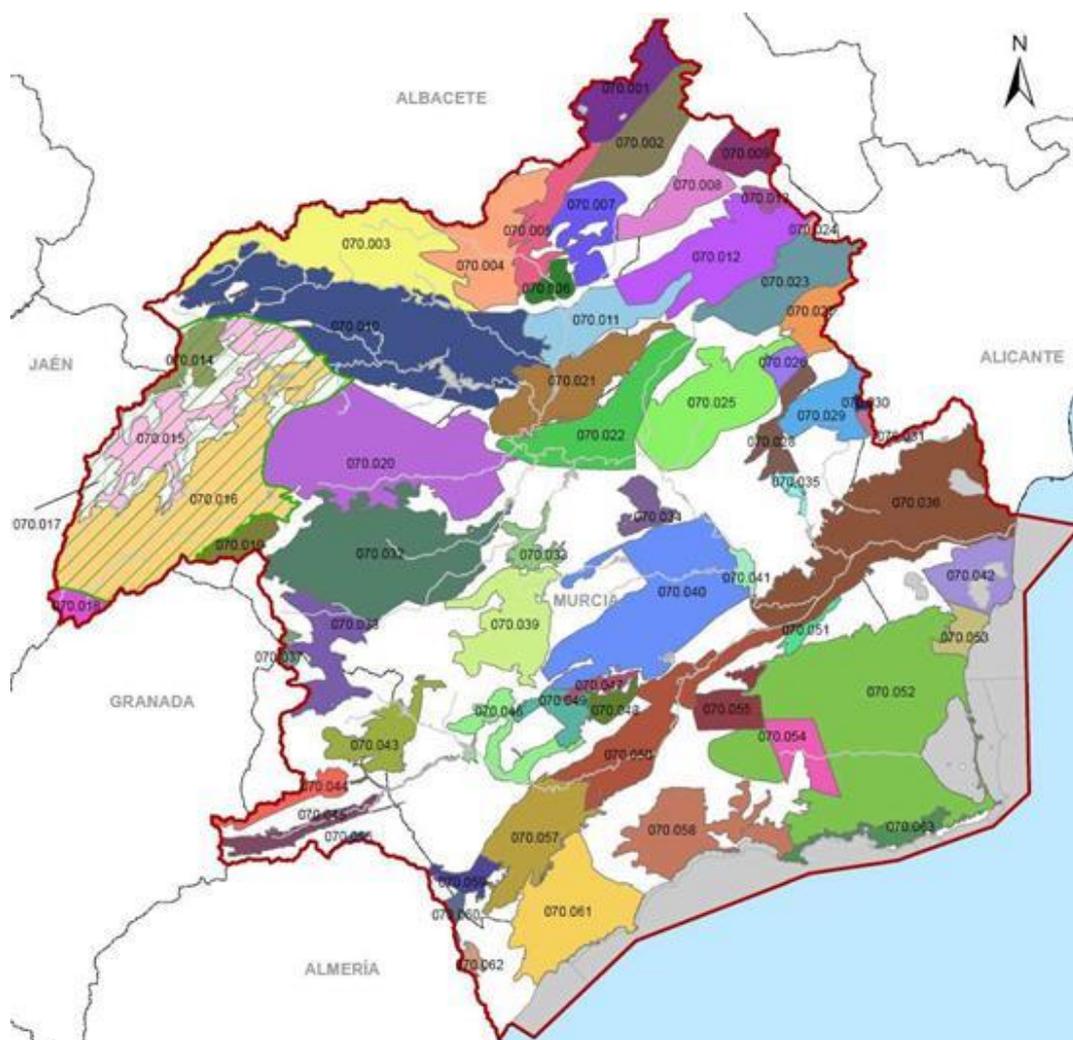


Figura 7. Mapa de unidades hidrogeológicas y acuíferos en la cuenca del Segura. [Fuente: www.chsegura.es].

Otra fuente de recurso importante dentro de la cuenca, está conformado por las aguas subterráneas, mediante cuya extracción se satisfacen una parte de las demandas de la cuenca. Del mismo modo, sirven como recurso de emergencia para paliar los efectos de los períodos de sequía en la cuenca y garantizar el suministro de primera necesidad (ver Figura 7).

Respecto a la calidad de los mismos, la demarcación hidrográfica realiza controles cada 6 meses aproximadamente, cuyos resultados (de acuerdo al último semestre de 2014) muestran un problema de intrusión salina (agravado por la sequía de los últimos años) y contaminación por nitratos en ciertos puntos de la cuenca.

Entre las masas de agua que disponen de un mayor número de puntos de control se encuentran aquellas en las que se ubican la mayor parte de las extracciones de aguas subterráneas de la cuenca del Segura, como son las del Campo de Cartagena, Caravaca, Vegas Baja y Media del Segura, Anticlinal de Socovos, Alto Guadalentín, Bajo Guadalentín, Ascoy-Sopalmo, Boquerón, Bullas, El Molar, Mazarrón, Pliegues Jurásicos del Mundo, Cuchillos-Cabras, Sierra Espuña, Cingla, Águilas y Sinclinal de Calasparra.

Cód	Nombre	Km2	Cód	Nombre	Km2	Cód	Nombre	Km2
006	Pino	47.61	024	Lácerca	7.28	047	Triásico Maláguide de Sierra Espuña	30.1
007	Conejeros – Albatana	159.09	025	Ascoy – Sopalmo	369.16	048	Santa – Yéchar	42.45
008	Ontur	154.57	026	El Cantal – Viña Pi	40.04	049	Aledo	72.69
009	Sierra de la Oliva	86.35	027	Serral – Salinas	97.03	050	Bajo Guadalentín	323.61
010	Pliegues Jurásicos del Mundo	985.26	028	Baños de Fortuna	85.7	051	Cresta del Gallo	24.68
011	Cuchillos – Cabras	209.37	029	Quíbas	137.75	052	Campo de Cartagena	1238.72
012	Cingla	378.21	030	Sierra del Argallet	7.21	053	Cabo Roig	61.52
013	Moratilla	26.96	031	Sierra de Crevillente	21.68	054	Triásico de las Victorias	109.72
014	Calar del Mundo	98.81	032	Caravaca	676.42	055	Triásico de Carrascoy	107.68
015	Segura – Madera – Tus	295.13	038	Alto Quípar	181.03	056	Sierra de las Estancias	6.71

016	Fuente Segura – Fuensanta	804.36	039	Bullas	278.56	057	Alto Guadalentín	275.43
017	Acuíferos inferiores de la Sierra del Segura	1585.62	040	Sierra Espuña	630.15	058	Mazarrón	283.9
018	Machada	48.74	041	Vega Alta del Segura	27.5	059	Enmedio – Cabezo de Jara	50.02
019	Taibilla	68.35	042	Terciario de Torrevieja	168.71	060	Las Norias	17.83
020	Anticlinal de Socovos	750.55	043	Valdeinfierno	151.75	061	Águilas	377.95
021	El Molar	287.68	044	Vélez Blanco – María	72.31	062	Sierra de Almagro	19.59
022	Sinclinal de Calasparra	331.95	045	Detrítico de Chirivel – Maláguide	93.53	063	Sierra de Cartagena	66.13
023	Jumilla – Yecla	259.47	046	Puentes	121.29			

Tabla 3. Relación de masas de agua subterráneas y superficie.

2.3. USOS DEL SUELO Y DEMANDAS

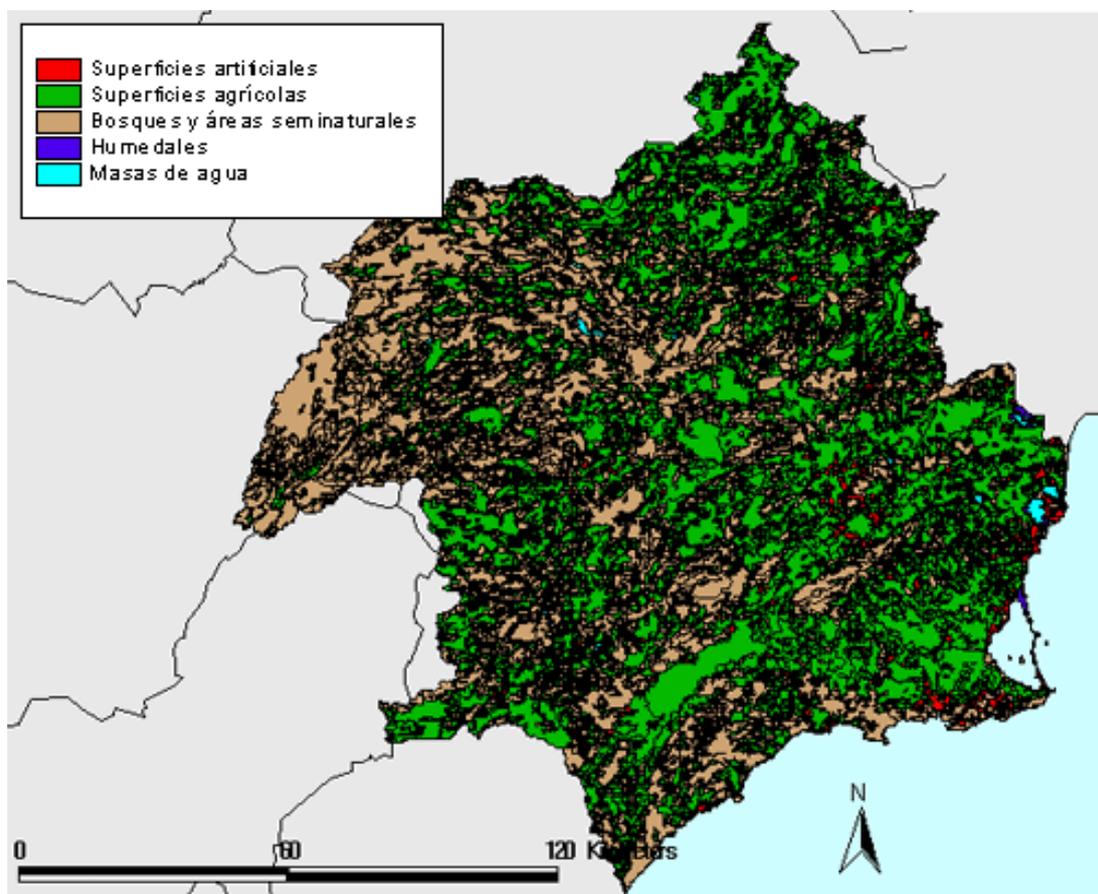


Figura 8. Mapa de usos del suelo en la cuenca hidrográfica. [Fuente: CORINE Land Cover]

Se trata de una cuenca con gran diversificación de usos, con una demanda poblacional de 2 millones de habitantes, y con demandas agrarias importantes. Aproximadamente un 50% de la cuenca está conformada por suelo no apto para el riego, y lo conforman zonas montañosas y abruptas, y zonas boscosas y de matorral. Un 43 % está conformado por superficie agrícola labrada, donde destaca significativamente, la importancia del regadío (un 30% de la misma) frente al secano (13%).

El mapa de usos de suelo extraído del proyecto Corine Land Cover se muestra en la siguiente figura (ver Figura 8), donde se observa el reparto muy igualado existente entre superficie boscosa y áreas naturales/seminaturales, frente a superficie agrícola y artificial.

Analizando las demandas, porcentualmente, un 10% de la demanda corresponde a demanda urbana, un 1-2% a demanda industrial y el 88% restante a la demanda agraria existente.

Dentro de la demanda urbana, la existencia de muchas poblaciones de tamaño medio, provoca que haya una acción antrópica importante sobre la cuenca, por la presencia de vertidos de residuales e instalaciones depuradoras. En retrospectiva, la instalación de estas estaciones ha supuesto una mejora sustancial sobre la calidad del río, que en un período de 15 años, ha experimentado un cambio muy positivo.

De la actividad industrial, son remarcables los vertidos localizados sobre el río Guadalentín con una gran repercusión sobre la calidad de las aguas.

Asimismo, las demandas agrarias, generan una afección en forma de retorno, que provoca picos en ciertos constituyentes, principalmente, amonio y nitratos que acompañan a los fertilizantes utilizados. Del mismo modo, estas demandas han generado una afección sobre la hidrología subterránea a lo largo de los años, detectando nitratos por encima de 50 mg/l en muchos puntos de la cuenca.

3. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE EMPLEADO

AQUATOOL es una interfaz para la edición, simulación, revisión y análisis de modelos de simulación de la gestión de cuencas incluyendo la simulación de la calidad de aguas. Dentro de AQUATOOL existen diferentes aplicaciones que se utilizan en función de la finalidad del estudio (Solera et al., 2007). Para este proyecto, los dos módulos utilizados son los módulos SIMGES y GESCAL.

El modelo SIMGES es un modelo general para la Simulación de la Gestión de Cuencas, o sistemas de recursos hidráulicos, en los que se utilizan elementos de regulación o almacenamiento tanto superficiales como subterráneos, de captación, de transporte, de utilización y/o consumo, y de dispositivos de recarga artificial.

Efectúa la simulación a nivel mensual y devuelve al usuario, la escala de detalle espacial que desee en relación al flujo del agua a través del sistema. Para los subsistemas superficiales el flujo se calcula por continuidad o balance, mientras que para los subsistemas subterráneos o acuíferos el flujo es simulado mediante modelos de celda, uní o pluricelulares, según convenga, o incluso mediante modelos distribuidos de flujo lineal. De igual modo, es posible considerar en la simulación las pérdidas por evaporación y filtración en embalses y cauces, así como las relaciones entre aguas superficiales y aguas subterráneas.

La simulación y gestión del sistema superficial se efectúa mediante el uso de un algoritmo de optimización de redes de flujo conservativo. Dicho algoritmo se encarga de determinar el flujo en el sistema tratando de satisfacer al máximo los objetivos múltiples de minimización de déficits, y de máxima adaptación a las curvas de volúmenes objetivo de embalse y objetivos de producción hidroeléctrica. (Andreu et al., 1992)

3.1. MÓDULO GESCAL

“El programa GESCAL es una herramienta para la modelación de la calidad del agua a escala de cuenca. Se ha implementado sobre el Sistema Soporte Decisión (SSD) AQUATOOL (Andreu et al. 1996) para la planificación y gestión de recursos hídricos. De este modo la aplicación conjunta permitirá, con una sola herramienta modelar la gestión y la calidad del agua en sistemas de recursos hídricos” (Paredes et al., 2013).

Este módulo trata de reflejar la evolución espacio temporal de la calidad del agua en los sistemas modelados, fruto de las diferentes alternativas de gestión, depuración, contaminación y uso del recurso, no así la evolución de la calidad de las aguas frente a vertidos puntuales.

Aunque el programa permite modelar la calidad del agua en sistemas de recursos completos, es interesante su aplicación a pequeña escala, como pueden ser a unos tramos de río individuales o al análisis de un sólo embalse. Esto es debido a la completa consideración de procesos que es realizada en su formulación. En este caso, el análisis realizado va a hacerse por zonas coincidentes con los afluentes del Segura, que luego se unirán al río principal. A su vez, el río principal se analizará en función de las zonas comprendidas entre los afluentes, de formas que sea posible aislar diferentes tramos en la calibración.

Destacar que GESCAL es un post procesador del módulo SIMGES, de manera que en primer lugar, se obtienen las series de caudales y resultados de déficits en las demandas del sistema, y luego se aplica el módulo GESCAL empleando los caudales resultados de la simulación de SIMGES.

Entre las ventajas de operar con los resultados de SIMGES, la principal es la integración de la gestión con la calidad de agua del sistema, de forma que permite analizar la relación entre regulación de caudales, cumplimiento de demandas y calidad del agua. Del mismo modo, la calidad puede suponer una limitación en el aprovechamiento de recursos, cosa que puede resultar factor decisivo y decisor, en la gestión y tratamiento en función del uso de destino del agua recibida.

Los condicionantes inherentes a trabajar con SIMGES son (Arnau, 2012):

- Escala mensual de los resultados, imposibilitando la resolución de problemas de vertidos instantáneos.
- Unidades de caudal en hm^3/mes tanto para aportaciones como para vertidos en el río
- Introducción de elementos propios de calidad del agua como vertidos puntuales y contaminación difusa

- Incertidumbre con procesos que afectan a la calidad, por ejemplo, aportaciones provenientes de una subcuenca. Para solventarlo, es necesario la instalación de estaciones de calidad para la medición de características cualitativas en el período determinado.
- Constantes de los procesos de calidad variables en función del río, por lo que es necesaria una calibración de las mismas para cada uno de los tramos del modelo. Asimismo, un cambio en las condiciones externas, puede provocar un cambio en las constantes, lo que en condiciones reales provoca una dependencia del factor tiempo para cada uno de los parámetros calibrados.

La modelación de la calidad en función del elemento existente se realiza de forma diferente. A destacar, por un lado la modelación en conducciones y la modelación en embalses.

3.1.1. MODELACIÓN EN CONDUCCIONES

El elemento conducción, preconcebido en el modelo SIMGES, se utiliza para modelar cualquier curso de agua, sea un tramo de río, canal o cualquier otro tipo de conducción. En el programa GESCAL el tramo de río se modela bajo las siguientes características (Paredes et al., 2013):

- Se considera unidimensional con homogeneidad de concentraciones tanto en el eje vertical como en el transversal.
- Estado estacionario: Para cada mes se estima las condiciones estacionarias de calidad del agua que alcanzaría el tramo de río si las condiciones se mantuvieran constantes dentro de ese intervalo de tiempo.
- Se consideran los procesos de transporte por advección (por estar inmersa en una corriente de fluido) y dispersión (por existencia de gradientes de concentración).
- En la modelación de los tramos de río también se tiene en cuenta la posible relación hidráulica con los acuíferos ya sea por aporte de agua desde el acuífero o por filtración del río, lo que afecta a la calidad del tramo y todas las conducciones situadas aguas abajo.

- Permite la introducción de elementos de contaminación difusa, distribuida longitudinalmente a lo largo de la conducción afectada e introducida en gr/día para cada tramo.
- La hidráulica se puede modelar tanto por relaciones potenciales como por la ecuación de Manning asumiendo sección trapezoidal.
- Los vertidos puntuales se consideran en los nudos, en cuyo caso tienen su entrada como una aportación con sus características de calidad particulares.

Todos los constituyentes se modelizan con la misma ecuación diferencial planteada como balance de materia en estado estacionario:

$$0 = \frac{d}{dx} \left(E \frac{dC}{dx} \right) - \frac{d(uC)}{dx} + \frac{S_d + C_e \cdot q_e - C \cdot q_s + \sum W_i}{V}$$

Donde:

E : Coeficiente de dispersión longitudinal, donde se ha considerado un valor de 10 m²/día.

C : Concentración del constituyente (mg/l).

C_e : Concentración del constituyente en el acuífero (mg/l).

x : Distancia a lo largo del tramo de río (m). El diferencial de cálculo empleado es de 50 m para masas con una longitud mayor de 1000 m, mientras que para masas entre 1000 y 100 m, la discretización es cada 25 m.

u : Velocidad (m/día).

V : Volumen de control empleado en el cálculo (m³).

q_e : Caudal que aporta el acuífero (m³/día).

q_s : Caudal que se filtra hacia el acuífero (m³/día).

S_d : Cantidad de masa aportada por contaminación difusa (g/día).

$\sum W_i$: Representa el conjunto de procesos que eliminan o aportan materia al elemento, depende de cada elemento (g/día).

Para una mejora en la velocidad de procesamiento del módulo, se permite escoger para cada uno de los elementos de conducción si desean simularse y mostrar resultados, simularse y no mostrar resultados o no realizar la simulación de la calidad en los mismos. Así, incluso para un modelo de grandes dimensiones como el actual, es posible reducir los datos que se generan en cada simulación, a los tramos donde se realiza la comparación con las estaciones de calidad.

3.1.2. MODELACIÓN EN EMBALSES

Dado que los embalses se sitúan en todos los casos en las zonas superiores de los cauces fluviales, y puesto que las aguas que reciben están poco influidas por el ser humano en la mayor parte de los casos, no se ha realizado una modelación particularizada de la calidad en los mismos.

De este modo, en estos elementos tan solo se realiza un balance entre los caudales entrantes y salientes, y una mezcla en cuanto a las condiciones de calidad, no influyendo de forma apreciable en las condiciones de calidad de las aguas de la cuenca.

4. DATOS DISPONIBLES

A continuación, se realizará una enumeración de los datos disponibles para la realización de este proyecto:

- Modelo de calidad en SSD Aquatool.
- Datos de estaciones de calidad y aforo repartidas a lo largo de la cuenca.
- Datos de aportaciones naturales.
- Datos de vertidos.
- Datos de uso del recurso y demandas.

Del mismo modo, durante la realización del proyecto, éste ha sido completado con la búsqueda de artículos técnicos y periodísticos para conocer más detalles sobre la cuenca, y ser capaz de interpretar los resultados obtenidos.

4.1. MODELOS

Dentro del trabajo realizado para la validación y actualización de los modelos de calidad, la cuenca completa se encuentra dividida en dos submodelos desarrollados en el SSD Aquatool: uno para la cuenca del río Segura y sus afluentes, y un segundo modelo, para la cuenca del río Mula. El submodelo del río Mula se acopla al modelo general a través de la aportación Mula, introduciendo como datos de entrada, los datos de salida del submodelo.

El modelo Segura incluye el río Mundo, arroyo Tobarra, Taibilla, Moratalla, Argos, Quípar, Guadalentín y el río principal; mientras que el modelo Mula incluye el río Pliego y el propio Mula. Ambos han sido previamente construidos y adaptados para representar del mejor modo posible los cauces que conforman la cuenca.

Los modelos incluyen conducciones existentes, unidades de demanda, embalses, acuíferos, bombeos, retornos y todos los elementos que influyen de una manera u otra en el caudal y la calidad final del agua circulante por el río.

Para la calibración, GESCAL permite que cada tramo de río cuente con una parametrización, que es la incógnita a resolver en este trabajo. Los parámetros que van a estudiarse en el modelo son:

- Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
- DBO5 (mgO_2/l)
- Amonio ($\text{mg NH}_4^+/\text{l}$)
- Nitratos ($\text{mg NO}_3^-/\text{l}$)
- Fosfatos ($\text{mg PO}_4^{3-}/\text{l}$)
- Oxígeno disuelto (mgO_2/l)
- Sólidos (mg/l)

Dentro del proceso, han de diferenciarse los procesos para la conductividad, sólidos y fosfatos, que siguen una dinámica de primer orden; de los procesos relacionados con compuestos nitrogenados, materia orgánica y oxígeno disuelto, que siguen sus propios ciclos.

Se ha tomado la decisión de no realizar la calibración de los sólidos del modelo, puesto que los datos de entrada aportados no poseen la fiabilidad necesaria. En la mayoría de los casos, no se trata de mediciones, sino de valores promedios que se han considerado. Esto provoca que a partir de cierto punto, la simulación se aleje de forma sustancial de la realidad observada.

La temperatura del agua no ha sido considerada como un contaminante propiamente dicho, si bien influye directamente en la cinética de los procesos, como por ejemplo, la degradación de materia orgánica, el ciclo del nitrógeno o la reaireación. Este efecto queda modelizado con la ecuación de Arrhenius:

$$K(T) = K(20) \cdot \theta^{T-20}$$

Siendo $K(T)$ el valor de la constante a la temperatura T, $K(20)$ el valor de la constante a 20°C y θ , el factor de corrección por temperatura.

El módulo GESCAL permite la introducción de curvas de temperatura de discretización mensual para representar la variabilidad de dicha variable física en el problema. Estas curvas de temperatura han sido proporcionadas con los modelos entregados y se muestran en la Tabla 4.

Nombre de Curva	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
Ctte	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Mesones	12.8	8.8	8.3	5.4	6.8	8.2	10.1	12.5	15.5	17.0	17.3	16.3
Lietor	15.6	13.1	9.8	8.1	8.6	9.9	12.5	14.8	17.1	21.0	19.6	18.9
Canal Hellin	15.4	12.8	11.5	8.1	9.1	10.7	12.8	14.3	19.1	20.6	21.0	18.9
Rio Mundo	19.7	15.6	10.4	8.0	7.7	9.8	13.3	16.7	22.3	23.9	24.5	22.8
Azaraque	18.6	15.2	11.7	8.7	8.4	10.2	12.7	15.9	19.2	22.8	23.0	22.0
Embalse Camarillas	19.8	16.3	11.4	8.9	8.3	10.4	13.4	16.9	20.1	24.2	24.2	23.3
Promedio 17,18,19	15.0	10.1	8.8	6.0	7.6	10.1	11.0	14.1	16.9	20.4	20.5	19.3
Embalse Fuensanta	19.3	14.9	10.0	8.0	7.5	9.3	11.5	14.7	17.9	20.9	22.2	21.8
Taibilla	15.2	13.6	11.8	9.9	12.0	12.8	13.4	14.3	16.2	17.9	18.2	17.5
Promedio Gallegos	18.6	14.7	11.1	8.5	8.8	10.0	13.1	16.2	19.6	22.1	23.2	22.6
Embalse Cenajo	19.9	16.7	12.2	8.3	9.5	10.3	12.1	12.6	15.9	19.4	22.2	22.7
Minas y Salmeron	19.9	16.7	12.2	8.3	9.5	10.3	12.1	12.6	15.9	19.4	22.2	22.7
Juntas Segura y Benamor	19.0	14.4	10.2	7.4	8.7	9.3	12.2	15.0	18.5	22.0	23.4	22.6
El Santuario	19.2	14.5	10.2	7.5	8.8	9.3	12.2	14.8	18.6	22.1	23.3	22.4
Playas de Calasparra	19.3	14.0	10.1	7.9	8.9	9.3	12.6	14.6	18.6	22.2	23.2	22.4
Argos	19.0	14.9	10.5	8.3	9.0	10.0	12.8	14.9	18.6	22.4	23.7	22.4
Embalse Almadenes	19.4	14.9	12.0	9.0	9.5	11.1	13.3	16.0	19.3	22.8	24.4	22.7
Camping La Puerta	18.8	15.0	13.5	11.5	12.8	12.6	13.8	16.0	19.8	22.1	21.3	21.5
Calasparra	17.6	12.3	9.4	7.6	9.1	10.3	11.7	15.2	18.2	20.0	22.4	20.8
Embalse Alfonso XIII	21.7	15.8	10.8	8.9	10.4	12.1	14.7	19.4	24.4	27.3	28.1	25.9
Promedio 2,3,4,5 y 6	18.4	13.8	13.5	11.5	14.7	15.0	15.0	17.6	19.4	20.2	20.5	20.2
Embalse Puentes	20.1	14.2	10.5	9.0	9.6	12.8	15.1	16.8	18.5	22.6	25.7	23.3
Santa Gertrudis	21.2	16.5	12.8	11.4	14.4	13.6	17.0	18.9	23.3	26.2	28.8	25.1
Librilla	18.8	11.8	8.9	7.1	9.8	10.5	13.3	15.8	20.2	22.3	24.5	20.5
Guadalentín	20.0	14.8	12.1	10.0	13.3	15.2	15.6	19.2	23.4	25.0	26.2	23.9
Promedio Mula	19.5	15.1	11.6	9.3	10.1	10.9	13.7	16.3	19.7	23.2	24.4	23.0
Cieza	19.6	15.8	11.0	9.7	10.4	11.3	14.2	16.7	19.7	23.7	24.6	23.3
Ab. Abarán	19.5	15.0	11.3	9.2	9.6	10.4	13.5	16.3	20.0	22.7	24.0	22.7
Abarán	19.6	14.8	11.7	9.2	9.5	11.3	14.0	16.5	19.9	23.2	24.1	22.6
El Arenal	19.2	14.6	11.7	8.9	9.5	9.8	13.5	16.5	20.0	22.9	23.8	23.4
Azud de Ojos	19.7	15.2	11.4	8.7	9.2	10.6	13.5	16.9	20.4	23.1	25.0	22.8
Archena	19.9	15.8	12.2	9.8	10.8	11.2	14.5	17.3	20.9	23.3	24.4	23.1
Lorqui	20.3	13.9	11.9	9.7	10.4	11.9	15.2	16.1	19.4	23.2	24.4	21.4

Nombre de Curva	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
Ceuti	20.4	14.6	11.9	9.7	10.3	11.9	15.1	16.4	20.5	23.3	24.5	21.4
Las Torres	20.7	14.6	12.1	9.9	10.6	12.0	16.1	17.5	21.4	24.0	25.0	22.0
Contraparada	20.7	14.6	12.4	10.1	11.3	12.4	16.1	16.9	21.4	23.7	24.7	21.8
Alcantarilla	20.7	13.8	13.4	10.6	11.7	12.0	16.4	17.8	22.4	24.7	25.6	22.7
Beniel	20.8	17.6	12.9	11.8	14.3	16.9	16.5	20.2	23.1	26.0	26.3	24.8
Orihuela	20.6	16.9	13.4	12.5	13.8	17.6	16.0	19.1	22.8	25.4	24.6	24.4
Puente Benejuzar	11.9	13.8	16.2	15.3	18.5	23.3	24.9	22.7	22.4	21.4	17.5	13.5
Rojales	11.9	13.5	16.7	15.6	19.9	24.9	26.1	27.0	23.8	20.8	17.5	12.9
Pequeño Benidorm	16.9	12.3	1.4	7.7	11.4	12.2	12.4	15.6	17.8	20.0	20.3	19.8
Cierva	20.2	14.5	10.5	8.5	9.0	11.1	14.7	17.5	21.4	23.1	24.7	23.5
Baños	17.9	15.0	10.7	7.6	10.1	9.9	13.1	17.3	19.2	21.7	22.9	22.4
Mula	18.7	14.0	11.4	9.8	11.1	12.2	15.4	17.7	20.5	18.7	23.6	23.3

Tabla 4. Curvas de temperatura.

Asimismo, Aquatool cuenta con una herramienta para simular contaminación difusa, útil cuando se tienen relaciones río-acuífero o un aumento de algún parámetro debido a influencias externas. En este modelo, se observan claros ejemplo de este uso, como es el incremento de conductividad tras el paso por una zona yesífera, por la disolución de sulfatos en el fluido o las surgencias de aguas minero-termales.

4.2. CONDUCCIONES

Uno de los parámetros imprescindibles en modelación de la calidad del agua es el estudio de la topología del problema en cuestión. Desde un punto de vista físico, la velocidad del flujo o la longitud del sistema son parámetros de incuestionable importancia para la modelación. Igualmente, factores como la temperatura del agua o la mezcla de caudales, guardan relación con las características cualitativas del fluido, en tanto afectan a las reacciones de los constituyentes estudiados..

Dada la cantidad de estaciones de calidad, vertidos y demandas al sistema, el problema necesita la adición de nudos sobre los que colocar estas aportaciones, y consecuentemente, un aumento en las conducciones del modelo. Asimismo, esta discretización espacial, permite añadir unas características geométricas del cauce más similares a las reales, mejorando la caracterización de la cuenca estudiada.

Para la modelación de las conducciones, la metodología utilizada ha sido el método de las relaciones potenciales, desarrollado por Leopold and Maddock (1953) que relaciona caudales circulantes con velocidad, profundidad y ancho de río, basado en las siguientes expresiones:

$$u = \alpha_1 \cdot Q^{\beta_1}$$

$$h = \alpha_2 \cdot Q^{\beta_2}$$

$$b = \alpha_3 \cdot Q^{\beta_3}$$

Asumiendo la hipótesis de sección rectangular y donde u representa la velocidad (m/s); Q es el caudal circulante (m^3/s); h es el calado (m) y b el ancho del río (m). Dada la velocidad y el calado, el ancho se calcula por continuidad dada las siguientes expresiones de continuidad:

$$\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 = 1$$

$$\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 = 1$$

La siguiente tabla indica valores típicos de la literatura:

Exponente	Valor Típico	Rango
β_1	0.43	0.4-0.6
β_2	0.45	0.3-0.5

Tabla 5. Valores típicos para los coeficientes hidráulicos [Fuente: (Paredes et al, 2013)]

Para el SSD Aquatool, es suficiente con fijar los valores de las relaciones de velocidad y calado, obteniendo la anchura por continuidad. El cálculo de estos coeficientes, ha sido realizado y proporcionado previamente con los modelos desarrollados, por lo que no es un objetivo de este trabajo.

De este modo, el proyecto se puede simplificar a modelos reducidos donde calibrar los parámetros de calidad, y con cuyo acoplamiento, se resuelve el sistema completo. La división en submodelos está basada en las confluencias de los afluentes y los tramos entre ella, resultando en 12 zonas:

- Mundo + Arroyo Tobarra
- Alto Segura
- Moratalla
- Argos
- Quípar
- Mula
- Guadalentín
- Segura. Principal 1 (Mundo + Alto Segura + Moratalla)
- Segura. Principal 2 (Tramo 1 + Argos)
- Segura. Principal 3 (Tramo 2 + Quípar)
- Segura. Principal 4 (Tramo 3 tras Ojós)
- Segura. Principal 5 (Tramo 4 + Mula)
- Segura. Principal 6 (Tramo 5+ Guadalentín)

A continuación se presentan las conducciones que componen cada uno de los submodelos, sus características geométricas y su curva de temperatura asociada.

4.2.1. Mundo + Arroyo Tobarra

Pretende modelizar el tramo desde la cabecera en la localidad de Riópar hasta la confluencia con el río Segura previo paso por el embalse de Camarillas. Incluye también el Arroyo Tobarra y su confluencia con el Mundo.

Código Elemento	Nombre	Curva Temperatura	Longitud (m)	Coeficientes hidráulicos			
				α_1	β_1	α_2	β_2
791	Alto Mundo 1	Mesones	33517.7	0.4459	0.4379	7.0449	0.0786
792	Alto Mundo 2	Lietor	24160	0.4459	0.4379	7.0449	0.0786
793	Alto Mundo 3	Canal Hellin	1971.92	0.4459	0.4379	7.0449	0.0786
24	Mundo antes Talave	Canal Hellin	4462.69	0.4459	0.4379	7.0449	0.0786
796	Aux. Talave	Rio Mundo	10	0.4459	0.4379	7.0449	0.0786
1064	Mundo después Talave	Promedio Gallegos	21102.1	0.4459	0.4379	7.0449	0.0786
801	Mundo acu. El Molar	El Arenal	5162.23	0.4459	0.4379	7.0449	0.0786
802	Mundo antes Camarillas	Azud de Ojos	2141.03	0.4459	0.4379	7.0449	0.0786
806	Arroyo Tobarra 1	Cte	24046.6	0.4459	0.4379	7.0449	0.0786
807	Arroyo Tobarra 2 antes vertido	Cte	20110.7	0.4459	0.4379	7.0449	0.0786
808	Arroyo Tobarra 2 después vertido	Cte	14259.9	0.4459	0.4379	7.0449	0.0786
809	Arroyo Tobarra 3	Cte	11359.4	0.4459	0.4379	7.0449	0.0786
1017	Aux. Camarillas	Alcantarilla	10	0.4037	0.4693	2.9465	0.1578
1018	Mundo después Camarillas	Azud de Ojos	3731.73	0.4037	0.4693	2.9465	0.1578

Tabla 6. Características de las conducciones. Alto Mundo.

Como consideraciones, destacar la colocación de tramos auxiliares, que se utilizan para comparar las mediciones observadas de calidad y aforo, y que se repetirán a lo largo del resto de submodelos.

La topología del modelo es la siguiente (ver Figura 9) quedando caracterizados cada uno de los tramos con las siguientes características geométricas (ver Tabla 6).

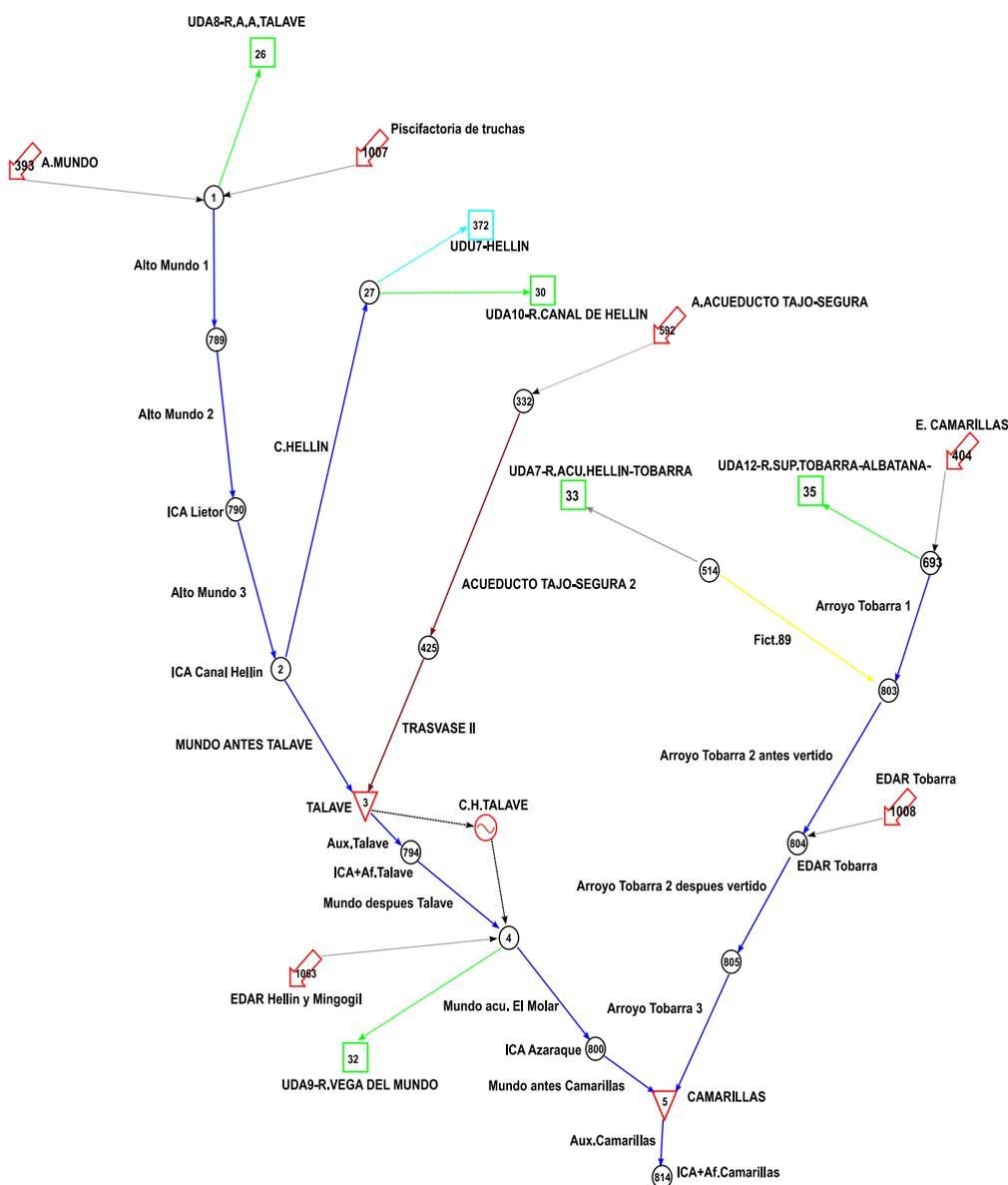


Figura 9. Esquema Río Mundo y Arroyo Tobarra

4.2.2. Alto Segura

Submodelo que modeliza el nacimiento en Sierra del Segura, del río del mismo nombre, así como la subcuenca del Taibilla, y donde se encuentran algunas de las principales infraestructuras de abastecimiento y defensa de la cuenca (ver Figura 10).

El modelo incluye los tramos hasta la confluencia con el río Moratalla y el Alto Mundo, tras el paso por el embalse del Cenajo (ver Tabla 7). Se observa que la temperatura no es un factor muy influyente dado que se han fijado como constante la mayor parte de las curvas.

Código Elemento	Nombre	Curva Temperatura	Longitud (m)	Coeficientes hidráulicos			
				α_1	β_1	α_2	β_2
25	Alto Segura	Prom 17,18,19	80000	0.4037	0.4693	2.9465	0.1578
1066	Aux.Fuensanta	Cte	10	0.3013	0.5121	5.1386	0.1142
1067	Segura después Fuensanta	Cte	6856.25	0.4382	0.5000	7.5131	0.1268
46	Taibilla superficial	Cte	24419.2	0.4382	0.5000	7.5131	0.1268
1208	Sal.Taibilla	Camping La Puerta	10	0.7393	0.3318	2.8723	0.3193
1209	TaibillaAforo	Cte	5467.41	0.7393	0.3318	2.8723	0.3193
589	Taibilla Acu. Socovos	Cte	5371.07	0.7393	0.3318	2.8723	0.3193
48	Taibilla a Segura	Cte	20286.5	0.7393	0.3318	2.8723	0.3193
18	Segura después Taibilla	Cte	6551.41	0.7393	0.3318	2.8723	0.3193
819	Segura antes Cenajo 1	Cte	12035.9	0.4382	0.5000	7.5131	0.1268
820	Segura antes Cenajo 2	Cte	11595.5	0.4382	0.5000	7.5131	0.1268
1083	Aux. Cenajo	Cte	10	0.4382	0.5000	7.5131	0.1268
825	Segura después Cenajo 1	Emb. Cenajo	17276.6	0.2201	0.4906	8.5343	0.2678
1016	Segura después Cenajo 2	Cieza	3650.52	0.2201	0.4906	8.5343	0.2678
52	Segura antes Moratalla	Cte	14046.6	0.2201	0.4906	8.5343	0.2678

Tabla 7. Características de las conducciones. Alto Segura

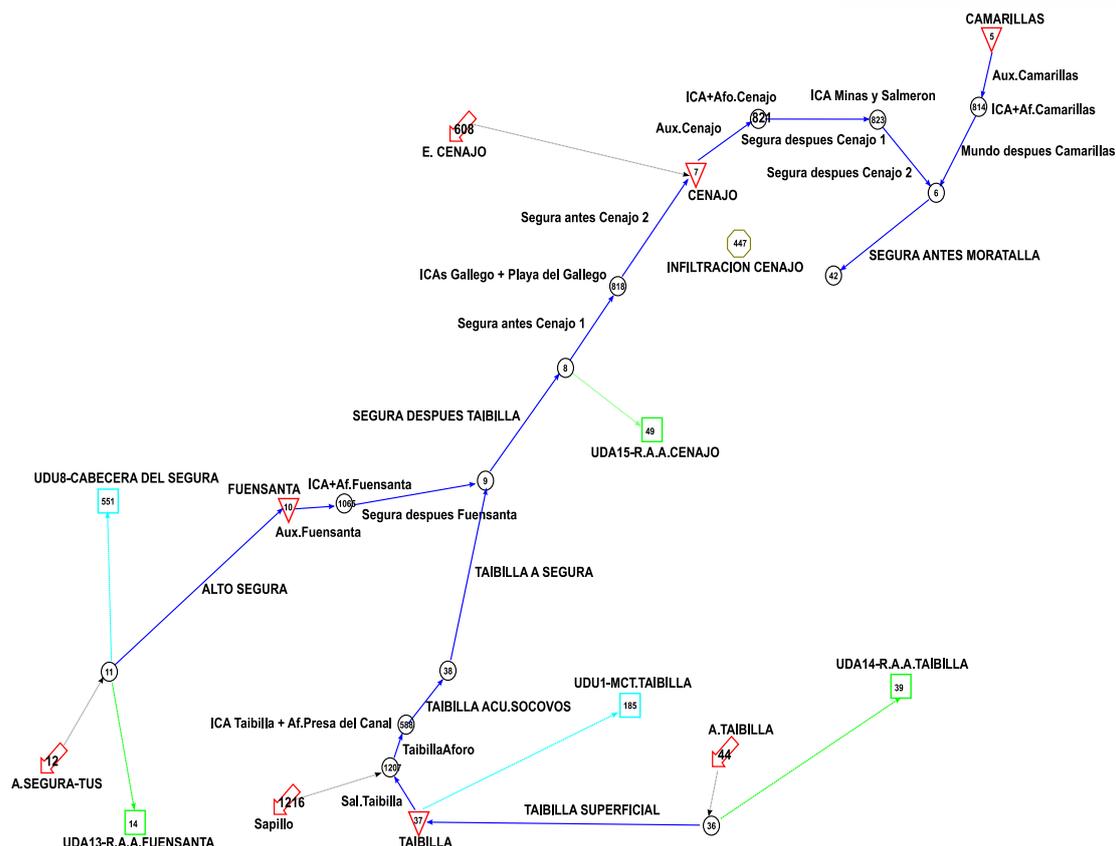


Figura 10. Esquema Alto Segura y Taibilla.

4.2.3. Moratalla

Afluente con tan solo seis tramos modelizados (ver Tabla 8), de poca importancia sobre el río principal. Incluye el embalse de Moratalla, y se une al río principal junto a las subcuencas del Alto Segura y Alto Mundo (ver Figura 11).

Código Elemento	Nombre	Curva Temperatura	Longitud (m)	Coeficientes hidráulicos			
				α_1	β_1	α_2	β_2
829	Moratalla acu. Somogil 1	Abarán	21106.5	0.4401	0.3562	4.4781	0.3615
830	Moratalla acu. Somogil 2	El Arenal	2316.96	0.4401	0.3562	4.4781	0.3615
834	Moratalla Segura 1	Abastecimiento Abarán	9139.93	0.4401	0.3562	4.4781	0.3615
835	Moratalla Segura 2	Abarán	8061.18	0.4401	0.3562	4.4781	0.3615
836	Emb. Moratalla	Promedio Gallegos	2979.04	0.3185	0.6950	0.0059	0.0051
837	Moratalla Segura 3	Abarán	4553.65	0.4401	0.3562	4.4781	0.3615

Tabla 8. Características de las conducciones. Moratalla

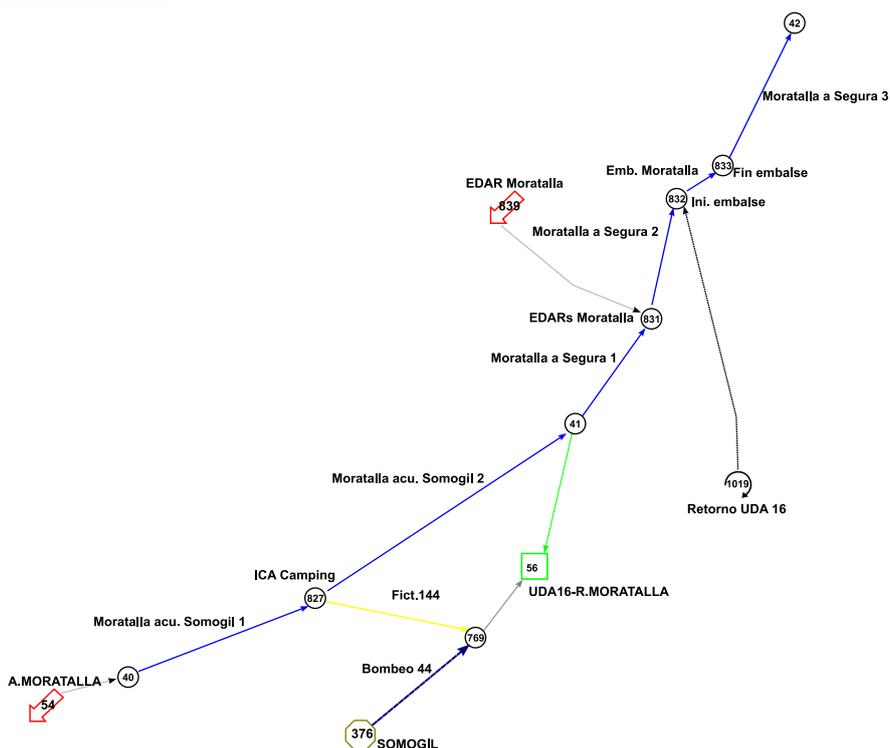


Figura 11. Esquema Moratalla.

4.2.4. Argos

Afluente de la margen derecha del Segura, con seis tramos modelizados (ver Tabla 9), de escasa relevancia sobre el río principal. Incluye el embalse de Argos (ver Figura 12), y se une al río principal junto a la localidad de Calasparra.

Código Elemento	Nombre	Curva Temperatura	Longitud (m)	Coeficientes hidráulicos			
				α_1	β_1	α_2	β_2
1077	Argos antes embalse 1	Cte	20312.15	0.4401	0.3562	4.4781	0.3615
1347	Argos antes embalse 2	Cte	4633.6	0.4401	0.3562	0.4781	0.3615
1168	Argos antes embalse 3	Cte	6632.57	0.4401	0.3562	4.4781	0.3646
846	Aux.Argos	Cte	10	0.4401	0.3562	4.4781	0.3615
849	Argos a Segura 1	Cte	11071.4	0.4401	0.3562	4.4781	0.3615
850	Argos a Segura 2	Cte	3090.84	0.4401	0.3562	4.4781	0.3615

Tabla 9. Características de las conducciones. Argos.

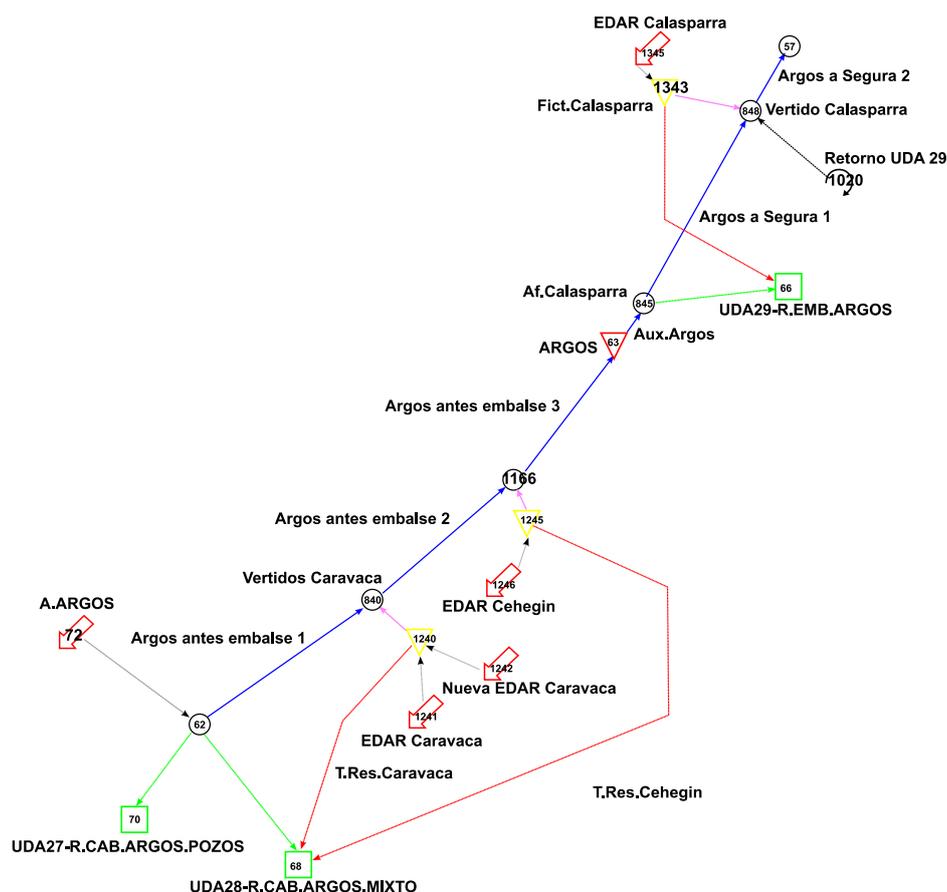


Figura 12. Esquema Argos.

4.2.5. Quípar

Afluente de la margen derecha del Segura, con cinco tramos modelizados (ver Tabla 10), de poca importancia sobre el río principal. Su cauce transcurre en paralelo al río Argos, e incluye el embalse de Alfonso XIII (ver Figura 13) y el paso por Minas Gilico, de donde se explica su elevada conductividad. Se une al río principal junto a la localidad de Calasparra.

Código Elemento	Nombre	Curva Temperatura	Longitud (m)	Coeficientes hidráulicos			
				α_1	β_1	α_2	β_2
1021	Río Quípar 1	Emb. Camarillas	26364.2	0.0066	0.3000	105.9433	0.4861
855	Quípar antes vertido	Lorqui	38789.7	0.0066	0.3000	105.9433	0.4861
856	Quípar antes embalse	Argos	11158.7	0.0066	0.3000	105.9433	0.4861
859	Aux. Alfonso XIII	Cte	10	0.0066	0.3000	105.9433	0.4861
860	Quípar a Segura	Camping La Puerta	1597.91	0.0066	0.3000	105.9433	0.4861

Tabla 10. Características de las conducciones. Quípar.

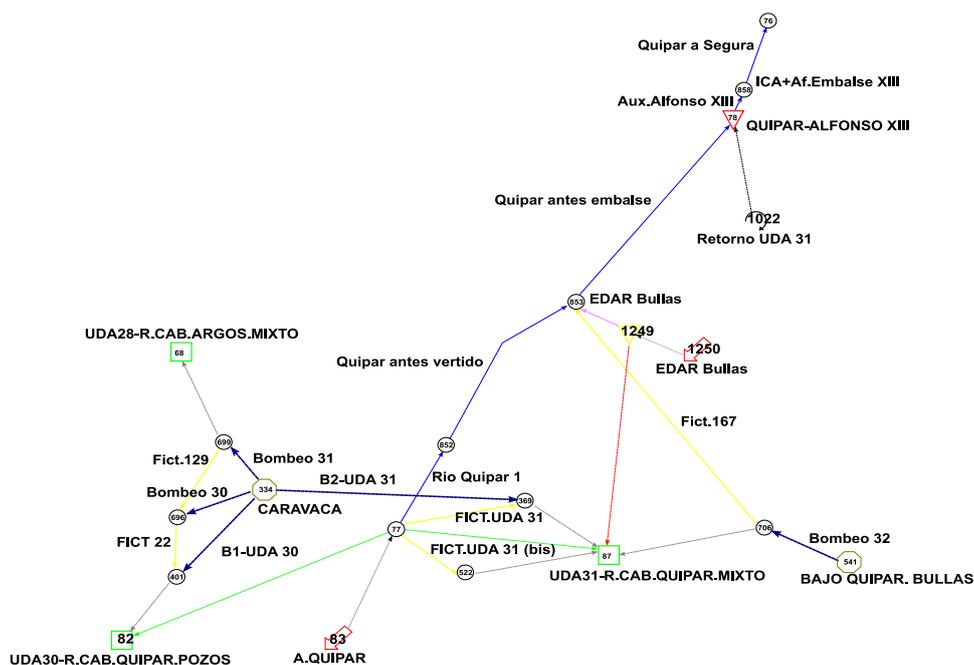


Figura 13. Esquema Quípar.

4.2.6. Mula

Afluente situado en la margen derecha del río, de poca importancia como los afluentes anteriores. Consta del embalse de la Cierva (ver Figura 14), y está modelizado en diez tramos (ver Tabla 11).

Código Elemento	Nombre	Curva Temperatura	Longitud (m)	Coeficientes hidráulicos			
				$\alpha 1$	$\beta 1$	$\alpha 2$	$\beta 2$
26	Mula después la Cierva (A)	Cierva	2476.53	0.065	0.43	0.585	0.45
37	Pliego_Baños	Baños	100	0.065	0.43	0.585	0.45
43	Trasvase Derecha Yechar	Ctte	1000	0.065	0.43	0.585	0.45
45	Cierva a Yechar	Ctte	1000	0.065	0.43	0.585	0.45
40	Mula Rodeos	Mula	6520.46	0.065	0.43	0.585	0.45
33	Mula después la Cierva (B)	Cierva	2044.47	0.065	0.43	0.585	0.45
39	Mula después de Baños	Baños	6336.75	0.065	0.43	0.585	0.45
41	Mula a Segura	Mula	8659	0.065	0.43	0.585	0.45
74	Mula antes Cierva	Pequeño Benidorm	934	0.065	0.43	0.585	0.45
80	Mula antes Baños	Baños	3784	0.065	0.43	0.585	0.45

Tabla 11. Características de las conducciones. Mula.

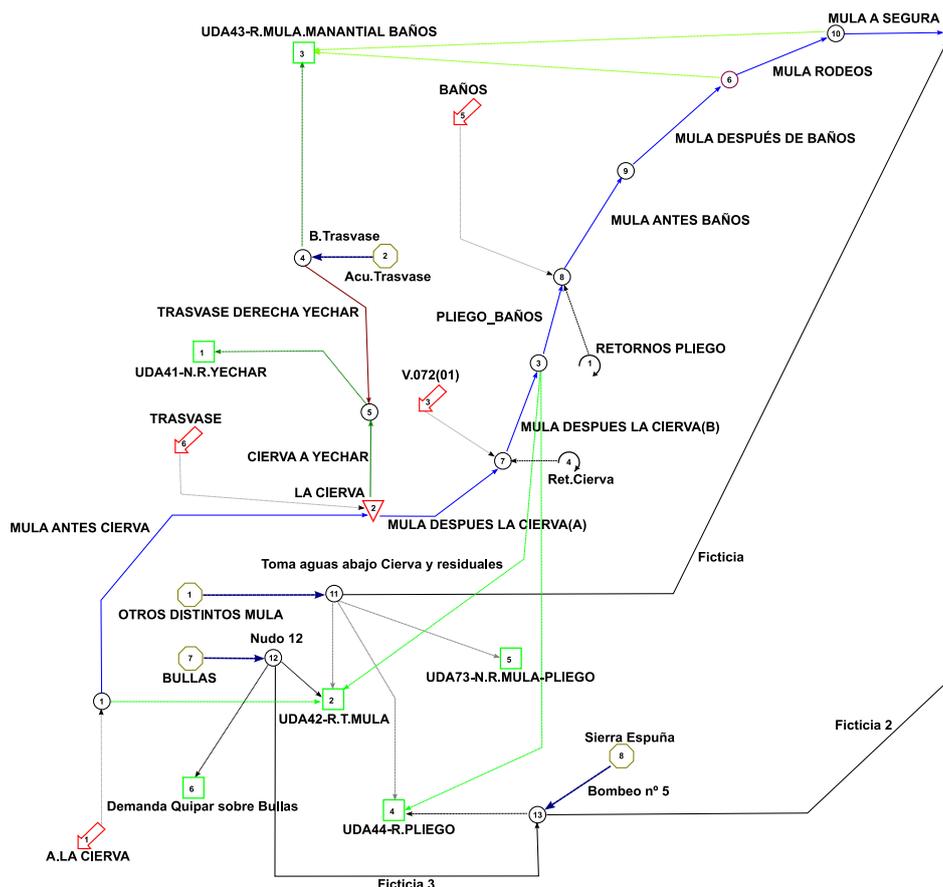


Figura 14. Esquema Mula.

4.2.7. Guadalentín

Principal afluente de la margen derecha y del río Segura. Sus características cuantitativas y cualitativas tienen una gran influencia en la cuenca del río principal tras su confluencia (ver Figura 15). Cuenta con varias infraestructuras de defensa importantes, y se ha modelizado en 17 afluentes (ver Tabla 12).

Código Elemento	Nombre	Curva Temperatura	Longitud (m)	Coeficientes hidráulicos			
				$\alpha 1$	$\beta 1$	$\alpha 2$	$\beta 2$
116	Caramel antes Valdeinfierno	Promedio Gallegos	12661.12	0.6596	0.3639	3.1355	0.2707
1074	Aux. Valdeinfierno	Canal Hellin	10	0.6596	0.3639	3.1355	0.2707
1075	Caramel antes Puentes	Azaraque	14337.4	0.6596	0.3639	3.1355	0.2707
865	Aux. Puentes	Azaraque	10	0.8934	0.3156	2.3474	0.3317
867	Guadalentín desde Puentes 1	Playas de Calasparra	10112.59	0.8934	0.3156	0.3474	0.3317
1071	Guadalentín desde Puentes 2	Argos	3234.67	0.8934	0.3156	2.3474	0.3317

Código Elemento	Nombre	Curva Temperatura	Longitud (m)	Coeficientes hidráulicos			
				α_1	β_1	α_2	β_2
1281	Guadalentín desde Puentes 3 y 4	Emb. Almadenes	13514.87	0.8934	0.3156	2.3474	0.3317
877	Guadalentín desde Puentes 5	Promedio Mula	4183.67	0.8934	0.3156	2.3474	0.3317
883	Aux. Santa Gertrudis	Cte	10	0.8934	0.3156	2.3474	0.3317
884	Guadalentín desde Puentes 6	Cieza	14398.97	0.8934	0.3156	2.3474	0.3317
887	Guadalentín desde Puentes 7	Cieza	19400.72	0.8934	0.3156	2.3474	0.3317
892	Guadalentín desde Puentes 8	Abastecimiento Abarán	2864.3	0.8934	0.3156	2.3474	0.3317
893	Aux. Bucle UDA 63 y 65	Cte	1000	0.0650	0.4300	0.5850	0.4500
895	Aux. ICA Librilla	Cte	10	0.8934	0.3156	2.3474	0.3317
896	Guadalentín antes paso 1	El Santuario	12182.62	0.8934	0.3156	2.3474	0.3317
629	Guadalentín antes paso 2	El Santuario	1933.78	0.8934	0.3156	2.3474	0.3317
628	Guadalentín a Segura	Librilla	16203.06	0.8934	0.3156	2.3474	0.3317

Tabla 12. Características de las conducciones. Guadalentín.

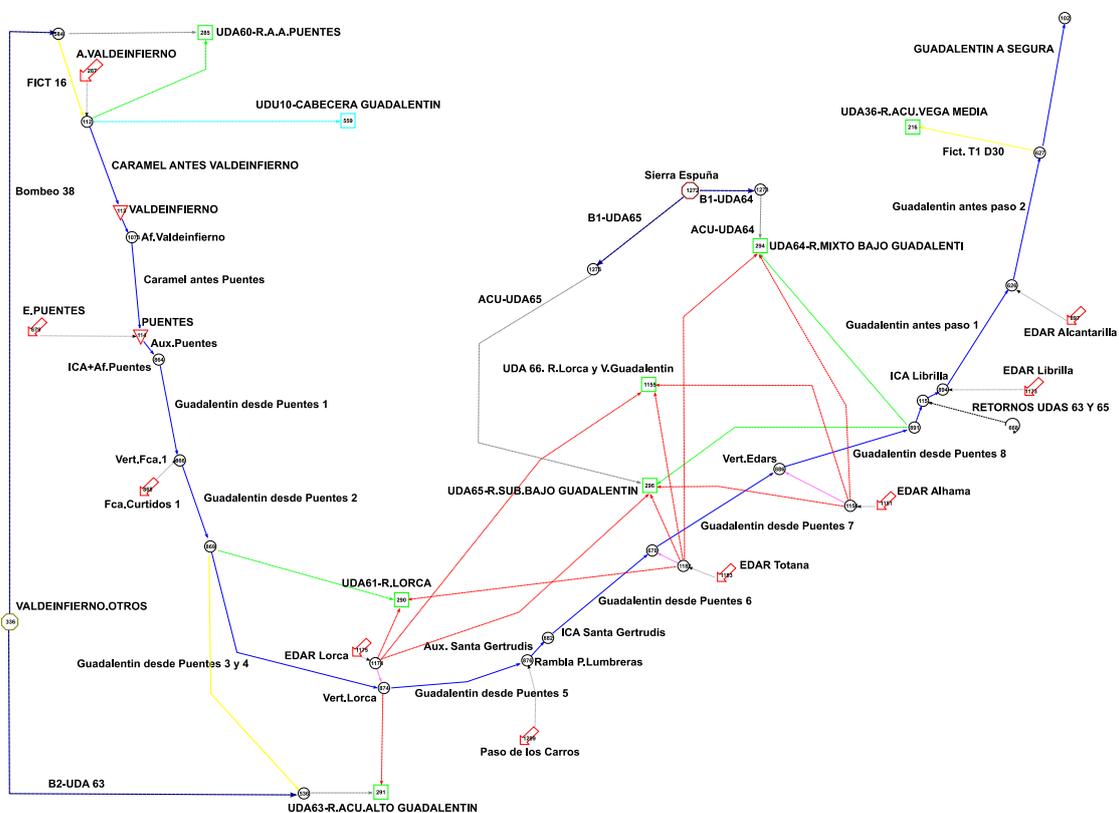


Figura 15. Esquema Guadalentín.

4.2.8. Segura. Principal 1

Respecto al tramo principal del río Segura, se ha dividido en seis tramos principales, acotados entre las confluencias de los distintos afluentes modelizados. Destacar en estas seis divisiones, la infraestructura de derivación del azud de Ojós, así como los múltiples vertidos y aportaciones que las afectan (ver Tabla 13 hasta Tabla 18). Las características y la topología construida se muestran en las siguientes gráficas (ver Figura 16 hasta Figura 21).

Código Elemento	Nombre	Curva Temperatura	Longitud (m)	Coeficientes hidráulicos			
				α_1	β_1	α_2	β_2
900	Seg. antes UDA17 1	Cte	814.92	0.2261	0.4909	9.2745	0.2886
901	Seg. antes UDA17 2	Argos	708.97	0.2261	0.4909	9.2745	0.2886
903	Segura antes Argos 1	Beniel	3443.45	0.2261	0.4909	9.2745	0.2886
904	Segura antes Argos 2	Cte	1649.63	0.2261	0.4909	9.2745	0.2886

Tabla 13. Características de las conducciones. Segura. Tramo principal 1.

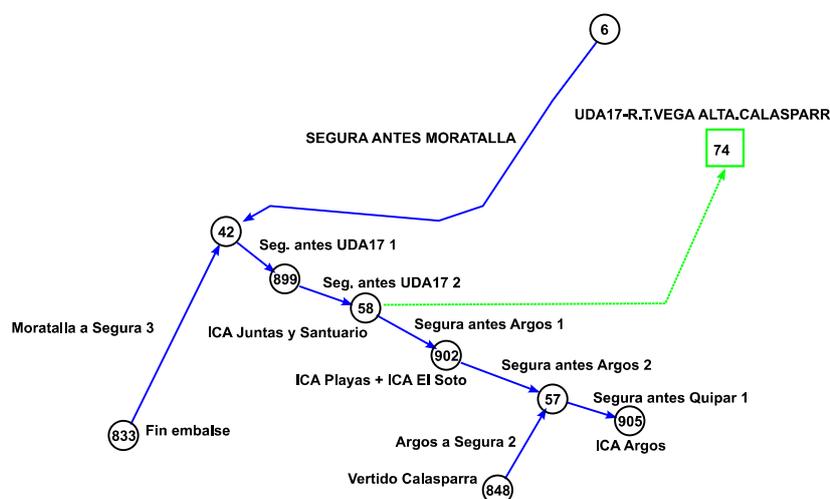


Figura 16. Esquema Segura. Tramo Principal 1.

4.2.9. Segura. Principal 2

Código Elemento	Nombre	Curva Temperatura	Longitud (m)	Coeficientes hidráulicos			
				α_1	β_1	α_2	β_2
1348	Segura antes Quípar 1	Emb. Fuensanta	190.93	0.2261	0.4909	9.2745	0.2886
1031	Segura antes Quípar 2	Emb. Fuensanta	12692	0.2261	0.4909	9.2745	0.2886

Tabla 14. Características de las conducciones. Segura. Tramo principal 2.

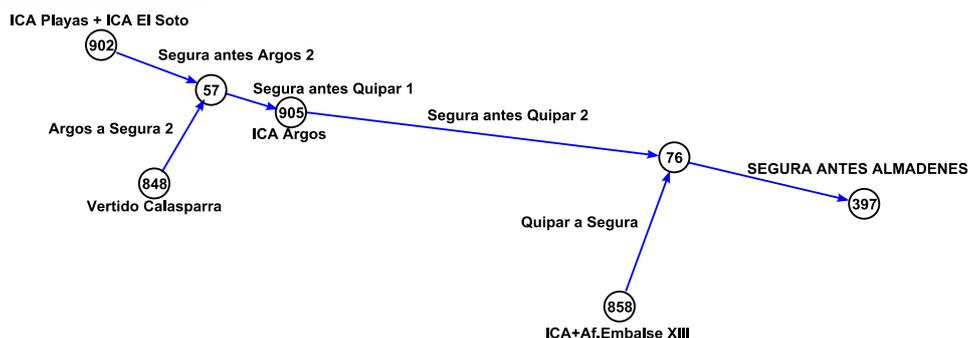


Figura 17. Esquema Segura. Tramo Principal 2.

4.2.10. Segura. Principal 3

Código Elemento	Nombre	Curva Temperatura	Longitud (m)	Coeficientes hidráulicos			
				$\alpha 1$	$\beta 1$	$\alpha 2$	$\beta 2$
91	Segura antes Almadenes	Beniel	4306.07	0.2261	0.4909	9.2745	0.2886
909	Aux. Almadenes	Cte	10	0.2261	0.4909	9.2745	0.2886
911	Segura acu. Calasparra 1	Abastecimiento Abarán	1077.15	0.2102	0.4856	11.7433	0.2939
1097	Segura acu. Calasparra 2	Alcantarilla	1731.02	0.2102	0.4856	11.7433	0.2939
1098	Aux. Bucle Ret21	Guadalentin	1000	0.0650	0.4300	0.5850	0.4500
914	Aux. Cieza	Cte	10	0.2102	0.4856	11.7433	0.2939
916	Segura antes Menju 1	Cte	1709.85	0.2102	0.4856	11.7433	0.2939
1033	Segura antes Menju 2	Cte	2301.63	0.2102	0.4856	11.7433	0.2939
920	Aux. Menju	Cte	10	0.2102	0.4856	11.7433	0.2939
922	Segura antes Abaran 1	Guadalentin	336.13	0.2102	0.4856	11.7433	0.2939
923	Segura antes Abaran 2	Guadalentin	4018.1	0.2102	0.4856	11.7433	0.2939
925	Aux. Abaran	Cte	10	0.2102	0.4856	11.7433	0.2939
927	Segura ant Ojos 1	Cte	624.16	0.2102	0.4856	11.7433	0.2939
930	Segura ant Ojos 2	Cte	1749.75	0.2102	0.4856	11.7433	0.2939
931	Segura ant Ojos 3	Río Mundo	1944.99	0.2102	0.4856	11.7433	0.2939

Tabla 15. Características de las conducciones. Segura. Tramo principal 3.

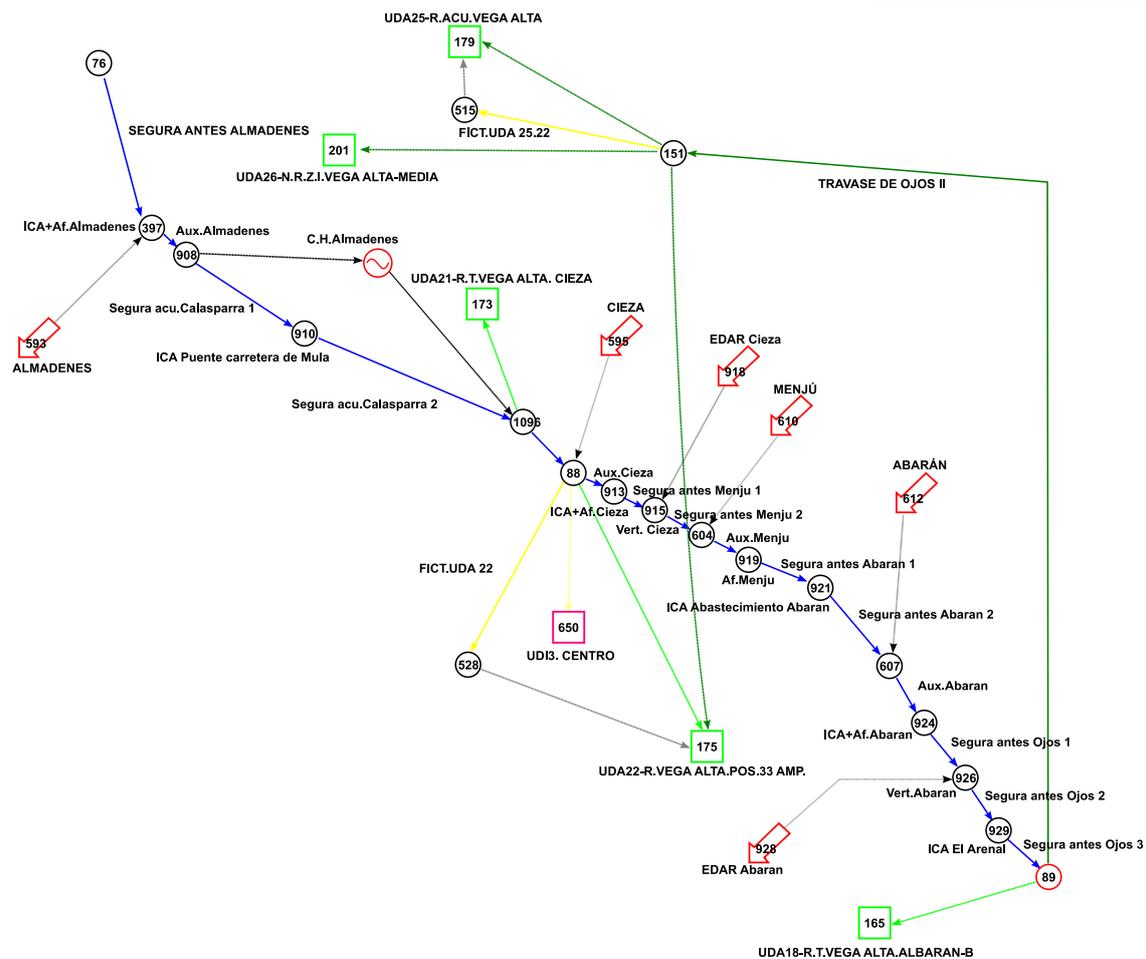


Figura 18. Esquema Segura. Tramo principal 3.

4.2.11. Segura. Principal 4

Código Elemento	Nombre	Curva Temperatura	Longitud (m)	Coeficientes hidráulicos			
				α_1	β_1	α_2	β_2
933	Ojos Archena 1	Archena	982.88	0.4323	0.5092	5.1527	0.2380
936	Ojos Archena 2	Archena	493.08	0.4323	0.5092	5.1527	0.2380
938	Ojos Archena 3	Archena	3583.15	0.4323	0.5092	5.1527	0.2380
939	Ojos Archena 4	Cte	4745.62	0.4323	0.5092	5.1527	0.2380
941	Aux. Archena	Cte	10	0.4323	0.5092	5.1527	0.2380
943	Archena Mula 1	Taibilla	4163.58	0.4323	0.5092	5.1527	0.2380
946	Archena Mula 2	Juntas Segura y Benamor	5819.24	0.4323	0.5092	5.1527	0.2380
948	Archena Mula 3	Emb. Almadenes	2220.93	0.4323	0.5092	5.1527	0.2380

Código Elemento	Nombre	Curva Temperatura	Longitud (m)	Coeficientes hidráulicos			
				α_1	β_1	α_2	β_2
952	Archena Mula 4	Cte	1569.1	0.4323	0.5092	5.1527	0.2380
954	Archena Mula 5	Cte	1051.25	0.4323	0.5092	5.1527	0.2380
958	Archena Mula 6	Promedio 2,3,4,5 y 6	4279.75	0.4323	0.5092	5.1527	0.2380

Tabla 16. Características de las conducciones. Segura. Tramo principal 4.

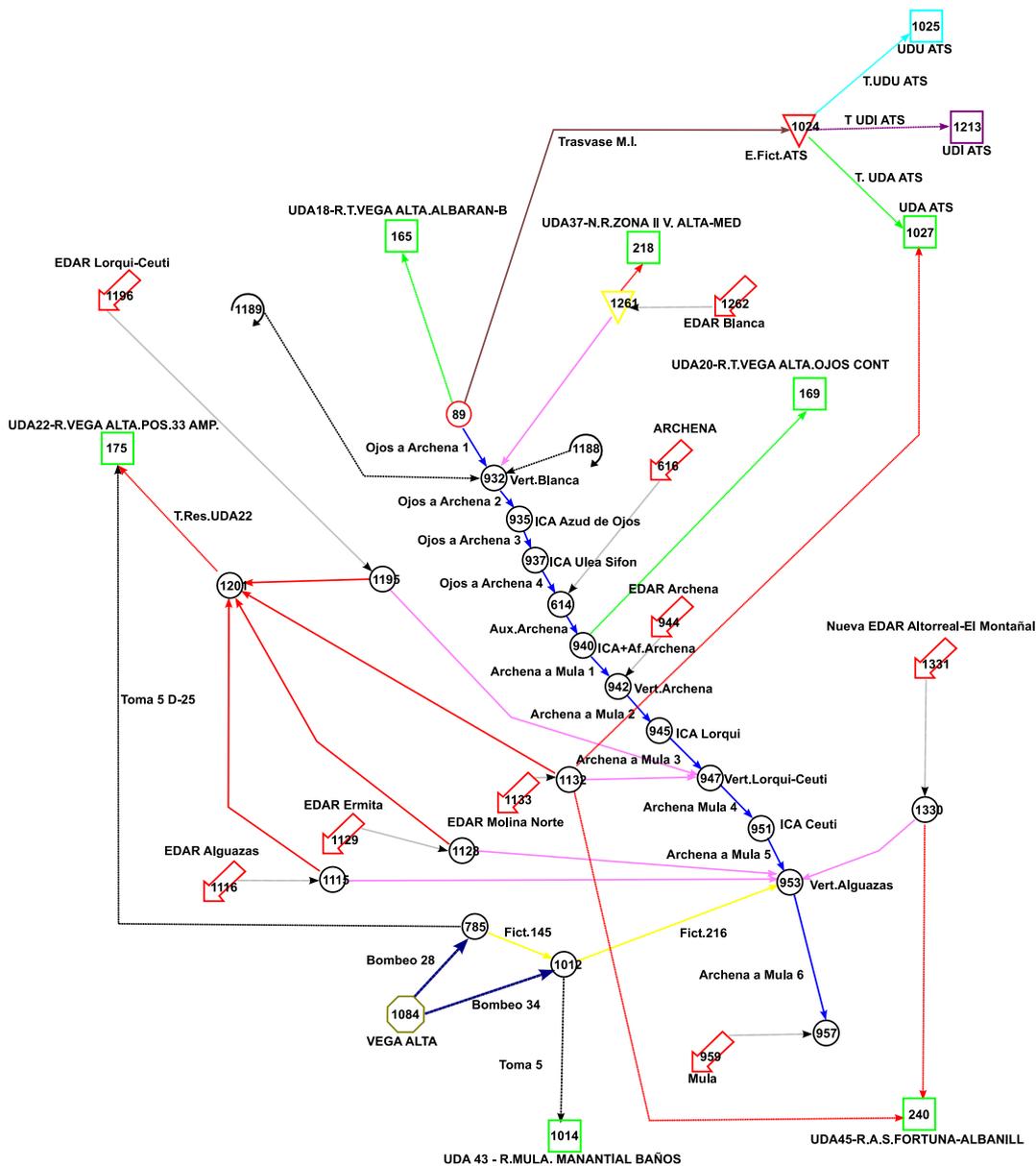


Figura 19. Esquema Segura. Tramo Principal 4.

4.2.12. Segura. Principal 5

Código Elemento	Nombre	Curva Temperatura	Longitud (m)	Coeficientes hidráulicos			
				α_1	β_1	α_2	β_2
961	Aux. Mula	Azaraque	10	0.4323	0.5092	5.1527	0.2380
1271	Mula a Contraparada con Vega Alta	El Arenal	4021.13	0.4323	0.5092	5.1527	0.2380
965	Aux. Contraparada	Cte	10	0.4323	0.5092	5.1527	0.2380
1269	Segura tras Contraparada	Beniel	1876.12	0.1503	0.3005	6.5999	0.0995
707	Segura con Bullas	Emb.Puentes	1933.253	0.1503	0.3005	6.5999	0.0995
1279	Segura con Sierra Espuña	Emb.Puentes	1933.253	0.1503	0.3005	6.5999	0.0995
968	Segura Vega Media 1	Taibilla	1933.253	0.1503	0.3005	6.5999	0.0995
1034	Segura Vega Media 2	Cte	14262.47	0.1503	0.3005	6.5999	0.0995

Tabla 17. Características de las conducciones. Segura. Tramo principal 5.

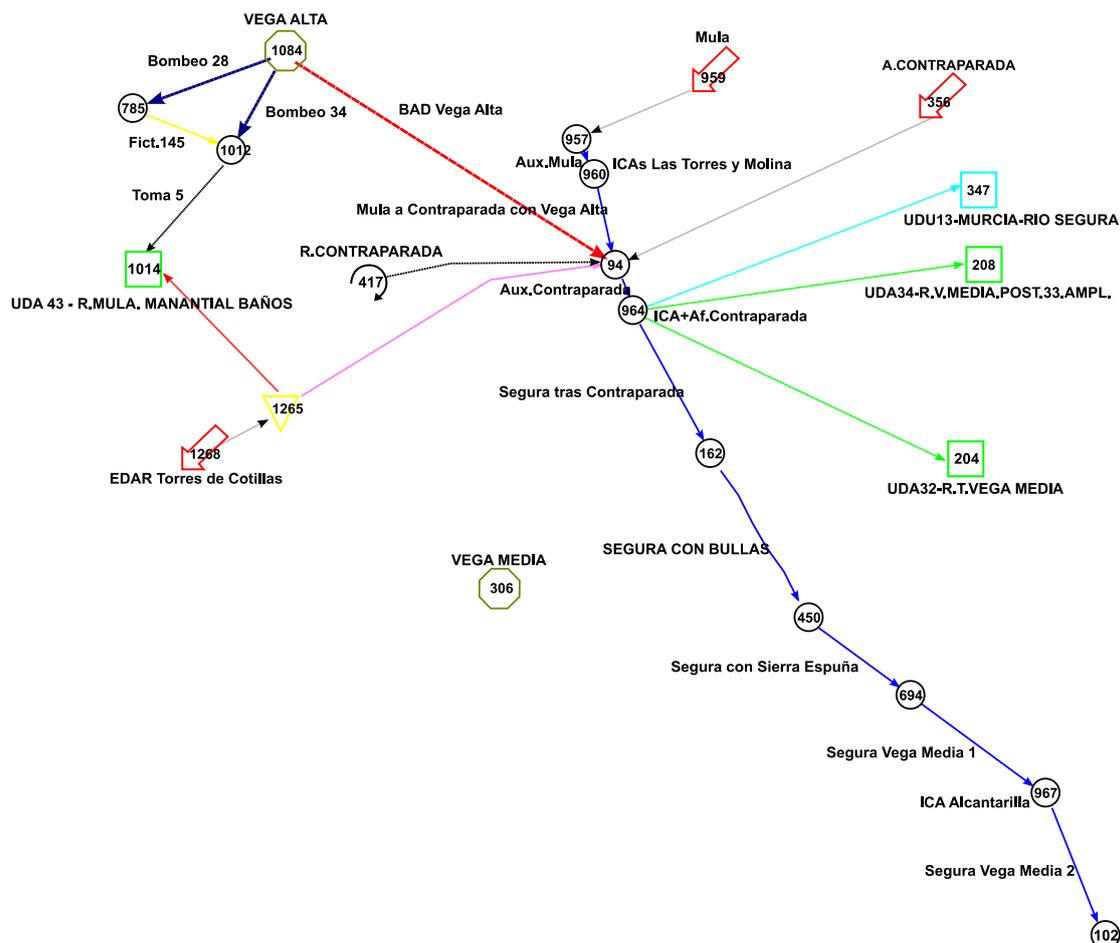


Figura 20. Esquema Segura. Tramo principal 5.

4.2.13. Segura. Principal 6

Código Elemento	Nombre	Curva Temperatura	Longitud (m)	Coeficientes hidráulicos			
				α_1	β_1	α_2	β_2
971	Segura Vega Baja 1	Cte	316.04	0.1503	0.3005	6.5999	0.0995
1035	Segura Vega Baja 2	Camping La Puerta	1077.15	0.1503	0.3005	6.5999	0.0995
1036	Segura Vega Baja 3	Cte	5141.74	0.1503	0.3005	6.5999	0.0995
1037	Segura Vega Baja 4	Cte	1569.05	0.1503	0.3005	6.5999	0.0995
1038	Segura Vega Baja 5	Cte	1051.25	0.1503	0.3005	6.5999	0.0995
996	Aux. Beniel	Taibilla	10	0.1503	0.3005	6.5999	0.0995
997	Segura después Beniel	Camping La Puerta	1327.99	0.2334	0.4129	7.9102	0.1005
1102	Aux. UDA48	Bucle Librilla	1000	0.0650	0.4300	0.5850	0.4500
1103	Segura Vega Baja 6	Cte	439.08	0.2334	0.4129	7.9102	0.1005
1295	Segura Vega Baja 7a	Cte	5511.1	0.2334	0.4129	7.9102	0.1005
1296	Segura Vega Baja 7b	Cte	1709	0.2334	0.4129	7.9102	0.1005
1283	Segura Vega Baja 8	Cte	3359.3	0.2334	0.4129	7.9102	0.1005
1291	Segura Vega Baja 9a	Cte	7276.59	0.2334	0.4129	7.9102	0.1005
1292	Segura Vega Baja 9b	Taibilla	2101.46	0.2334	0.4129	7.9102	0.1005
1284	Segura Vega Baja 10	Cte	12433	0.2334	0.4129	7.9102	0.1005
1286	Segura Vega Baja 11	Cte	1000	0.0650	0.4300	0.5850	0.4500
1287	Segura Vega Baja 12	Cte	1000	0.0650	0.4300	0.5850	0.4500
111	Segura desagüe	Emb. Puentes	1000	0.0650	0.4300	0.5850	0.4500

Tabla 18. Características de las conducciones. Segura. Tramo principal 6.

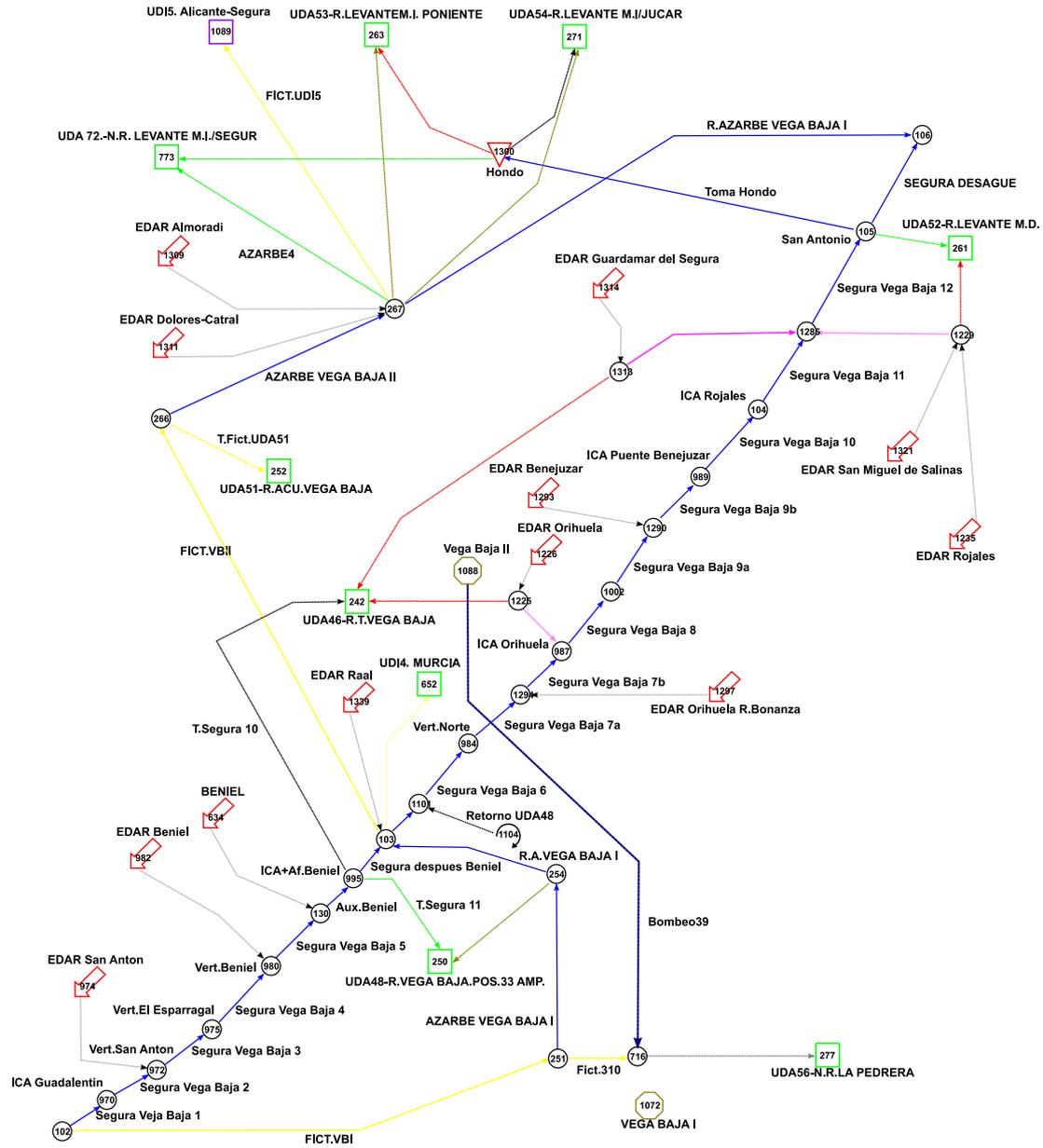


Figura 21. Esquema Segura. Tramo Principal 6.

4.3. ESTACIONES DE CALIDAD Y ESTACIONES DE AFORO

La red ICA (Red Integral de la Calidad del Agua) o estaciones de calidad suponen los puntos de control para la calibración y actualización del modelo. Estas estaciones, repartidas a lo largo de los distintos tramos y afluentes de que consta la cuenca, realizan mediciones mensuales de cada uno de los parámetros estudiados en este trabajo con una discretización mensual, por lo que en el mejor de los casos existirá una serie de 144 mediciones.

Existen básicamente tres tipos de ICAs, en función del cometido que desempeñan: baño, calidad general y abastecimiento. En cualquier caso, en el modelo se han utilizado datos de estaciones de los tres tipos, tomando datos de 40 de ellas, distribuidas a lo largo de sus tramos. Mientras, el submodelo Mula cuenta con 3 estaciones de calidad.

El código de cada estación aparece ordenado en la tabla siguiente (ver Tabla 19). Las coordenadas de cada estación pueden obtenerse desde la página web de la Confederación Hidrográfica del Segura (www.chsegura.es).

CODIGO	NOMBRE	CAUCE	MUNICIPIO
SE00000001	EL ARENAL	RIO SEGURA	BLANCA
SE00000007	PLAYAS DE CALASPARRA	RIO SEGURA	CALASPARRA
SE00000008	EL SANTUARIO	RIO SEGURA	CALASPARRA
SE00000009	JUNTAS DEL SEGURA Y BENAMOR	RIO SEGURA	CALASPARRA
SE00000010	PUENTE CARRETERA DE MULA	RIO SEGURA	CIEZA
SE00000011	PLAYA DEL GALLEGO	RIO SEGURA	ELCHE DE LA SIERRA
SE00000013	CAMPING LA PUERTA	RIO ALHARABE	MORATALLA
SE0842A050	LIETOR	RIO MUNDO	LIETOR
SE0842B902	CANAL DE HELLÍN	RIO MUNDO	LIETOR
SE0842DA06	RÍO MUNDO	RIO MUNDO	LIETOR
SE0866A001	EMB. DE LA FUENSANTA	RIO SEGURA	YESTE
SE0867B057	LOS GALLEGOS	RIO SEGURA	ELCHE DE LA SIERRA
SE0868A013	EMB. DEL CENAJO	RIO SEGURA	HELLIN
SE0868A024	EMB. CAMARILLAS	RIO MUNDO	HELLIN
SE0868A024	EMB. CAMARILLAS	RIO MUNDO	HELLIN
SE0868BA07	MINAS Y SALMERÓN	RIO SEGURA	MORATALLA
SE0868C004	AZARAQUE	RIO MUNDO	HELLIN
SE0888A102	TAIBILLA	RIO TAIBILLA	NERPIO
SE0890A206	EL SOTO	RIO SEGURA	CALASPARRA
SE0890B210	ARGOS	RIO SEGURA	CALASPARRA
SE0890C903	CALASPARRA	RIO ARGOS	CALASPARRA

CODIGO	NOMBRE	CAUCE	MUNICIPIO
SE0890D007	EMB. ALFONSO XIII	RIO QUIPAR	CALASPARRA
SE0890E211	EMB. ALMADENES	RIO SEGURA	CIEZA
SE0891A016	CIEZA	RIO SEGURA	CIEZA
SE0891BA08	ABASTEC. ABARÁN	RIO SEGURA	CIEZA
SE0891C017	ABARÁN	RIO SEGURA	ABARAN
SE0912A019	EMB. LA CIERVA	RIO MULA	MULA
SE0912B207	Baños de Mula	RIO MULA	MULA
SE0912C906	Río Mula	RIO MULA	ALBUDEITE
SE0912D905	AZUD DE OJÓS	RIO SEGURA	BLANCA
SE0912EA02	ULEA (SIFÓN MCT)	RIO SEGURA	OJOS
SE0912F018	ARCHENA	RIO SEGURA	ARCHENA
SE0912G212	LORQUÍ	RIO SEGURA	LORQUI
SE0912I205	CEUTÍ	RIO SEGURA	MOLINA DE SEGURA
SE0912J204	LAS TORRES	RIO SEGURA	TORRES DE COTILLAS
SE0912K203	MOLINA	RIO SEGURA	TORRES DE COTILLAS
SE0912M063	CONTRAPARADA	RIO SEGURA	MOLINA DE SEGURA
SE0913A064	BENIEL	RIO SEGURA	BENIEL
SE0913B028	ORIHUELA	RIO SEGURA	ORIHUELA
SE0914A068	PUENTE BENEJÚZAR	RIO SEGURA	BENEJUZAR
SE0914B029	ROJALES	RIO SEGURA	ROJALES
SE0933A208	LIBRILLA	RIO GUADALENTIN	ALHAMA DE MURCIA
SE0933B202	ALCANTARILLA	RIO SEGURA	MURCIA
SE0934A201	GUADALENTÍN	RIO SEGURA	MURCIA
SE0953A033	EMB. PUENTES	RIO GUADALENTIN	LORCA
SE0953C209	SANTA GERTRUDIS	RIO GUADALENTIN	LORCA

Tabla 19. Descripción de las estaciones de calidad que forman parte del modelo.

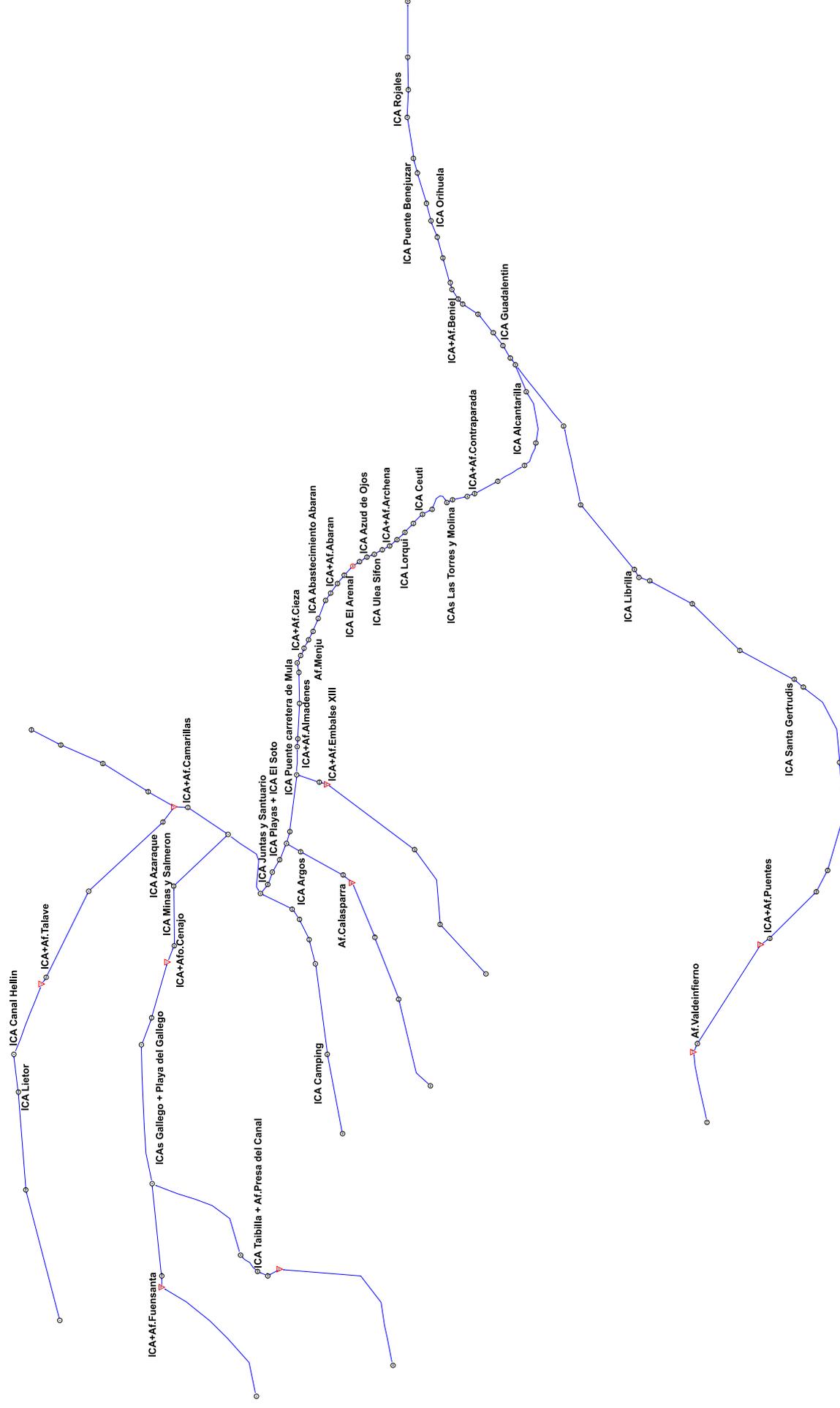


Figura 22. Estaciones de calidad y aforo a lo largo de la cuenca

Junto a la calidad, el estudio de los caudales, resulta indispensable para una buena calibración del modelo, puesto que el caudal circulante provocará cambios en las concentraciones de los parámetros medidos, debido a una mayor o menor disolución de los constituyentes. Esto puede ser especialmente acusado en las ramblas estacionales.

Un caso especialmente importante se produce en épocas de muy poco caudal, ya que dada la elevada temperatura exterior (asociada a la época estival), la repercusión en la temperatura del flujo puede ser muy apreciable, influyendo en el OD (dado la solubilidad de los gases en un fluido en función de la temperatura) o en la velocidad de degradación de compuestos por acción biológica (compuestos nitrogenados y fosfatos).

Dado que forma parte intrínseca del modelo, se realizará una revisión de los caudales observados frente a los simulados en un estudio de los perfiles del modelo.

Para su comprobación, existen un conjunto de estaciones de aforo, que permiten la medición de caudal en distintos puntos de la cuenca. La red de aforos y la red ICA de la cuenca son redes diferentes, si bien, en muchas ocasiones se encuentran situadas en los mismos lugares, para simplificar la toma de datos. Normalmente, estas estaciones de aforo se localizan a la salida de los embalses.

- Af. Alfonso XIII
- Af. Abaran
- Af. Almadenes
- Af. Archena
- Af. Beniel
- Af. Calasparra
- Af. Camarillas
- Af. Cieza
- Af. Contraparada
- Af. Emb.Cenajo
- Af. Emb.Fuensanta
- Af. Guardamar
- Af. La Esperanza
- Af. Menju
- Af. Paso
- Af. Presa del Canal
- Af. Puentes
- Af. Talave
- Af. Valdeinfierno
-

4.4. EMBALSES

Dada la climatología de la zona, y de acuerdo a las características volumétricas y la estacionalidad, al tratarse de un área cuya precipitación está asociada a fenómenos convectivos, la cuenca del Segura es una zona con una gran cantidad de presas y embalses que sirven para el control de avenidas y la garantía del suministro para los diversos usos existentes, principalmente agrarios.

La repercusión debido a la existencia de estos embalses es la garantía de un caudal bastante laminado tras el paso por los mismos, generando un flujo no ligado a episodios de precipitación, mientras el embalse tenga recurso suficiente. En el modelo empleado, se encuentran caracterizadas las siguientes infraestructuras de este tipo:

EMBALSE	CAPACIDAD (hm ³)	USO
Valdeinfierno	13	Regadío y Defensa
Alfonso XIII	22	Regadío y Defensa
Talave	35	Regadío y Defensa
La Cierva	7	Regadío y Defensa
Fuensanta	210	Regadío y Defensa
Camarillas	36	Regadío y Defensa
Cenajo	437	Regadío y Defensa
Argos	10	Regadío y Defensa
Taibilla	9	Abastecimiento
Puentes (Nueva)	26	Regadío y Defensa

Tabla 20. Embalses en el modelo y usos de los mismos.

La zona del Alto Mundo está controlada por los embalses del Talave y de Camarillas. El embalse del Talave recibe las aportaciones del trasvase del Tajo, y a su vez estas son redirigidas al Cenajo, el embalse de mayor capacidad de la cuenca. El embalse de Camarillas, capta las aguas del Mundo y del Taibilla, y está situado previo a la confluencia con el Alto Segura.

Dadas las observaciones mensuales, se observa que el embalse del Talave funciona como una estructura de regulación y derivación durante la mayor parte de tiempo, y como una estructura de defensa y laminación en los períodos de lluvias intensas. Con los datos proporcionados, se observa que la fiabilidad de los mismos es muy pobre para la primera parte de la serie temporal, obteniendo unos datos de mayor calidad para los últimos cuatro años, que confirman este fenómeno (ver Figura 23). Mismo comportamiento es observable para el embalse de Camarillas, en cuanto a usos del embalse y fiabilidad de los datos (ver Figura 24).

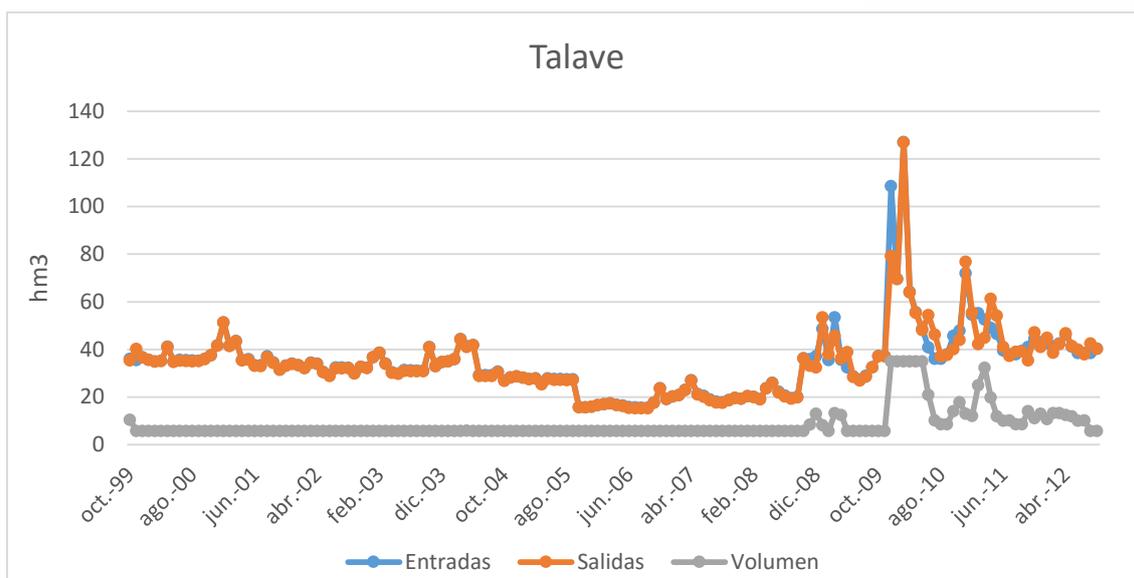


Figura 23. Evolución del volumen almacenado en el embalse del Talave.

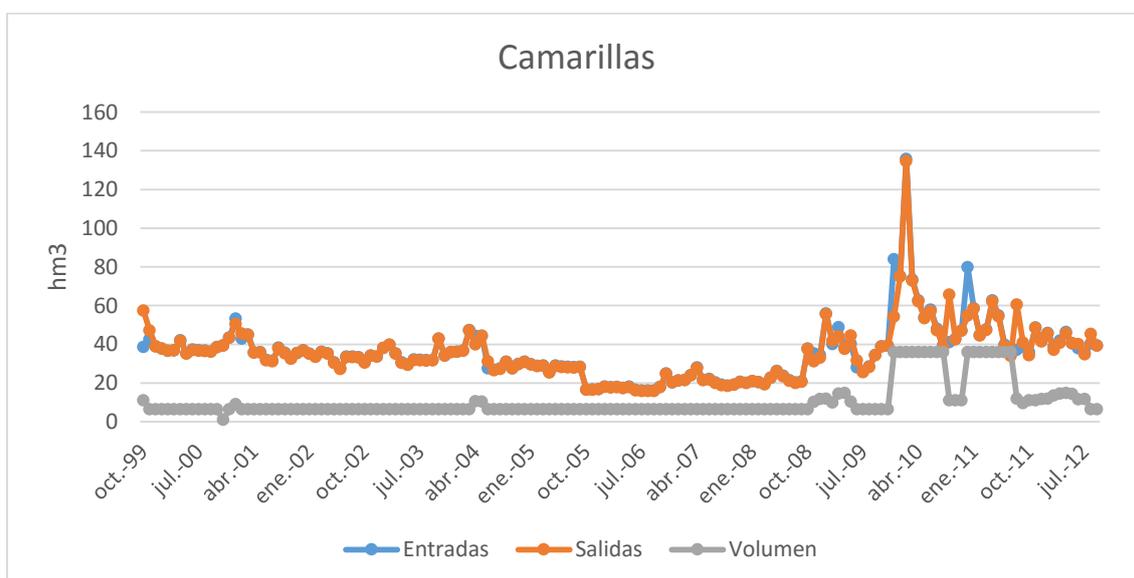


Figura 24. Evolución del volumen almacenado en el embalse de Camarillas.

El Alto Segura se encuentra regulada por los embalses de la Fuensanta y el Taibilla, y tras la confluencia de ambos cauces, por el embalse del Cenajo. El Taibilla es un pequeño embalse con uso principal de abastecimiento, por lo que resulta de poca importancia; no así el embalse de la Fuensanta y el Cenajo; los dos principales de la cuenca en términos de volumen.

La Fuensanta aporta una primera estructura de laminación y de defensa frente a avenidas, siendo este su uso principal (ver Figura 25).

Mientras el embalse del Cenajo, recibe la aportación de E. Cenajo sobre el embalse, siendo esta la causa de la falta de balance entre entradas y salidas al embalse. Se introduce sobre la Figura 26 los datos de la aportación de E.Cenajo.

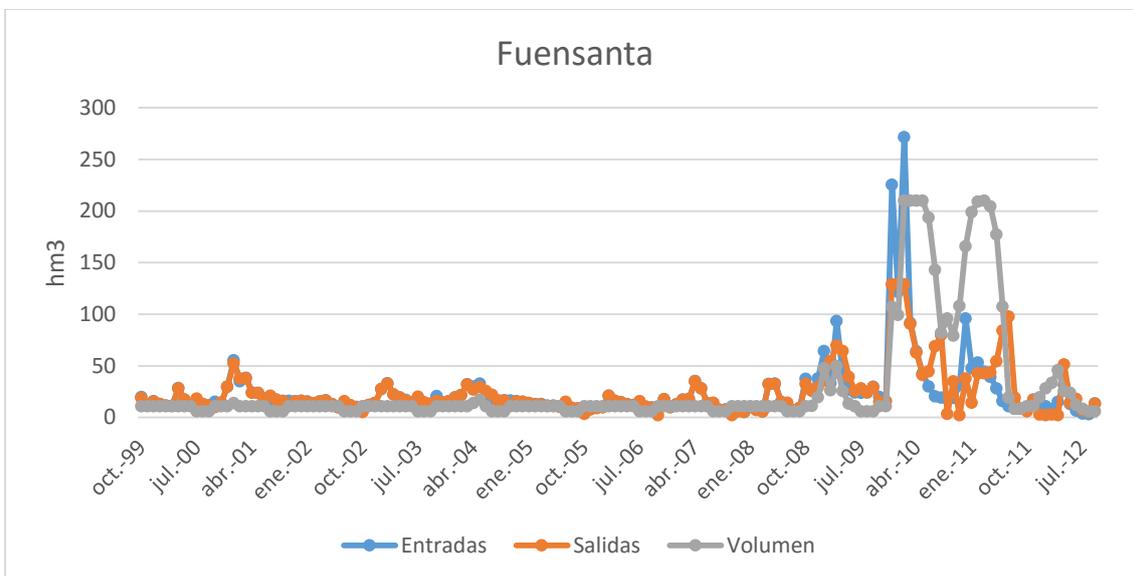


Figura 25. Evolución del volumen almacenado en el embalse de la Fuensanta.

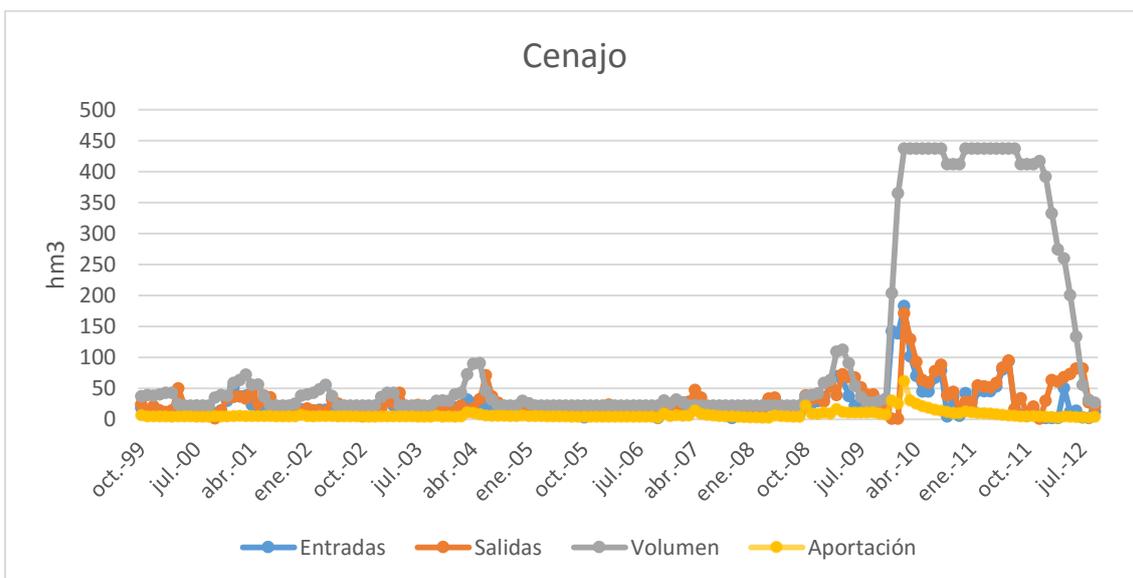


Figura 26. Evolución del volumen almacenado en el embalse del Cenajo.

Los afluentes de la margen izquierda del Segura son arroyos tipo rambla mediterránea, es decir, de caudal poco importante o efímero con situaciones temporales de caudal muy intenso. Constan de usos similares a los descritos para los embalses de cabecera y volúmenes sustancialmente inferiores.

Sobre el río Argos, se sitúa el embalse del Argos; y en paralelo, a unos pocos kilómetros de distancia, el embalse de Alfonso XIII en el cauce del río Quípar. Ambos comparten características muy similares en cuanto a usos y demandas.

A destacar volúmenes almacenados igual a cero en el embalse de Argos (ver Figura 27), para el año hidrológico comprendido entre octubre de 2007 y septiembre de 2008, donde hubo un período de sequía fuertemente acusado en toda la cuenca. Respecto al embalse de Alfonso XIII, se ha introducido en la Figura 28, los retornos de riego de la UDA 31, que vierten sobre el vaso del mismo.

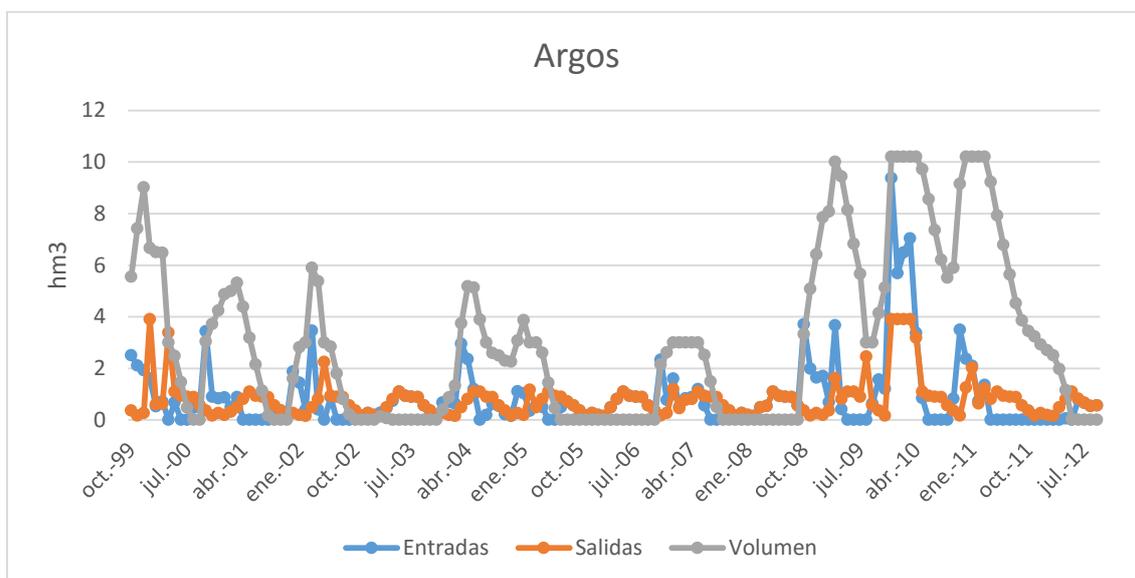


Figura 27. Evolución del volumen almacenado en el embalse de Argos.

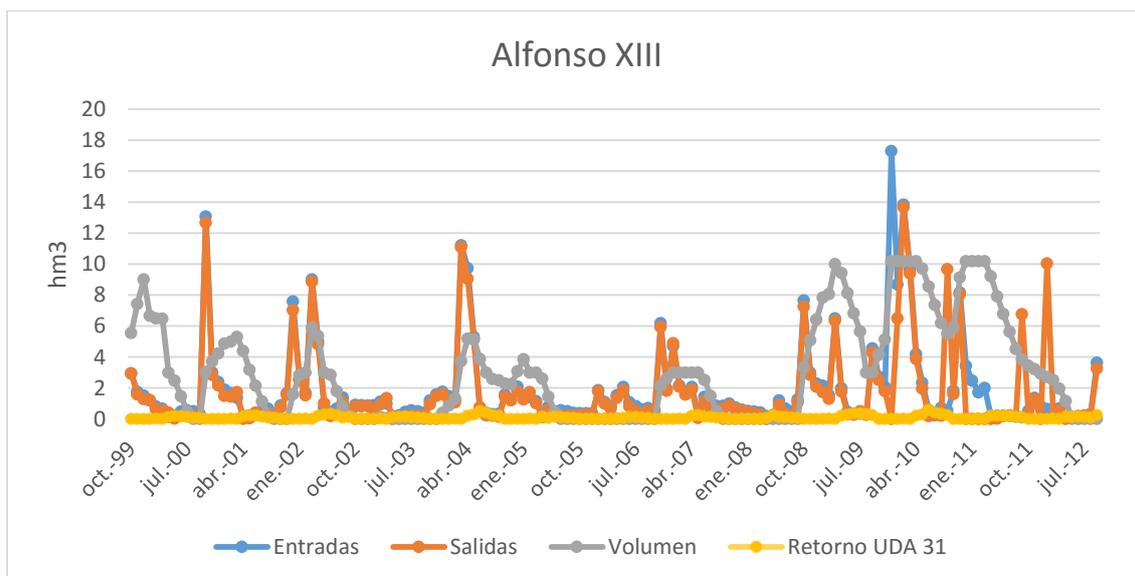


Figura 28. Evolución del volumen almacenado en el embalse de Alfonso XIII.

La cuenca del río Mula, se regula por el Embalse de la Cierva, situado en la parte superior de la cuenca. Al tratarse de una cuenca similar a las de los anteriores afluentes, el uso de la presa se mantiene en regadío y defensa contra inundaciones. Destacar que las entradas a la cuenca son sensiblemente inferiores a las de los afluentes anteriores, como muestran las entradas máximas asociadas a los períodos de precipitación, posiblemente asociadas a una menor superficie de la cuenca vertiente (ver Figura 29).

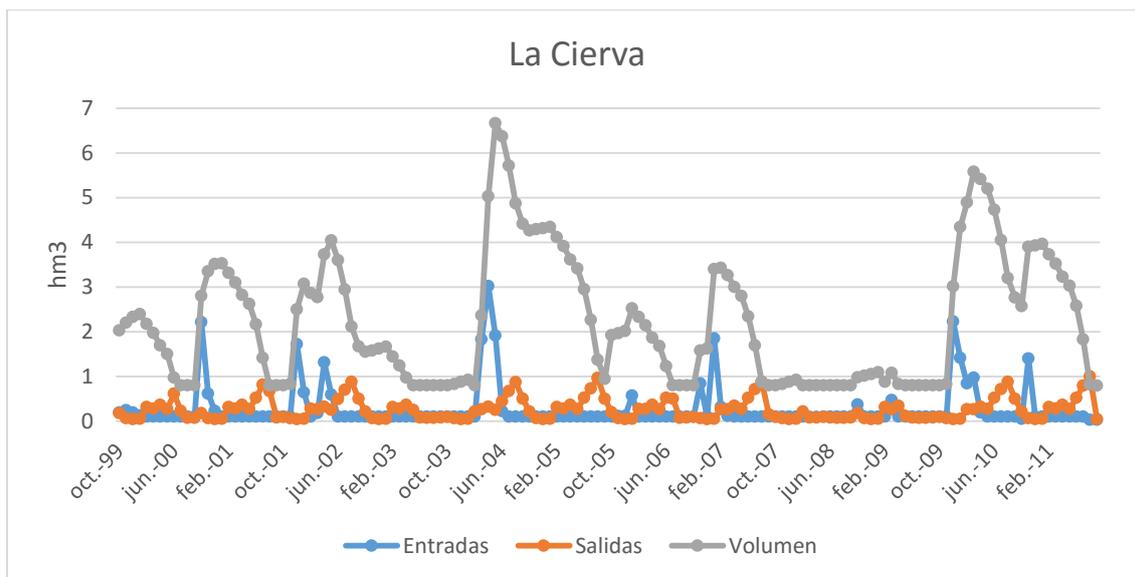


Figura 29. Evolución del volumen almacenado en el embalse de la Cierva.

Por último, en el río Guadalentín, el principal afluente en la parte media baja del río, se sitúan en cabecera los embalses de Puentes y Valdeinfierno. Ambos resultan especialmente importantes, puesto que de ellos depende la defensa frente a avenidas de la mayor parte de la población de la cuenca, que se encuentra concentrada en el valle del Guadalentín y la zona de la Vega Media y Baja.

Una muestra de esto son los episodios de precipitaciones del otoño de 2009, donde el embalse de Valdeinfierno alcanzó el máximo de su capacidad, pero ambos embalses fueron capaces de laminar adecuadamente el caudal entrante para paliar los efectos de la inundación aguas abajo (ver Figura 30 y Figura 31).

Como puede verse en estas y todas las gráficas anteriores, los embalses suelen trabajar a un porcentaje muy bajo de su capacidad salvo períodos de lluvias torrenciales, donde actúan como infraestructuras de defensa.

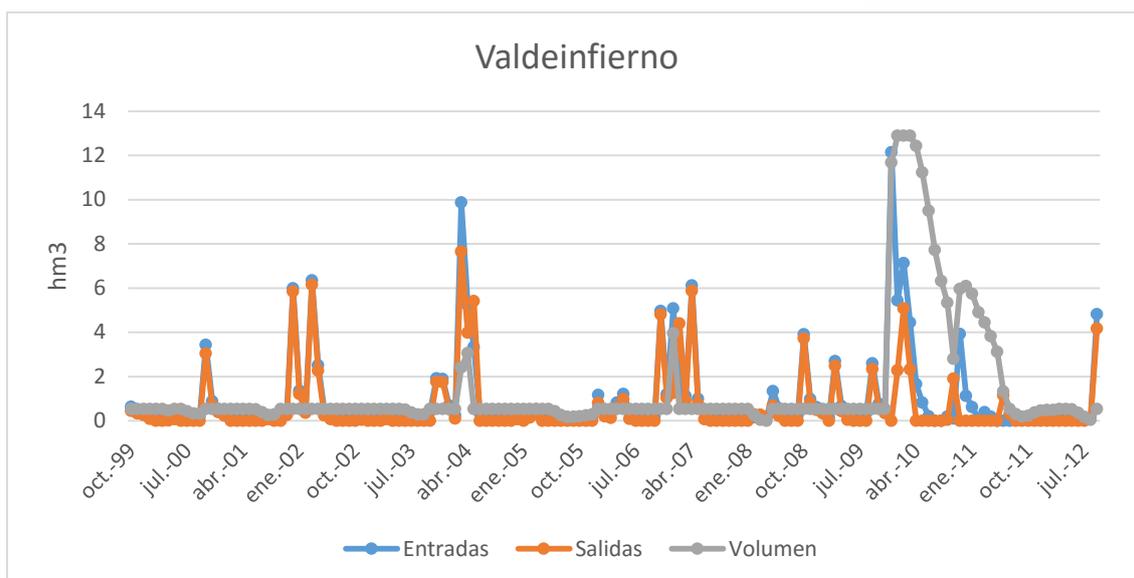


Figura 30. Evolución del volumen almacenado en el embalse de Valdeinfierno.

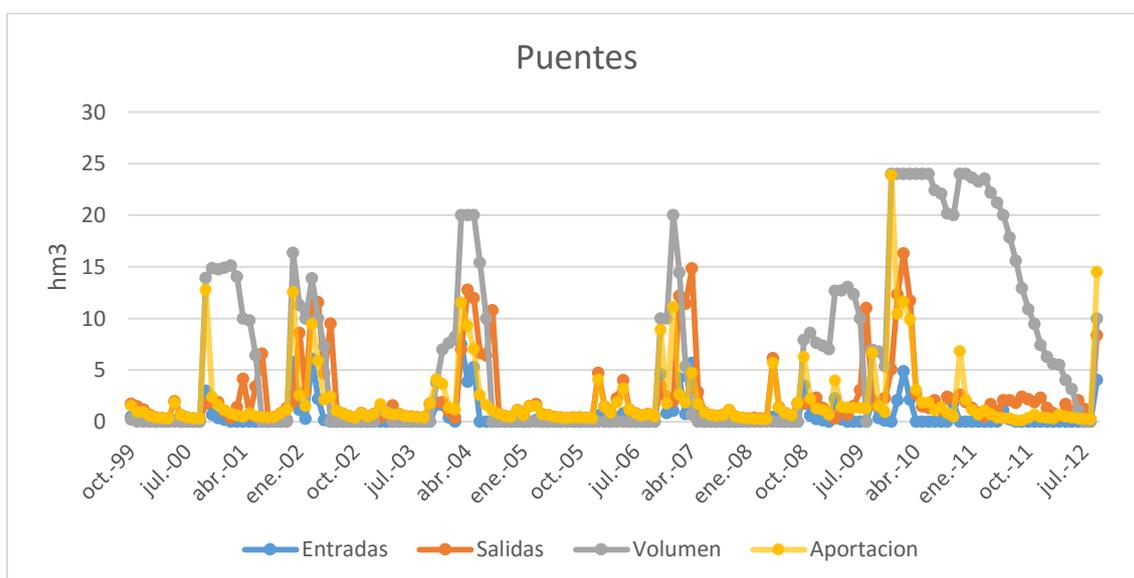


Figura 31. Evolución del volumen almacenado en el embalse de Puentes.

4.5. APORTACIONES NATURALES

El modelo Segura consta de 19 aportaciones naturales, mientras que el modelo Mula consta de dos aportaciones. Se aportan datos de caudales desde 1940 y los datos de calidad entre 1999 y 2005 (ver Figura 32). Estas aportaciones se encuentran restituidas a régimen natural, por lo que cualquier vertido que influya sobre las mismas, deberá afectarlas calculando la diferencia entre la aportación en régimen natural y el vertido realizado.

Las aportaciones naturales existentes en el modelo son las siguientes:

- E. FUENSANTA
- PRESA DEL CANAL
- LA ESPERANZA
- CALASPARRA
- E. ALFONSO XIII
- E. VALDEINFIERNO
- E. TALAVE
- ALMADENES
- E. PUENTES
- CONTRAPARADA
- E. CENAJO
- TR.TAJO
- CIEZA
- MENJU
- ABARAN
- ARCHENA
- BENIEL
- E. CAMARILLAS
- PASO DE LOS CARROS
- *E. LA CIERVA*
- *BAÑOS DE MULA*

La mayor parte de las aportaciones corresponden a las cabeceras de las cuencas, donde se obtiene la mayor parte de los recursos. A destacar las entradas de E. Talave y E. Fuensanta y; correspondientes al río Mundo y al Alto Segura, respectivamente. Entre sus características físico-químicas, destacar que poseen cantidades bajas o muy bajas de los constituyentes estudiados.

Dentro de las aportaciones naturales, los acuíferos y las extracciones de agua subterránea resultan otro recurso muy valioso dentro de la cuenca hidrográfica del Segura, para paliar el déficit hídrico y la sequía que en muchos períodos aparece en la cuenca (ver Figura 7).

Dentro del esquema del modelo, aparecen representadas las siguientes unidades hidrogeológicas:

- VEGA MEDIA
- EL MOLAR
- ASCOY SOPALMO
- VALDEINFIERNO, OTROS
- SOMOGIL
- BAJO QUÍPAR, BULLAS
- ALTO QUÍPAR, OTROS
- VEGA BAJA I
- VEGA BAJA II
- VEGA ALTA
- SINCLINAL DE CALASPARRA
- SIERRA ESPUÑA

El uso masivo de aguas subterráneas, ha provocado la declaración de sobreexplotación en algunos de estos acuíferos. Del mismo modo, se está observando un aumento en los últimos años de los valores de nitratos y otros contaminantes en los mismos, por lo que su uso, puede ir decayendo a medio y largo plazo, o verse condicionado a un tratamiento para la mejora de su calidad. De acuerdo a los controles periódicos, parece que esta tendencia se está estabilizando, dadas las mejoras en la calidad de agua de riego.

Para su control, y desde la entrada en vigor de la DMA, que establece que en cada Demarcación hidrográfica deben de establecerse programas de seguimiento del estado de las aguas, se ha establecido una serie de controles de periodicidad anual, para el control de dichas unidades hidrogeológicas.

[4.5.1. Caracterización de aportaciones](#)

Conocer el estado cuantitativo del recurso y su evolución a lo largo de la cuenca, resulta un punto de partida importante a la hora de entender la evolución de diferentes constituyentes a lo largo del río. Cuantitativamente hablando, las principales aportaciones del modelo se localizan en las cabeceras, situadas en el río Mundo y Alto Segura. Ambas aportaciones son constantes y abundantes, al contrario que la mayoría de aportaciones en el resto de la cuenca, de características periódicas o efímeras.

El río Mundo, cuenta con las aportaciones del E. Talave y del Trasvase Tajo-Segura, lo que repercute en un promedio anual de aproximadamente 400 hm³, destacando que el trasvase del Tajo-Segura, puede contribuir por si solo al 75% de este caudal (ver Figura 33). Esta agua trasvasada servirá para distintas demandas urbanas y demandas agrícolas en la parte baja de la cuenca.

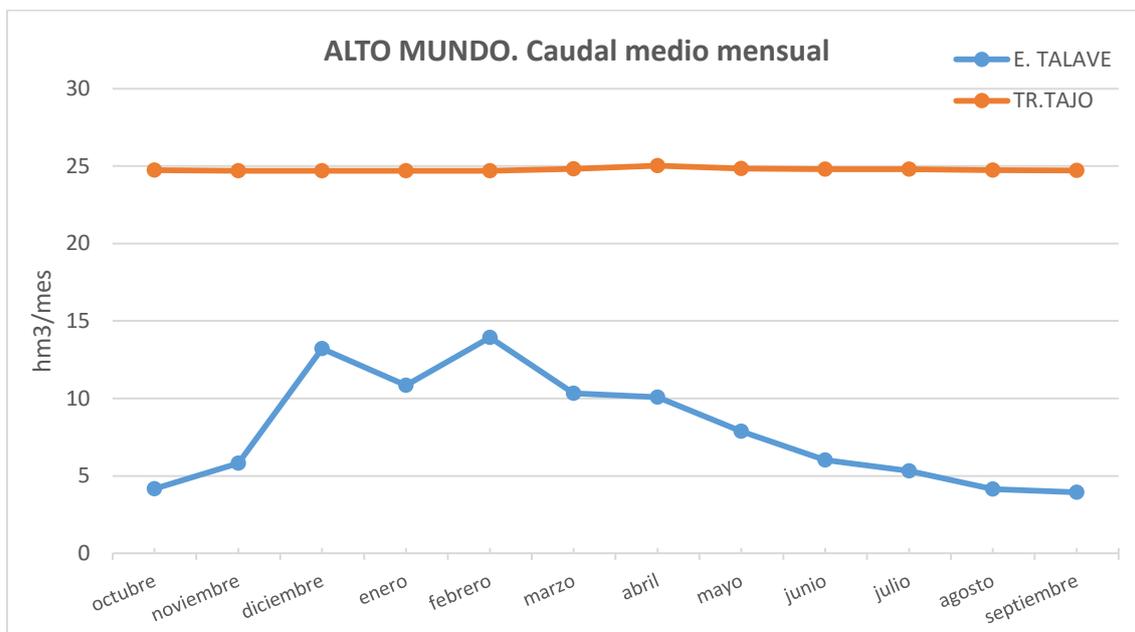


Figura 33. Caudal promedio mensual de las aportaciones en el Alto Mundo.

Nótese la aportación mensual cuasi constante del trasvase del Tajo, y la estacionalidad de la aportación del Talave asociada a los eventos de precipitación del invierno.

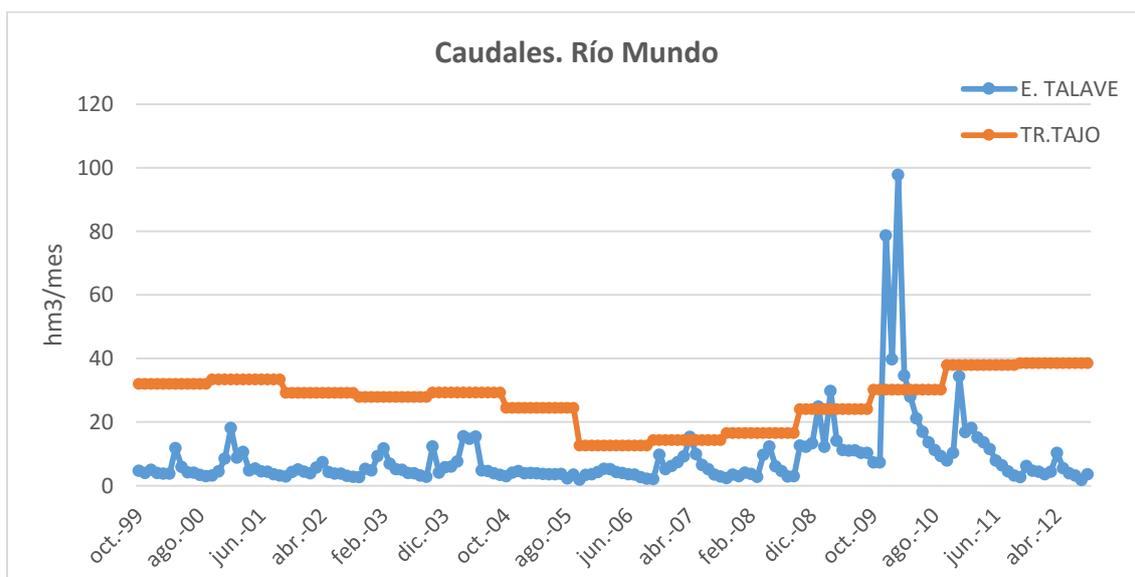


Figura 34. Histórico de caudales en el Río Mundo

Temporalmente, se observa estos picos invernales para las temporadas 03-04, 06-07 y 09-10, siendo este último período, muy destacado cuantitativamente. En cuanto al trasvase del Tajo, se observan períodos de sequía para la temporada 05-08, con caudales promedio por debajo de 20 hm³ mensuales, y unas medias entre 20 y 40 hm³ mensuales para toda la serie (ver Figura 34).

Mientras, la zona del Alto Segura cuenta con las aportaciones principales denominadas del embalse del Cenajo y la Fuensanta (ver Figura 35). El río Taibilla apenas tiene influencia cuantitativa al consumirse mayoritariamente para la satisfacción de diversas demandas industriales. Generan un caudal promedio anual de 360 hm³ destacando la aportación de E. Fuensanta con un peso del 65% del caudal aportado.

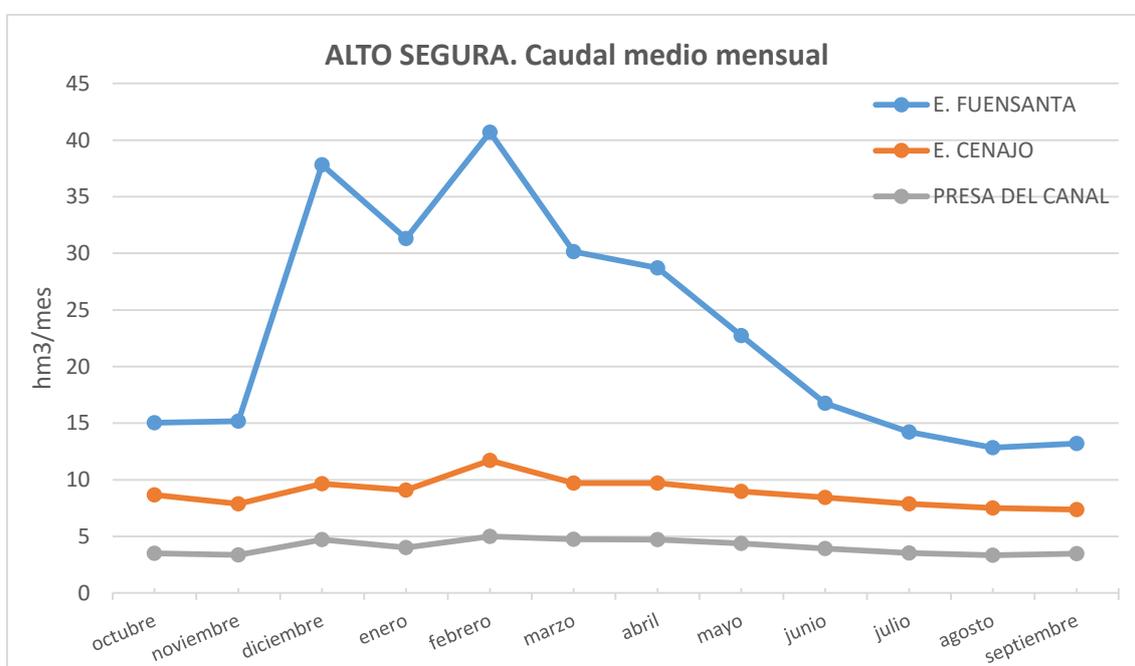


Figura 35. Caudal promedio mensual de las aportaciones en el Alto Segura.

En clara equivalencia con la cuenca del Alto Mundo, los mayores picos de caudal se registran en el período invernal, con especial influencia del invierno de 2009-2010 alcanzando valores por encima de los 200 hm³/mes (ver Figura 36).

La confluencia de estos dos cursos fluviales, junto con el caudal proveniente del Arroyo Tobarra y tras el paso por Camarillas, genera el denominado curso principal, captando un flujo de hasta 800 hm³ anuales, siendo éste, el tramo de mayor caudal de la cuenca.

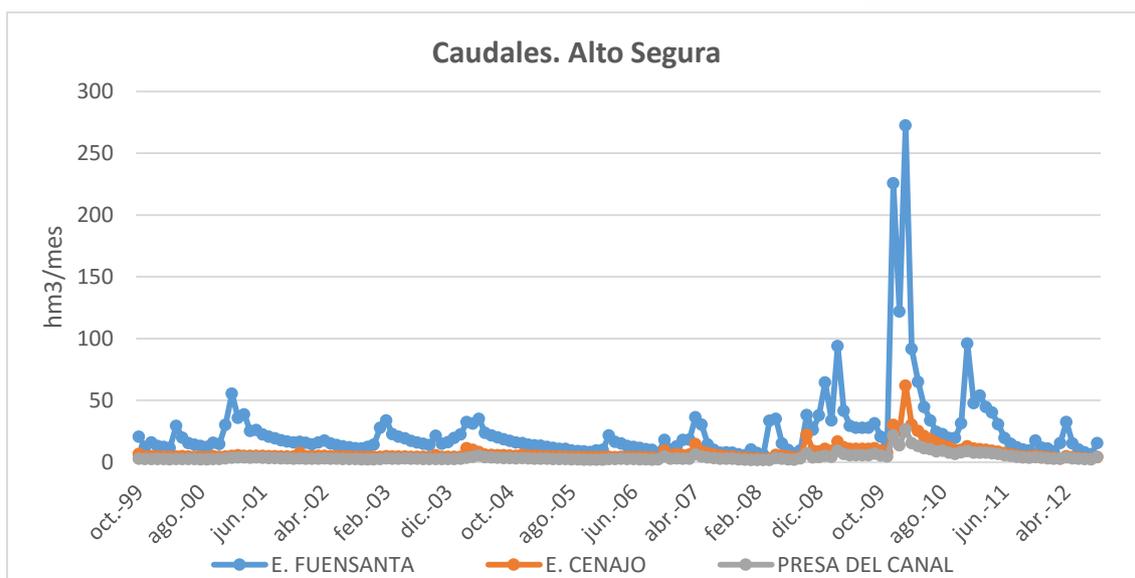


Figura 36. Histórico de caudales en el Alto Segura.

A este flujo, se van uniendo los afluentes situados en la margen derecha (con poca influencia sobre la solución), ordenados espacialmente como Moratalla, Argos y Quípar. Existen dos afluentes más, el Mula y el Guadalentín, situados en la parte media-final del río, por lo que se tratarán más adelante (Ver Figura 37).

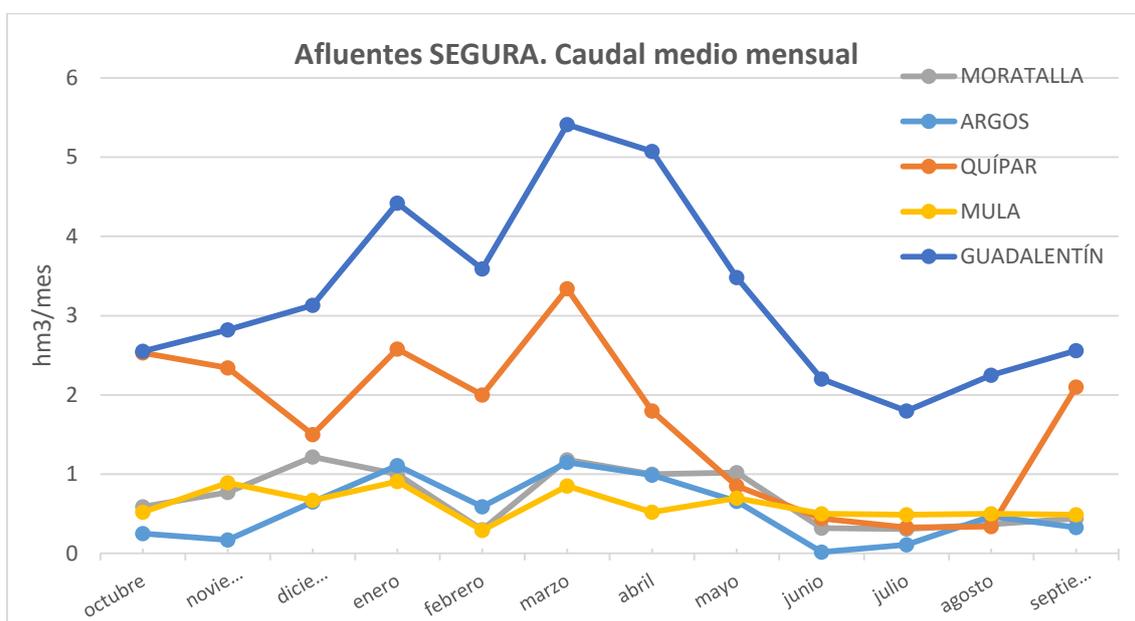


Figura 37. Caudal promedio de los afluentes del río principal.

El río Moratalla es un río poco caudaloso, con meses de verano casi secos y características cualitativas de poca repercusión, ya que aporta promedios anuales de 8 hm³ frente a los más de 750 hm³ que circulan por el tramo principal.

En el río Argos, se repite un caso similar al Moratalla. Se trata de un río efímero, debido principalmente a las demandas existentes desde la parte inicial del río y de nuevo con promedios anuales muy bajos, 6.5 hm³, en comparación al río principal; y con características de calidad poco relevantes.

El río Quípar, es un río de caudales mayores, con un promedio anual de 20 hm³ en su confluencia y cuyas características de calidad también son destacadas; principalmente, debido a la alta conductividad de las aguas del río, asociada a la presencia de una explotación minera abandonada de mineral de hierro (mina María) y la geología de la zona. En cambio, su influencia sobre el principal sigue sin ser demasiado importante, debido al pequeño porcentaje que representa sobre el caudal total.

El histórico de aportaciones para estos tres afluentes, muestra aportaciones muy bajas en una mayoría del tiempo acompañadas de períodos de lluvia que multiplican por cinco o diez veces los caudales circulantes habituales. Dada su proximidad geográfica (especialmente entre las cabeceras del Argos y el Quípar), los períodos lluviosos coinciden perfectamente en el tiempo (ver Figura 38).

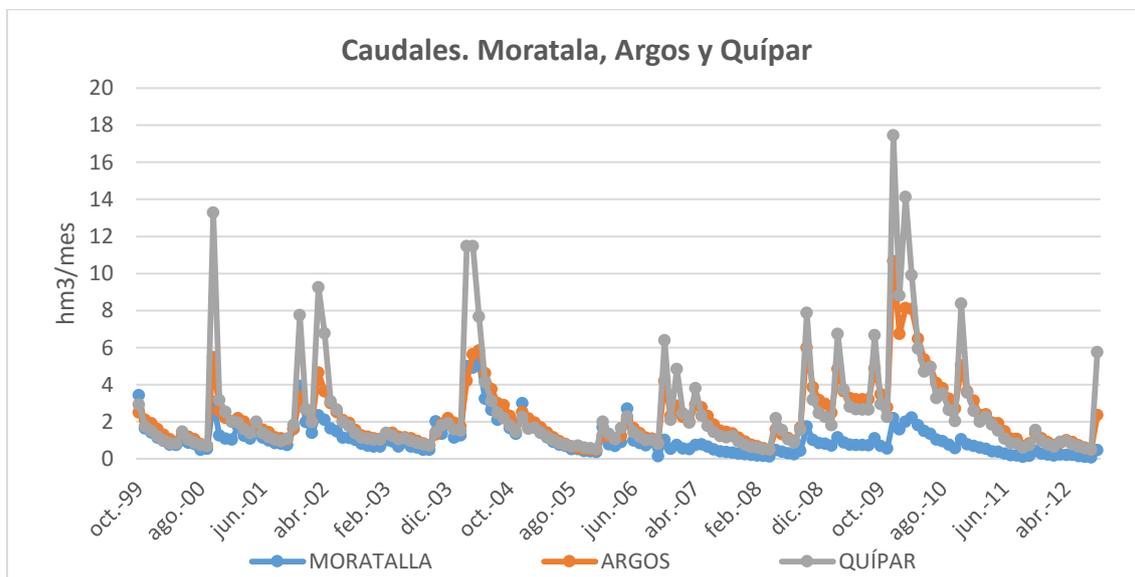


Figura 38. Histórico de caudales en Moratalla, Argos y Quípar.

Tras la confluencia de estos tres afluentes, se entra en el tramo medio del río Segura, donde aparecen una gran cantidad de aportaciones, vertidos y demandas. La primera parte del tramo, recibe las aportaciones de Almadenes, Cieza, Menjú y Abarán.

La más importante es Abarán con una entrada promedio cercana a los 10 hm³ anuales, y son destacables los picos mensuales de Cieza, que pueden alcanzar los 5 hm³ mensuales (ver Figura 39).

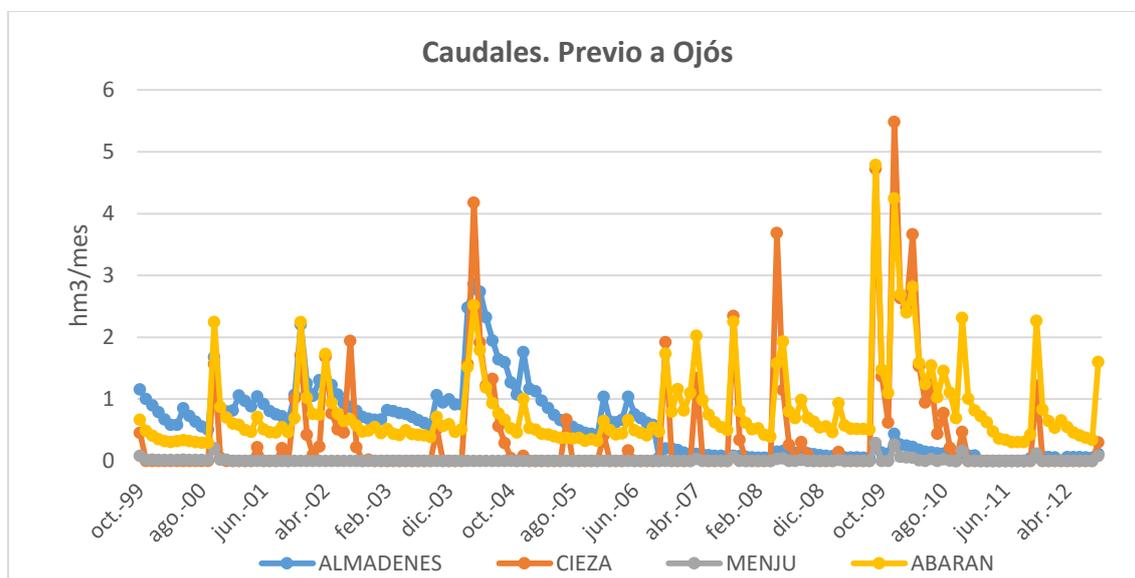


Figura 39. Histórico de caudales en el tramo previo al azud de Ojós

El azud de Ojós, situado tras Abarán, es un azud de derivación del río Segura, que forma parte de las infraestructuras denominadas de postravase, y se encarga del reparto de los caudales entre las distintas demandas existentes. En este punto, el río reduce el caudal circulante por el mismo de los 800 hm³ anuales en promedio a algo menos de 240 hm³. El análisis de la derivación de estos caudales se explicará en el siguiente capítulo Demandas.

Una vez sobrepasado el azud, el río entra en un nuevo tramo con pocas afecciones, entre las cuales destacan la aportación de Archena, de poca entidad (2,5 hm³/año).

El río Mula es el cuarto afluente de la margen derecha. Con un promedio anual de 8 hm³ en su confluencia (similar al observado en el río Moratalla), resulta nuevamente poco relevante respecto al caudal principal, pese a que, en porcentaje, su importancia se incrementa tras la derivación de Ojós.

Tras la confluencia del Mula, se alcanza la zona de la Vega Media, con la aportación de Contraparada de 20 hm³ en año promedio, suponiendo un 10% del caudal circulante. Por tanto, resulta junto al río Guadalentín, la principal aportación al río Segura antes de la desembocadura.

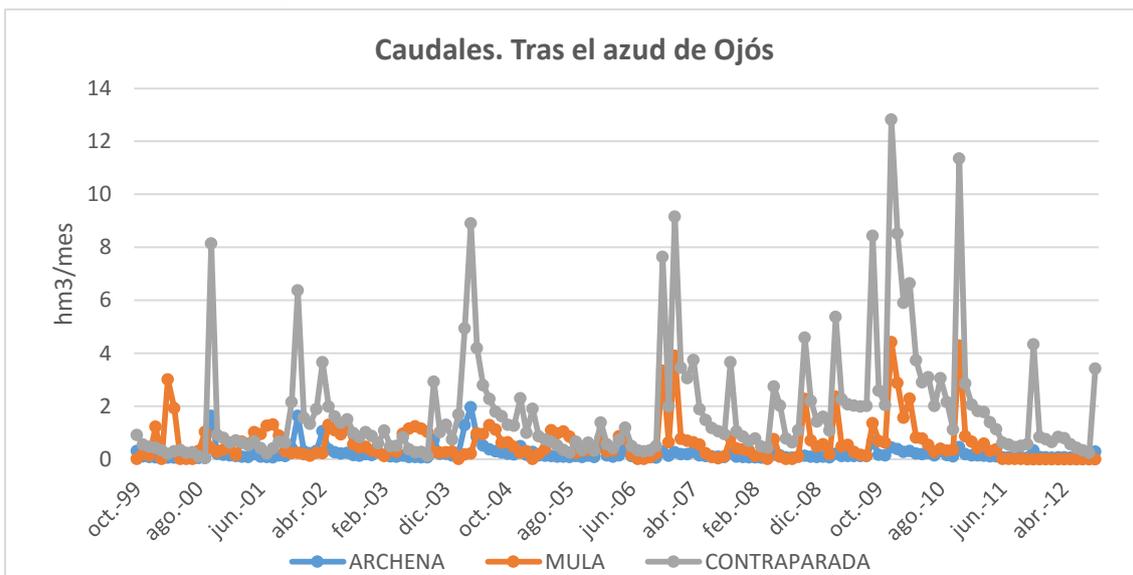


Figura 40. Histórico de caudales en el tramo posterior al azud de Ojós

En el histórico de aportaciones (ver Figura 40), se observa como en la segunda parte del período representado, las aportaciones desde Contraparada se ven aumentadas, y que presentan una distribución temporal similar a las provenientes del río Mula. A destacar como en muchos de los históricos de aportaciones anteriores, la gran variabilidad existente entre meses consecutivos, con diferencias de hasta 10 hm³.

El último afluente de la margen derecha es el río Guadalentín, a su vez, el afluente principal del Río Segura.

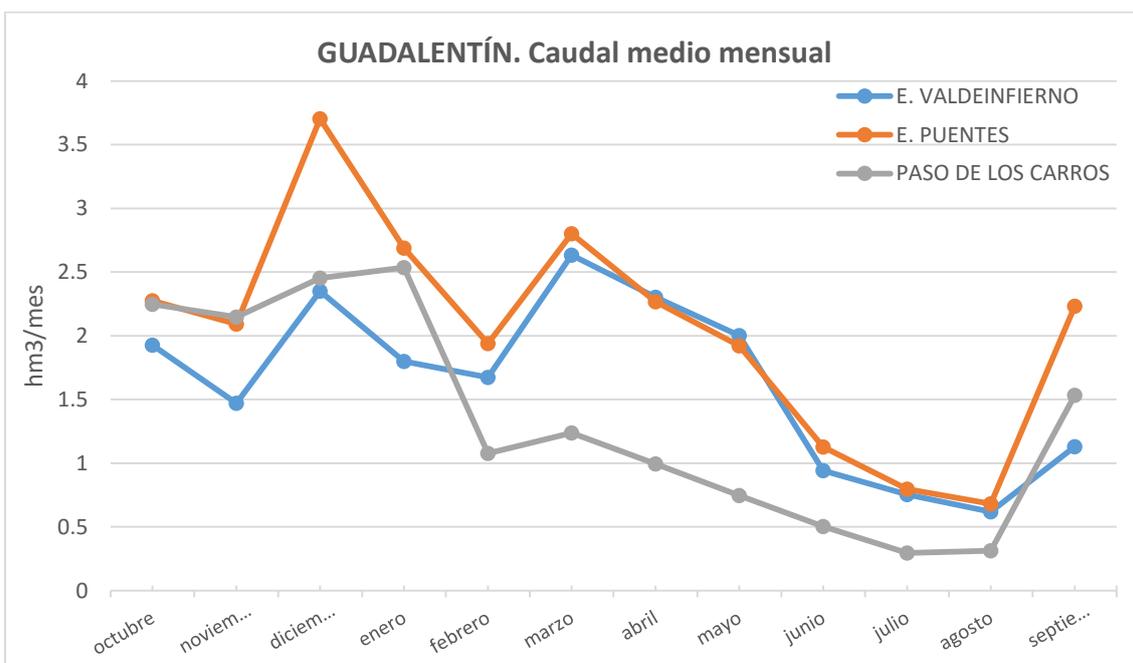


Figura 41. Caudal promedio mensual de las aportaciones en el río Guadalentín.

Cuenta con dos aportaciones importantes en la parte superior del río, la A. Valdeinfierno y A. Puentes; y una en la parte media llamada Paso de los Carros (ver Figura 41). Entre las tres suponen un volumen promedio anual de 60 hm³, de los cuales 20 hm³ son consumidos por las demandas existentes en el propio río.

Cuantitativamente, el río Guadalentín tiene una gran influencia sobre el río Segura, puesto que aporta un 25 % del caudal circulante en el tramo final. Cualitativamente, el río se ve afectado por los vertidos de Fca. Curtidos y EDAR Totana, que se trataran en el capítulo posterior.

En el histórico se observa la distribución temporal típica de los ríos rambla-mediterráneos, con lluvias importantes en el otoño-invierno, y una primavera y verano muy secos (ver Figura 42).

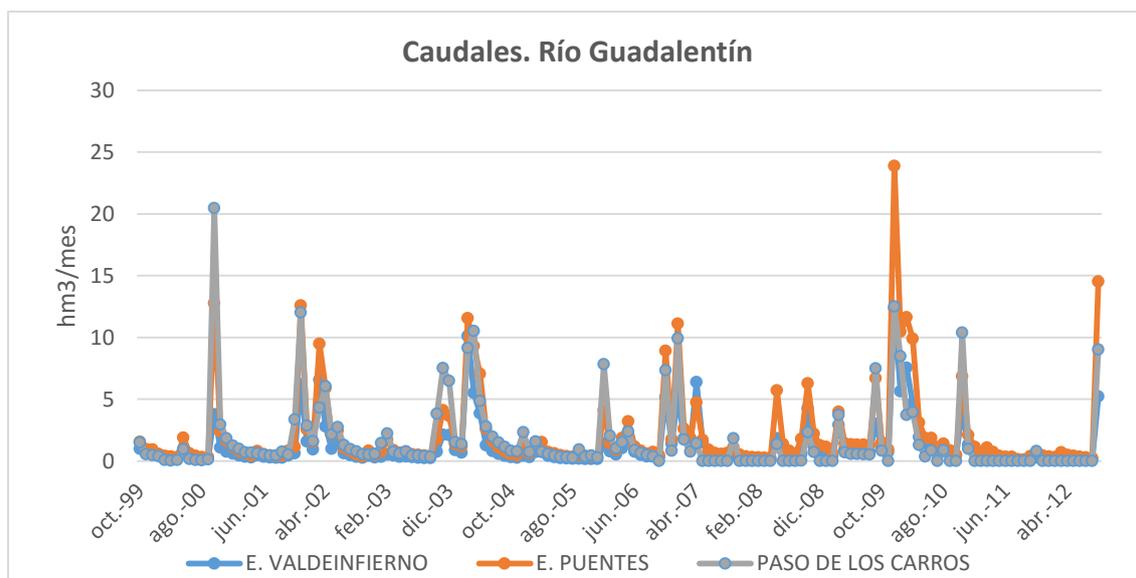


Figura 42. Histórico de caudales en el río Guadalentín.

Por último, tras la confluencia del Guadalentín con el río Segura, se encuentra la zona final del río o Vega Baja: Esta zona recibe como última aportación, la entrada de Beniel que resulta casi insignificante y de poca influencia sobre el río.

4.6. VERTIDOS

El modelo Segura, con el cual se trabaja, tiene 16 vertidos, cuya procedencia son EDAR urbanas o vertidos industriales, con afección sobre las aguas del río.

Una EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales) es una infraestructura hidráulica que recibe las aguas provenientes de fecales, pluviales, industriales y agrícolas, cargadas

de distintos componentes y aplica sobre ellas una serie de tratamientos físicos, químicos y biológicos, de modo que el efluente que vuelve al cauce natural, posee una calidad adecuada para con el medio y de acuerdo a la Directiva 91/271/CEE.

Los vertidos existentes en el modelo son los siguientes:

- Murcia Este
- Piscifactoría
- Alguazas
- Caravaca
- Archena
- Torres de Cotillas
- Almoradi
- Cieza
- Calasparra
- Totana
- Algorfa
- R. Bonanza
- Orihuela
- EDARI Curtidos
- Bullas
- Moratalla

Los vertidos desde EDAR, tienen la particularidad de verse reutilizados para la satisfacción de demandas agrarias o industriales, si las características físico-químicas, con las que salen de la estación depuradora, son adecuadas para el nuevo uso.

Por ello, algunos de los vertidos aquí existentes, se ven afectados por un coeficiente de reutilización, que han sido convenientemente informados (ver Tabla 21).

El resto de vertidos, que aparecen representados en el esquema del modelo, son reutilizados al 100% de forma directa, es decir, no vierten al cauce fluvial puesto que se emplean en algún uso, y por tanto, no repercuten sobre la calidad del agua del modelo (ver Figura 43).

Vertido	Tipología	Nudo de vertido	Descripción adicional
Murcia Este	EDAR Urbana Secundario	Vertido San Antón	Coincide con la aportación "San Antón".
Piscifactoría	Vertido industrial	Nudo n.1	Coincide con la aportación "Piscifactoría de truchas" en el río Mundo.
Alguazas	EDAR Urbana Lagunaje	Vertido Alguazas	El vertido se encuentra en el Nudo n.224 con reutilización pero debe ponerse sobre el río Segura.
Caravaca	EDAR Urbana Terciario	Fict. EDAR Caravaca	Este vertido tiene reutilización directa 70% y el 30% restante vierte al Argos.
Archena	EDAR Urbana Terciario	Vertido Archena	Coincide con el vertido ya incluido.

Vertido	Tipología	Nudo de vertido	Descripción adicional
Torres de Cotillas	EDAR Urbana Terciario	Nudo n.29	El vertido tiene 100% reutilización indirecta y se puede poner en el Nudo n.29 directamente.
Almoradi	EDAR Urbana Secundario	Nudo n.69	Coincide con el vertido ya incluido.
Cieza	EDAR Urbana Terciario	Vertido Cieza	Coincide con el vertido ya incluido.
Algorfa	EDAR Urbana Terciario	ICA Puente Benejúzar	Vertido no incluido en modelos anteriores.
Calasparra	EDAR Urbana Terciario	Vertido Calasparra	Actualmente el vertido tiene 100% reutilización indirecta y se puede poner en el Nudo "Vertido Calasparra".
Totana	EDAR Urbana Terciario	Nudo n.239	Reutiliza el 100% de forma directa pero hasta 2013 se disponía de información que indicaba una reutilización directa del 60% e indirecta de 40%.
Orihuela. R. Bonanza	EDAR Urbana Terciario	Nudo n.257	Coincide con el vertido ya incluido.
Orihuela	EDAR Urbana Secundario	Nudo n.244	Este vertido reutiliza el 5% de forma directa y el restante 95% de forma indirecta.
EDARI Curtidos	Vertido industrial	Vertido Fca.1	Coincide con el vertido "Fca. Curtidos 1".
Bullas	EDAR Urbana Secundario	Fict. EDAR Bullas	Este vertido tiene reutilización directa 90% y el 10% restante con reutilización indirecta que va hacia el río Quípar en el nudo "EDAR Bullas".
Moratalla	EDAR Urbana Terciario	EDARs Moratalla	Coincide con el vertido ya incluido.

Tabla 21. Información sobre vertidos.

En los vertidos aparece descrito el concepto *reutilización indirecta*. Se denomina *reutilización indirecta* a la utilización de caudales procedentes de vertidos, cuando estos se vierten al cauce fluvial, y posteriormente, son tomados desde el propio cauce; a diferencia de la reutilización directa, donde los caudales procedentes de la EDAR son redirigidos desde el primer momento a la demanda adecuada.

Un tipo de vertido que forma parte interna del modelo, es el retorno.

Estos vertidos, asociados a unidades de demanda agraria normalmente, pueden ser influyentes puesto que devuelven un efluente más contaminado que el de entrada, en el que los valores de todos los constituyentes, que están siendo estudiados en el modelo, pueden verse incrementados enormemente. Además, la temporalidad de los mismos (asociados a los períodos de riego del cultivo particular), los convierte en un tipo de vertidos a tener en cuenta.

Pese a que no se cuenta con datos medidos de los mismos, además de cuán difícil resulta la caracterización de su calidad, los retornos suponen una variable más, puesto que pueden afectar considerablemente la calidad de la cuenca receptora. Los retornos existentes en el modelo son los siguientes:

- Retorno UDA 16 (Río Moratalla)
- Retorno UDA 29 (Río Argos)
- Retorno UDA 31 (Río Quípar)
- Retorno UDAs 26, 21 y 17 (Principal tras Ojós)
- Retorno UDAs 3, 37 y 18 (Principal tras Ojós)
- Retorno Contraparada (Principal tras Mula)
- Retorno UDAs 63 y 65 (Río Guadalentín)
- Retorno UDA 48 (Principal tras Beniel)

Un tercer elemento, que se ha catalogado como vertido en este proyecto, es el asociado a surgencias hidrotermales y minerales. La cuenca del río Segura destaca por la presencia de explotaciones mineras, yacimientos de diversos tipos, así como balnearios hidrotermales. Su principal relevancia sobre la cuenca, es un aumento inusual en la conductividad tras el paso por estas zonas, de gran dificultad en la cuantificación.

En cualquier caso, son zonas muy concretas, que han podido identificarse con los datos de las estaciones de calidad y cuya presencia es constatada por otros autores (Jordán Montes y Conesa García, 1992):

- ICA Azaraque (aguas minerotermales)
- ICA Af. Camarillas (aguas minerotermales)
- ICA Minas (explotaciones de azufre)
- Quípar (explotaciones mineras)
- ICA Lorqui (aguas minerotermales)

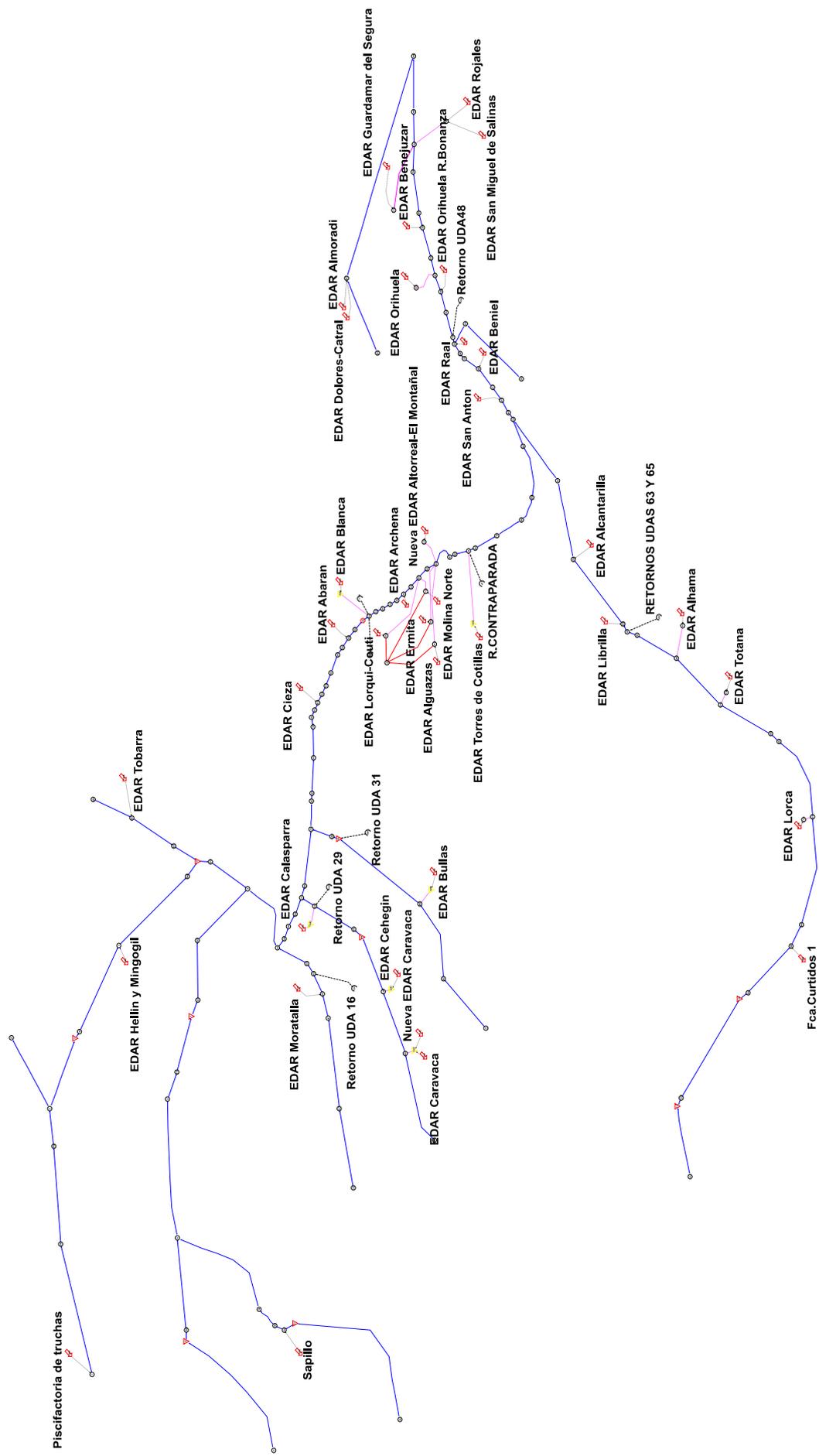


Figura 43. Esquema de vertidos que intervienen en el modelo.

4.6.1. Caracterización de vertidos

Del mismo modo, que se ha realizado con las aportaciones, dentro del modelo, es de suma importancia, el conocimiento de los vertidos existentes y su influencia sobre las aguas de la cuenca. Los vertidos, están principalmente asociados a depuradoras (EDARs) y son los principales agentes introductores de los contaminantes/parámetros de estudio. Las EDARs que forman parte de la cuenca del Segura, son en la mayoría de los casos de reciente creación, por lo que es observable, comportamientos como reducciones importantes de DBO5 o amonio/nitratos a partir de la instalación de tratamientos secundarios o terciarios, que han tenido lugar entre los años 2002 y 2006.

En reiteradas ocasiones, se han encontrado falta de datos o simplemente repeticiones de los datos de calidad para muchos de los vertidos existentes, en especial a partir del año 2005 (véase la Figura 46, Figura 47 y Figura 48), por lo que es de esperar que algunos de los datos proporcionados sean mucho menores en la realidad dado los avances en las técnicas de depuración y una mayor concienciación frente a los problemas medioambientales.

En primer lugar, cuantitativamente hablando, los vertidos procedentes de depuradora tienen poca importancia, siendo tan solo destacables, los caudales provenientes de la EDAR de San Antón, en la época otoñal, los procedentes del vertido de piscifactoría de truchas, y en ciertos momentos del año, los provenientes de la EDAR de Orihuela Raiguero de Bonanza. En las siguientes gráficas se muestran los caudales para cada uno de los vertidos.

En función de sus hm³/mes, los vertidos se han dividido en las siguientes figuras (ver Figura 44 y Figura 45). Como puede comprobarse, en comparación con las aportaciones los caudales de los vertidos resultan poco relevantes (ver Figura 33, Figura 35, Figura 37 y Figura 41).

A escala de vertido al cauce, su importancia relativa puede ser mayor, ya que en ocasiones, se tratan de las aportaciones más constantes y estables de muchas de los afluentes estudiados.

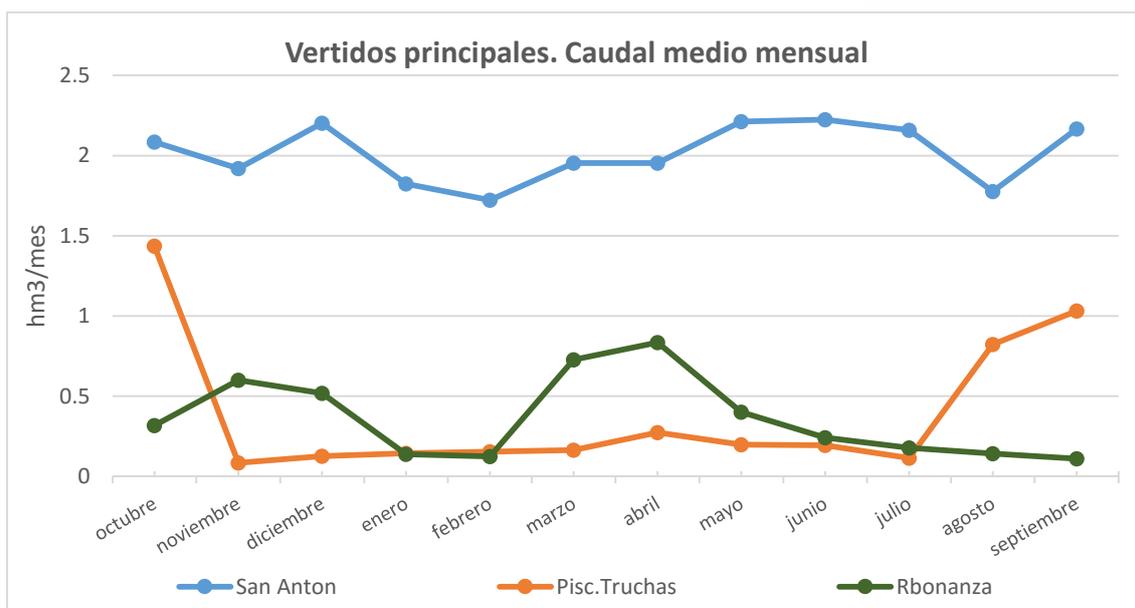


Figura 44. Caudal promedio mensual de los vertidos principales de la cuenca del Segura.

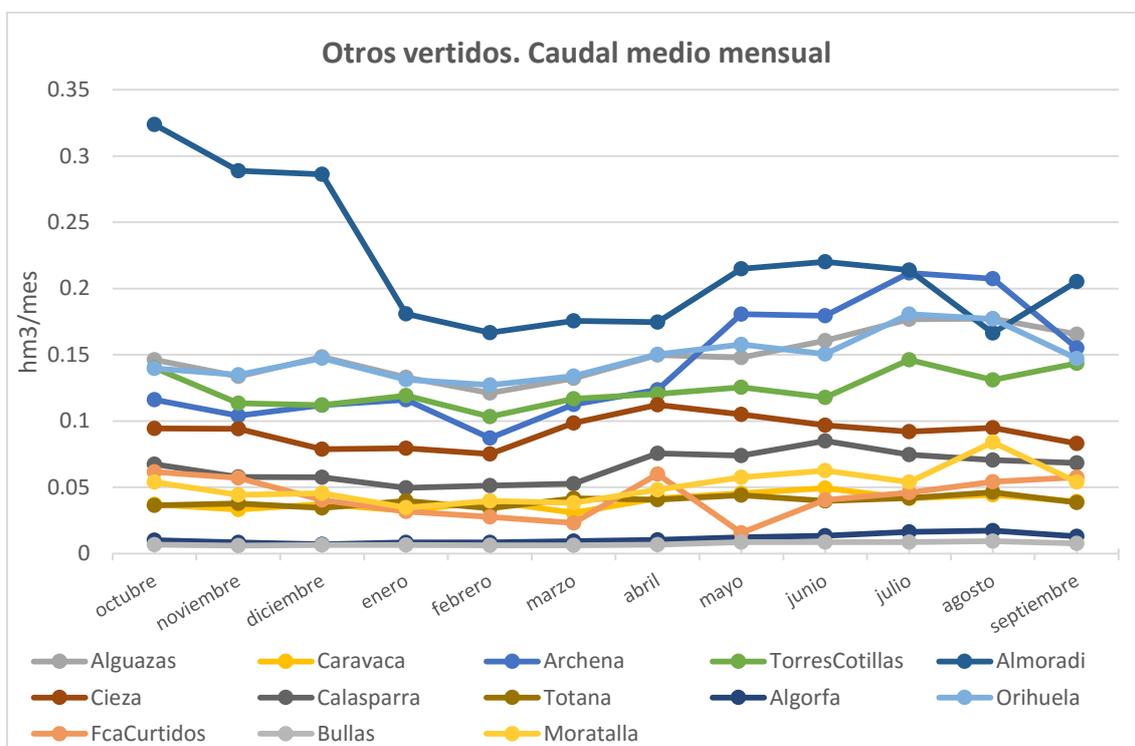


Figura 45. Caudal promedio del resto de vertidos de la cuenca del Segura.

Aplicando un análisis espacial, el primer vertido de la cuenca se produce en la piscifactoría de truchas en la parte alta del Río Mundo. Piscifactoría de Truchas, que aporta aproximadamente el 5% del caudal del área, y en general tiene poca influencia sobre la calidad de las aguas, ya que no tiene aportaciones importantes de ninguno de los parámetros estudiados.

Las zonas del Alto Segura y Arroyo Tobarra, no tienen vertidos con influencia sobre las aguas del cauce, por lo que no se consideran en este capítulo. En orden, el siguiente vertido, es la EDAR de Moratalla, que significa de nuevo, un 5% aproximadamente del caudal circulante por el río. Cualitativamente, aparecen valores altos de nitratos, amonio y DBO5 en la primera mitad de la serie temporal, asociados a que la instalación de la depuradora tuvo lugar en 2005, observando esa mejora a partir de este momento (ver Figura 46).

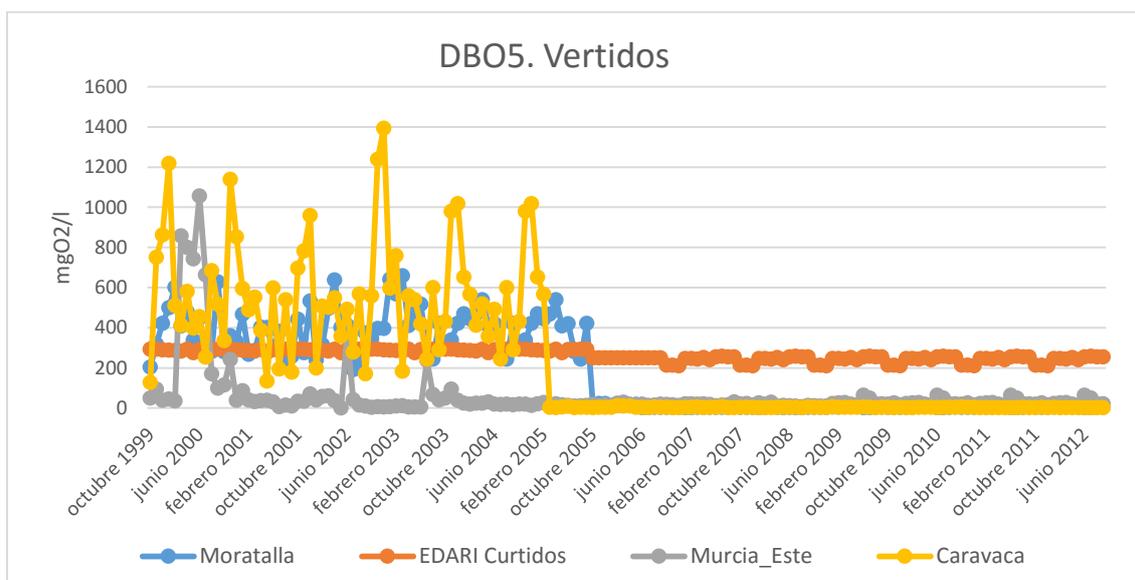


Figura 46. Valores de DBO5 para vertidos destacables de la cuenca.

Sobre el río Argos, aparecen las afecciones de los vertidos de las EDARs de Caravaca y Calasparra. Ambos son muy escasos en caudal (1% y 3% del caudal total en promedio). Cualitativamente tampoco tienen relevancia, puesto que no resultan excesivos. A destacar de nuevo, que la EDAR de Caravaca fue instalada en 2005, y hasta ese momento, se observan valores de DBO muy altos (ver Figura 46). Mismo comportamiento se observa para Murcia Este o Moratalla, con una reducción importante de contaminante tras la instalación de tratamientos.

La zona del río Quípar cuenta con una aportación difusa de conductividad por la existencia de minas abandonadas en su trayectoria. Del mismo modo, solo cuenta con una aportación, procedente de la EDAR de Bullas, que satisface las demandas en la cabecera del río y no tiene influencia sobre la calidad del mismo.

Tras el paso de estos afluentes, se alcanza la zona del tramo principal, dividida en este proyecto por la situación del Azud de Ojós. Previo al azud, se encuentra el vertido de EDAR Cieza, cualitativamente poco influyente en la solución, donde se observa un cambio en los parámetros estudiados a partir de la segunda mitad de 2005.

Posteriormente a Ojós, se sitúan los vertidos de Archena y Alguazas. EDAR Archena vierte directamente sobre el río, mientras que el vertido EDAR Alguazas se emplea casi exclusivamente en la satisfacción de la UDA 22, por lo que su influencia en el río es poco importante. De EDAR Archena, destacar los cambios que se producen en los niveles de amonio y nitratos, a lo largo de la serie temporal, si bien, su influencia sobre el caudal circulante por el tramo principal es muy pequeña, dado que significa un porcentaje muy pequeño del caudal principal (ver Figura 47).

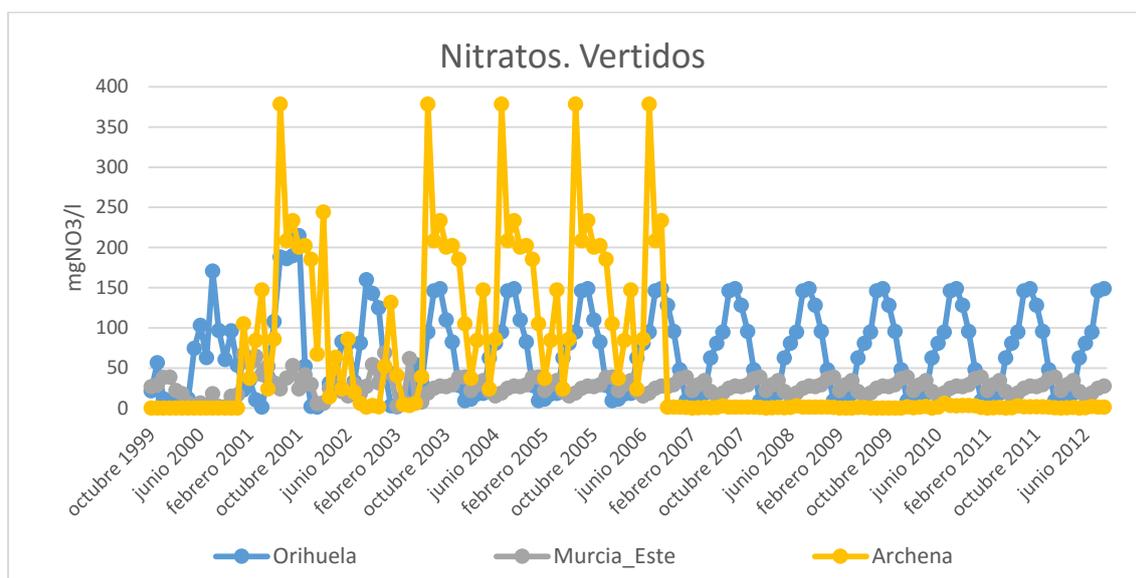


Figura 47. Valores de nitratos para vertidos destacables de la cuenca.

Los dos últimos afluentes del río Segura son el río Mula y el Guadalentín. Mientras que sobre el primero, no se han considerado vertidos; el segundo es el principal afluente del río, y sobre el cual se sitúan los vertidos de EDARI Curtidos y EDAR Totana.

Si bien, EDAR Totana es de poca importancia cuantitativa y cualitativa (más allá de algunos puntos en las concentraciones de nitratos), EDARI Curtidos resulta el principal vertido del río, y responsable de una disminución de la calidad de las aguas del río Guadalentín muy importante.

Si bien en cantidad no es muy destacable, cualitativamente introduce en el río cantidades ingentes de diversos constituyentes (en especial, amonio), provocando un grave deterioro de la calidad del río a partir de este punto (ver Figura 46 y Figura 48).

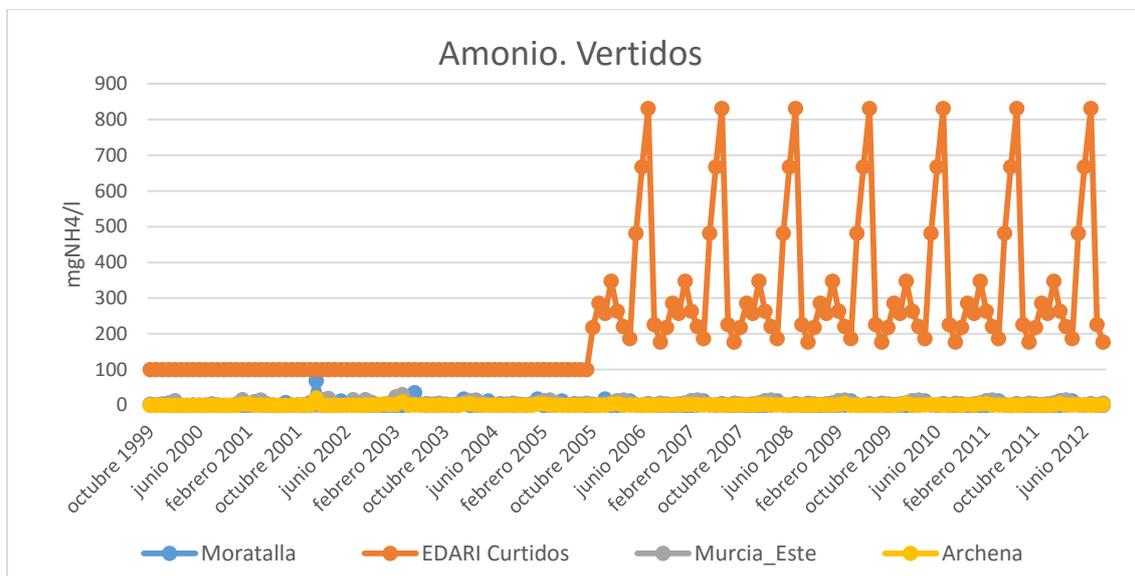


Figura 48. Valores de amonio para vertidos destacables de la cuenca.

El tramo final del río, atravesando la Vega Media y Baja, solo introduce los vertidos de San Antón, Orihuela y Orihuela R. Bonanza. El vertido de San Antón, es cualitativamente el más importante de la cuenca, ya que depura las aguas de la ciudad de Murcia, y contribuye con un 10% del caudal circulante por el tramo. Es por ello, que resulta ciertamente importante y caracteriza el agua del río tras su vertido.

De los dos últimos, asociados a la zona de Orihuela y alrededores, la EDAR Orihuela, repercute con una cantidad de nitratos importante que tiene su influencia sobre el caudal circulante. EDAR Orihuela R. Bonanza tiene poca influencia tanto por su parte cuantitativa como cualitativa.

Como se ha comentado previamente, debe tenerse en consideración la fiabilidad de los datos, ya que en muchas ocasiones se tratan de repeticiones de un año que no tiene por qué estar representando de forma acertada la realidad.

4.7. DEMANDAS

Debido a sus condiciones climatológicas y la existencia de recurso, la cuenca del Segura ha sido tradicionalmente una zona agrícola, en la que el mayor uso del agua iba destinado este cometido. En la antigüedad, el área también albergaba diversas explotaciones mineras, que actualmente están agotadas o en desuso. Por ello actualmente, las mayores demandas son las agrarias, especialmente localizadas en las zonas de llanura más cercanas a la costa, favorecidas por la orografía del terreno y un clima suave. De este modo, la Vega Media y Baja del río, albergan los principales riegos de la cuenca.

Analizando las demandas de la cuenca, de forma ordenada y siguiendo una distribución espacial, se tratarán las distintas demandas de la cuenca divididas zonalmente (ver Tabla 22).

Demanda	Abastecida desde:	Área asociada:	hm ³ /año
UDA10-R.CANAL DE HELLIN	Mundo	Mundo	30.307
UDA12-R.SUP.TOBARRA-ALBATANA-	Arroyo Tobarra	Mundo	17.268
UDA7-R.ACU.HELLIN-TOBARRA	Acuífero El Molar	Mundo	30.309
UDA8-R.A.A.TALAVE	Mundo	Mundo	6.332
UDA9-R.VEGA DEL MUNDO	Mundo	Mundo	4.833
UDU7-HELLIN	Mundo	Mundo	2.8
UDU9-CABECERA DEL MUNDO	Mundo	Mundo	2.8
UDI2-CABECERA	Arroyo Tobarra	Arroyo Tobarra	2.807
UDA13-R.A.A.FUENSANTA	Alto Segura	Alto Segura	16.001
UDA14-R.A.A.TAIBILLA	Taibilla	Alto Segura	3.497
UDA15-R.A.A.CENAJO	Alto Segura	Alto Segura	16.567
UDU1-MCT.TAIBILLA	Taibilla	Alto Segura	57.8
UDU8-CABECERA DEL SEGURA	Alto Segura	Alto Segura	2.2
UDA16-R.MORATALLA	Moratalla Acuífero Somogil	Moratalla	6.545
UDA27-R.CAB.ARGOS,POZOS	Argos, Acuífero Caravaca	Argos	5.38
UDA28-R.CAB.ARGOS,MIXTO	ArgosEDARs Caravaca y Cehegín, Acuífero Caravaca	Argos	28.888
UDA29-R.EMB.ARGOS	Argos, EDAR Calasparra	Argos	4.58
UDA30-R.CAB.QUIPAR,POZOS	Quípar, Argos Acuíferos Caravaca y Alto Quípar	Quípar	3.218
UDA31-R.CAB.QUIPAR,MIXTO	Quípar Acuíferos Caravaca, Alto Quípar y Bajo Quípar EDAR Bullas	Quípar	24.803
QUIPAR SOBRE BULLAS	Acuífero Bullas	Mula	3.44
UDA41-N.R.YECHAR	Mula	Mula	5.79

Demanda	Abastecida desde:	Área asociada:	hm ³ /año
	Acuífero Trasvase		
UDA42-R.T.MULA	Mula, Acuífero Bullas y otros	Mula	12.995
UDA43-R.MULA,MANANTIAL BAÑOS	Mula, Acuífero Trasvase	Mula	5.354
UDA44-R.PLIEGO	Mula, Acuífero Sierra Espuña, Otros	Mula	10.653
UDA73-N.R.MULA-PLIEGO	Otros acuíferos	Mula	1.083
UDA36-R.ACU.VEGA MEDIA	Guadalentín	Guadalentín	15.382
UDA60-R.A.A.PUENTES	Guadalentín, Acuífero Valdeinfierno	Guadalentín	7.528
UDA61-R.LORCA	Guadalentín, EDARs Lorca y Totana	Guadalentín	54.102
UDA63-R.ACU.ALTO GUADALENTIN	Guadalentín, EDAR Lorca Acuífero Valdeinfierno	Guadalentín	55.364
UDA64-R.MIXTO BAJO GUADALENTI	Guadalentín, Acuífero Sierra Espuña, EDARs Totana y Alhama	Guadalentín	30.872
UDA65-R.SUB.BAJO GUADALENTIN	Guadalentín, Acuífero Sierra Espuña, EDARs Totana, Alhama y Lorca	Guadalentín	73.431
UDA66-R.LORCA Y V.GUADALENTIN	EDARs Alhama, Totana y Lorca	Guadalentín	50.046
UDA67-R.MAZARRON	Segura, Acuífero El Molar	Guadalentín	26.44
UDU10-CABECERA GUADALENTIN	Guadalentín	Guadalentín	2.8
UDA ATS	Ojós	Segura	273.482
UDA17-R.T.VEGA ALTA,CALASPARR	Segura	Segura	5.194
UDA18-R.T.VEGA ALTA,ALBARAN-B	Ojós	Segura	15.213
UDA20-R.T.VEGA ALTA,OJOS CONT	Segura	Segura	30.839
UDA21-R.T.VEGA ALTA, CIEZA	Segura	Segura	7.222
UDA22-R.VEGA ALTA, POS.33 AMP.	Segura, Ojós, Sinclinal de Calasparra, Acuíferos El Molar y Vega Alta EDARs Alguazas, Ermita, Molina Norte y Lorqui Ceutí	Segura	44.165
UDA25-R.ACU.VEGA ALTA	Ojós, Acuífero el Molar Sinclinal de Calasparra	Segura	14.989
UDA26-N.R.Z.I.VEGA ALTA-MEDIA	Ojós, Sinclinal de Calasparra	Segura	19.674
UDA2-R.JUMILLA	Ojós Arroyo Tobarra, Acuífero el Molar y Ascoy Sopalmo Sinclinal de Calasparra	Segura Arroyo Tobarra	14.654
UDA32-R.T.VEGA MEDIA	Segura	Segura	76.513

Demanda	Abastecida desde:	Área asociada:	hm ³ /año
UDA34-R.V.MEDIA, POST.33, AMPL.	Segura	Segura	9.486
UDA37-N.R.ZONA II V. ALTA-MED	Ojós, EDAR Blanca	Segura	24.498
UDA3-R.S.ASCOY-SOPALMO	Ojós, Acuífero Ascoy Sopalmo	Segura	30.749
UDA43-R.MULA, MANANTIAL BAÑOS	Acuífero Vega Alta, EDAR Torres de Cotillas	Segura	5.354
UDA45-R.A.S.FORTUNA-ALBANILL	EDARs Molina Norte y Altorreal, Acuífero Ascoy Sopalmo	Segura	22.053
UDA46-R.T.VEGA BAJA	Segura, EDARs Orihuela y Guardamar	Segura	98.449
UDA48-R.VEGA BAJA, POS.33 AMP.	Segura Azarbe Vega Baja	Segura	62.497
UDA4-R.ASCOY-SOPALMO SSC	Acuífero Ascoy Sopalmo	Segura	18.675
UDA51-R.ACU.VEGA BAJA	Segura	Segura	1.276
UDA52-R.LEVANTE M.D.	Segura, EDARs Rojales y San Miguel de Salinas	Segura	18.179
UDA53-R.LEVANTEM.I. PONIENTE	Segura, Ojós, Hondo	Segura	54.487
UDA54-R.LEVANTE M.I./JUCAR	Segura, Ojós, Hondo	Segura	67.565
UDA56-N.R.LA PEDRERA	Segura, Acuífero Vega Baja II	Segura	49.794
UDA72-N.R. LEVANTE M.I./SEGUR	Ojós, Hondo, EDARs Almoradí y Dolores Catral	Segura	37.683
UDE1-SOST. HUMEDALES	Ojós	Segura	30
UDI ATS	Ojós	Segura	18.202
UDI3-CENTRO	Segura	Segura	2.65
UDI4-MURCIA	Segura	Segura	2.344
UDI5-ALICANTE-SEGURA	Azarbe Vega Baja II	Segura	4.888
UDU ATS	Ojós	Segura	186.3
UDU13-MURCIA-RIO SEGURA	Segura	Segura	10

Tabla 22. Relación de demandas y puntos desde los que se abastecen.

La zona del río Mundo no destaca por ser especialmente consumidora de agua, siendo las principales demandas existentes de tipo agrario, destacando la UDA 10 Canal de Hellín y la UDA 7 R. Acu. Hellín - Tobarra, de 30 hm³ anuales.

La zona del Alto Segura resulta en demandas diversas, puesto que de ella se abastece la demanda urbana del Taibilla (Mancomunidad de Canales del Taibilla) que abastece la fracción urbana de una gran parte de la cuenca hidrográfica del Segura. La demanda agraria, no es especialmente importante, resultando sus principales demandas la UDU 1 Taibilla (57,8 hm³/año) y las demandas agrarias de la UDA 13 Fuensanta (16 hm³/año), y la UDA 15 Cenajo (16,5 hm³/año).

Los afluentes de la margen derecha del río (Moratalla, Argos y Quípar) siguen una distribución de demandas muy similar, ya que son ríos poco caudalosos cuyas principales demandas están situadas en la parte inicial de los mismos: Argos y la UDA 28 Cabecera Argos, 30 hm³ anuales y Quípar y la UDA 31 Cabecera Quípar, con demandas agrarias de 25 hm³ anuales.

El tramo del río principal tras la confluencia del río Quípar destaca por diversas aportaciones y vertidos, y pocas demandas de importancia. Destaca la UDA 22 R. Vega Alta, con promedios anuales de 44 hm³.

Llegando al curso medio, el azud de Ojós es el punto donde se han derivado las aguas del Segura entre los distintos usos, y resulta un punto clave en las demandas (ver Figura 49).



Figura 49. Azud de Ojós para derivación de las aguas.

Este azud, entre otros objetivos, tiene como cometido principal la distribución de las aguas trasvasadas (provenientes del Tajo), y las reparte entre los usos pertinentes, utilizando las infraestructuras denominadas de postrasvase con canales en la margen izquierda y derecha del curso fluvial.

Las principales demandas que afectan al azud (ver Figura 50) son:

- UDA ATS: 273.5 hm³/año
- UDU ATS: 186.3 hm³/año
- UDA 54: 68 hm³/año
- UDA 53: 55 hm³/año
- UDA 72: 38 hm³/año
- UDE 1 Sostenimiento humedales: 30 hm³/año
- UDA 37: 24.5 hm³/año
- UDI ATS: 18.2hm³/año
- UDA 18: 15,2 hm³/año

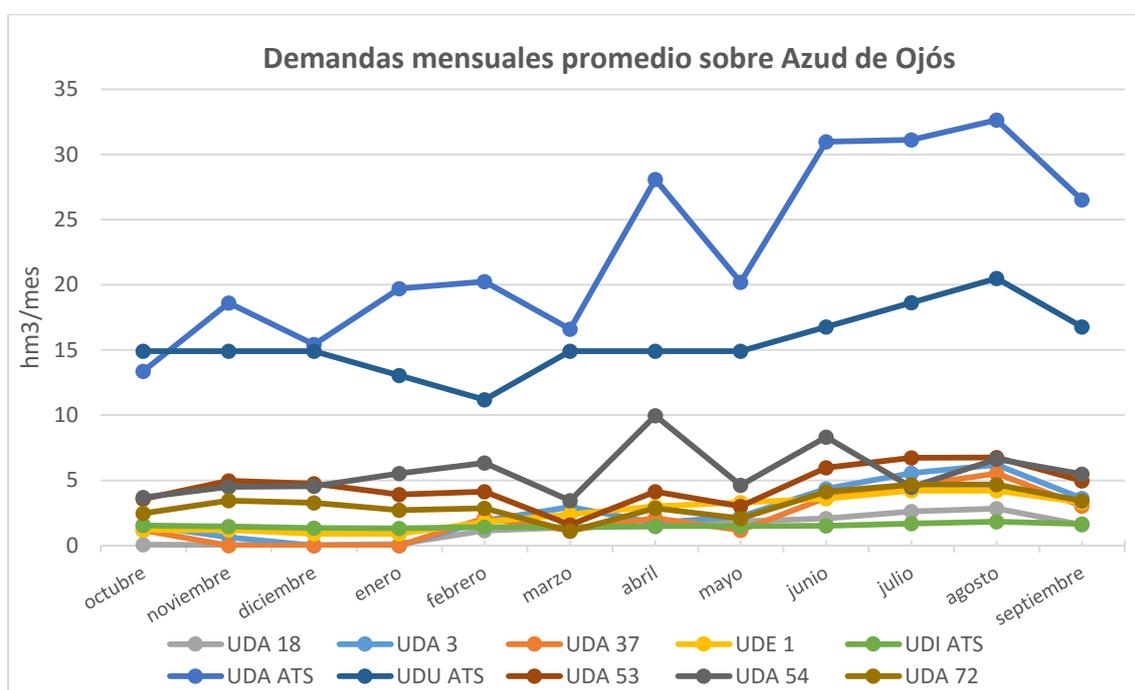


Figura 50. Demandas mensuales promedio sobre Azud de Ojós.

Tras el azud, las demandas se ven reducidas ya que los principales usos del agua restante se sitúan en la parte más baja del río. La demanda de la UDA 20. R. T. Vega Alta es la de mayor importancia, con una demanda pico de 30 hm³/año.

El río Mula, es en orden, el cuarto afluente de cierta importancia, situado en la margen derecha del Segura. Abastece demandas de poca importancia de tipo agrario como la UDA 42 R. T. Mula con promedios anuales de 13 hm³ y la UDA 44 R. Pliego con promedios de 11hm³.

Posterior al Mula, se alcanza la zona de la Vega Media, una de las zonas regables tradicionales del río. Estas zonas destacan por sus usos agrarios, y en ella se localiza la demanda de la UDA 32 R. Trad. Vega Media que suponen 76 hm³ de volumen anual medio.

En el río Guadalentín, último afluente de la cuenca, se encuentran algunas de las demandas más importantes de la cuenca. Pese a que su actividad industrial es importante, la demanda agraria en términos cuantitativos resulta mucho más relevante. Muchas de las demandas existentes son muy deficitarias, y otras se ven abastecidas de forma mixta mediante recursos subterráneos y superficiales (ver Figura 51).

Se observa que el

- UDA 63 R. Acu. Alto Guadalentín: 55 hm³/año.
- UDA 61 R. Lorca: 46 hm³/año.
- UDA 65 R. Sub. Bajo Guadalentín: 74 hm³/año.
- UDA 66 R. Lorca y V. Guadalentín: 50 hm³/año.
- UDA 64 R. Mixto Bajo Guadalentín: 30 hm³/año.

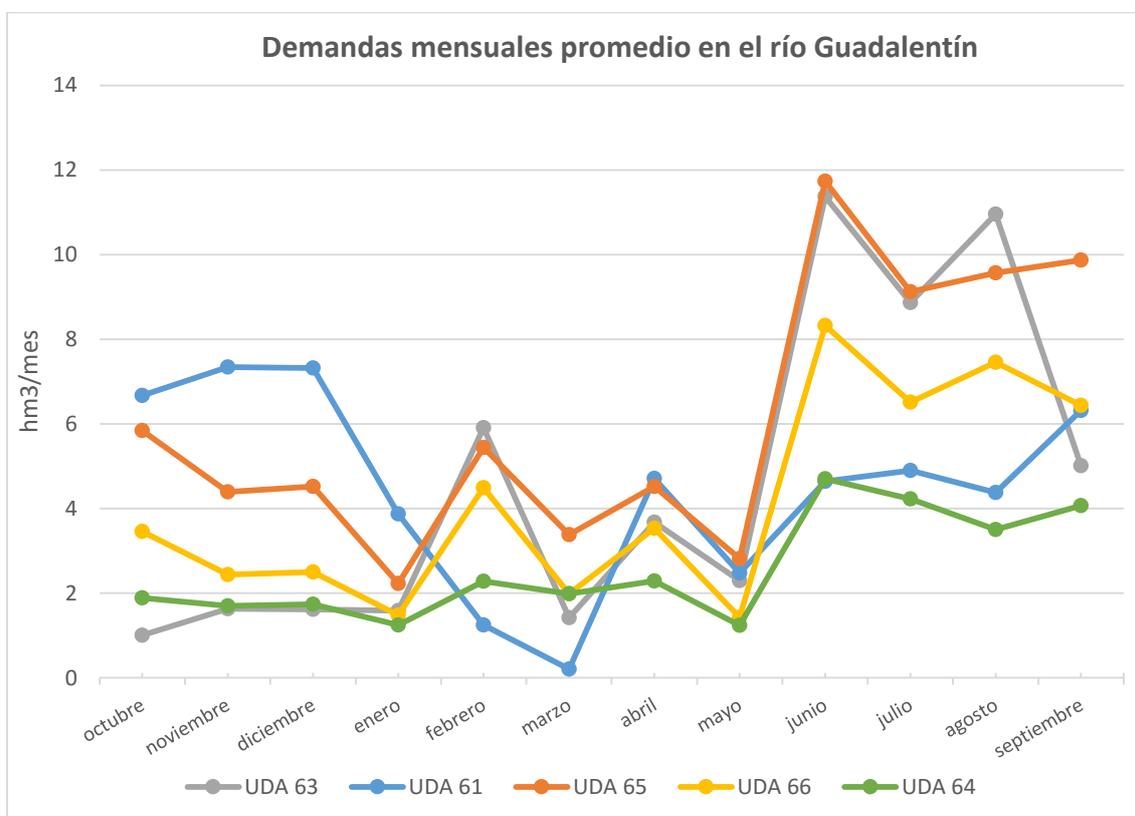


Figura 51. Demandas mensuales promedio en el río Guadalentín.

Por último, el tramo final del río alberga la zona de la Vega Baja, que es una de las zonas agrícolas más importantes del país, y como tal, tiene demandas agrarias mayoritarias y especialmente importantes (ver Figura 52).

- UDA 48 R. Vega Baja: 62,5 hm³/año.
- UDA 46 R. T. Vega Baja: 98,5 hm³/año.
- UDI 4 Murcia: 2,34 hm³/año.
- UDA 52 R. Levante 18 hm³/año.

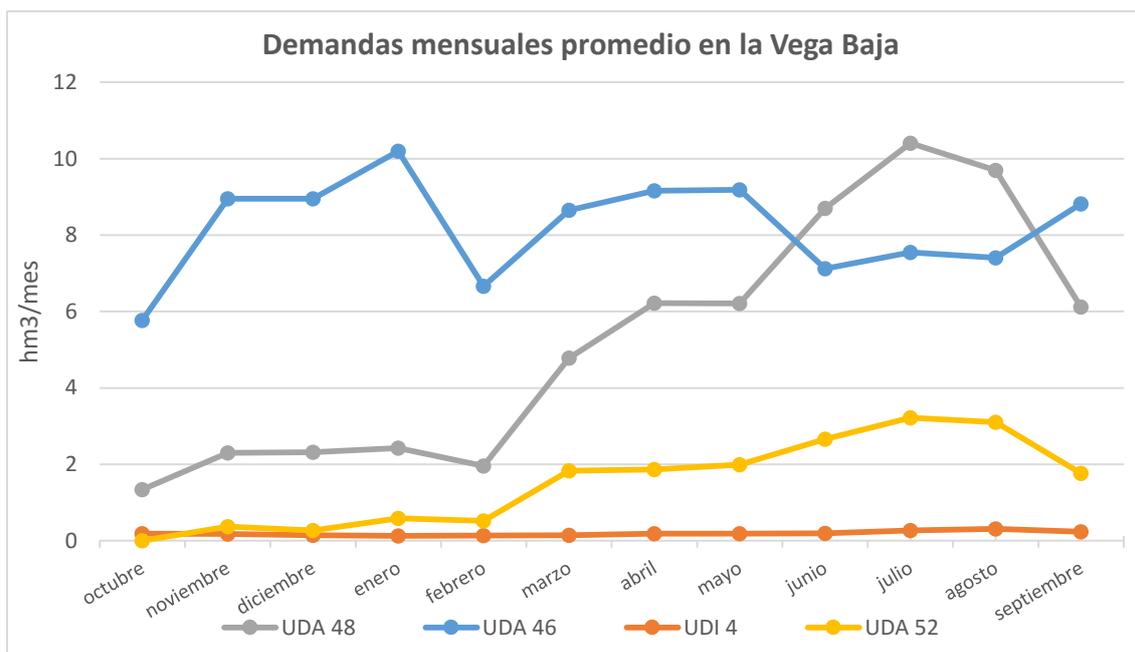


Figura 52. Demandas mensuales promedio en la Vega Baja.

5. ANÁLISIS Y COMPLETADO DE LOS DATOS

Previo a la recalibración y actualización del modelo, se ha procedido al análisis de los datos de caudales y calidad existentes en el modelo proporcionado.

Para actualizar los modelos se ha procedido a trabajar con los datos de entrada cuantitativos mediante la creación de un archivo de aportaciones, que incluye los datos de caudales para todas las aportaciones naturales y vertidos del modelo.

Sobre los datos de aportaciones restituidos a régimen natural, se ha realizado una corrección por los vertidos que les afectan (ver Tabla 23), incluyendo el porcentaje de reutilización correspondiente que se ha mostrado en la Tabla 21, siendo:

	Aportación	Influida		Aportación	Influida
MUNDO	Talave	Piscifactoría de truchas	GUADALENTÍN	Valdeinfierno	
	Tr.Tajo			Puentes	Fca. Curtidos
	Camarillas			Paso de los Carros	EDAR Totana
ALTO SEGURA	Fuensanta		SEGURA	Almadenes	
	Presa del Canal			Cieza	
	Cenajo			Menjú	EDAR Cieza
MORATALLA	La Esperanza	EDAR Moratalla		Abarán	
ARGOS	Calasparra	EDAR Caravaca		Archena	
		EDAR Calasparra			EDAR Archena
QUÍPAR	Alfonso XIII	EDAR Bullas		Contraparada	EDAR Alguazas
MULA	Cierva				EDAR Torres de Cotillas
	Baños de Mula			Beniel	EDAR Murcia Este (antes San Antón)

Tabla 23. Afecciones de los vertidos sobre las aportaciones.

Se ha procedido del mismo modo, respecto a los datos de entrada cualitativos. En este aspecto, el modelo puede servir para detectar problemas respecto a datos de entrada y vertidos (por ejemplo, si se observan valores inusuales en el OD de una cuenca, no asociados a picos de amonio o DBO5).

Los datos de demanda del modelo, no se han modificado, siendo estos, un punto con un amplio margen de mejora en la calibración.

A destacar la retirada de todas las cargas difusas del modelo, ya que se hacía uso de ellas de manera generalizada para paliar los problemas en calibración. Las cargas difusas, pueden tener su explicación en una zona con relaciones río-acuífero de río efluente, donde el acuífero descarga sobre el río; o zonas de precipitaciones intensas y agricultura intensiva, con importantes escorrentías y arrastres de materia orgánica, abonos (amonio), etc.

Dado el déficit hídrico característico de la zona del Segura y el régimen efímero de precipitaciones, su uso puede resultar explicable en casos puntuales (por ejemplo, zonas de aguas minero-termales) o zonas de cabecera de la cuenca. Estos puntos se comentan pormenorizadamente en el Estudio por Zonas realizado dentro del capítulo Recalibración del Modelo.

Sobre los vertidos, se ha aplicado el porcentaje de reutilización indicado en la Tabla 21, de forma que los vertidos se han visto reducidos, en la medida establecida.

Por último, de cara a la parte final del río (a partir de la aportación de Contraparada y tras la confluencia con el río Guadalentín), se han utilizado constantes de degradación de primer orden y sedimentación para caracterizar los datos observados, para una mejora sustancial del ajuste. Una explicación sobre las mismas es que se trata de zonas de agricultura intensiva, con un riego importante a través de aguas subterráneas que no está siendo captado adecuadamente en el modelo.

5.1. DATOS DE CALIDAD

Respecto al modelo Segura, los datos de calidad de las aportaciones habían sido suministrados hasta el año 2005. Ante la ausencia de datos posteriores, para completar la calibración se ha procedido a replicar los datos existentes para el período 2005-2011.

Esta metodología es factible, dado que las condiciones cualitativas de las aportaciones naturales resultan muy poco influyentes respecto a los vertidos procedentes de EDARs o de los retornos, y los datos de calidad de los constituyentes no resultan relevantes.

Respecto al modelo Mula, los datos cualitativos suministrados son en muchos casos trimestrales o semestrales, por lo que se han interpretado y rellenado los huecos de datos mensuales interpolando o replicando los datos ya existentes.

En cuanto a la corrección por los coeficientes de reutilización de los vertidos, la actuación correcta sería determinar a partir de qué fecha comienza a realizarse la reutilización. Sin embargo, este dato tiene una enorme variabilidad, ya que la reutilización puede ser cambiante en función del mes y año considerado.

Profundizando en los datos particulares, es recurrente encontrar en la cuenca observaciones de 1.25 (PO_4), 0.25 (NH_4) y 5 (DBO5) en algunas estaciones de calidad para el período comprendido entre 2010 y 2011. En el caso de ciertos perfiles, estos datos son muy llamativos, puesto que resultan incoherentes con el resto de observaciones, y repercuten en una modificación significativa del valor promedio.

Se entiende que estos valores pueden ser ciertos límites de un indicador de calidad, donde la observación de DBO ha sido menor que 5, o la de amonio menor que 0.25. Al obtener valores observados por debajo del mismo, se han fijado estos umbrales de forma que indiquen que se está cumpliendo con la limitación impuesta. Se ha procedido a realizar una corrección mediante la supresión de estos valores, y su modificación por valores promedio típicos observados, obteniendo de esta forma, perfiles mucho más ajustados.

Asimismo, para la modelización del ciclo del nitrógeno es necesario la introducción de datos de nitrógeno orgánico que no han sido medidos, de forma que han sido introducidos para que su afección sobre la solución sea mínima. Pueden servir para explicar variaciones de amonio bruscas tras un vertido o retorno industrial.

Por último, se han observado ciertas incoherencias con valores de nitratos para las entradas de Traslase Tajo y Mula, que se han asumido como problemas de unidades (dado que la conversión entre mg de nitrógeno y nitrato supone multiplicar por 4.42), y su modificación permitía obtener resultados más razonables.

5.2. DATOS DE CAUDALES

Para la obtención de un modelo de calidad apropiado, se ha analizado la relación entre los caudales aforados y simulados por el modelo. Los datos de aforos pueden representar cierta variación respecto a los datos simulados, puesto que se compara una observación puntual en un tiempo concreto, con el promedio mensual de caudales circulantes por el río, que en cualquier caso no debería ser muy exagerada.

La red de aforos y la red ICA de la cuenca son redes distintas, por lo que la distribución espacial puede ser diferente.

Dado que el propósito del trabajo es la calibración de los parámetros de calidad del modelo, los datos de caudales serán analizados para comprobar su adecuación, pero no se realizará sobre ellos ninguna modificación.

Los perfiles observado-simulado obtenidos, particularizados para cada estación, están incluidos en el Anejo II, y reflejan un ajuste alejado del aforado real, con problemas varios en la mayor parte de los pares observado-simulado. Un ejemplo claro, son los caudales que circulan por el río Mundo, que suponen una de las fuentes de caudal más importantes en el área.

Como se observa en la Figura 53, el aforo de Camarillas refleja un problema importante en la estimación de los mismos, con una gráfica demasiado plana en la parte inicial, y una mala caracterización de los picos y valles de caudal en los últimos años de la serie temporal.

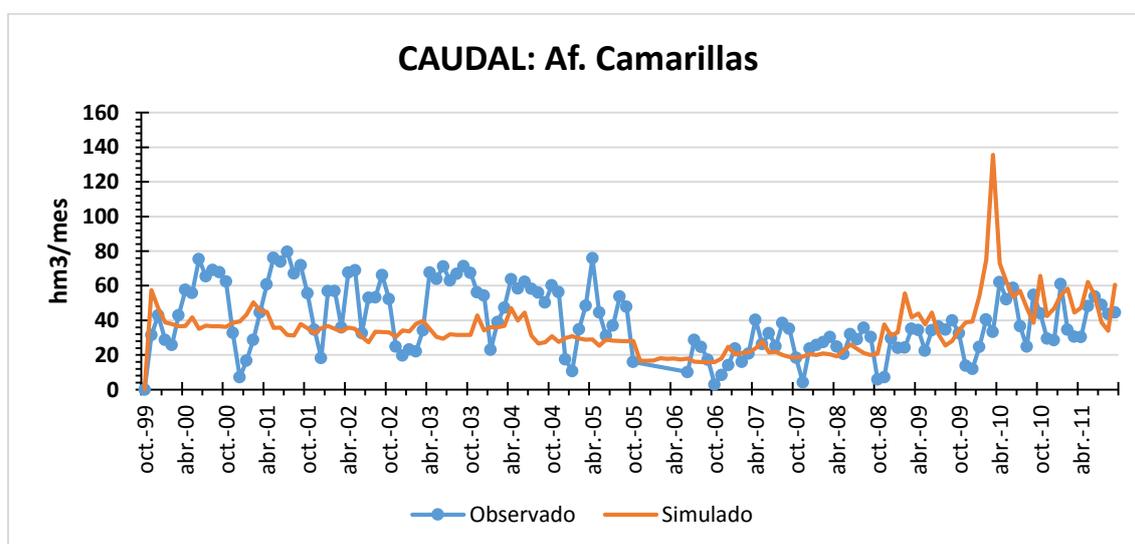


Figura 53. Caudal observado-simulado para la estación de aforo Camarillas.

Un problema similar, ocurre en la segunda cabecera del río (Alto Segura), donde la medición en el embalse del Cenajo arroja conclusiones similares:

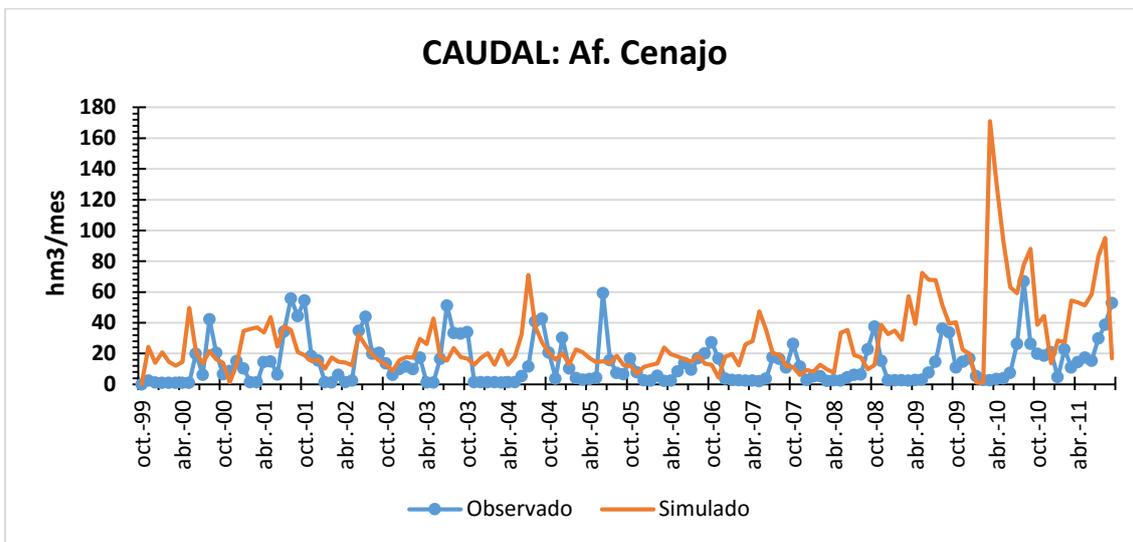


Figura 54. Caudal observado-simulado para la estación de aforo Cenajo.

Para los afluentes, los resultados no son mucho mejores. Especialmente remarcable, resulta el aforo para la estación de Calasparra, con un alejamiento total de la realidad observada, si bien, en este caso parece que el problema no se encuentra en una mala restitución con el caudal simulado, si no a un fallo en el observado, dado que los caudales son muy superiores a los esperados de un cauce tipo rambla mediterránea estacional, como el río Argos (ver Figura 55).

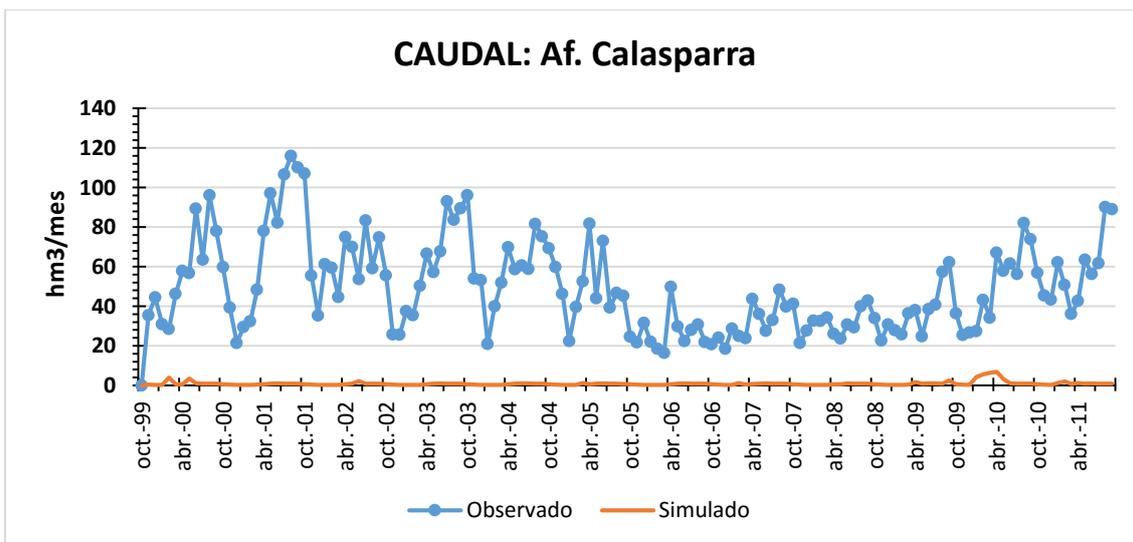


Figura 55. Caudal observado-simulado para la estación de aforo Calasparra.

De cara al río principal, dados los picos anómalos en las dos cabeceras para abril de 2010, se produce un gran pico muy alejado del aforado en dicha fecha, mientras que para el resto de la serie, el ajuste resulta dentro de unos límites aceptables.

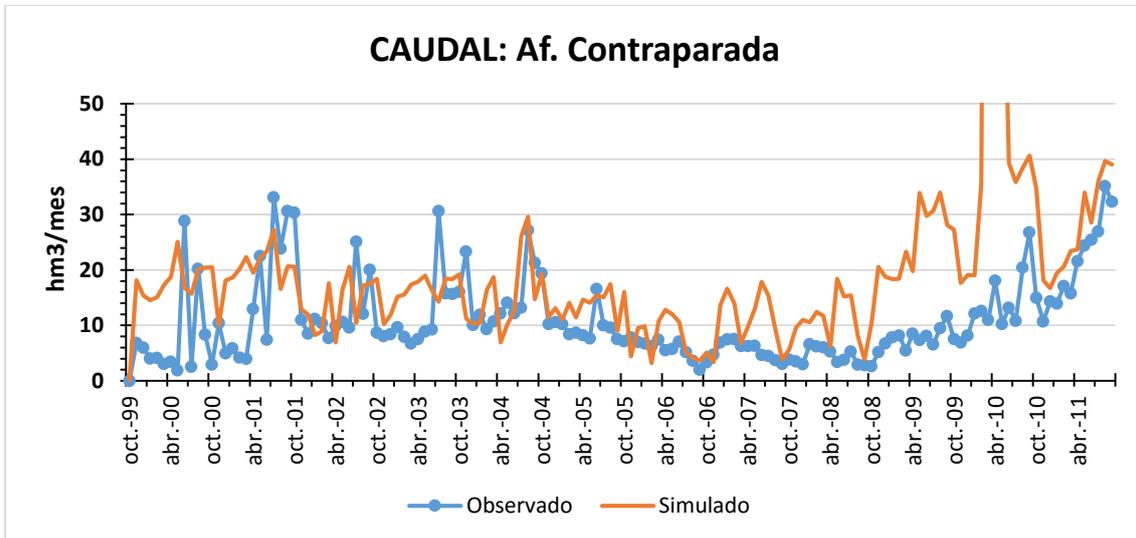


Figura 56. Caudal observado-simulado para la estación de aforo Contraparada

Respecto al perfil global del río, se observa como norma general, un promedio superior para el simulado de alrededor de 10 hm³, lo cual no resulta un buen síntoma en la realización de este tipo de modelos de calidad (ver Figura 57). El perfil mostrado muestra los aforos entre la confluencia con el Quípar y la desembocadura para el río Segura.

Obsérvese la importante reducción de caudales tras el paso por Ojós (entre el aforo de Abaran y Archena), llegando a un 70-80% en volumen.

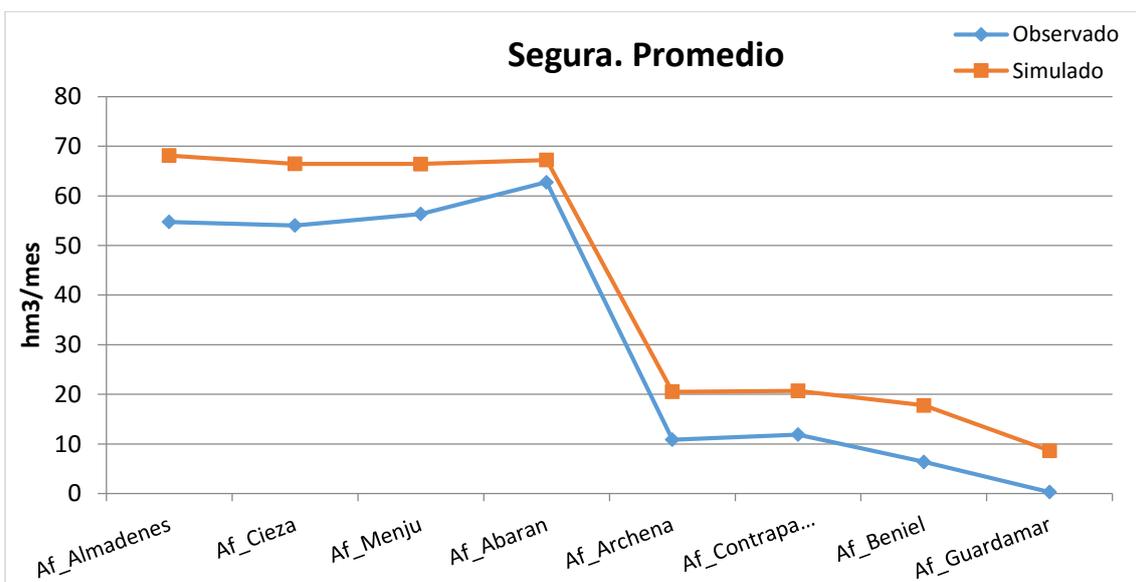


Figura 57. Perfil de caudales promedio en los distintos puntos de aforo del río Segura.

6. RECALIBRACIÓN DEL MODELO

La recalibración resulta el objetivo principal del modelo, debido a que analiza los resultados obtenidos por el modelo con los datos observados en las estaciones de calidad del río, para cada uno de los parámetros observados. Esto se ha realizado punto por punto desde aguas arriba de la cuenca comparando las 40 estaciones de calidad que forman parte del río Segura, y una estación de calidad para el río Mula.

El trabajo realizado ha consistido en la comparación de los pares tramos de río – estaciones de calidad, para encontrar las constantes que generen el mejor simulado de acuerdo a los datos observados existentes mediante un proceso iterativo manual.

Este procedimiento permite un buen análisis de la solución generada, puesto que en caso de observarse incoherencias entre una estación de calidad y otra, es posible discernir que aportación o vertido está generando el problema, buscar información sobre este punto o descubrir dónde se está produciendo un vertido que el modelo no está considerando.

Dentro de los parámetros estudiados, se encuentran conductividad, DBO5, fosfatos, oxígeno disuelto, amonio y nitratos. Los sólidos no van a ser calibrados, puesto que los datos de entrada existentes resultan muy imprecisos (en muchos casos, se ha establecido un valor fijo para los mismos), y por los resultados obtenidos en la simulación, resultan muy alejados de la realidad.

Las constantes objeto de calibración en este estudio son:

- Reaireación.
- Degradación de materia orgánica.
- Hidrólisis de nitrógeno orgánico.
- Nitrificación del amonio.
- Sedimentación de materia orgánica.
- Sedimentación y degradación de los fosfatos y otras sales (conductividad) dentro de procesos de primer orden.

A destacar que los resultados para amonio y nitratos, se han tomado como mg de nitrógeno por litro (mgN/l), lo que obliga a realizar una transformación desde mg de amonio y mg de nitrato.

Mientras que en el caso del amonio, de acuerdo a la estequiometría, esta conversión puede resultar casi inapreciable, ya que supondría multiplicar por 14/18, en el caso del nitrato supone un valor considerable llevando a multiplicar por 14/62, por ello, los valores tomados pueden aparecer cuadruplicados.

El estudio por perfiles consiste en la generación de gráficos, que muestran el promedio del parámetro estudiado, para el conjunto de las estaciones de una zona. Cualitativamente, se ha realizado, el estudio por perfiles, en aquellos tramos que tienen al menos 3 estaciones de calidad, y que por tanto, permiten la representación de un perfil mínimo.

Las zonas estudiadas son:

- Mundo + Arroyo Tobarra
- Alto Segura
- Guadalentín
- Segura (río principal)

Al mismo tiempo, se ha añadido en el estudio de calidad, unas breves reseñas sobre la situación en los afluentes del río, para tener de modo completo, la calidad en todos los tramos. Estas adiciones son:

- Moratalla
- Argos
- Quípar
- Mula

Aquellos tramos donde no ha sido posible realizar la comparación por falta de estación de calidad (Taibilla, Tobarra) no han sido representados en el documento. En posteriores apartados, se añadirá un estudio detallado de las estaciones de calidad del río Principal en el capítulo denominado Estudio por Zonas.

6.1. PERFILES DE CALIDAD

6.1.1. Segura (río principal)

Este perfil concentra los seis tramos de principal, en los que se ha subdividido el río Segura, utilizando para ello veinte duplas de datos observados-simulados. No se han incluido en este perfil los datos provenientes de las estaciones de calidad de Juntas, Santuario, Puente Carretera de Mula y El Arenal, puesto que las observaciones existentes en estos puntos son cuasi nulas, y pueden tener una influencia negativa en el perfil completo.

Para el análisis de este perfil, debido a la magnitud del mismo, va a analizarse cada uno de los parámetros separadamente. Posteriormente, se realizará un estudio zonal del mismo, para analizar en qué estaciones se tienen puntos conflictivos o problemáticos en la calibración. El análisis se ha centrado en el periodo 2004-2011, para eliminar la influencia de condiciones de calidad diferentes a las que se poseen actualmente.

CONDUCTIVIDAD:

En general, el perfil obtenido representa aceptablemente la realidad de la conductividad del río (ver Figura 59).

Se observa un primer pico de conductividad (y separación entre observado y simulado) para la ICA Argos (Segura antes Quípar 1), que no tiene continuidad con el resto del perfil, por lo que se considera que es un dato anómalo, seguramente asociado a que los datos de la toma están influidos por el río Argos, dada la cercanía del mismo. Esta afirmación se ve confirmada tras la observación de los perfiles de otros constituyentes (DBO5 o fosfatos).

El segundo punto de separación entre los promedios observados, se produce en la estación de calidad de Lorqui (Archena a Mula 2), con un aumento muy importante del promedio del mismo, En esta se encuentra una zona hidrotermal de afección importante sobre la conductividad con surgencias de 6000 uS/cm. (Jordán Montes y Conesa García, 1992). Si bien la observación del resto de perfiles, también indica que los datos de EDAR Archena pueden estar infraestimados, ambas causas pueden ser parte de la separación (ver Figura 87).

Por último, se alcanza en la Vega Baja, un nuevo punto de separación para la parte final, tras el vertido de EDAR Orihuela, donde se produce una disminución en el simulado, y un aumento en el observado, indicativo de datos erróneos, o que existen vertidos no considerados en el modelo.

DBO5:

A primera vista, se observa un perfil con una separación entre observaciones y datos del simulado (ver Figura 60). Sin embargo, es destacable que se tratan de cantidades muy bajas del constituyente por lo que no resulta especialmente preocupante.

Se observa una primera separación en el tramo “Segura antes Abarán”, debido al problema de topes de calidad expuesto en el apartado Análisis y Completado de los Datos: Datos de Calidad, respecto a ciertas observaciones anómalas.

En ICA Lorqui, se produce una segunda separación real entre observado y simulado, provocada por la presencia de una serie de EDAR que, durante algún tiempo, vertían sus efluentes directamente sobre el río. Actualmente, estos vertidos se reutilizan, y las medias mejoran como muestra la Figura 89.

Tras el paso por Contraparada, se producen aumentos en la DBO, que pueden proceder de cualquiera de las cuatro entradas al modelo en este punto, bien el retorno, la EDAR o el retorno de riego (ver Figura 58).

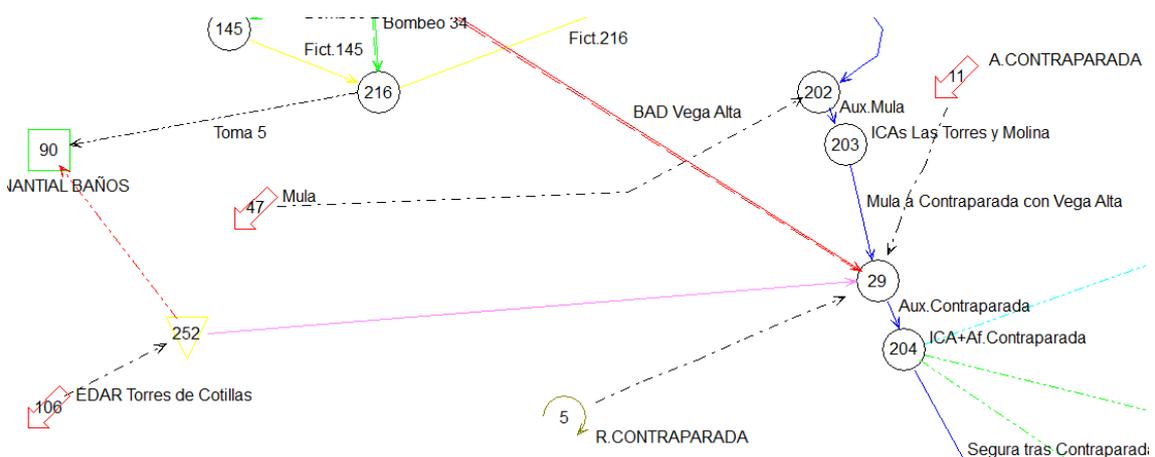


Figura 58. Detalle de entradas al modelo a la altura de Contraparada

La causa más probable es el retorno, dado que no se conocen mediciones en cuanto a su calidad, y estando situado alrededor de la Vega Media del Segura, no hay entradas que simbolizen ese aumento en la DBO, por lo que los retornos de riego con alta carga orgánica, podrían dar una explicación de este aumento ICA Contraparada e ICA Alcantarilla.

Por último, se produce una separación importante entre las dos últimas estaciones del perfil (ver Figura 106 y Figura 109). Dado que no existen vertidos entre ellas, deben existir vertidos sin considerar en el modelo.

FOSFATOS:

Se obtiene una buena caracterización general (ver Figura 61), observando como datos anómalos, algunos picos en la primera parte del río, producidos por las observaciones anómalas de las que ya se ha comentado en apartados previos.

Como se observa por la distribución del fosfato en el perfil, éste va asociado a cargas antrópicas importantes, manifestándose en picos tras la confluencia con el río Guadalentín, tras la entrada de EDAR San Antón y EDAR Orihuela.

Para la calibración de fosfatos en varios puntos, se ha hecho uso de constantes de degradación y sedimentación negativas, lo cual resulta un indicio de que existen algunas entradas de fósforo a la cuenca cuya procedencia desconocemos.

OXÍGENO DISUELTO:

Dado que es un perfil bastante influenciado por la DBO presente en el río (y dicho perfil presenta en general, valores bajos y bien ajustados), se observa un buen ajuste a lo largo del río, a excepción de algunos puntos y sobretodo, en la parte media del río, con una importante separación entre observado y simulado (ver Figura 62).

La primera separación entre observado y simulado, se produce en la ICA Argos, tema ya tratado dado la probable toma de datos en el afluente y no en el río principal.

La principal diferencia se produce, como en varios de los perfiles anteriores, en la estaciones ICA Lorqui e ICA Ceutí.

Bien por infraestimación de las entradas de EDAR Archena, o porque se consideran una reutilización de los vertidos de las EDARs, que no lleva realizándose durante todo el intervalo temporal, produciendo una afección sobre los perfiles.

Cabe destacar que se ha observado un problema general en la calibración del OD, para los años 2008 y 2009, en los que se debería proceder modificando las curvas de temperatura aportadas al modelo.

AMONIO:

No se observa una presencia importante de amonio a lo largo del perfil (hay una ligerísima separación en la Vega Media, probablemente asociada a la entrada de amonio en forma de retornos de riego), hasta que se alcanza la confluencia con el Guadalentín (ver Figura 63).

Tras la confluencia con el Guadalentín, donde se recibe una carga amónica muy importante, se produce unas segundas entradas coincidentes con los vertidos de las depuradoras más importantes de la cuenca (San Antón y Orihuela), probablemente infraestimados. En el caso de Orihuela o “Segura Vega Baja 7b” la reducción de observaciones puede haber generado la percepción de un falso pico, puesto que no se han observado problemas de infraestimación en otros parámetros.

NITRATOS:

Es observable un muy buen ajuste a lo largo de todo el período, caracterizando bien la tendencia y las pequeñas separaciones entre el observado y el simulado (ver Figura 64).

A destacar, algunos problemas que se producían con los valores de nitrato en el tramo inicial, tras la entrada del Trasvase Tajo, por lo que se ha corregido esta aportación. De igual modo, previo a la confluencia con el río Guadalentín, también se han producido algunos desajustes, para los que se ha empleado una carga difusa en su mejora. En general, el ajuste es bastante sólido en todos los puntos.

Se observan aumentos en las diferencias, en los puntos ya considerador en el resto de perfiles: “Archena a Mula 2” o ICA Lorqui, Vega Media y la confluencia con el río Guadalentín, que han sido bien caracterizadas por la simulación.

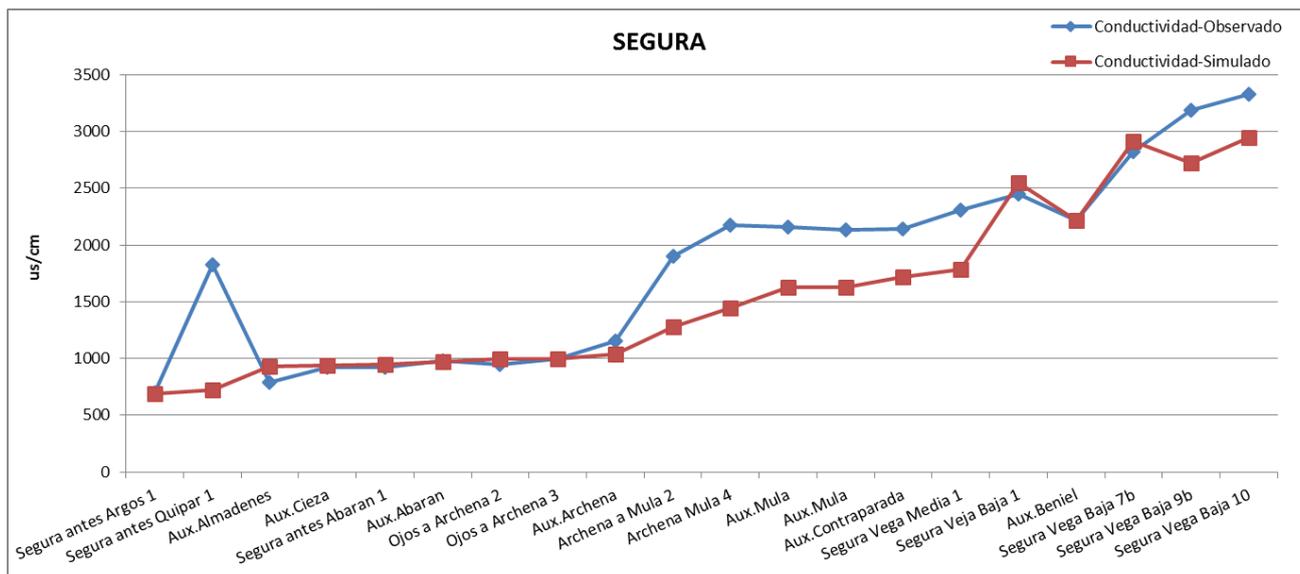


Figura 59. Perfil de conductividad promedio en distintos puntos del río Segura.

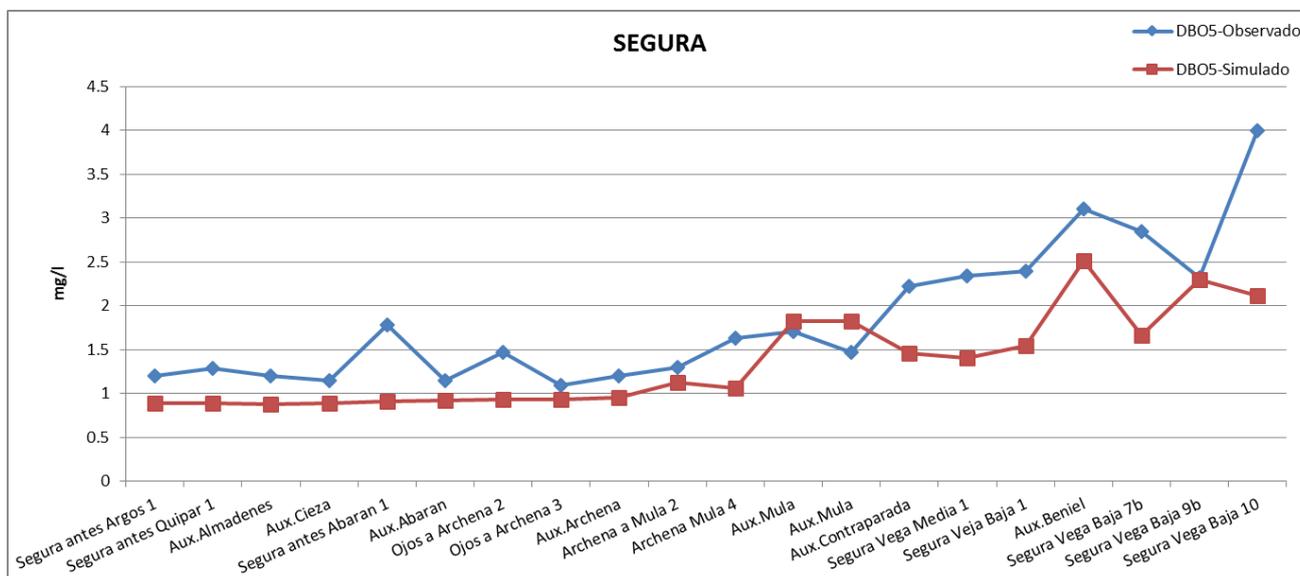


Figura 60. Perfil de DBO5 promedio en distintos puntos del río Segura.

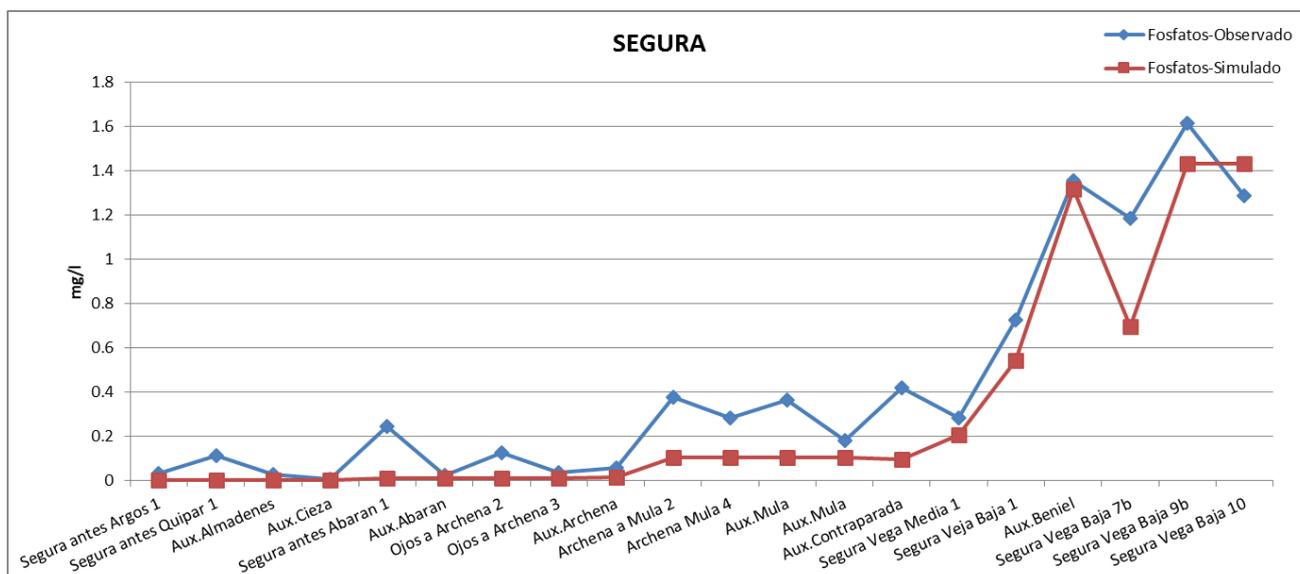


Figura 61. Perfil de fosfato promedio en distintos puntos del río Segura.

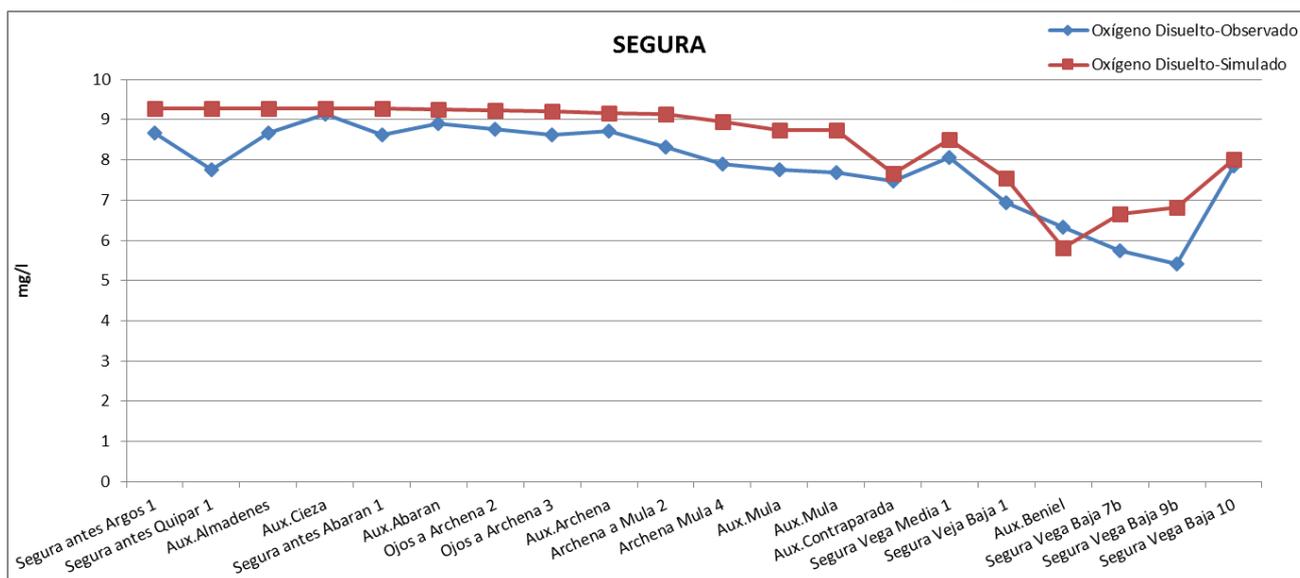


Figura 62. Perfil de oxígeno disuelto promedio en distintos puntos del río Segura.

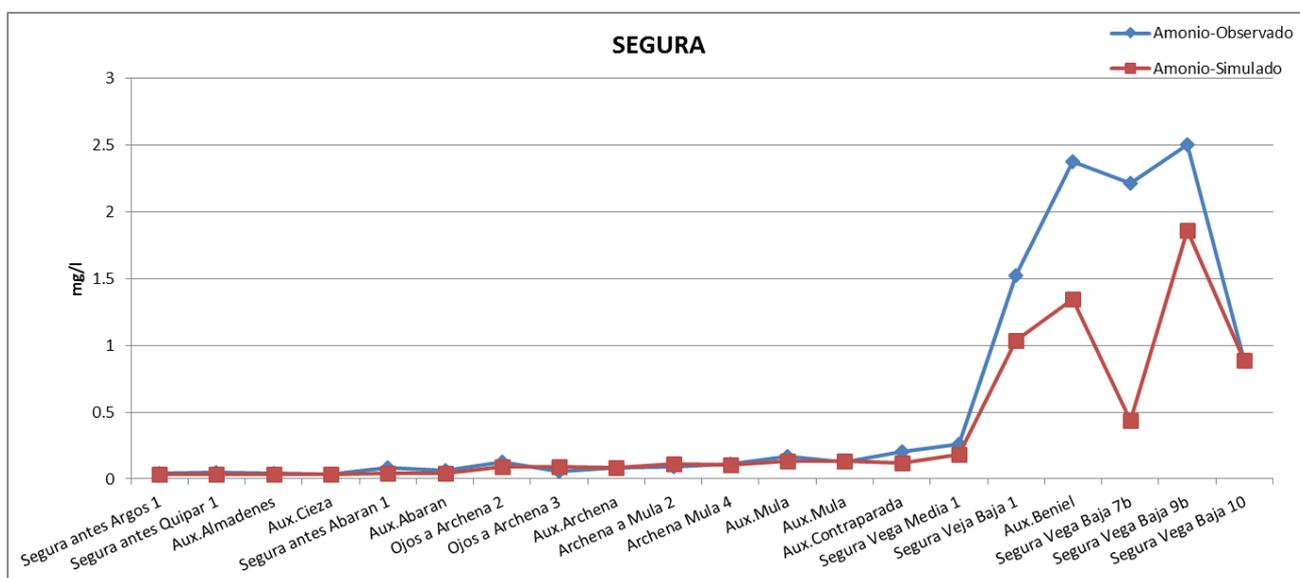


Figura 63. Perfil de amonio promedio en distintos puntos del río Segura.

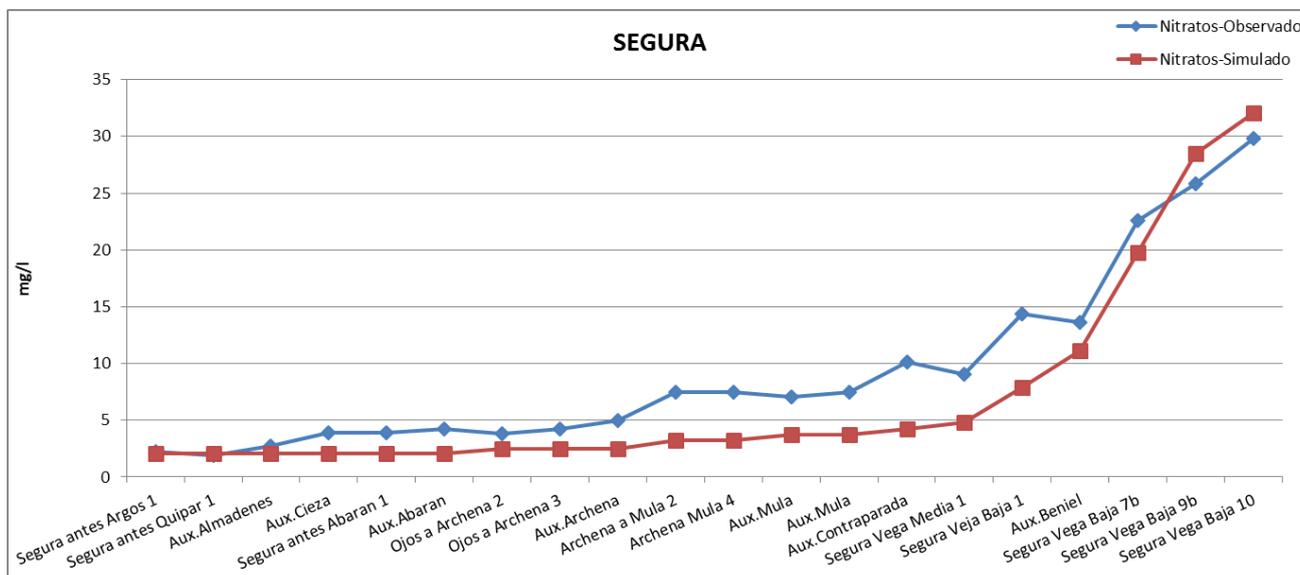


Figura 64. Perfil de nitrato promedio en distintos puntos del río Segura.

6.1.2. Mundo + Arroyo Tobarra

- Longitud: 90km
- Control de calidad: Lietor, Canal Hellín, Talave, Azaraque y Camarillas.
- Aportaciones: Alto Mundo (E. Talave), Trasvase Tajo y E. Camarillas
- Vertidos: Piscifactoría, EDAR Hellín-Mingogil (nula) y EDAR Tobarra (nula)

La representación gráfica de los perfiles del Mundo y Arroyo Tobarra muestra un ajuste adecuado entre simulados y observados, dadas las concentraciones de los constituyentes estudiados (ver Figura 65). Las principales diferencias provienen de ciertas observaciones en los datos de fosfatos, DBO5 y amonio.

De igual modo, se han encontrado problemas importantes de caracterización de los nitratos, tras la entrada de Trasvase Tajo. Puesto que las observaciones resultaban incoherentes con el simulado, se han modificado los valores de nitratos procedentes de esta aportación (reduciendo los valores a la tercera parte del aportado). Con esta corrección, se obtiene un ajuste mucho mejor de la realidad. Una posible explicación es un problema con las unidades del modelo entre mg de N y mg de NO₃, provocando esta diferencia.

Es recomendable destacar la presencia de aguas termales en la zona. Este aspecto, resulta interesante ya que se generan aumentos de conductividad en estas zonas (Azaraque, arroyo Tobarra) donde aumenta hasta cerca del 40% sus valores. Para su representación, se ha hecho uso de una carga difusa de conductividad, y de esta forma se obtiene una mejora en la calibración obtenida.

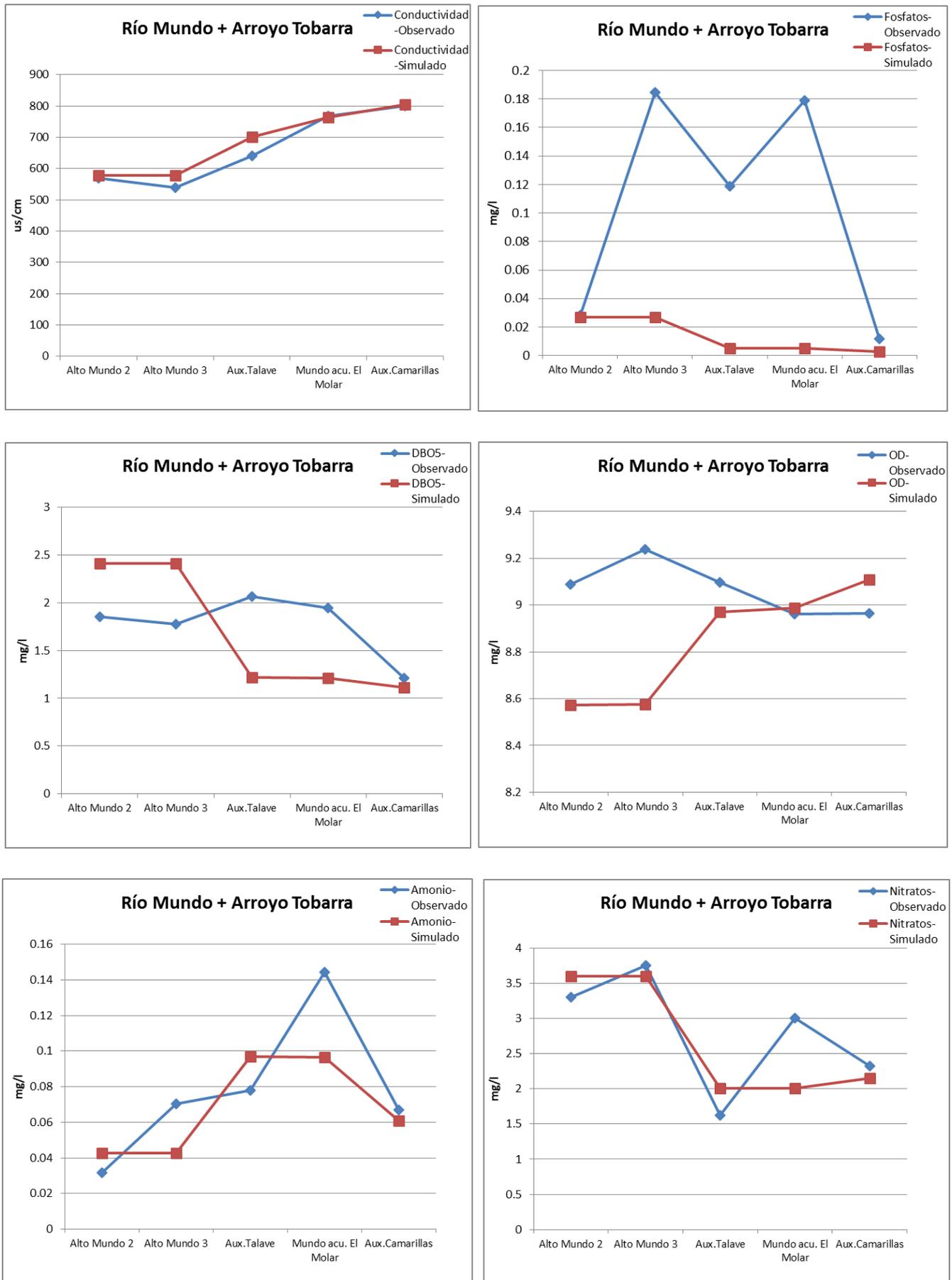


Figura 65. Perfiles de los diferentes parámetros estudiados para el Río Mundo + Arroyo Tobarra.

6.1.3. Alto Segura

- Longitud: Cabecera 1 (Alto Segura + E. Fuensanta): 86 km. Cabecera 2 (Taibilla): 50 km. Tramo principal: 50 km.
- Control de calidad: Cabecera 1: ICA Fuensanta. Cabecera 2: ICA Taibilla. Tramo principal: ICA Gallego, ICA Cenajo e ICA Minas.
- Aportaciones: Cabecera 1: A. Segura-Tus (E. Fuensanta). Cabecera 2: A. Taibilla (Presa del Canal) y Sapillo (nulo). Tramo principal: E. Cenajo.

Se han suprimido de este perfil, los análisis de las estaciones de calidad de Fuensanta y Taibilla, ya que ambas se encuentran situadas en las dos cabeceras, de este tramo de río.

Particularmente, se produce una desviación sobre el oxígeno disuelto en los últimos años de la serie temporal, que parece puede estar relacionado con un patrón de temperaturas mayores que el considerado (ver Figura 66).

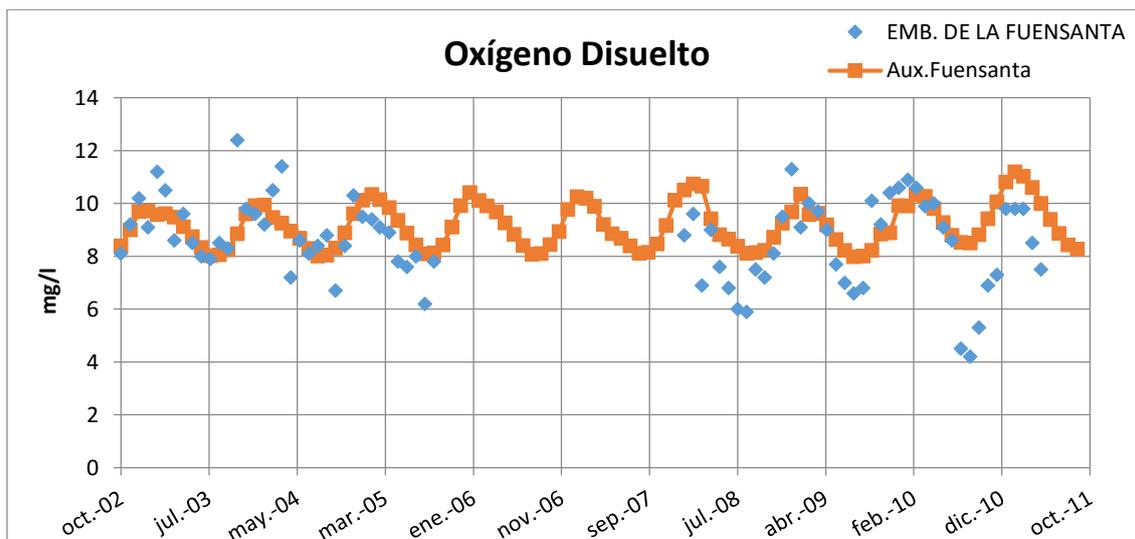


Figura 66. Representación de los valores de oxígeno disuelto simulado y observado

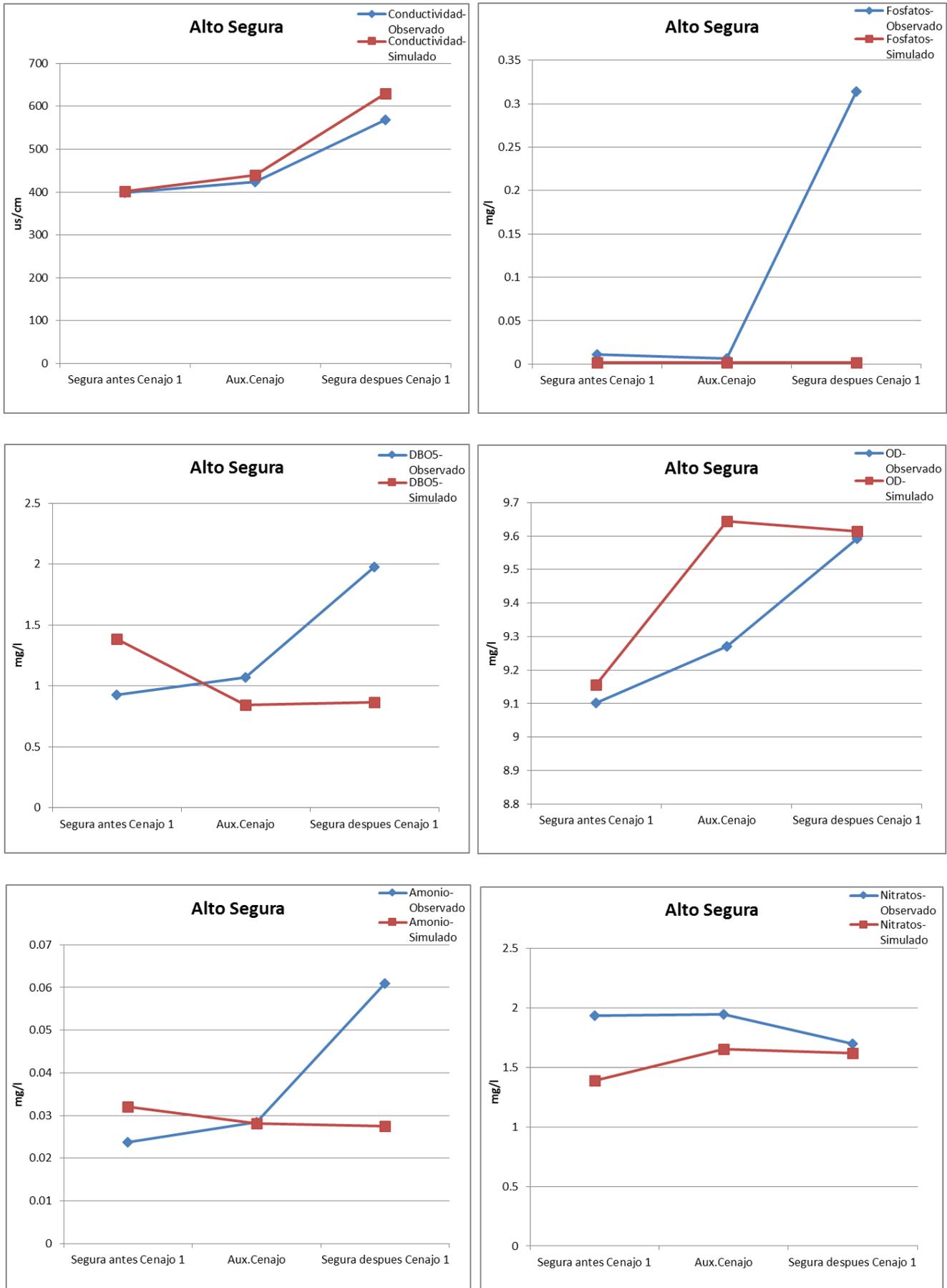


Figura 67. Perfiles de los diferentes parámetros estudiados para el Alto Segura.

6.1.5. Argos

- Longitud: 46km
- Control de calidad: Calasparra.
- Aportaciones: A. Argos (Calasparra)
- Vertidos: EDAR Caravaca, nueva EDAR Caravaca (nula), EDAR Cehegín (nula), retorno de riego y EDAR Calasparra.

Contiene a la estación de calidad de Calasparra para el control del río Argos. La principal característica de este río es que es utilizado para la satisfacción de una gran serie de demandas, provocando que su caudal a la salida sea ínfimo. Se ve afectada por un retorno de riego con carga de nitratos al final del tramo, que repercute de forma importante en la calidad del río.

Por otro lado, y puesto que los caudales aforados y simulados son muy diferentes (los aforados son muy escasos), la presencia del retorno de riego y de la EDAR de Calasparra influye de forma muy importante en la calidad observada, provocando gráficas de amonio y fosfatos como las existentes (ver Figura 69, Figura 70 y Figura 71). Otra información relevante es la instalación de un tratamiento terciario para la EDAR de Calasparra, en abril de 2006.

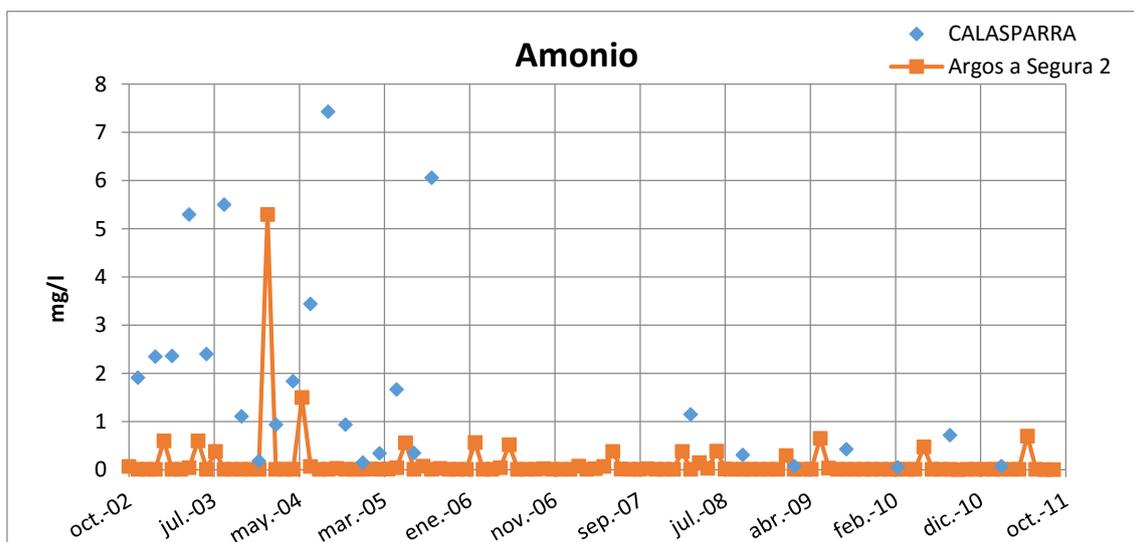


Figura 69. Representación de los valores de amonio simulado y observado.

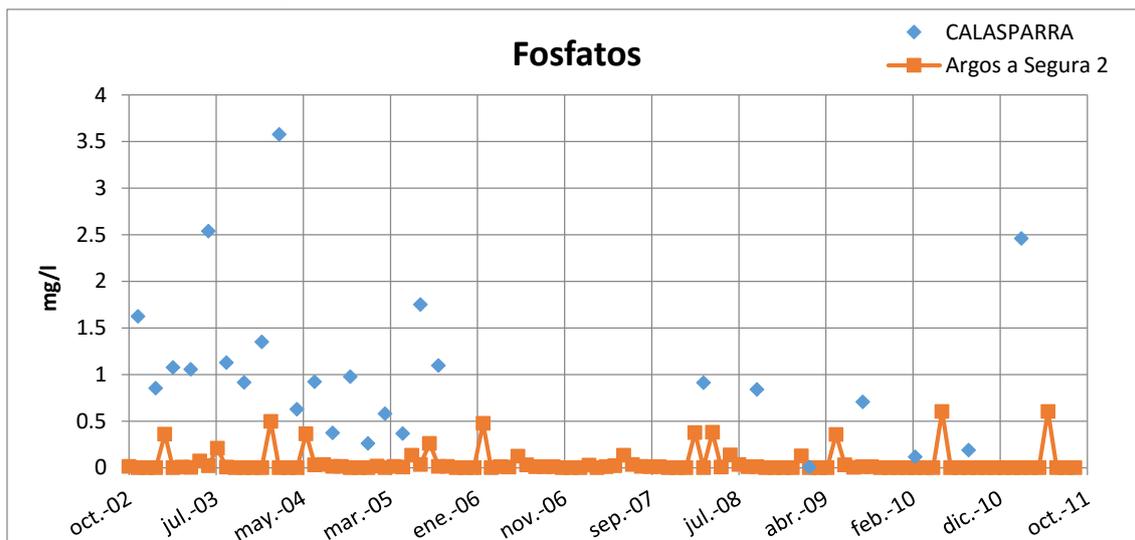


Figura 70. Representación de los valores de fosfato simulado y observado.

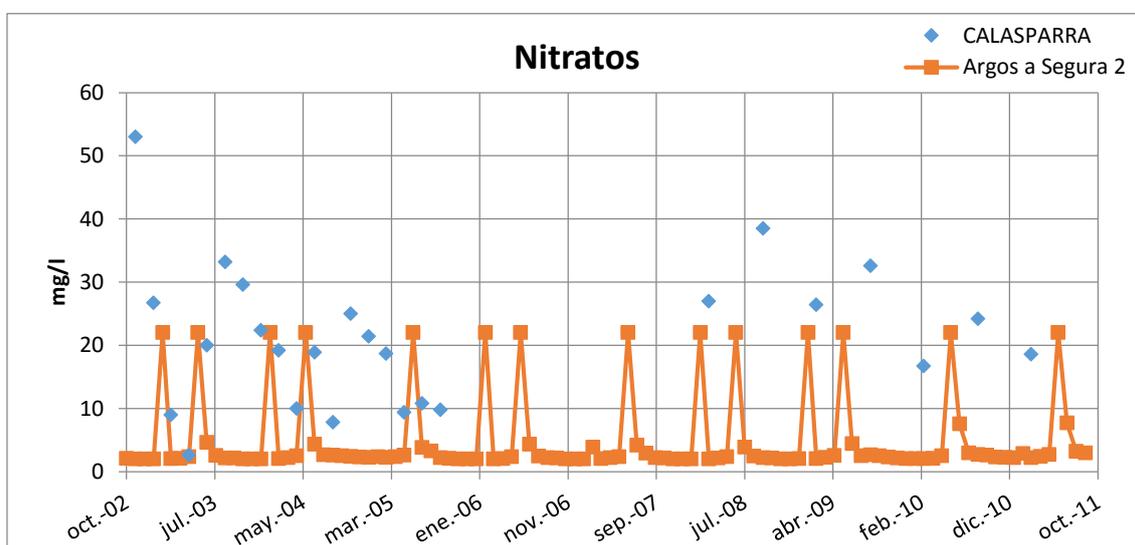


Figura 71. Representación de los valores de nitrato simulado y observado.

6.1.6. Quípar

- Longitud: 78km
- Control de calidad: Af. Embalse Alfonso XIII.
- Aportaciones: A. Quípar.
- Vertidos: EDAR Bullas y retorno de riego.

Río que discurre en paralelo al río Argos. En él, se encuentran situadas las minas de Gilico. Estas minas, que fueron cerradas en 1980, están inundadas actualmente por el río, en las cuales, a su paso, se forma una pequeña laguna.

Actualmente, se pretende reabrir estas minas, ya que albergan el mayor yacimiento de magnetita (mineral de hierro) de toda Europa occidental. Este hecho, es causa de un aumento de conductividad notorio sobre el agua del río

Consta de una ICA situada tras el embalse de Alfonso XIII como estación única para estudiar la calidad del agua circulante por el río. Mide la calidad inmediatamente a la salida del embalse, y es por ello, una estación que puede arrojar datos muy variables (por ejemplo, desaguar por aliviadero o por desagüe de fondo va a arrojar unos datos de sólidos suspendidos completamente diferentes).

Cabe destacar una diferencia importante entre caudales observados y simulados por el modelo, lo que va a conllevar a malas caracterizaciones (ver Anejo II).

Se observa, por ello, una difícil caracterización entre los valores simulados y observados para conductividad, DBO, OD y nitratos, con valores simulados muy por encima de las observaciones (ver Figura 72 y Figura 73). En cualquier caso, su afección sobre el río principal es pequeña, ya que los caudales circulantes por el mismo, son poco importantes.

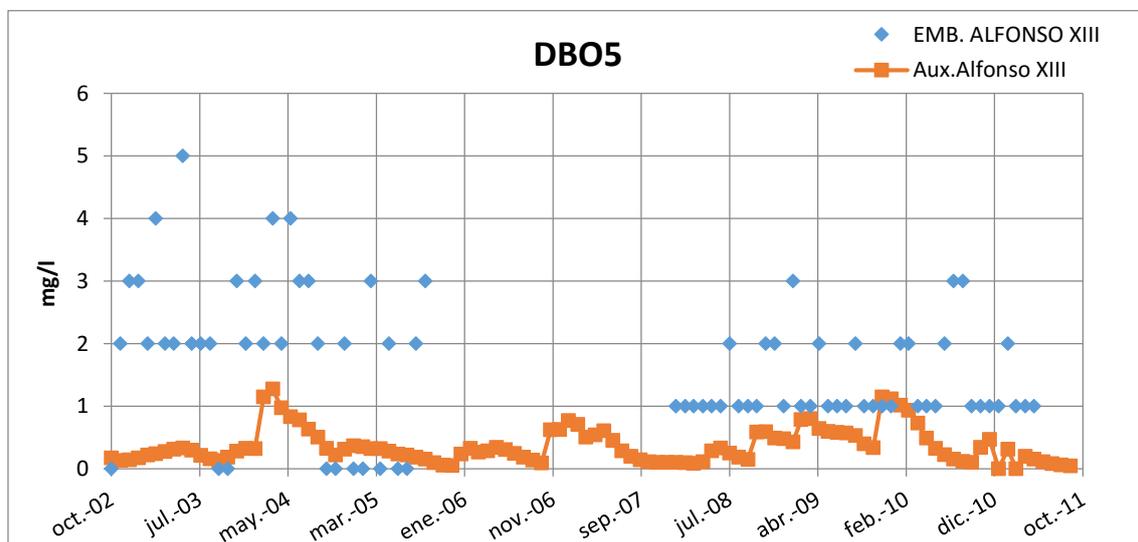


Figura 72. Representación de los valores de DBO5 simulado y observado.

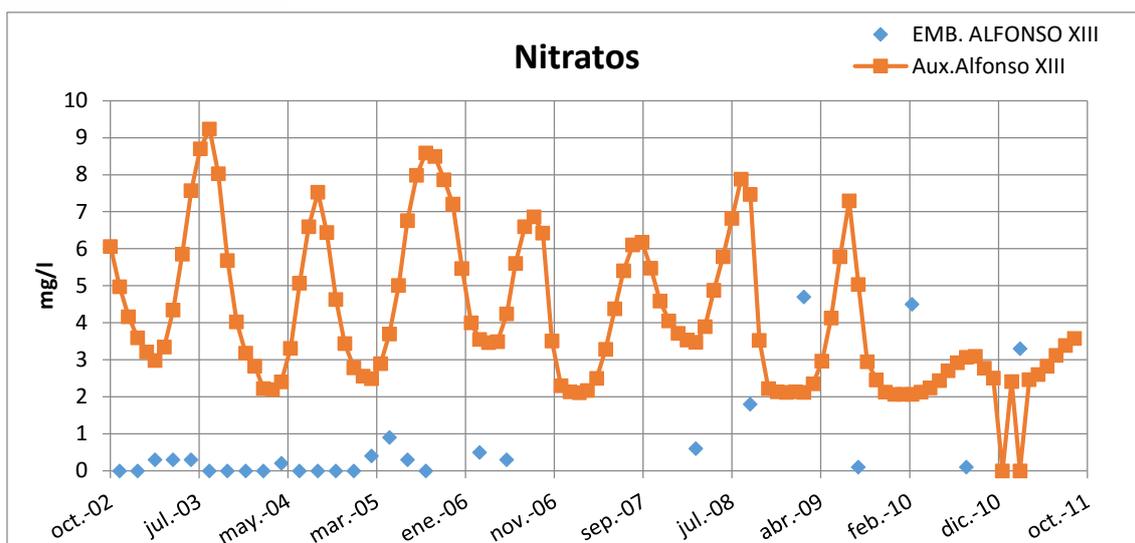


Figura 73. Representación de los valores de nitrato simulado y observado.

6.1.7. Mula

- Longitud: 31km
- Control de calidad: ICA Mula
- Aportaciones: E. La Cierva y Baños de Mula.
- Vertidos: Retornos Cierva y Pliego.

Este río ha sido calculado en un modelo paralelo, y sus salidas han sido dadas como datos de entrada en el modelo del río Segura. Es un modelo pequeño con solo dos entradas, ya que el resto son nulas.

Consta de una ICA, situada tras la entrada de Baños de Mula y los retornos de Pliego. Es una estación con pocas observaciones, principalmente en el caso del amonio, nitrato y fosfatos.

Se observan problemas con la calibración de los nitratos, ya que se tiene un valor muy destacado en el retorno, así como con los datos provenientes de Baños. Se ha considerado que estos datos han sido dados como mg de NO3 y no de N; por lo que se ha realizado la conversión necesaria, obteniendo unos resultados mucho más adecuados.

Pese a que es difícil afirmar si un ajuste es bueno con pocas observaciones, se observa una buena adaptación a los datos proporcionados.

Del mismo modo, no se observa un empeoramiento en los tramos posteriores del río principal, puesto que no supone un caudal importante respecto al total circulante por el río principal.

6.1.8. Guadalentín

- Longitud: 125km
- Control de calidad: Af. Puentes, Santa Gertrudis y Librilla
- Aportaciones: A. Valdeinfierno, E. Puentes y Paso de los Carros.
- Vertidos: Fábrica Curtidos, EDAR Lorca (nula), EDAR Totana, EDAR Alhama (nula), retorno de riego, EDAR Librilla (nula) y EDAR Alcantarilla (nula).

Respecto al río Guadalentín, destacar en primer lugar los valores observados que aparecen en esta cuenca. Un promedio de amonio y DBO por encima de 100, sólidos en promedio por encima de 10000 y un promedio de oxígeno disuelto en algunos puntos, por debajo de 4.

Con esto se quiere remarcar, que se trata de un caso extremo de río contaminado, donde el vertido Fca. Curtidos tiene especial relevancia; y que por ello, la calibración del modelo en esta zona ha sido especialmente difícil por varios motivos: en primer lugar, porque los valores de las constantes que deben utilizarse están muy alejadas de los valores que se puedan encontrar en una cuenca natural; y en segundo lugar, porque los datos aportados están muy alejados de la realidad (ver Figura 74 y Figura 75).

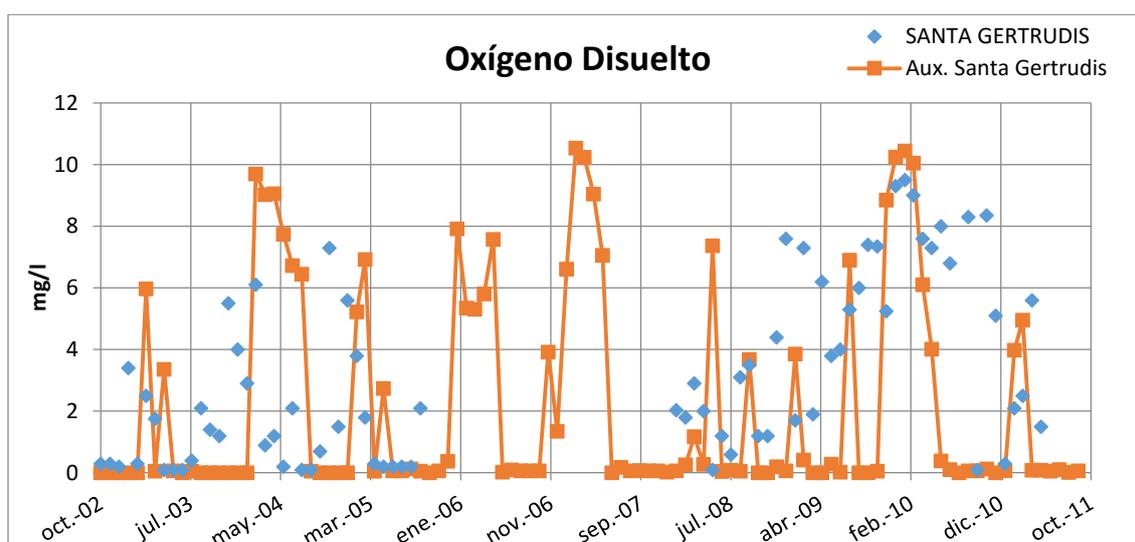


Figura 74. Representación de los valores de oxígeno disuelto simulado y observado.

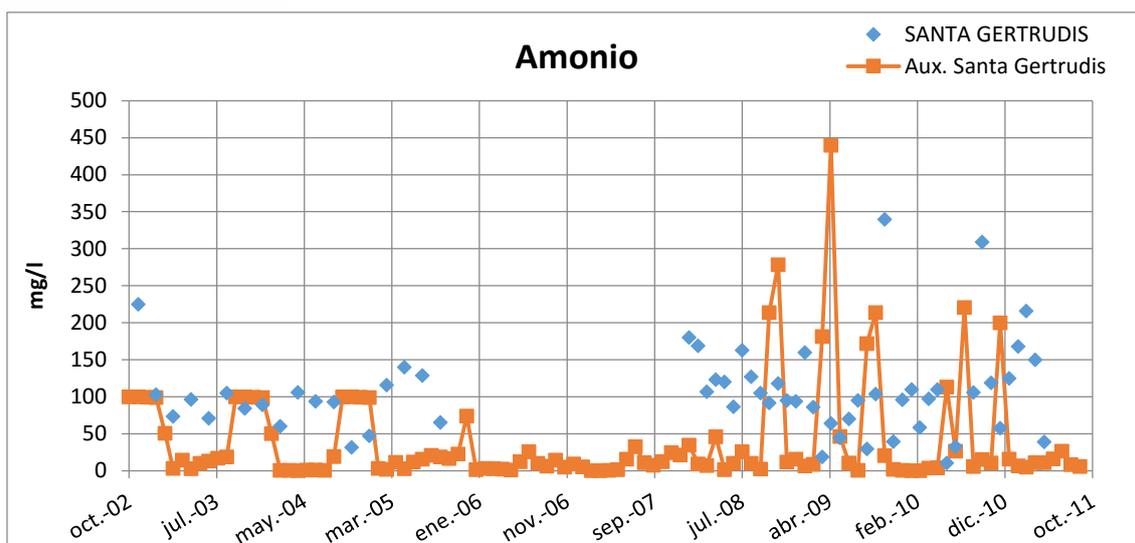


Figura 75. Representación de los valores de amonio simulado y observado.

Tras la modificación de los datos cualitativos de entrada se obtiene una representación de la realidad algo mejor, como muestran los promedios obtenidos, especialmente en la ICA Librilla (ver Figura 76).

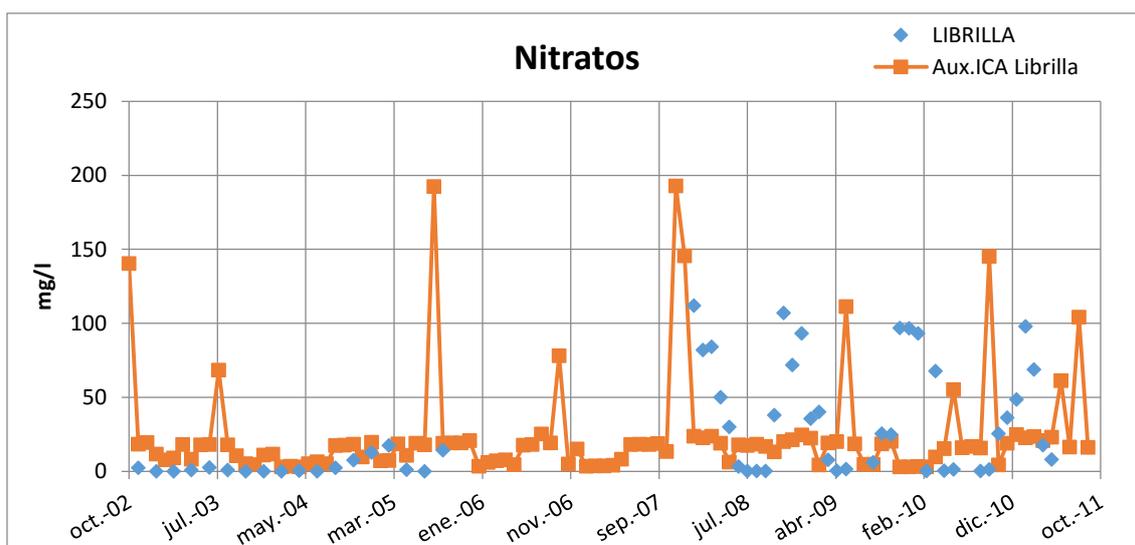


Figura 76. Representación de los valores de nitrato simulado y observado.

Aun así, este río es foco de problemas para la calibración y tiene una influencia apreciable tras su confluencia con el río Segura, por lo que se aconseja la realización de una medida más minuciosa de la calidad en el mismo (ver Figura 77).

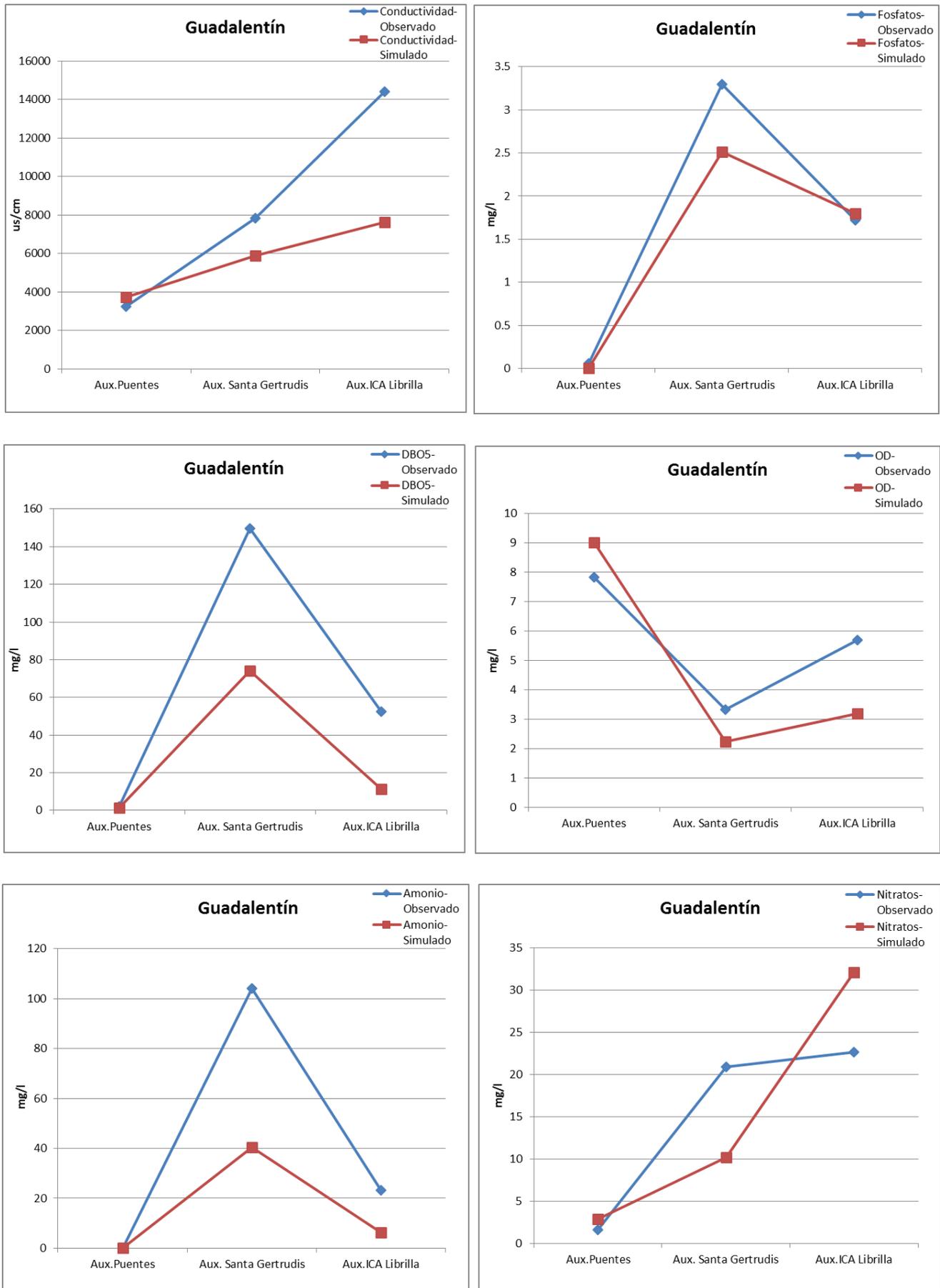


Figura 77. Perfiles de los diferentes parámetros estudiados para el Río Guadalentín.

6.2. ESTUDIO POR ZONAS

Dentro de la calibración del modelo, va a realizarse una división del modelo en función de seis zonas diferentes dentro del río Segura, para una correcta particularización del principal objeto de estudio. Estas zonas reflejan la afección de los afluentes y los diferentes elementos que componen el curso fluvial principal:

- Tramo 1 (Alto Mundo + Alto Segura + Moratalla)
- Tramo 2 (Tramo 1 + Argos)
- Tramo 3 (Tramo 2 + Quípar)
- Tramo 4 (Continuación del tramo principal 3)
- Tramo 5 (Tramo 4 + Mula)
- Tramo 6 (Tramo 5 + Guadalentín)

Dentro de cada zona, se tratan las estaciones de calidad existentes, haciendo un resumen de cómo ha sido su calibración y su influencia sobre el resto de tramos. Del mismo modo, se incluye un apartado Observaciones, donde aparecen los problemas más relevantes en calibración para los constituyentes estudiados, e incluyendo una gráfica de los mismos. Las gráficas del resto de constituyentes, que no aparecen mostradas, se pueden encontrar en el Anejo I.

6.2.1. Tramo 1 (Mundo + Alto Segura + Moratalla)

El tramo 1 está compuesto por la confluencia de estos tres afluentes y se extiende hasta la confluencia con el río Argos. Aproximadamente el 45% del caudal viene de la aportación del río Mundo, y el 55% de la del Alto Segura.

- Longitud: 6.5 km.
- Control de calidad: ICA Juntas y Santuario e ICA Playas y El Soto.
- Aportaciones: No
- Vertidos: No

ICA JUNTAS Y SANTUARIO

Se trata de una estación sin apenas observaciones, por lo que resulta muy difícil realizar una calibración de la misma.

ICA PLAYAS + EL SOTO

Puesto que Juntas y Santuario han sido estaciones sin apenas observaciones, Playas y el Soto actúa como la ICA que mide la calibración realizada para el río Mundo, Alto Segura y el río Moratalla. En general, se obtiene un buen ajuste general.

6.2.2. Tramo 2 (Tramo 1 + Argos)

Tramo tras la confluencia del río Argos y el río principal, que se extiende hasta la confluencia con el río Quípar. Los caudales provenientes del Argos, representan aproximadamente un 1% del total del caudal circulante por el tramo, por lo que no tendrán una gran influencia sobre el resultado, y puede esperarse que tenga muchas similitudes con el tramo Principal 1.

- Longitud: 13km
- Control de calidad: Argos.
- Aportaciones: Ninguna.
- Vertidos: Ninguno.

ICA ARGOS

Única estación para control de calidad del tramo 2. Se debería ver poco afectado por los caudales provenientes del Argos.

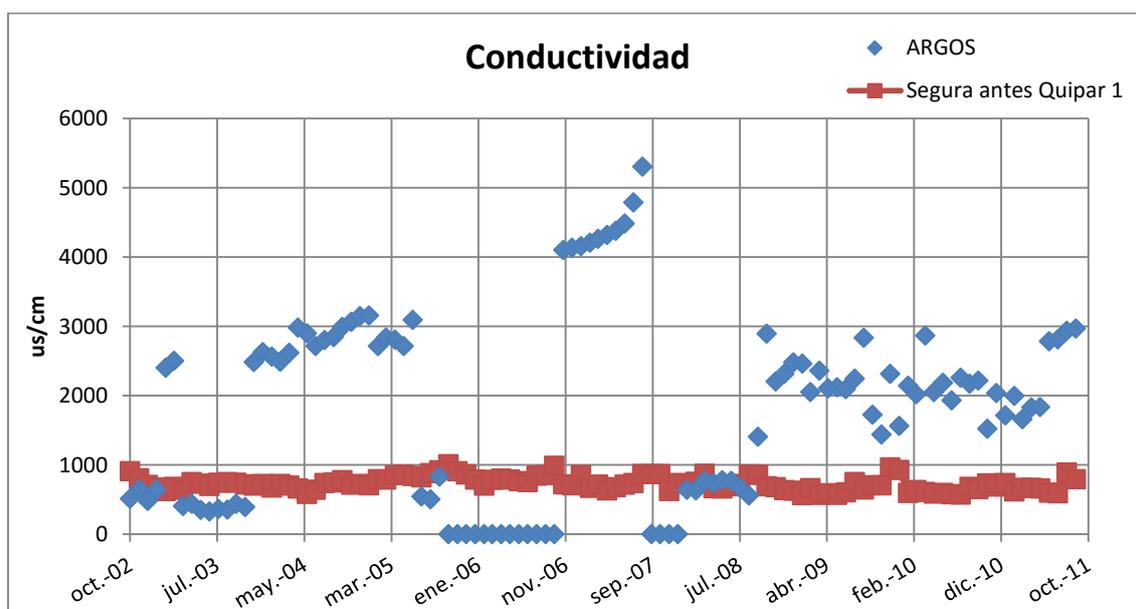


Figura 78. Representación de los valores de conductividad simulada y observada.

Observaciones:

- Se observa una conductividad observada muy diferente de los tramos anterior y posterior (ver Figura 78). Al no observarse una continuidad con el resto de tramos, se ha supuesto un error en las observaciones (por ejemplo, que hayan sido tomadas en punto donde todavía exista influencia del Argos, o en el propio río). En cualquier caso, debería realizarse un estudio más detallado para obtener la procedencia de estas observaciones.
- Se observan también pequeñas discrepancias en los valores de DBO y fosfatos, que pueden ser fruto de la causa descrita en el anterior apartado.

6.2.3. Tramo 3 (Tramo 2 + Quípar)

La influencia del río Quípar sobre el tramo 2 es relativamente pequeña (en torno al 2-3% del caudal circulante total, por lo que va a encontrarse muchas similitudes respecto al tramo 3 en cuanto a las observaciones.

Puesto que el tramo 3 iba a ser excesivamente largo, siguiendo con la actual metodología de disponer tramos entre los afluentes, se ha decidido dividir este tramo en dos partes. La primera comprende todas las estaciones de calidad hasta el azud de Ojós, mientras que la segunda toma todas las estaciones hasta la confluencia con el río Mula.

- Longitud: 16km
- Control de calidad: Almadenes, Puente Carretera de Mula, Af. Cieza, Ab. Abarán, Af. Abarán y El Arenal.
- Aportaciones: Almadenes, Cieza, Menjú y Abarán.
- Vertidos: EDAR Cieza, EDAR Abarán (nula).

En cuanto a las aportaciones, las más importantes son las de Almadenes y Abarán representando cada una, aproximadamente, un 1% del caudal circulante total.

ICA ALMADENES

Primera estación tras la confluencia con el Quípar y tras la entrada de Almadenes.

Se observa un buen ajuste general, más allá de un pequeño desajuste para la DBO (ver Figura 79), con valores simulados muy constantes en el entorno de 1.

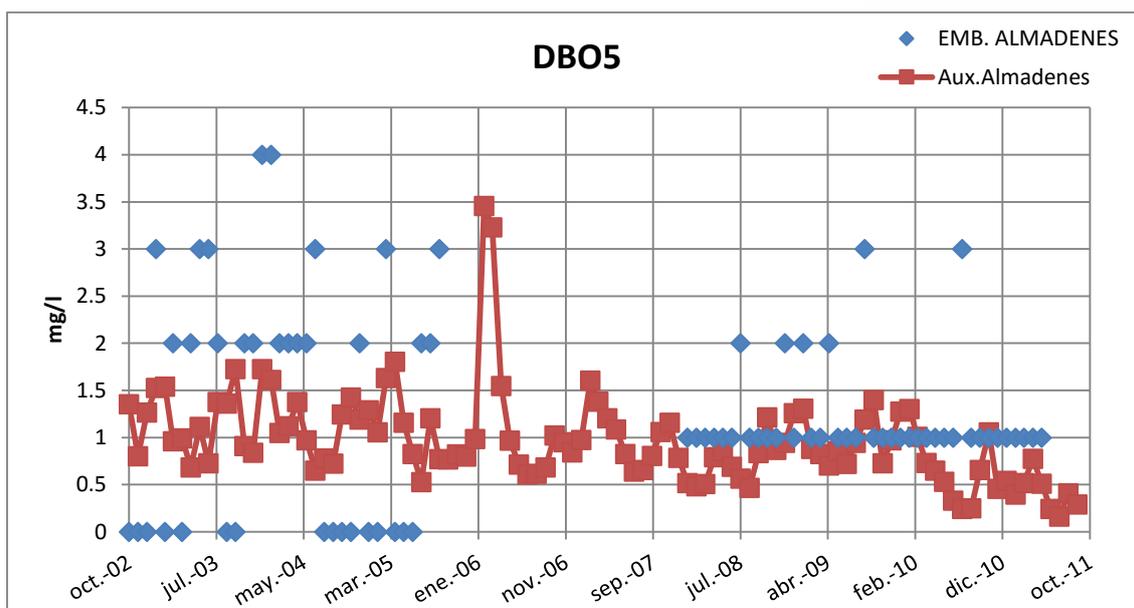


Figura 79. Representación de los valores de DBO5 simulado y observado.

ICA PUENTE CARRETERA DE MULA

Situada aguas abajo a la ICA Almadenes, su única diferencia respecto a la anterior es la reducción de los caudales circulantes, ya que parte de ellos son derivados a la central hidroeléctrica de Almadenes. Es una estación con muy pocas observaciones, pero se pueden realizar algunas observaciones comparando con los datos de Almadenes.

Se observa un ligero aumento de los valores de nitratos respecto a Almadenes. Pese a ello, resulta un ajuste aceptable.

ICA AF. CIEZA

Situada tras la entrada de Cieza, vuelve a trabajar con el caudal total del tramo 3, tras recoger de nuevo el caudal derivado a la central hidroeléctrica.

Se observa una repetición de los problemas con la DBO observados en Almadenes (ver Figura 79), si bien no son de gran relevancia, así como una infraestimación en la caracterización de nitratos (ver Figura 80), de nuevo, poco importante.

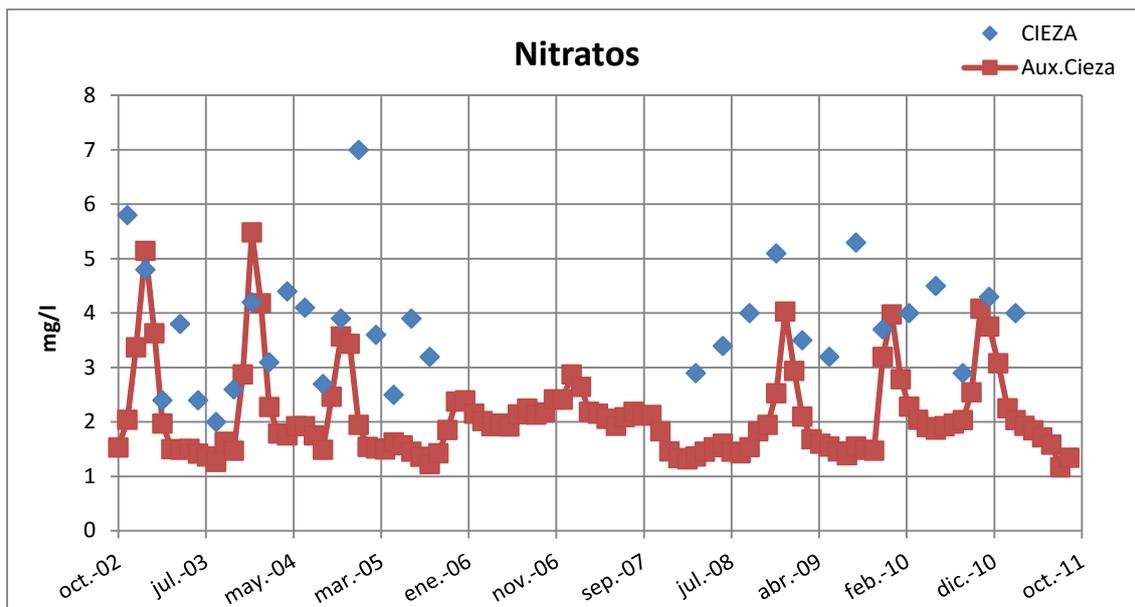


Figura 80. Representación de los valores de nitrato simulado y observado.

ICA AB. ABARÁN

Situada tras las entradas de EDAR Cieza y Menjú. Se observan pequeños problemas en la caracterización de amonio (ver Figura 81) y nitratos (ver Figura 82). En cualquier caso, la cercanía con la ICA Af. Abarán nos indica que la caracterización de amonio no es mala, mientras que la de nitratos continua algo infraestimada.

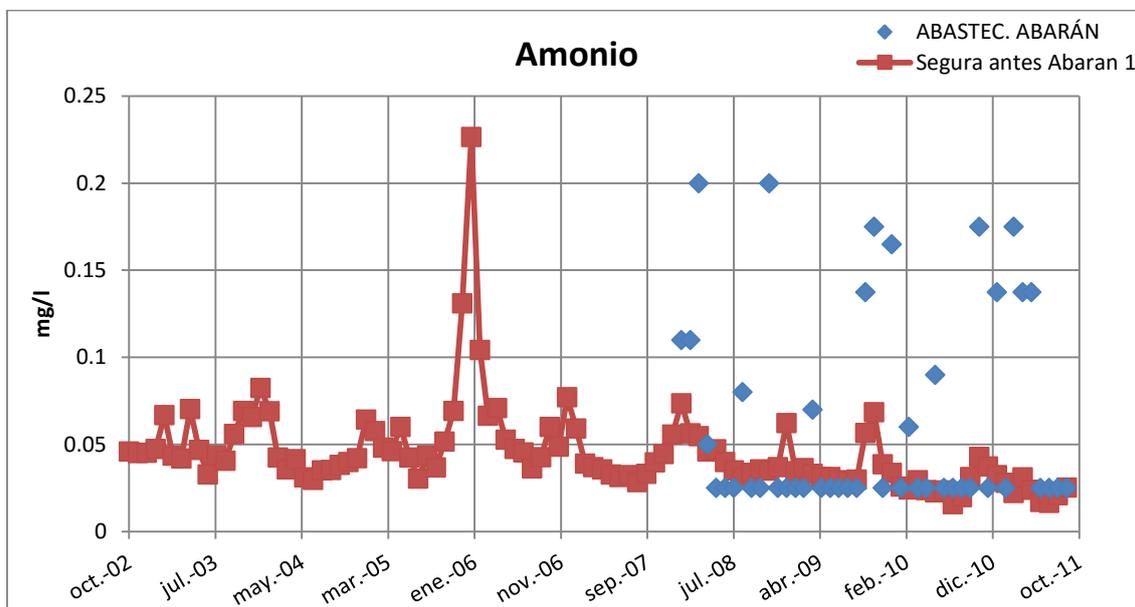


Figura 81. Representación de los valores de amonio simulado y observado.

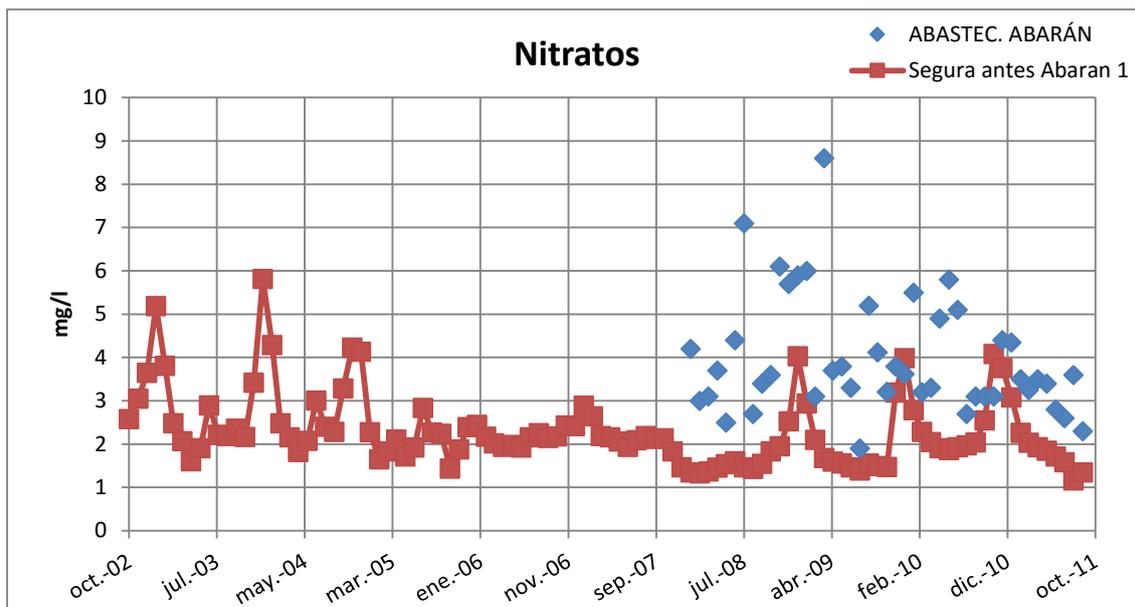


Figura 82. Representación de los valores de nitrato simulado y observado.

ICA AF. ABARÁN

Situada tras la entrada de Abarán. Se observan algunos problemas en la caracterización de los fosfatos (ver Figura 83) y nitratos (ver Figura 84), con ambos ajustes algo infraestimados.

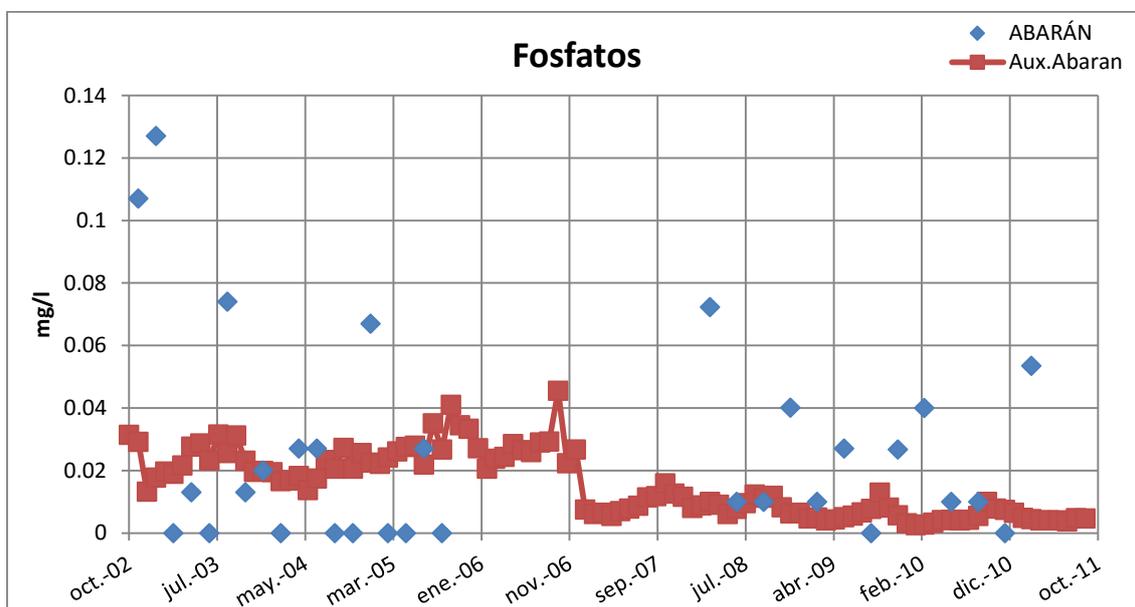


Figura 83. Representación de los valores de fosfato simulado y observado.

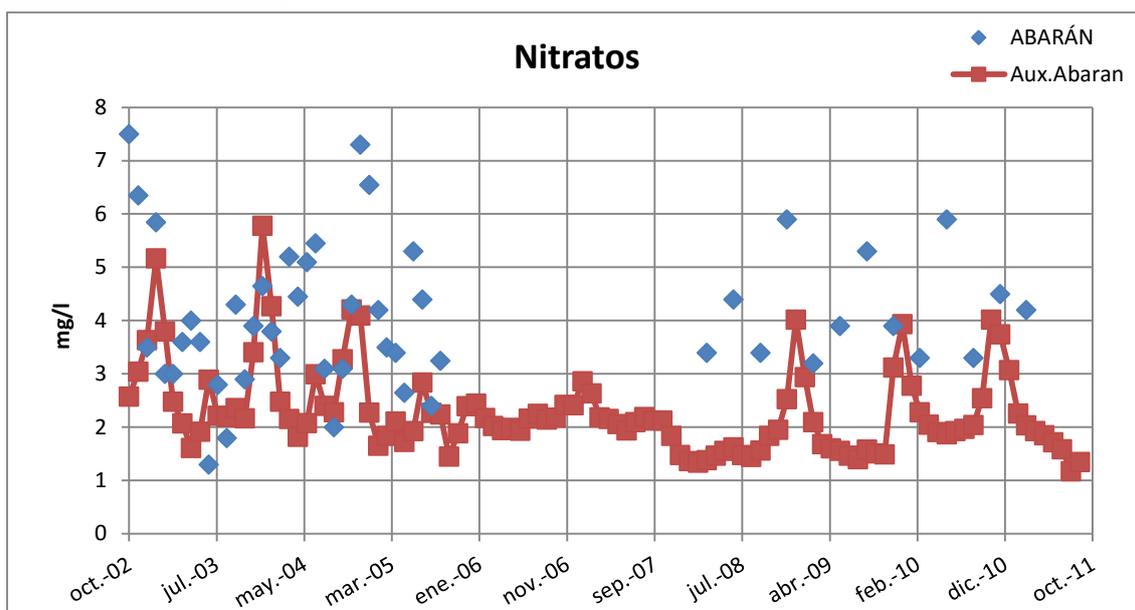


Figura 84. Representación de los valores de nitrato simulado y observado.

ICA ARENAL

Situada tras el vertido de la EDAR Abarán (nula). Muy pocas observaciones y solo en la primera parte de la serie temporal y para algunos de los parámetros estudiados. En general, se obtiene un buen ajuste.

6.2.4. Tramo 4 (continuación Tramo 3)

El tramo 4 comprende desde el Azud de Ojós hasta la confluencia del río principal con el río Mula. Esta división se realiza, puesto que en dicho azud, se produce la derivación, en promedio, del 75% del caudal circulante por el río Segura, por lo que las condiciones de calidad previas al azud, pueden cambiar enormemente tras su paso.

- Longitud: 27km
- Control de calidad: Azud de Ojós, Ulea Sifón, Af. Archena, Lorqui y Ceutí.
- Aportaciones: Archena.
- Vertidos: EDAR Blanca (nula), retornos de riego, EDAR Archena, EDAR Lorqui-Ceutí (nula), EDAR Molina Norte (nula).

Nueva EDAR Altorreal (nula), EDAR Ermita (nula) y EDAR Alguazas forman parte de este tramo, pero su influencia sobre la calidad se estudia en el tramo siguiente.

Observaciones:

- Continúan los problemas detectados en la caracterización de nitratos (ver Figura 86), con un simulado, en general, por debajo del observado.
- Se observan problemas en la caracterización de fosfatos, sin embargo, no es un problema recurrente en estaciones posteriores, por lo que se trabaja con la posibilidad de que provengan de la aportación de Archena. Es recomendable comprobar que se cumple esta hipótesis.

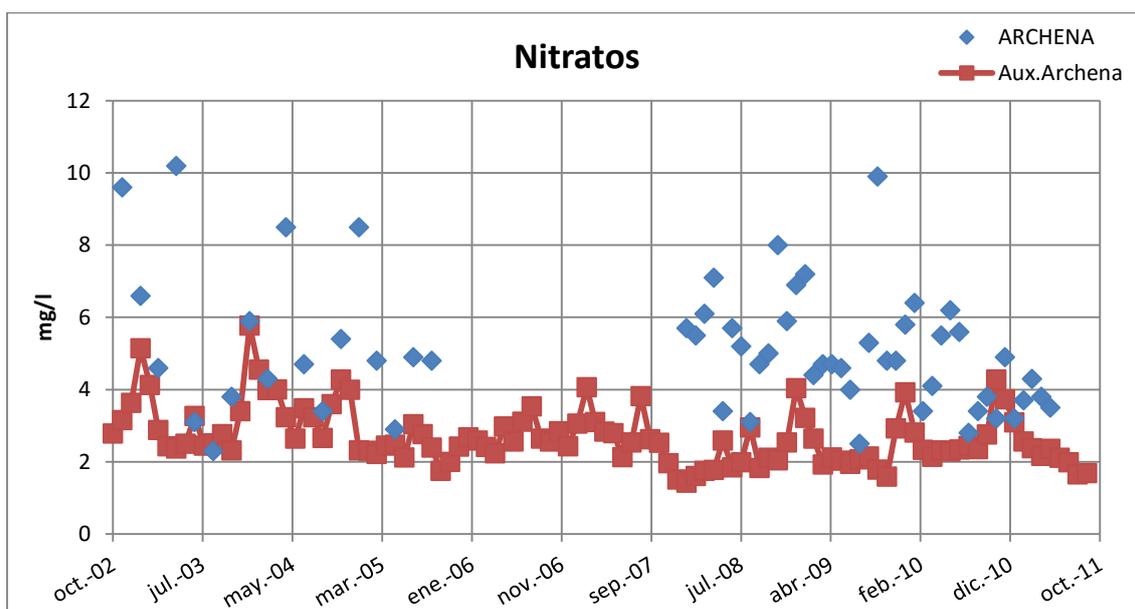


Figura 86. Representación de los valores de nitrato simulado y observado.

ICA LORQUI

Situada tras la entrada de la EDAR Archena, la cual, fue puesta en servicio en el año 2001, mientras en febrero de 2011 se produjo la instalación de un terciario. Existe una zona hidrotermal importante con surgencias de agua de elevado contenido mineral (6000 uS/cm). Por ello, son esperables valores más elevados de conductividad. Pese a ello, una discrepancia en los datos de EDAR Archena, parece bastante probable.

Observaciones:

- Se observan problemas con el ajuste de la conductividad (ver Figura 87), ya que el simulado se sitúa por debajo del observado. La utilización de coeficientes o cargas difusas genera picos de conductividad en los períodos de caudales bajos, por lo que no repercute en una mejora real de la solución.

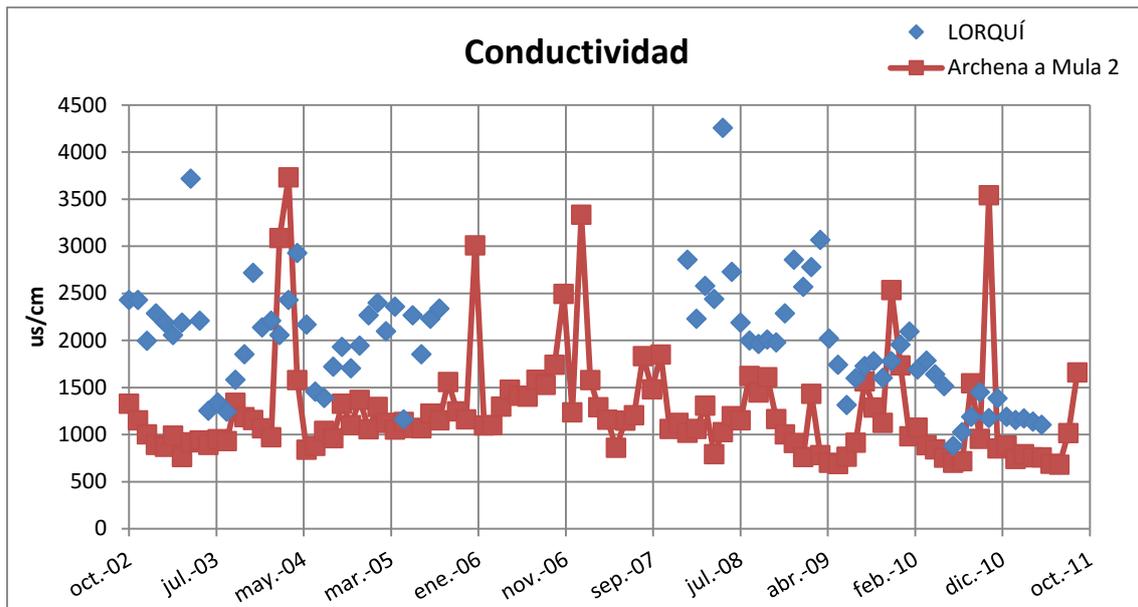


Figura 87. Representación de los valores de conductividad simulada y observada.

ICA CEUTÍ

Situado aguas abajo de la estación de calidad de Lorqui. Puesto que las entradas desde Lorqui-Ceutí y Molina Norte son nulas, debería tener valores similares a los observados en la ICA anterior.

Observaciones:

- Se repiten los problemas de conductividad observados en la estación anterior (ver Figura 88).
- Se observa, claramente, la instalación de la EDAR Lorqui en el año 2006. Los valores observados de DBO5 (ver Figura 89) y amonio (ver Figura 90) de la primera parte de la serie temporal, se reducen enormemente tras pasar el año 2006. Puesto que el ajuste debe caracterizar esta nueva tendencia, el ajuste conseguido se considera bueno.

Las aguas de ambas EDARs comenzaron a reutilizarse no demasiado tiempo atrás, y todavía existen en el observado, datos del efluente generado en aquel momento, provocando una cierta separación en el perfil de DBO del río.

- Se observan problemas en el ajuste de los nitratos, con valores sobreestimados.

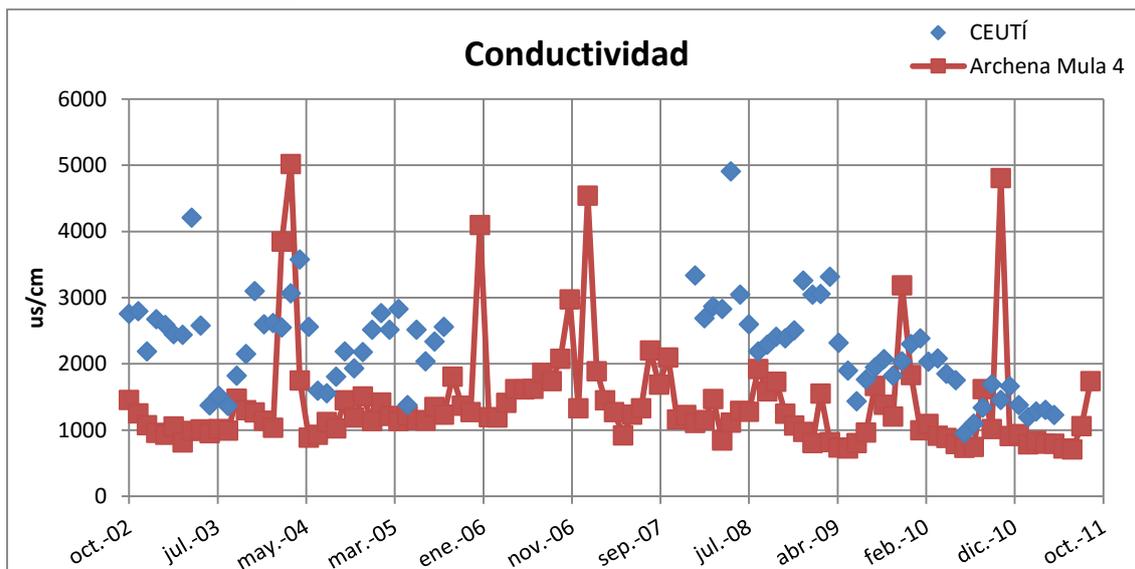


Figura 88. Representación de los valores de conductividad simulada y observada.

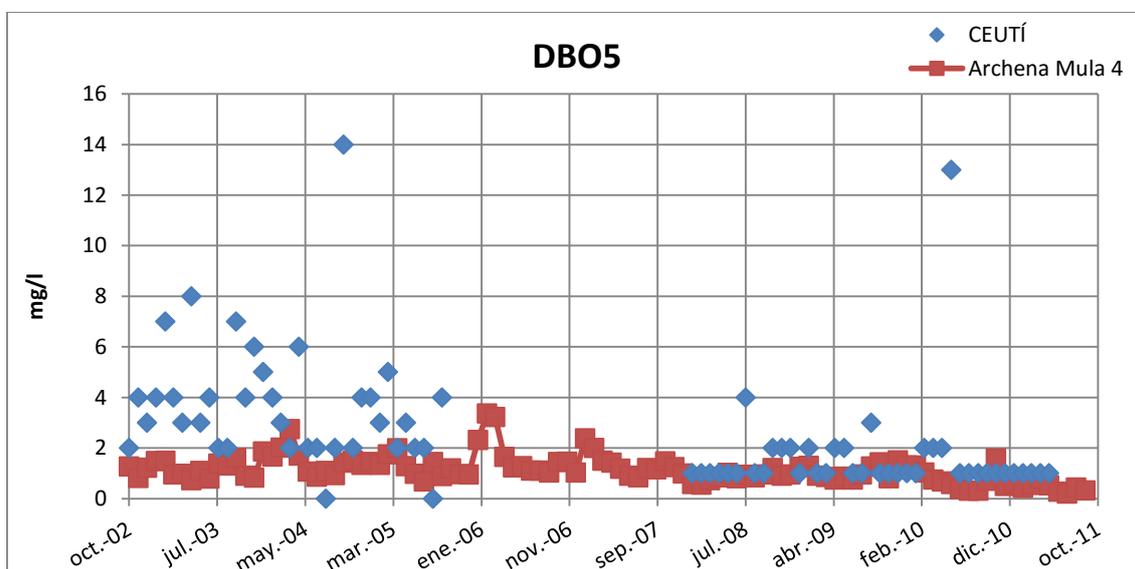


Figura 89. Representación de los valores de DBO5 simulado y observado.

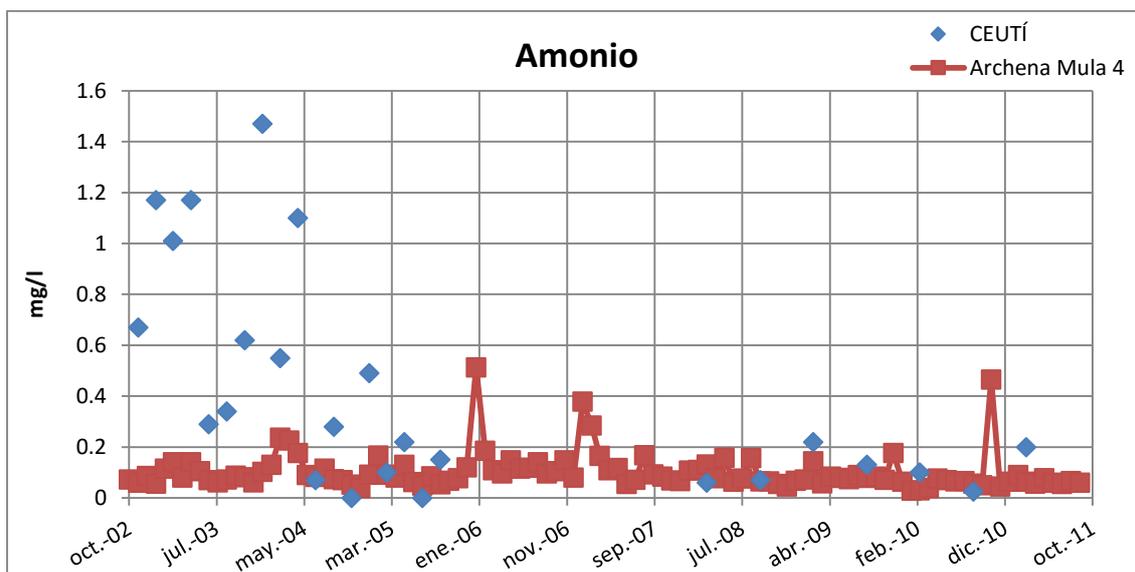


Figura 90. Representación de los valores de amonio simulado y observado.

6.2.5. Tramo 5 (Tramo 4 + Mula)

El tramo 5 comprende el tramo de río entre la confluencia del río Segura con el río Mula y la confluencia del río Segura con el Guadalentín. Aunque no están dentro de este tramo, ejerce de control de los vertidos de las EDARs de Alguazas, Ermita y Altorreal, y la entrada del Mula.

- Longitud: 26km
- Control de calidad: Torres y Molina, Af. Contraparada y Alcantarilla.
- Aportaciones: A. Contraparada.
- Vertidos: Retorno Contraparada y EDAR Torres de Cotillas.

ICA TORRES Y MOLINA

Situada tras la entrada del río Mula, controla la entrada de la EDAR de Alguazas (ya que los caudales aportados por las estaciones de Ermita y Altorreal son nulos) y del río Mula, que supone entre un 3-4% del caudal circulante total por el río.

Observaciones:

- Se observan problemas para la caracterización del OD, con valores simulados siempre por encima del observado (ver Figura 91). Los valores bajos de la parte inicial, corresponden con los valores altos de amonio y DBO.

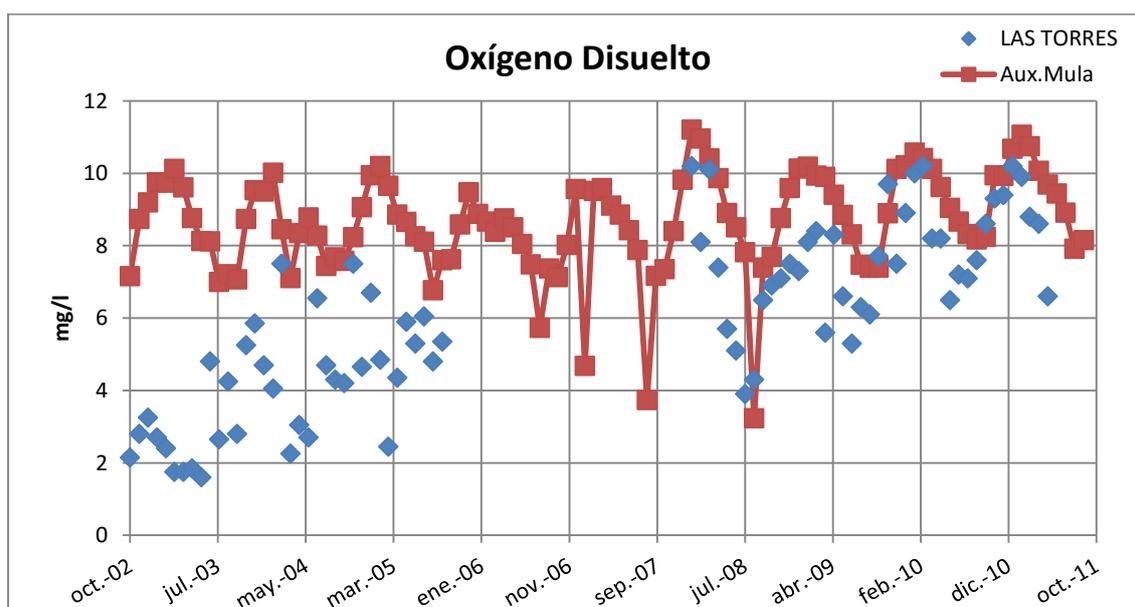


Figura 91. Representación de los valores de oxígeno disuelto simulado y observado.

- Dadas las observaciones de DBO y amonio, se observa la instalación de una o una serie de EDAR, ya que se produce una importante disminución de ambos parámetros, a partir del período 2004-2006 (ya comentado en la última ICA del tramo principal). El último período temporal (2006-2011), está bien simulado por el modelo.
- Se observan algunos problemas para la caracterización de nitratos, infraestimando los datos observados en la segunda mitad de la serie temporal (ver Figura 92).

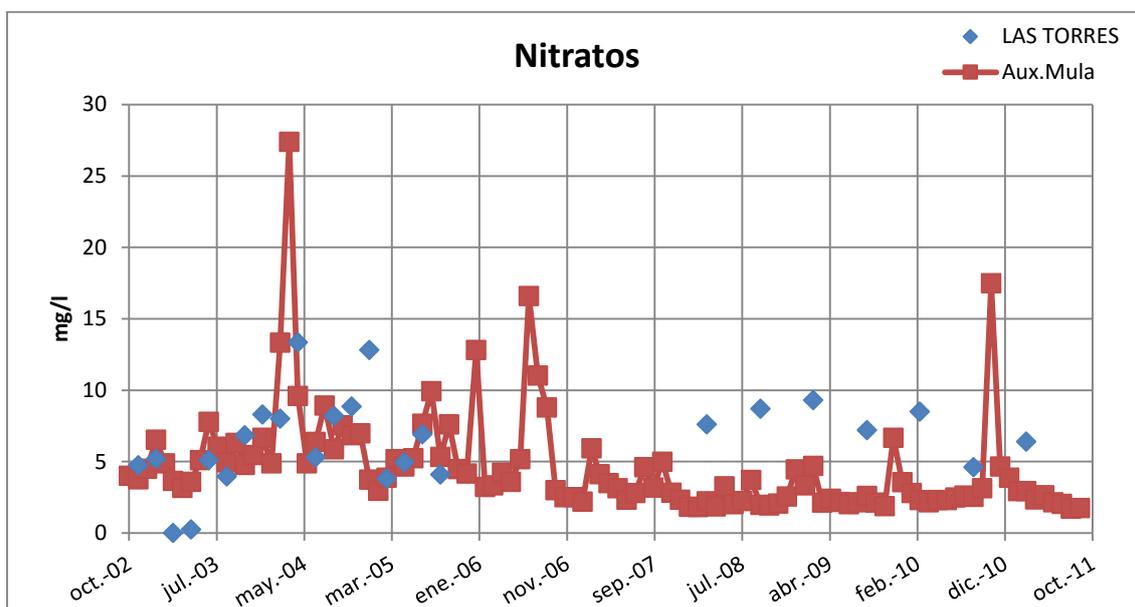


Figura 92. Representación de los valores de nitrato simulado y observado.

ICA AF. CONTRAPARADA

Situada tras la entrada de A. Contraparada y de la EDAR de Torres de Cotillas. Esta EDAR apenas lleva caudales al río, mientras que la entrada de Contraparada supone aproximadamente un 10% del caudal circulante.

Observaciones:

- Se observan problemas importantes en la caracterización de fosfatos (ver Figura 93) y nitratos (ver Figura 94), con ajustes bastante por debajo de los valores simulados. Es posible que haya cierto vertido no considerado respecto a los nitratos al percatar un aumento en el observado de nitratos entre un punto y otro.

- Se observa la misma distribución temporal para los valores de amonio y DBO, comentada en el punto anterior, con problemas en la caracterización, para la primera parte de la serie temporal.

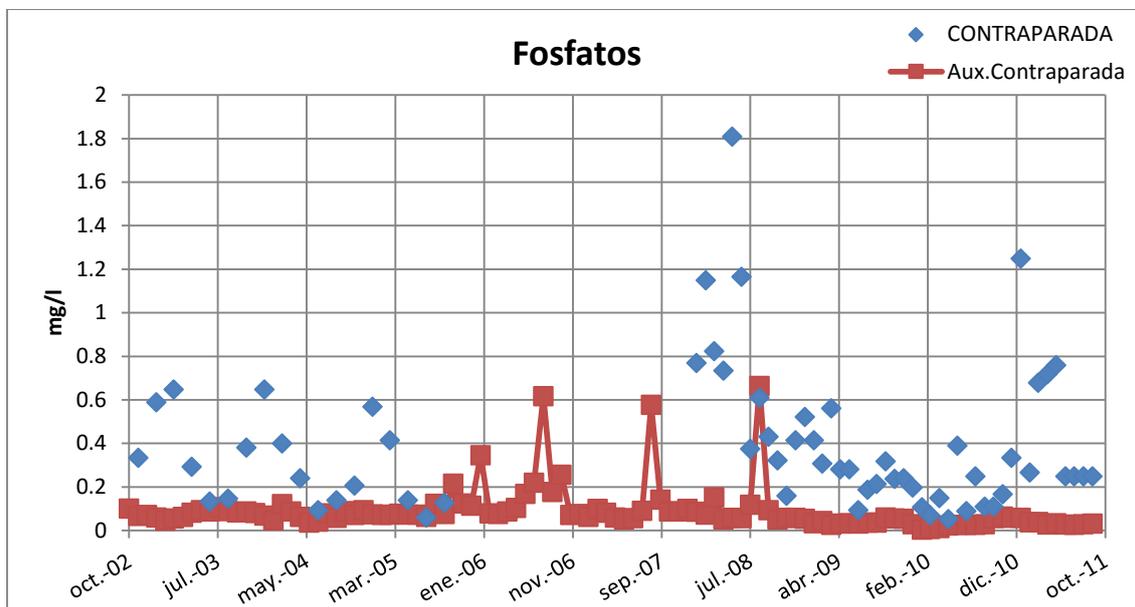


Figura 93. Representación de los valores de fosfato simulado y observado.

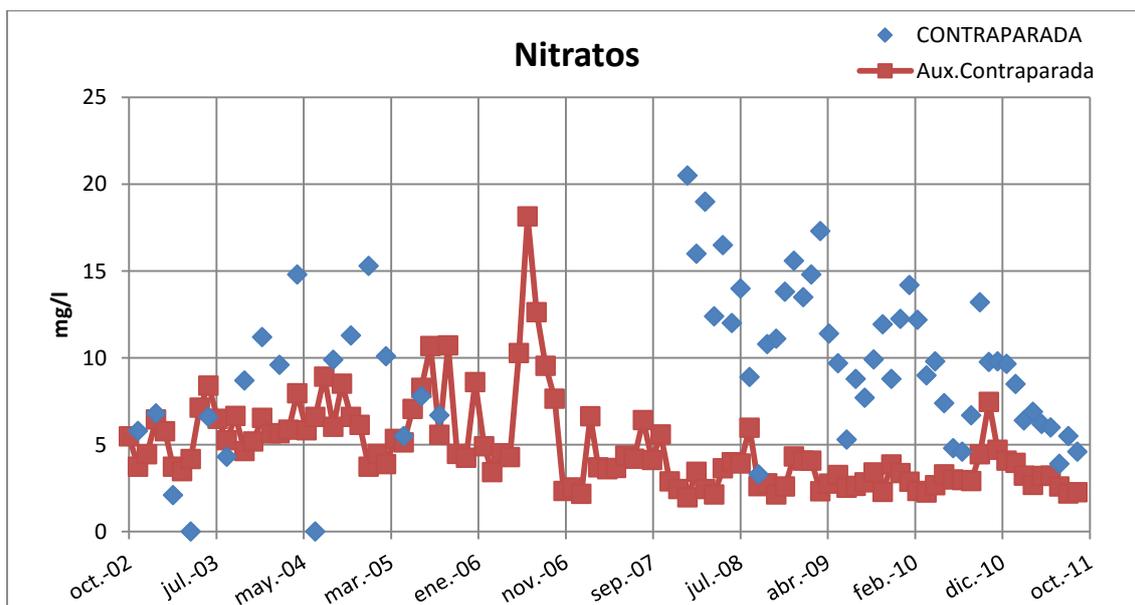


Figura 94. Representación de los valores de nitrato simulado y observado.

ICA ALCANTARILLA

Situada aguas abajo de Contraparada y muy cerca de la confluencia con el río Guadalentín. El caudal circulante se reduce en un 15% respecto al punto anterior debido a la demanda agraria de la Vega Media.

Observaciones:

- Se observan algunos problemas en la caracterización de la conductividad (ver Figura 95).
- Se observan problemas importantes en la caracterización de nitratos con un ajuste bastante mediocre, muy por debajo del observado (ver Figura 96).
- Dados los valores de DBO comparados con la estación anterior, se observan problemas en la caracterización, probablemente asociadas a cargas de DBO importantes en los retornos de riego de la Vega Media (ver Figura 97).

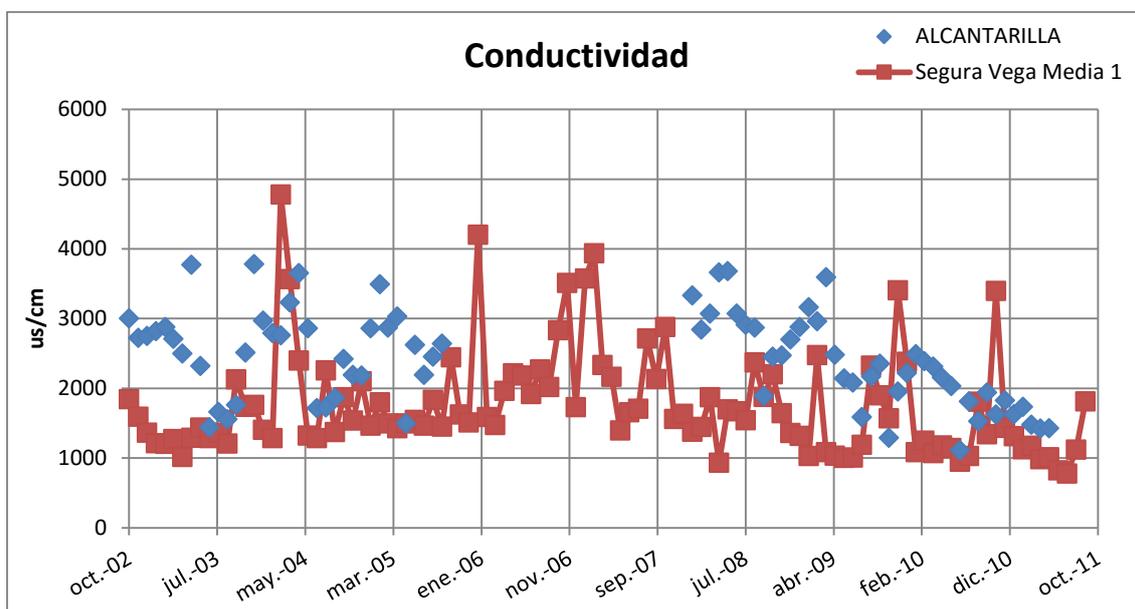


Figura 95. Representación de los valores de conductividad simulada y observada.

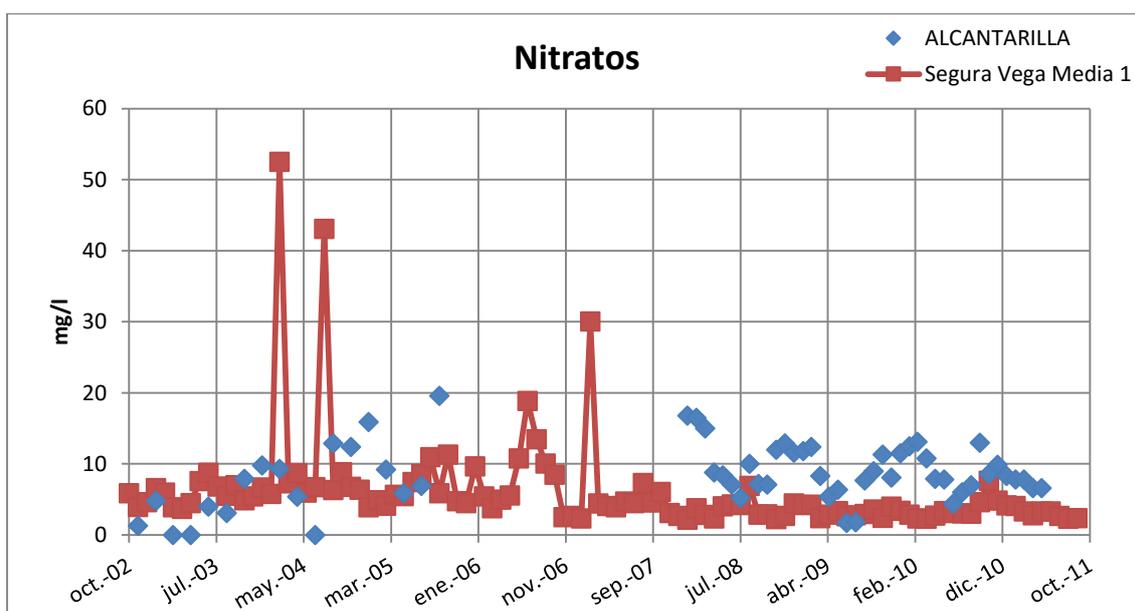


Figura 96. Representación de los valores de nitrato simulado y observado.

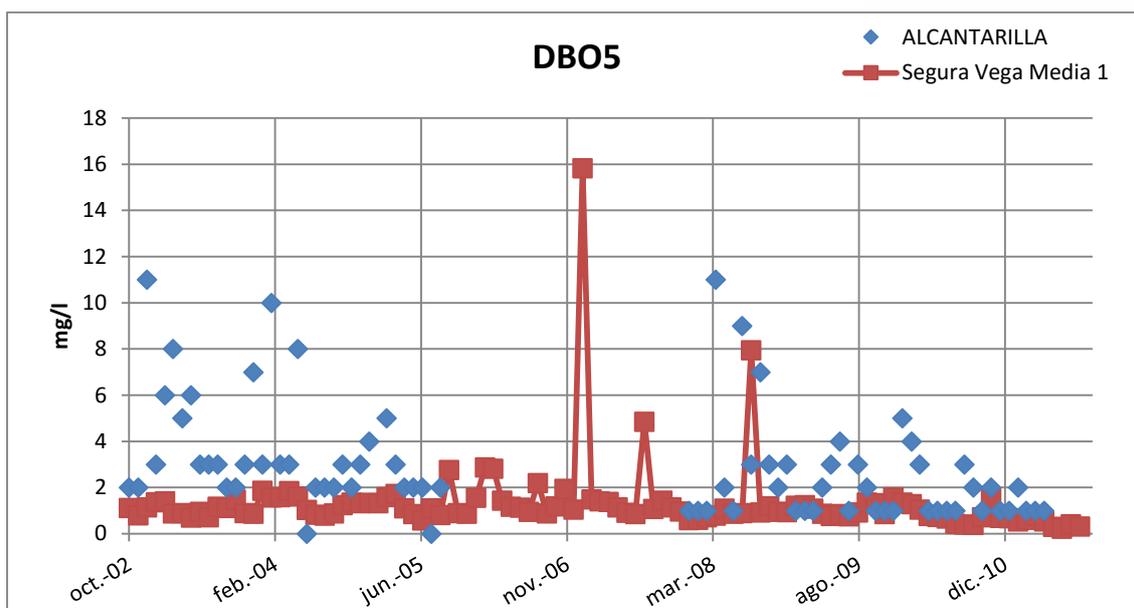


Figura 97. Representación de los valores de DBO5 simulado y observado.

6.2.6. Tramo 6 (Tramo 5 + Guadalentín)

Último tramo comprendido entre la confluencia con el río Guadalentín hasta su desembocadura. El río Guadalentín tiene bastante importancia sobre la calidad del río principal al suponer en promedio un 20% de su caudal total.

- Longitud: 46km
- Control de calidad: Guadalentín, Beniel, Orihuela, Puente Benejúzar y Rojales.
- Aportaciones: Beniel
- Vertidos: EDAR San Antón, EDAR Beniel (nula), EDAR Raal (nula), EDAR Orihuela-R. Bonanza, EDAR Orihuela, EDAR Benejúzar (nula), EDAR Guardamar del Segura (nula), EDAR San Miguel de Salinas (nula) y EDAR Rojales (nula).

ICA GUADALENTÍN

Es la estación de calidad inmediatamente posterior a la confluencia con el Guadalentín. El Guadalentín supone entre un 20% y un 25% del caudal total circulante.

Observaciones:

- Se observan problemas de ajustes con el amonio (ver Figura 98) y fosfatos, debido a picos de ambos parámetros que la simulación no sigue.
- Se observan problemas importantes en la caracterización de nitratos (ver Figura 99), problema que ya se arrastraba desde el último punto del tramo principal.

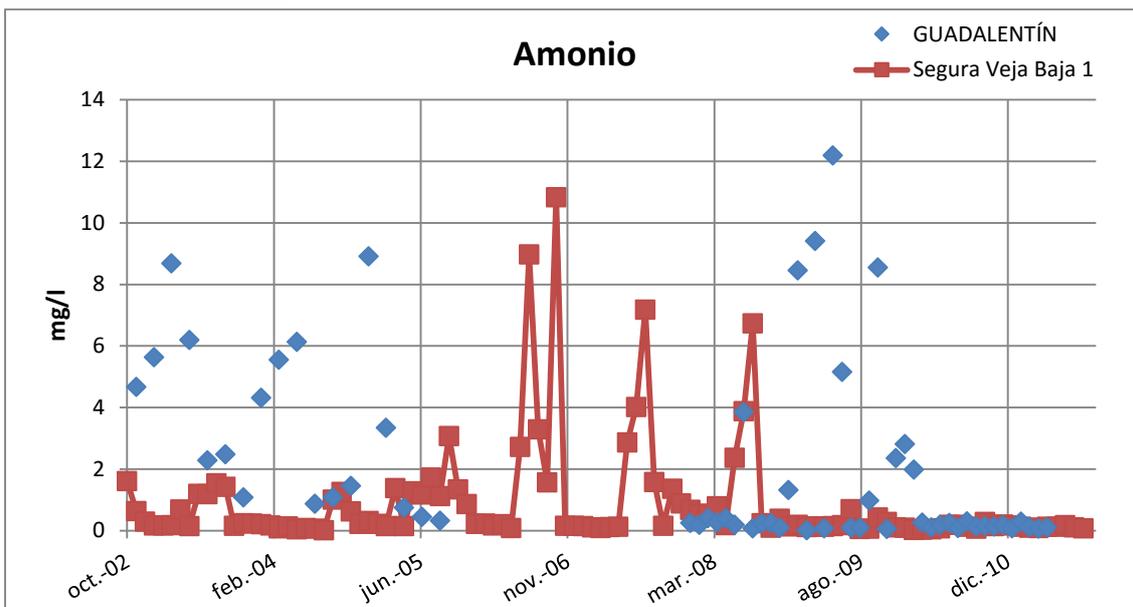


Figura 98. Representación de los valores de amonio simulado y observado.

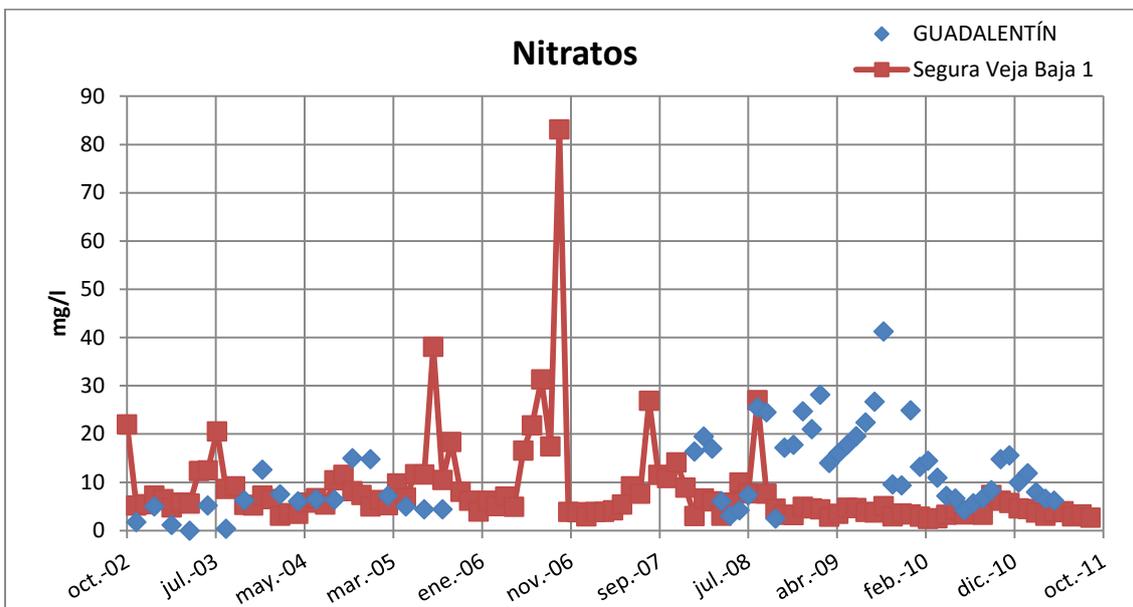


Figura 99. Representación de los valores de nitrato simulado y observado.

ICA BENIEL

Esta estación mide la calidad tras la entrada de Beniel y la EDAR San Antón, que depura las aguas procedentes de la ciudad de Murcia, lo que supone algo más del 10% del caudal circulante.

Observaciones:

- Se observan problemas en la caracterización de amonio (ver Figura 100) y nitratos (ver Figura 101) debido a los vertidos procedentes de Guadalentín y los procedentes de las EDAR de San Antón y Beniel, que dado el análisis de los observados, pueden ser más importantes que los valores introducidos para la modelación.

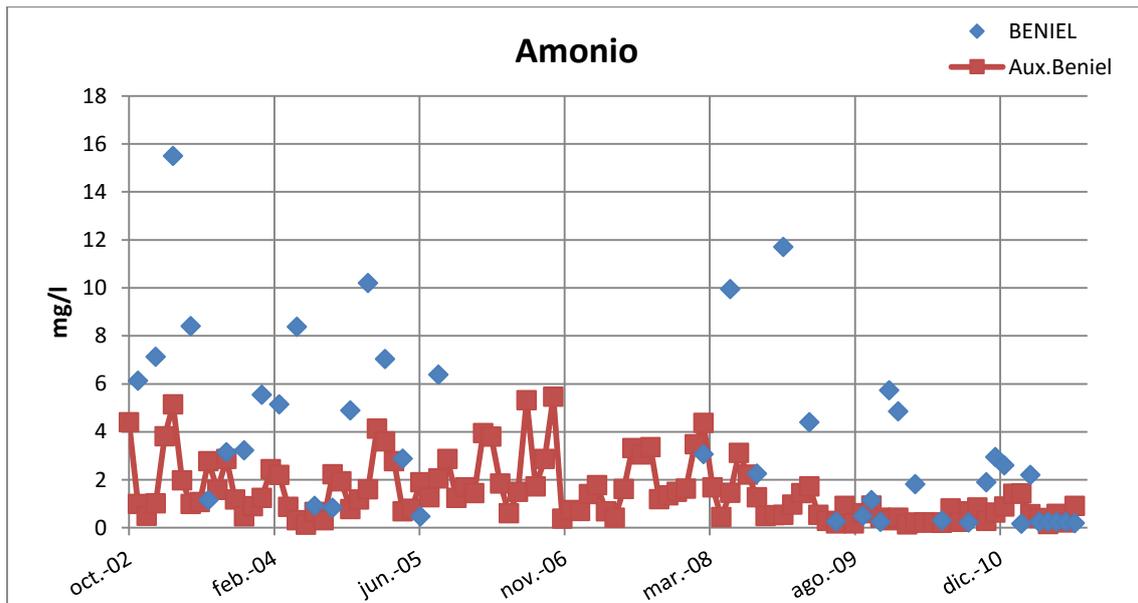


Figura 100. Representación de los valores de amonio simulado y observado.

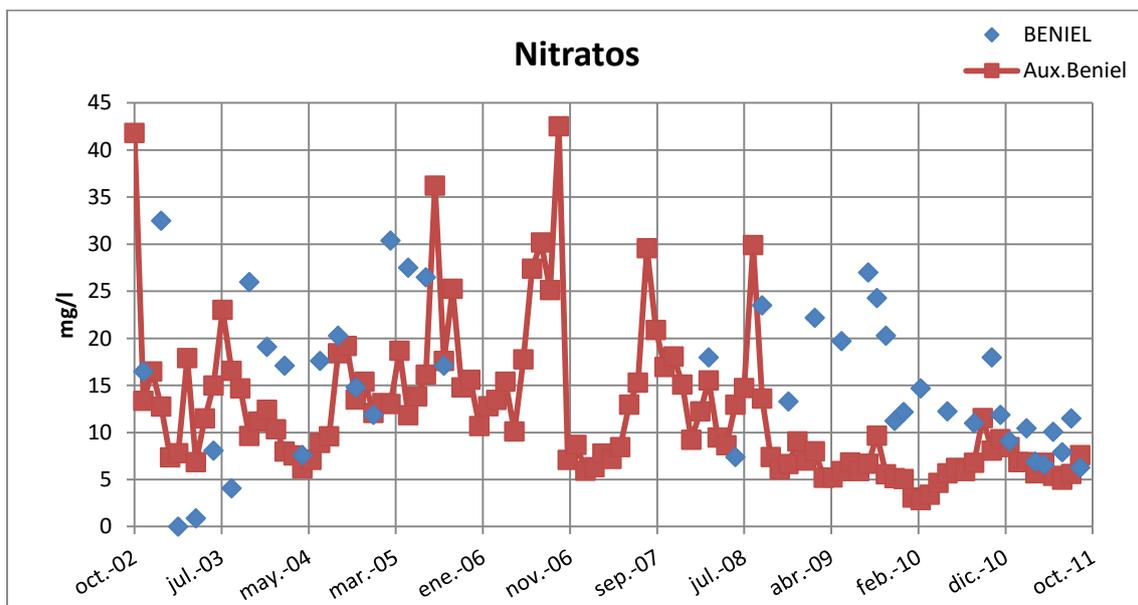


Figura 101. Representación de los valores de nitrato simulado y observado.

ICA ORIHUELA

Es la estación posterior a la entrada de la EDAR Orihuela R. Bonanza, que supone algo menos del 1% del caudal circulante total, por lo que no resulta de gran importancia.

Observaciones:

- Se observan problemas de infraestimación para el amonio (ver Figura 103) y los nitratos con valores observados bastante por encima del simulado (ver Figura 102).

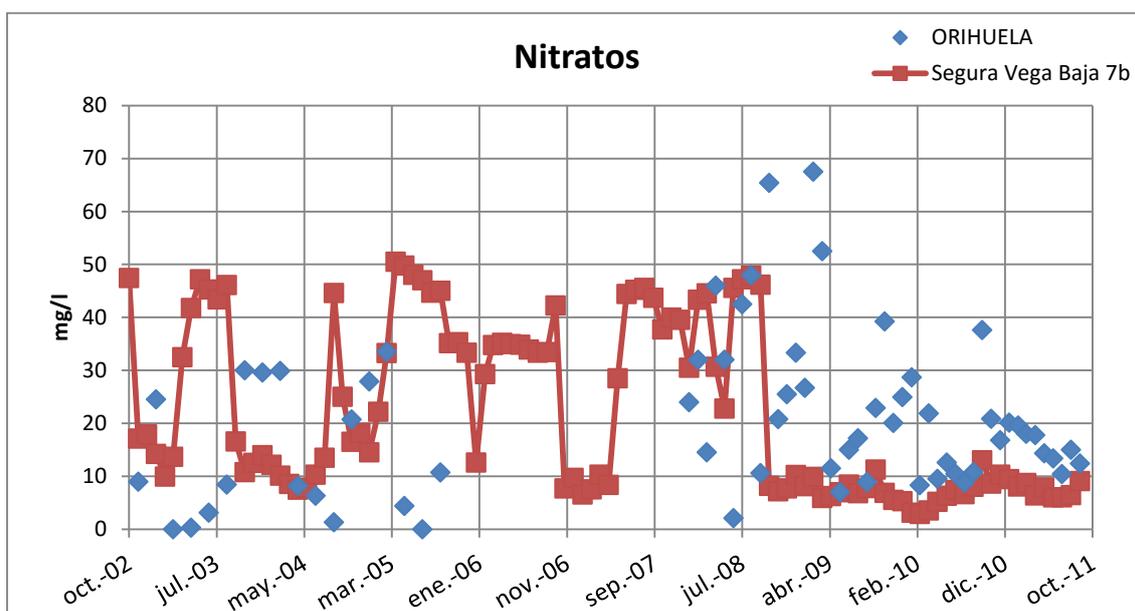


Figura 102. Representación de los valores de nitrato simulado y observado.

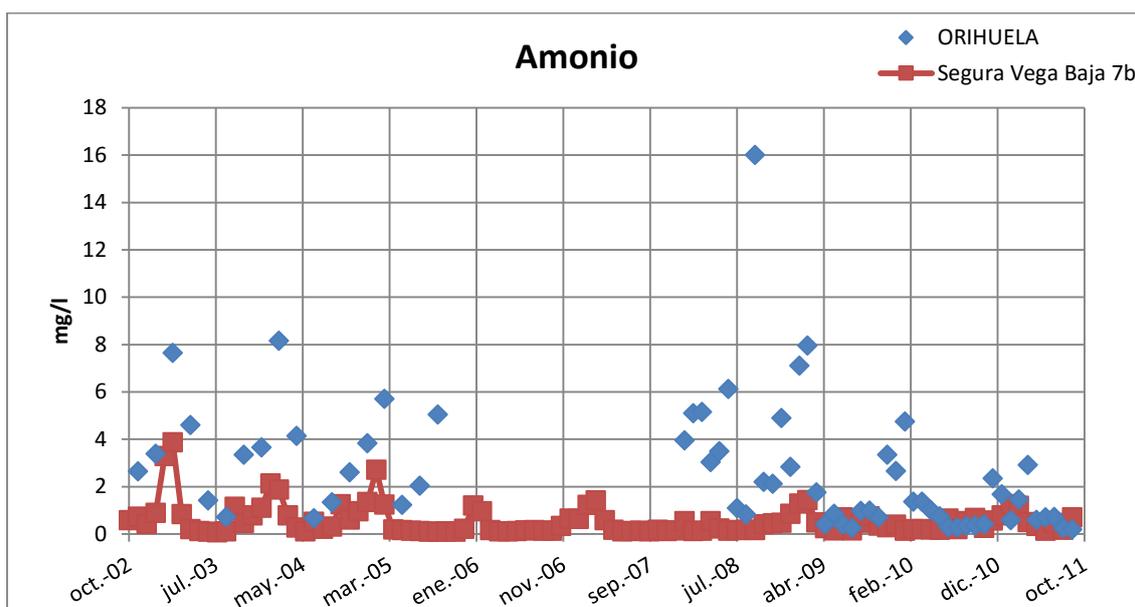


Figura 103. Representación de los valores de amonio simulado y observado.

- Se observan problemas para la estimación de los fosfatos, de menor magnitud que los observados para los nitratos. Es probable la instalación y puesta en marcha de algún tratamiento de eliminación, dada la reducción que se observa en los últimos años de la serie temporal (ver Figura 104).

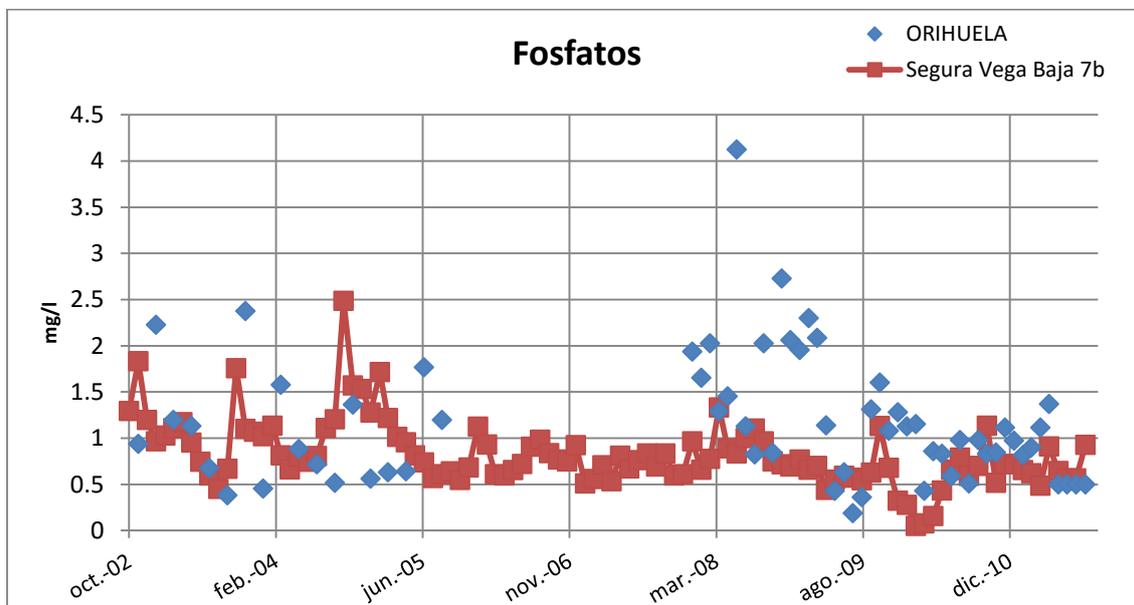


Figura 104. Representación de los valores de fosfato simulado y observado.

ICA PTE. BENEJÚZAR

Estación de calidad posterior a la EDAR de Orihuela, que supone un 2% del caudal circulante total por el río.

Observaciones:

- De nuevo se observan problemas respecto al nitrato (ver Figura 105), en este caso de sobreestimación debido a las importantes entradas de nitratos desde la ICA Orihuela.
- El ajuste en general, carece de tantas observaciones como las estaciones anteriores y posteriores, pero de acuerdo a los datos, la caracterización del resto de constituyentes resulta adecuada, ya que los resultados de los últimos años, detectan que se ha producido una mejora sustancial en la calidad del efluente.

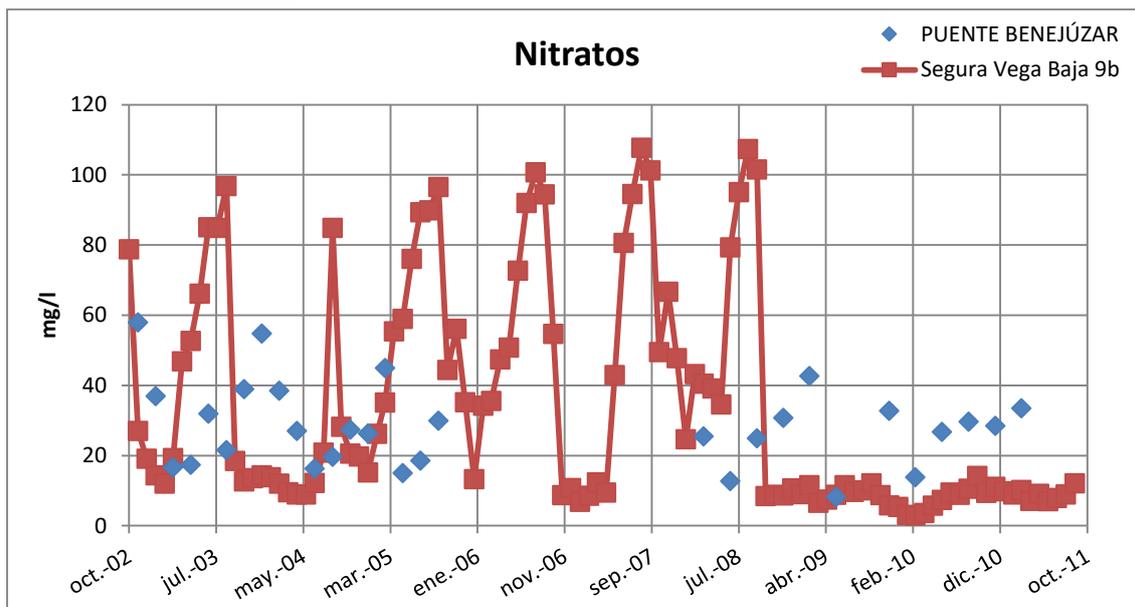


Figura 105. Representación de los valores de nitrato simulado y observado.

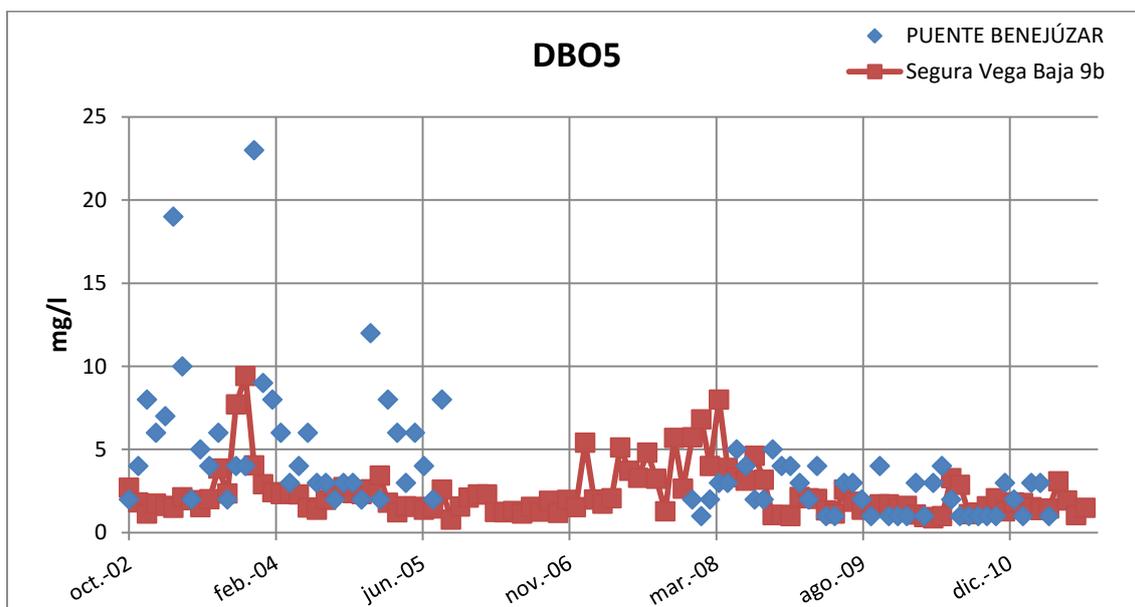


Figura 106. Representación de los valores de DBO5 simulado y observado.

ICA ROJALES

Última estación de calidad del modelo, situada inmediatamente tras la ICA Puente Benejúzar.

Observaciones:

- Se observan problemas de infraestimación en la parte final, arrastrados desde la estación anterior, respecto a los simulados de fosfatos (ver Figura 107) y nitratos (ver Figura 108).

- Se observan graves problemas para la caracterización de la DBO5, asociado a la existencia de vertidos sin considerar, dado la gran diferencia respecto a la ICA anterior. Sería importante descubrir la causa de esta anomalía.

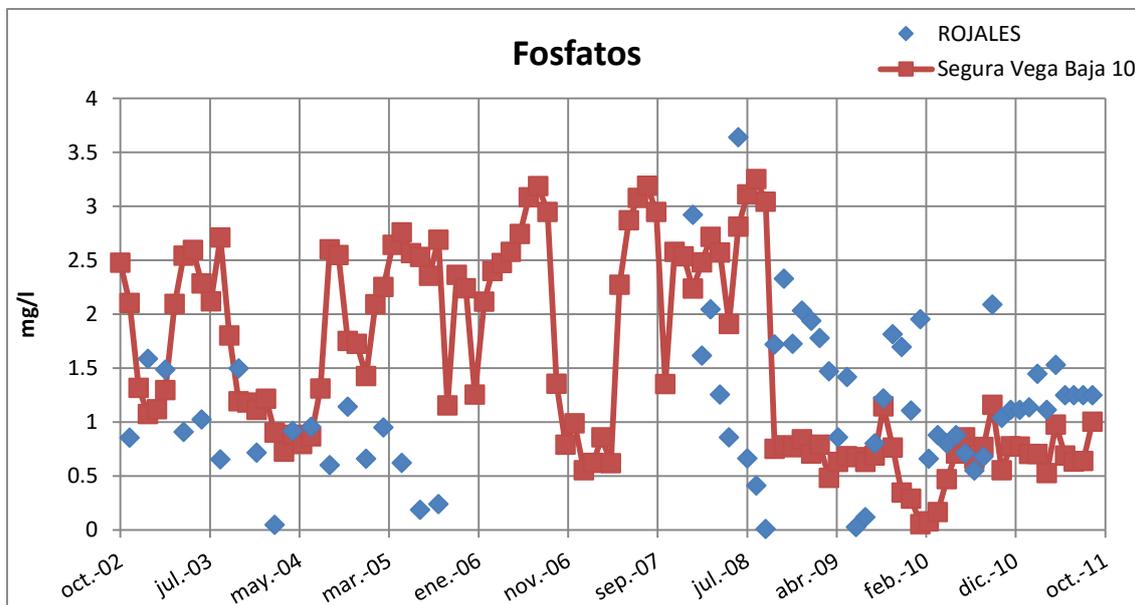


Figura 107. Representación de los valores de fosfato simulado y observado.

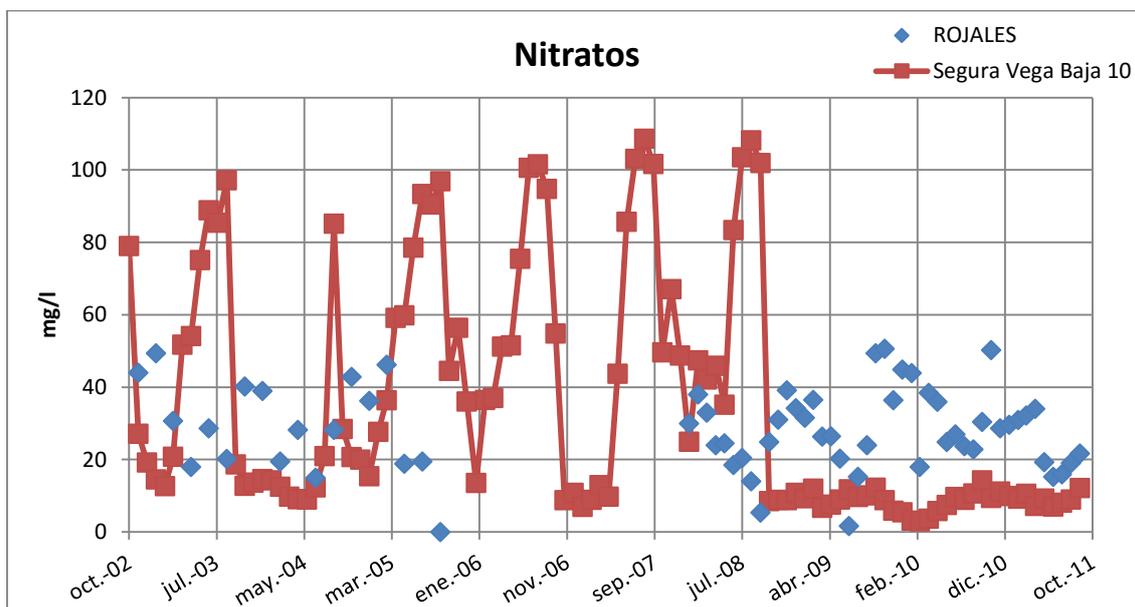


Figura 108. Representación de los valores de nitrato simulado y observado.

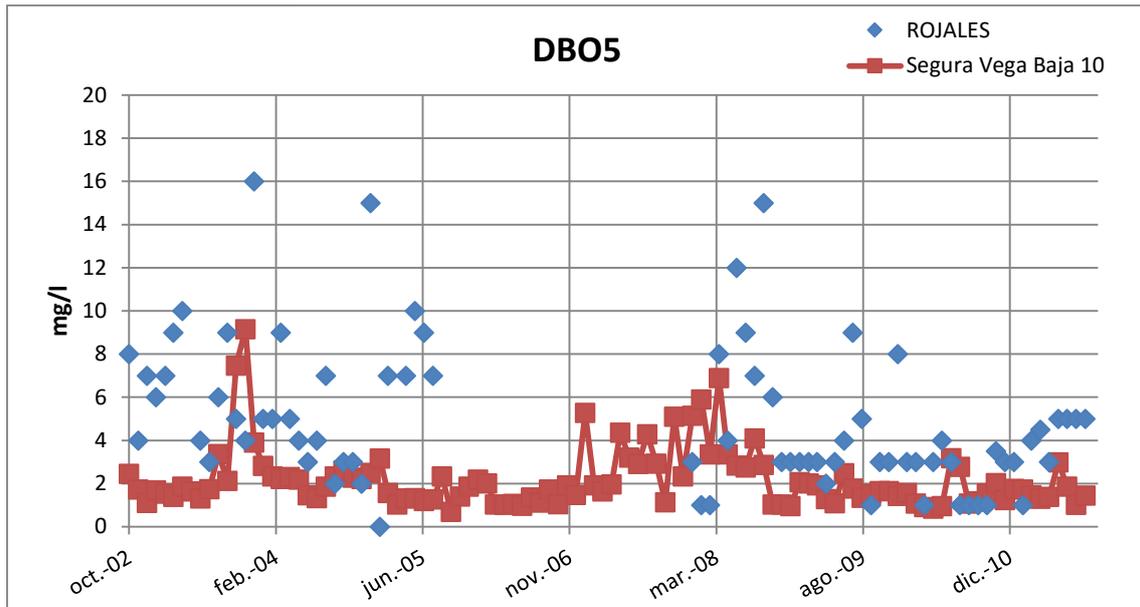


Figura 109. Representación de los valores de DBO5 simulado y observado.

7. PUNTOS CONFLICTIVOS EN EL MODELO

7.1. Datos susceptibles de revisión

- Trasvase Tajo: Los datos aportados de nitratos para la entrada de Trasvase Tajo resultan sospechosos, puesto que se produce una desviación importante con un simulado muy por encima del observado. En la calibración realizada, estos nitratos han sido reducidos a la tercera parte de los valores aportados; obteniendo de este modo un ajuste mucho más preciso. Es aconsejable la revisión de estos datos.
- Argos: Se observan problemas en la caracterización de fosfatos y nitratos en el río. En caso de estar asociados a los retornos de riego, debe fijarse un valor promedio. Del mismo modo, la observación de ICA Argos, parece que podría estar asociada con concentraciones en el afluente, en lugar de en el río principal.
- Quípar: Se observan problemas respecto a los nitratos existentes con valores simulados muy por encima de las observaciones. Este parámetro se ve afectado por los bombeos que se realizan desde los acuíferos de Alto y Bajo Quípar y Caravaca, que poseen concentraciones de nitratos mucho mayores que los fijados en el modelo. Es recomendable el ajuste de los datos del modelo.
- Se observan unas diferencias sustanciales en la calidad del modelo tras el paso por la estación de aforo de Archena y a la altura de las estaciones de calidad de Lorqui y Ceutí. Sería adecuado la revisión in situ, de lo sucedido en este punto para generar tal variación en las observaciones, seguramente por discrepancias en los datos de vertido que se conocen de EDAR Archena y la realidad.
- Para la zona de la Vega Media, se producen diferencias entre el observado y simulado respecto a DBO, fosfatos y amonio. Podría deberse a cargas procedentes de retornos de riego que cubren una superficie bastante importante.
- Fábrica Curtidos: Con los datos de entrada aportados, no es posible alcanzar los valores observados que han sido medidos. Por tanto, es aconsejable revisar todas las entradas, especialmente en lo que concierne a valores de conductividad, fosfatos, DBO y amonio.

- En la última estación de calidad de la cuenca, se observa un vertido sin considerar de DBO, produciendo un pico que no corresponde a ninguna EDAR o industria conocida.
- En general, se observa que muchos datos de entrada relativos a sólidos y conductividad, no están medidos, y se fijan en un valor “promedio”. Esto resulta una fuente de problemas en la calibración, en el caso de la conductividad; y lleva a la imposibilidad de la misma, en el caso de los sólidos.
- En diversas estaciones, para las mediciones de DBO5, se realiza una aproximación a números enteros y desde el año 2005, no se dispone de observaciones por debajo de 1 (se entiende que por la aproximación de la medición observada al entero superior cuando es menor que uno). En estaciones de calidad con valores de DBO5 bajos, resulta una fuente importante de problemas, si bien son valores que no preocupan en cuanto al estado cualitativo.
- Se han detectado unas observaciones anómalas para fosfatos, amonio y DBO5 en muchas observaciones para ciertos períodos de 2011 y 2012. Estas observaciones fijan en 1.25, 0.25 y 5, respectivamente, siendo estos valores, unos límites en la medición de la calidad del agua, fijados cuando las observaciones están por debajo del mismo. Sin embargo, en estaciones de calidad con valores bajos de estos parámetros resultan una gran fuente de problemas, al desviar los promedios calculados, de forma apreciable. Es muy recomendable, la obtención del valor observado preciso. En el modelo, se han retirado estas observaciones cuando resultaban muy alejadas del resto de observaciones en la estación estudiada.
- Se observa un problema general con el parámetro oxígeno disuelto, para los años 2008 y 2009, que parece estar asociada a los meses estivales de caudales bajos del río. Para su corrección, es necesario hacer una revisión de las curvas de temperaturas empleada para el modelo.

7.2. Zonas susceptibles de contar con una estación de calidad

- Previo a la instalación de ninguna nueva estación de calidad, revisando las existentes se observan problemas en las observaciones de la denominada ICA Camping, siendo esta estación de calidad, la única situada en el río Moratalla. Esta estación debería estar plenamente funcional, puesto que de ella depende el control de calidad de este afluente.
- Del mismo modo, se observan problemas con las observaciones de las estaciones de calidad de Juntas y Santuario, y El Arenal. Respecto a Puente Carretera de Mula, a falta de información adicional, puede tratarse de una estación reciente, y de aquí proviene la falta de observaciones en la misma.
- Río Argos: Es aconsejable la instalación de una estación de calidad en la parte superior del río, de forma que se pueda controlar mejor, el problema de nitratos observado, y enfocar el problema.
- Río Quípar: La carga importante de conductividad en este río, así como el problema de los nitratos observado, son la principal razón para aconsejar la instalación de una estación de calidad en la parte inicial del río. De este modo, además se puede aislar la zona de Minas Gilico, para permitir conocer el aporte de conductividad que realiza sobre el río, la laguna generada en la zona de la antigua mina.
- Río Mula: Pese a contar con tres estaciones de calidad, la calibración solo puede realizarse con una de ellas, y las observaciones asociadas a la misma son escasas. Es necesario unas observaciones mucho más continuadas (al menos, mensuales) para contribuir a la mejora de la calibración de este río.

7.3. Aportaciones susceptibles de contar con una estación de calidad

- Trasvase Tajo: Ya mencionado anteriormente, se observa una gran diferencia entre los nitratos aportados, y los observados en la estación inmediatamente posterior.
- Fábrica de curtidos: Es imprescindible conocer cuantitativamente y cualitativamente, estos vertidos, puesto que su influencia sobre el río Guadalentín es total.

8. SIMULACIONES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

8.1. Análisis de calidad en los tramos

Suponiendo recursos económicos ilimitados, se va a proponer una idea de instalación de estaciones depuradoras o tratamientos secundarios/terciarios de forma que mejore la calidad general del río, y se cumplan los criterios de calidad establecidos para el río, de acuerdo con el Plan Hidrológico del Segura en su artículo 4.7.4. Objetivos de calidad (ver Tabla 24).

Dicho artículo fija unas limitaciones en la cantidad de contaminante, en función de los tramos de río de acuerdo a la siguiente clasificación:

- Grupo de calidad primero: Todos los cauces de las subcuencas de los ríos Segura y Mundo, hasta el punto de su confluencia.
- Grupo de calidad segundo: Río Segura, en el tramo comprendido entre su confluencia con el Río Mundo y su confluencia con el río Guadalentín, y todos los cauces afluentes a este tramo, así como la cabecera del río Guadalentín, hasta Lorca.
- Grupo de calidad tercero: Todos los demás cauces, no comprendidos en alguno de los dos grupos anteriores.

CARACTERÍSTICAS	GRUPO DE CALIDAD		
	PRIMERO	SEGUNDO	TERCERO
Sólidos en suspensión (mg/l)	< 30	< 70	< 120
DBO5 (mg/l)	< 15	< 30	< 60
Conductividad (µs/cm, a 20°C)	< 500	< 750	< 1000
Oxígeno disuelto (mg/l)	> 5	> 3	> 1
Amoníaco (mg/l de N)	< 0,39	< 0.78	< 0.78
Nitratos (mg/l de N)	< 22.58	< 45.16	< 67.74
Fósforo total (mg/l de P2 O5)	< 5	< 10	< 20

Tabla 24. Objetivos de calidad para los distintos cauces de la cuenca del Segura, separados por grupos de calidad (PHS, 1998).

*Los valores de amoníaco y nitratos han sido convertidos a mg/l de N, de acuerdo a su conversión estequiométrica.

Estos objetivos tratan de fijar un marco exigente en el marco del estado cualitativo del río, de forma que contribuya a la mejora de las aguas del mismo para un medio/largo plazo, si bien, el plan hidrológico está redactado en el año 1998 y se observan datos en el período hasta 2011 con unas características peores que las indicadas.

Subjetivamente, un estado de DBO < 30 mg/l o nitratos < 100 mg/l de NO₃⁻ no son objetivos de difícil cumplimiento, por lo que estos valores podrían ajustarse a una exigencia mucho mayor.

Un ejemplo de ello, es la Instrucción de Planificación Hidrológica de 2008 donde se fijan los siguientes valores como umbrales máximos para establecer el límite del buen estado de algunos indicadores fisicoquímicos de los ríos:

Constituyentes	Valores objetivo
DBO5 (mg/l)	< 6
Oxígeno disuelto (mg/l)	> 5
Amoníaco (mg/l de N)	< 0.875
Nitratos (mg/l de N)	< 5.65
Fósforo total (mg/l de P ₂ O ₅)	< 0.4

Tabla 25. Umbrales máximos para establecer el límite del buen estado de algunos indicadores fisicoquímicos de los ríos (IPH, 2008)

En cualquier caso, la propuesta de depuración, va a seguir la línea de fijar los objetivos de calidad en los márgenes establecidos por la planificación vigente, y tomará los umbrales fijados por la Instrucción, sobretodo, para las concentraciones de nitratos, dado que limitan de forma importante los valores del plan.

GRUPO DE CALIDAD PRIMERO

Alto Mundo:

- ICA Lietor
- ICA C.Hellín
- ICA Af. Talave
- ICA Azaraque
- ICA Af. Camarillas

Alto Segura:

- ICA Fuensanta
- ICA Taibilla
- ICA Gallego
- ICA Cenajo
- ICA Minas

Comprende los ríos Segura y Mundo hasta su confluencia, por lo que se analizarán los datos observados en las siguientes estaciones:

Alto Mundo

Para el estudio de los objetivos de depuración, va a recurrirse a los perfiles de calidad propuestos en el apartado del mismo nombre. Observando la Figura 65, se contempla una media de conductividad que aumenta conforme se avanza en el río desde un valor de 550 $\mu\text{s/cm}$ hasta los 800 $\mu\text{s/cm}$ en Camarillas.

Hay que destacar que se produce un afloramiento en la conductividad tras la ICA Azaraque, de difícil solución y que se observa que en la misma cabecera valores por encima de las exigencias fijadas por el Plan. Por estos motivos, no resulta conveniente actuar sobre un cauce con muy poca afección antrópica, y parece razonable pensar en una reducción en los límites fijados por la planificación.

Para la DBO se observan unos valores promedio en el entorno de 2 mg/l , por lo que se encuentra muy alejado de los límites fijados, al igual que para los fosfatos con valores máximos de 0.2 mg/l y valores objetivo menores a los fijados por ambas normativas.

En cuanto al OD, no se observa ningún problema, con valores cercanos a 9 mg/l ni en cuanto a los componentes nitrogenados como el amonio y el nitrato, con valores lejanos de los límites marcados por la planificación.

Es adecuado considerar que el Alto Mundo no necesita de una depuración extra, y que sus aguas se encuentran en buen estado cualitativo, según la definición de la instrucción.

Alto Segura

En la Figura 67 se pueden observar los perfiles de calidad asociados al Alto Segura y los diferentes constituyentes aquí estudiados.

En cuanto a conductividad, los valores observados se mantienen en el entorno de los 400 $\mu\text{s/cm}$, aumentando de forma clara un aumento de algo más de 100 $\mu\text{s/cm}$, en la parte más cercana a la confluencia con el mundo asociada al paso por una zona de antiguas minas de azufre. El aumento aunque considerable, no repercute en un empeoramiento acusado de la calidad del río (se observan valores mayores en el Alto Mundo) por lo que no responden a la necesidad de una depuración.

Del mismo modo, se observan valores de DBO entre 1 y 2 mg/l muy por debajo del valor objetivo de 15 mg/l, que marca el PHS, al igual que en los fosfatos con valores máximos de 0.3 mg/l.

En cuanto a oxígeno disuelto, los valores superan los 9 mg/l en todo el tramo, y en lo relativo a compuestos nitrogenados, se cumple la planificación con valores muy bajos, por debajo de 0.1 mg/l en el amonio y por debajo de 2 mg/l para el nitrato.

Del análisis, se extrae que no es necesaria una depuración extra en las estaciones depuradoras de este tramo, dado que se trata de masas en buen estado cualitativo.

GRUPO DE CALIDAD SEGUNDO

Contiene al río Segura hasta su confluencia con el Guadalentín, junto con todos sus afluentes a este tramo, así como el río Guadalentín hasta su paso por la localidad de Lorca, incluyendo las siguientes estaciones:

Segura:

- ICA Juntas + ICA Santuario
- ICA Playas + El Soto
- ICA Argos
- ICA Almadenes
- ICA Puente Ctra. Mula
- ICA Af. Cieza
- ICA Ab. Abarán
- ICA Af. Abarán
- ICA Arenal
- ICA Azud Ojós
- ICA Ulea Sifón
- ICA Af. Archena
- ICA Lorquí
- ICA Ceutí
- ICA Torres y Molina
- ICA Af. Contraparada
- ICA Alcantarilla

Quípar:

- ICA Af. Embalse Alfonso XIII

Moratalla:

- ICA Camping

Mula:

- ICA Mula

Argos:

- ICA Calasparra

Guadalentín:

- ICA Af. Puentes

Moratalla

Como se ha indicado a lo largo del modelo, las pocas observaciones existentes no permiten discernir el estado cualitativo de este afluente (ver Anejo I: Calidad). Los datos existentes (solo para conductividad y oxígeno disuelto) presentan buenos valores de calidad.

No es posible proponer la instalación de una EDAR sin conocer más datos sobre la misma, por lo que como se ha descrito a lo largo del proyecto, sería conveniente la instalación de una estación de calidad.

Argos

Cabe destacar antes del análisis de los datos, la instalación de la EDAR de Calasparra, con tratamiento para reducción de fósforo, en abril de 2006, por lo que el análisis de los datos observados, va a tenerse en consideración a partir de esta fecha.

Los pares de datos observados-simulados, pueden observarse en el Anejo I: Calidad.

Respecto a la conductividad se observan valores en el rango de los 3000 $\mu\text{s}/\text{cm}$, muy por encima de los valores fijados por la planificación. Dado que la aportación natural, ya fija la conductividad por encima de los 4000 $\mu\text{s}/\text{cm}$, no es realista recomendar una depuración total del agua del río para reducir este valor.

Los fosfatos desde la instalación de la estación se han visto reducidos enormemente, por lo que presentan una buena caracterización. Seguramente, debido a un tratamiento de precipitación.

Mismos comportamientos se aprecian con el oxígeno disuelto y la materia orgánica (medida en DBO), que ha pasado de picos por encima de 50 y momentos de anoxia, a valores casi nulos de DBO y puntas negativas de OD en el entorno de los 5 mg/l.

En cuanto a los compuestos nitrogenados, se observan valores elevados de nitrato, probablemente asociados a la utilización de aguas subterráneas y retornos de riego, mientras que los valores de amonio desde la instalación del terciario se han visto reducidos por debajo de 1 mg/l de N, aproximadamente dentro de lo previsto por la planificación.

Aunque son menores que los valores exigidos en la planificación, una carga de nitratos de 25 mg/l de N en media, resulta considerable como para considerar la necesidad de depuración de la misma, como marca, por ejemplo, la IPH 2008. Debe realizarse un tratamiento de depuración, bien sobre los retornos, bien sobre los vertidos de las estaciones depuradoras.

Quípar

Observando los datos del Anejo I, para la ICA del Embalse de Alfonso XIII, se observan valores de conductividad muy elevados, debido a la existencia de la mina María, situada en la localidad de Gilico.

Dada la próxima apertura de estas instalaciones mineras, sería recomendable un desvío del río que evitara el paso del por las mismas, y que los vertidos propios de la actividad minera pasaran por procesos de depuración, prestando una especial atención en la sedimentación de metales y eliminación de iones del agua.

Se observan valores por debajo del objetivo para fosfatos (< 1 mg/l) y para DBO (<3 mg/l), por lo que no se consideran valores elevados para la planificación y están dentro de los límites propuestos.

Para el oxígeno disuelto, los valores observados más bajos se sitúan en los 4 mg/l, por encima del valor objetivo de 3 mg/l en este grupo de calidad (aunque ligeramente por debajo de la Instrucción), y del mismo modo, los valores de amonio y nitratos se encuentran lo suficientemente alejados de los valores objetivo propuestos por la planificación.

Por ello, no se observa la necesidad de proponer una depuración para este tramo.

Mula

Los valores de conductividad de acuerdo a los datos observados en el Anejo I, son elevados (del orden de los 6000-7000 $\mu\text{s}/\text{cm}$, pero vienen en su mayor parte, dados por la aportación natural, por lo que plantear una depuración no resulta realista.

Los valores de fosfatos se encuentran por debajo de 1 mg/l por lo que resultan adecuados de acuerdo a la planificación, al igual que el OD por encima de 4 mg/l en todo momento, salvo un valle en 2008 donde cae a los 2 mg/l, asociado a una reducción de caudal muy acusada.

Respecto a la DBO, dentro de una serie con valores máximos de 5 mg/l, se producen un par de picos por encima de los 20-30 mg/l. Dado que no hay una periodicidad y parece un hecho aislado, no es considerable la necesidad de una depuración adicional. Por otro lado, sería interesante conocer si este valor se asocia a un fenómeno de carácter torrencial o bien a un vertido sin depurar por parte de alguna empresa de la zona.

Por último, en los compuestos nitrogenados aparecen los mayores problemas. Con promedios de 0.5 mg/l de N, en el caso del amonio, y 10 mg/l con picos de hasta 30 mg/l para el nitrato, sería adecuado la instalación de un proceso de eliminación de N.

Pese a ello, estos valores entrarían dentro del objetivo fijado por la planificación, aunque se encuentran lejos de resultar recomendables, de acuerdo, por ejemplo, a la normativa de vertidos desde EDAR a zonas sensibles, que fijan 15 mg/l de N total como calidad del efluente o la Instrucción de Planificación Hidrológica que fija los vertidos por debajo de 5.65 mg/l de N.

Guadalentín (hasta Lorca)

En el grupo de calidad segundo entra el tramo comprendido por el río Guadalentín hasta la localidad de Lorca, por lo tanto la propuesta de depuración se estudiará tan solo con los datos observados hasta la estación de calidad posterior al embalse de Puentes (ver Anejo I. Calidad).

En lo relativo a la conductividad, se observan valores medios de 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dados por las propias aportaciones naturales de Puentes y Valdeinfierno, por lo que, no se considera una necesidad de depuración, pese a sobrepasar los criterios fijados.

Respecto a fosfatos, la situación es de unas aguas cuyas concentraciones mínimas, cumpliendo con solvencia los límites fijados. Respecto al oxígeno disuelto se observan valores mínimos para los meses estivales de 4 mg/l, superiores a los 3 mg/l estipulados por la planificación, por lo que resulta adecuado al grupo de calidad descrito.

En cuanto a los valores de DBO, si bien son un poco altos (entre 2-3 mg/l) resultan adecuados para cumplir con la normativa.

Por último, los valores de amonio son bajos y de poca relevancia, puesto que se mantienen por debajo de 0.5 mg/l de N, e igualmente con los de nitratos, con medias de 1-2 mg/l de N.

Segura

Dado que el análisis de un tramo tan extenso resulta complicado estación a estación, se utilizarán los perfiles que conforman el grupo de figuras desde la Figura 59 hasta la Figura 64.

Para la conductividad (ver Figura 59), se produce un aumento desde los 750 hasta los 2000 $\mu\text{s/cm}$, produciéndose un considerable aumento en la ICA Lorquí, asociado a fenómenos hidrotermales y posiblemente, discrepancias entre los datos de vertidos y los vertidos reales, como se ha indicado anteriormente.

Aunque por encima de los valores objetivos, dado que no va asociado a vertidos puntuales, estos niveles no resultan razón suficiente como para aconsejar la instalación de algún tipo de tratamiento.

Los datos de DBO observados (ver Figura 60) se encuentran en todos los casos por debajo de los 2.5 mg/l, cumpliendo con ello los valores objetivos fijados para el grupo de calidad segundo. Además, la tendencia, dada la instalación en los últimos años de estas depuradoras, ha sido hacia la reducción de la cantidad de DBO en el efluente, por lo que no se considerará necesaria una depuración adicional.

Respecto a los fosfatos (ver Figura 61) se mantienen por debajo de los valores de 0.4 mg/l, resultando un buen indicio de que no hay problemas con dicho contaminante en esta zona de estudio y cumple los requerimientos dados por la planificación hidrológica.

En cuanto a los valores de OD (ver Figura 62) se sitúan por encima de los 6 mg/l en todo el tramo, por lo que tampoco repercuten en la calidad ni en la necesidad de depuración.

En lo referido a los compuestos nitrogenados, amonio y nitrato, los valores del primero se encuentran en el entorno de 0.25 mg/l de N, por lo que de acuerdo a la planificación, resultan adecuados (ver Figura 63).

Para los valores de nitratos, su concentración alcanza los 10 mg/l en su punto pésimo por lo que de acuerdo a las limitaciones de contaminante establecidas, se encuentran en unos valores moderados, si bien, la IPH considera que se incumple el buen estado de las masas de agua (ver Figura 64).

GRUPO DE CALIDAD TERCERO

Todos los demás cauces, no comprendidos en alguno de los dos grupos anteriores, que quedan simplificados al cauce del Guadalentín tras el paso por Lorca y el Segura tras su confluencia con el río Guadalentín, incluyendo de este modo las siguientes estaciones.

Segura:

- ICA Guadalentín
- ICA Beniel
- ICA Orihuela
- ICA Puente Benezúzar
- ICA Rojales

Guadalentín:

- ICA Santa Gertrudis
- ICA Librilla

Guadalentín (desde Lorca)

Aunque ya se ha comentado a lo largo de todo el proyecto, se produce un empeoramiento de la calidad del río Guadalentín, a partir del paso por Lorca, donde se producen vertidos industriales de gran influencia en la calidad del río.

Como se puede observar en los perfiles (ver Figura 77), la conductividad pasa de valores por debajo de 4000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ en promedio, a valores por encima de 8000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ tras los vertidos de fábricas de curtidos. Mismo comportamiento se observa para el resto de constituyentes, con mayor o menor intensidad.

En el caso de la DBO, los valores alcanzan los 150 mg/l, un valor por encima del doble que el valor fijado por planificación para este grupo de calidad, que se sitúa en 60 mg/l, y muy alejados a su vez, de la instrucción para masas en buen estado cualitativo.

Los fosfatos, pasan en promedio de 0.1 mg/l a 3 mg/l, uno de los pocos valores en este tramo, que se sitúa por debajo del valor de planificación (no así, de los valores de la instrucción).

El oxígeno disuelto se sitúa en medias de 3 mg/l; sin embargo, un análisis particularizado (ver Anejo I. Calidad), indica la presencia de una mayoría de valores nulos para el oxígeno disuelto en la serie temporal.

Los peores resultados se observan para los compuestos nitrogenados, con valores de amonio por encima de 100 mg/l de N, y nitratos, por encima de los 20 mg/l.

Es necesario un proceso de depuración importante, asociado al vertido industrial localizado en esta área con una importante reducción en los valores de conductividad, DBO, amonio y nitratos, de modo que su repercusión en el río se reduzca de forma muy apreciable.

Segura

Para el análisis de las estaciones posteriores a la confluencia con el Segura, van a utilizarse los perfiles que aparecen entre la Figura 59 hasta la Figura 64, tomando solo en consideración los últimos cinco datos de cada perfil, que son los que conforman este tramo.

El promedio de conductividad se sitúa en el entorno de los 3000 $\mu\text{s}/\text{cm}$, con un aumento moderado observado tras el paso por EDAR San Antón, donde se produce cierto desacoplamiento entre datos observados y simulados (ver Figura 59). Aunque los datos superan los fijados por planificación, no resulta coherente una depuración dado que no se debe a un vertido contaminante puntual de especial relevancia.

Los valores de DBO se encuentran en progresivo aumento desde 2.5 mg/l hasta 4 mg/l, alcanzando un pico de 4 mg/ en la estación de calidad de Rojales (ver Figura 60). Dados los valores máximos por planificación resultan valores asequibles, que muy seguramente, se verán reducidos tras la mejora del estado del río Guadalentín

Respecto a los fosfatos, las cantidades se disparan tras la confluencia con el Guadalentín, y tras las entradas de EDAR San Antón y EDAR Orihuela hasta alcanzar máximos de 1.6 mg/l (ver Figura 61), por debajo de las cantidades máximas aconsejadas por planificación, pero por encima de los valores de la instrucción.

En cuanto a los datos de OD, los valores promedio más bajos encontrados en el perfil se sitúan en el entorno de los 5 mg/l (ver Figura 62), siendo los picos mínimos mensuales de 3-4 mg/l (ver Anejo I), no encontrando medidas por debajo de 1 mg/l o ciclos de anoxia.

Por último los valores de amonio varían entre 1.5 y 2.5 mg/l y los valores de nitratos entre los 15 y 30 mg/l (ver Figura 63 y Figura 64). Especialmente preocupante resultan los valores de amonio, que acompañado de las condiciones reductoras propias de cantidades bajas de oxígeno disuelto, puede repercutir en formación de amoníaco y cambios en el pH del río. *Dado que ambos son valores bastante elevados, y aquí se encuentran dos de las principales EDARs de la cuenca, resultaría adecuado centrar esfuerzos en mejorar la calidad de los vertidos procedentes de ambas depuradoras.*

8.2. Mejora en los tratamientos de depuración de los vertidos

Recapitulando el análisis del apartado previo, se van a realizar las siguientes mejoras en el tratamiento de depuración, para obtener una mejora en la calidad global del río:

- Argos: Nitratos.
- Mula: Nitratos.
- EDARI Vertidos: Conductividad, DBO, Amonio, Nitratos.
- EDAR San Anton: Amonio, Nitratos
- EDAR Orihuela: Amonio, Nitratos

La carga de nitratos en el río Argos, procede mayoritariamente de los retornos de riego, muy probablemente asociado al riego con aguas de procedencia subterránea, contaminada por nitratos. Las principales actuaciones sobre la calidad podrían realizarse sobre el agua extraída, dado que presenta los valores más elevados de constituyente, y sobre los valores de amonio y nitrato que vierte la EDAR Calasparra (ver Tabla 26).

(Los valores de -1 en el retorno, indican que la calidad de salida es igual que la calidad de entrada).

Constituyente		Ap.Argos	EDAR Caravaca	EDAR Calasparra	Retorno UDA29
Caudal (hm ³ /mes)	Media	2.23	0.04	0.07	0.06
	Desviación	1.66	0.02	0.03	0
Conductividad (uS/cm)	Media	4101.07	1593.31	1649.86	-1
	Desviación	0.00	267.54	396.45	
Fosfatos (mg de P ₂ O ₅ /l)	Media	0.00	5.27	5.00	-1
	Desviación	0.00	0.27	0.00	
DBO ₅ (mg/l)	Media	2.00	235.34	50.40	-1
	Desviación	0.00	329.05	79.62	
OD (mg/l)	Media	8.00	1.18	0.54	-1
	Desviación	0.00	0.98	1.34	
NH ₄ (mg de N/l)	Media	0.01	1.92	5.66	-1
	Desviación	0.00	2.99	11.51	
NO ₃ (mg de N/l)	Media	2.00	2.62	6.59	22
	Desviación	0.00	3.04	10.02	

Tabla 26. Características cualitativas de las entradas al río Argos

Estas actuaciones se llevarían a cabo, mediante la instalación de un proceso biológico de nitrificación - desnitrificación en la EDAR Calasparra, a través del cual se podrían reducir los valores de nitratos adecuadamente.

En el caso del uso de agua subterránea, no hay una solución clara puesto que tratar toda el agua extraída no es factible, desde un punto de vista operacional. De ahí, que las principales soluciones pasan por un aumento de caudales para abastecer el riego a partir de las aguas superficiales, y un programa de buenas prácticas para el control sobre los fertilizantes usados en el campo, que reduzcan la cantidad de nitratos proveniente de retornos, y poco a poco conseguir una dilución de las concentraciones encontradas en el acuífero.

Siendo esta la opción más factible, va a fijarse valor máximo de nitrato vertido para el retorno de 5 mg de N/l, y el valor máximo de vertido en la EDAR Calasparra, con una reducción del 75% para los valores que sobrepasen este límite de 5 mg de N/l (ver Figura 110).

Para el río Mula, la carga de nitratos proviene principalmente de la aportación de Baños de Mula, con promedios en torno a 11 mg de N/l (ver Tabla 27).

El resto de constituyentes tienen valores adecuados a excepción de la DBO, cuya media y desviación se ven afectadas por un par de puntas de vertido muy acusadas.

Constituyente		E.LA CIERVA	BAÑOS DE MULA
Caudal (hm ³ /mes)	Media	0.59	0.86
	Desviación	0.59	0.92
Conductividad (uS/cm)	Media	1158.49	4106.33
	Desviación	180.41	826.07
Fosfatos (mg de P ₂ O ₅ /l)	Media	0.00	0.02
	Desviación	0.00	0.03
DBO ₅ (mg/l)	Media	1.49	7.96
	Desviación	1.28	32.89
OD (mg/l)	Media	8.50	8.67
	Desviación	1.71	2.55
NH ₄ (mg de N/l)	Media	0.07	0.14
	Desviación	0.10	0.30
NO ₃ (mg de N/l)	Media	1.62	10.85
	Desviación	0.67	7.94

Tabla 27. Características cualitativas de las entradas al río Mula.

Las actuaciones sobre la calidad, deberían incluir un tratamiento para reducción de nitratos, por medio de tecnología de membranas o reactores biológicos, para una reducción del 75% en los valores de nitrato por encima de 5 mg de N/l. De este modo, el resultante se adaptará mejor a los valores de la IPH 2008 para el buen estado de los ríos (ver Figura 111).

Respecto a la zona del Guadalentín, aparecen valores muy elevados en diferentes constituyentes, asociados al vertido Fca. Curtidos. Estos vertidos, se deben al tratamiento del cuero en la industria, generando un efluente con restos de cromo (empleado en el curtido) residuos orgánicos, asociados a la preparación previa del producto, ácidos o amoníaco.

En la Tabla 28, se observan como los constituyentes más elevados, son precisamente estos, en concentraciones muy elevadas.

Constituyente		Fca. Curtidos
Caudal (hm ³ /mes)	Media	0.05
	Desviación	0.03
Conductividad (uS/cm)	Media	11867.85
	Desviación	1022.19
Fosfatos (mg de P ₂ O ₅ /l)	Media	8.92
	Desviación	0.76
DBO ₅ (mg/l)	Media	264.10
	Desviación	26.79
OD (mg/l)	Media	2.85
	Desviación	2.81
NH ₄ (mg de N/l)	Media	233.07
	Desviación	191.23
NO ₃ (mg de N/l)	Media	9.80
	Desviación	0.34

Tabla 28. Características cualitativas del vertido Fca. Curtidos.

Resultaría imprescindible la instalación de una EDARI que tratara de forma adecuada estos efluentes, con los tratamientos pertinentes, que deberían incluir precipitados químicos para los metales, recuperación de amoníaco o bien nitrificación-desnitrificación y procesos de oxidación, precipitación, sedimentación y retirada de lodos, para la materia orgánica.

Como un mínimo, los valores de conductividad deberían reducirse a la cuarta parte, en torno a 3000 uS/cm de máxima, valores que se han encontrado de forma natural a lo largo del río (ver Figura 112). Los valores de DBO y NH₄ van a ser fijados de acuerdo a la Directiva 91/271 de vertidos de aguas residuales urbanas a zonas sensibles, mayorados en un 50% dado que no se trata de un vertido urbano.

- DBO: 35 mg/l.
- Nitrógeno orgánico total: 25 mg de N/l.

En cuanto al nitrógeno total, la actuación se va a fijar en la eliminación de amonio, de forma que la suma proporcione un valor igual al límite fijado. Dada la media de nitratos del efluente, bastante constante en el entorno de 10 mg de N/l, se fijará una concentración máxima de amonio en el efluente de 15 mg de N/l, quedando la actuación del siguiente modo:

- DBO: 35 mg/l.
- Amonio: 15 mg de N/l.

De este modo, los niveles de depuración propuestos en las concentraciones de salida, serán corregidos del siguiente modo (ver Tabla 29):

Constituyente	Baños de Mula	EDAR Calasparra + Retorno	Fca. Curtidos
Nitrato	Reducción: 75% para vertidos mayores de 5 mg de N/l.	Reducción: 75% para vertidos mayores de 5 mg de N/l.	
Conductividad			Fijo: 3000 uS/cm
DBO			Fijo: 35 mg/l
Amonio			Fijo: 15 mg de N/l

Tabla 29. Propuestas de mejora en la depuración.

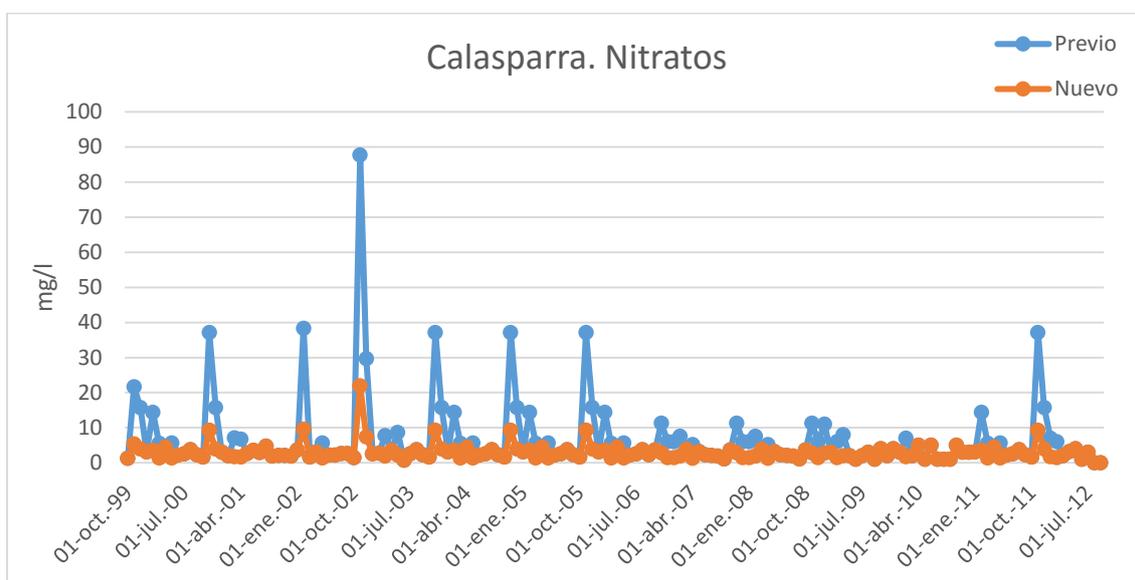


Figura 110. Propuesta de depuración de nitratos EDAR Calasparra

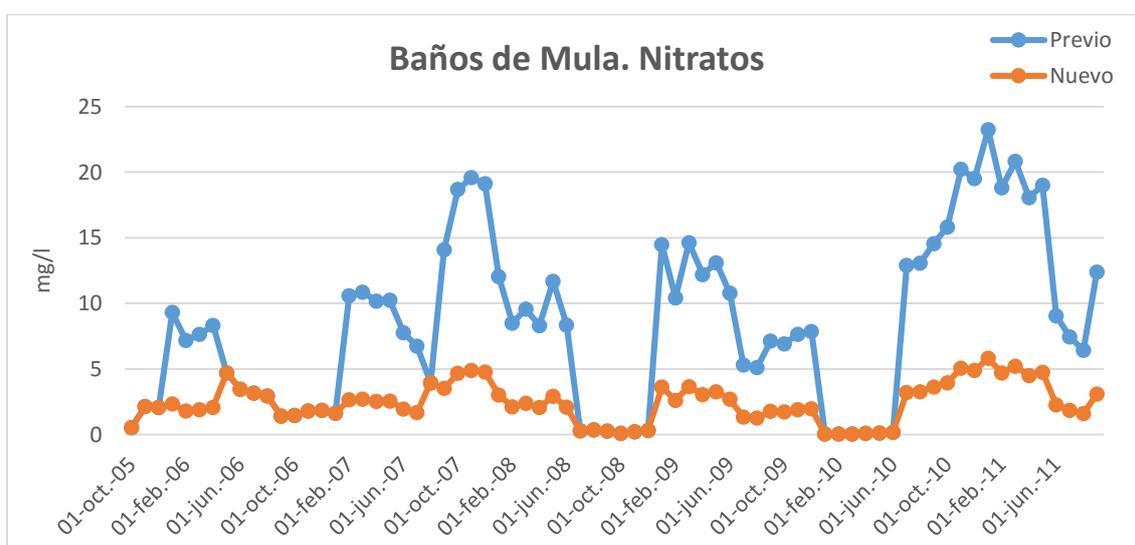


Figura 111. Propuesta de depuración de nitratos en Baños de Mula

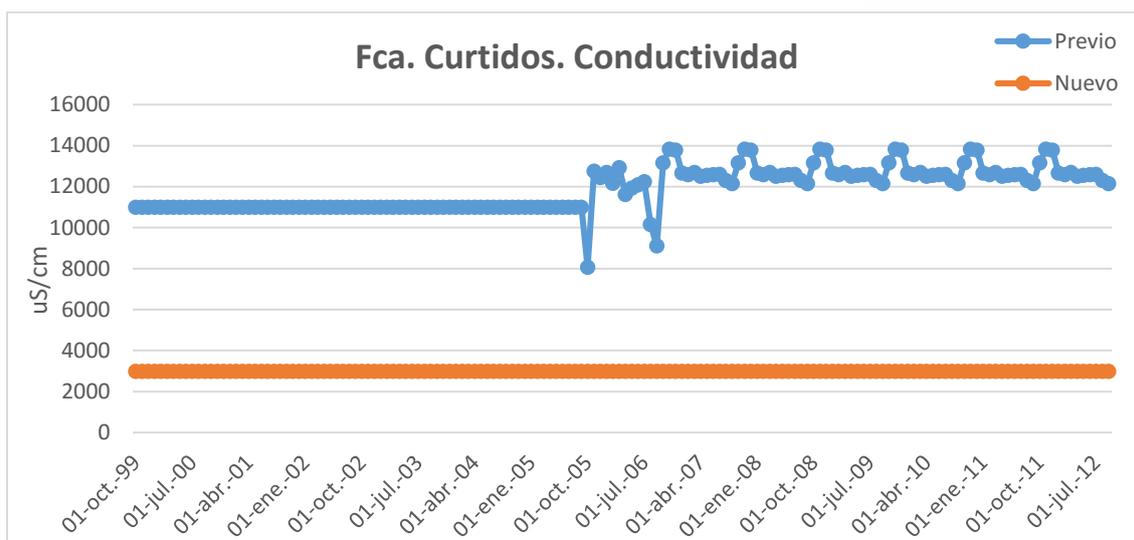


Figura 112. Propuesta de depuración para conductividad en Fca. Curtidos.

En cuanto a la EDAR San Antón, la principal por volúmen tratado, aparecen cantidades importantes en cuanto a los compuestos nitrogenados, situación que se repite de nuevo en la EDAR Orihuela. Se observan vertidos bastante importantes tanto para el nitrato como para el amonio (ver Tabla 30).

Constituyente		EDAR San Antón	EDAR Orihuela
Caudal (hm ³ /mes)	Media	2.240	0.161
	Desviación	0.698	0.049
Conductividad (uS/cm)	Media	2225.648	2225.648
	Desviación	164.780	164.780
Fosfatos (mg de P ₂ O ₅ /l)	Media	5.000	5.000
	Desviación	0.000	0.000
DBO ₅ (mg/l)	Media	57.831	23.616
	Desviación	147.554	25.111
OD (mg/l)	Media	5.008	5.886
	Desviación	1.632	1.143
NH ₄ (mg de N/l)	Media	5.865	8.491
	Desviación	5.358	9.788
NO ₃ (mg de N/l)	Media	27.087	69.519
	Desviación	11.850	53.088

Tabla 30. Características cualitativas del vertido Fca. Curtidos.

Por ello, se va a recomendar la instalación de un tratamiento biológico con eliminación de nitratos, para una reducción del 75% de los vertidos de ambos constituyentes, de este modo la eliminación de nitrógeno resultante quedaría del siguiente modo:

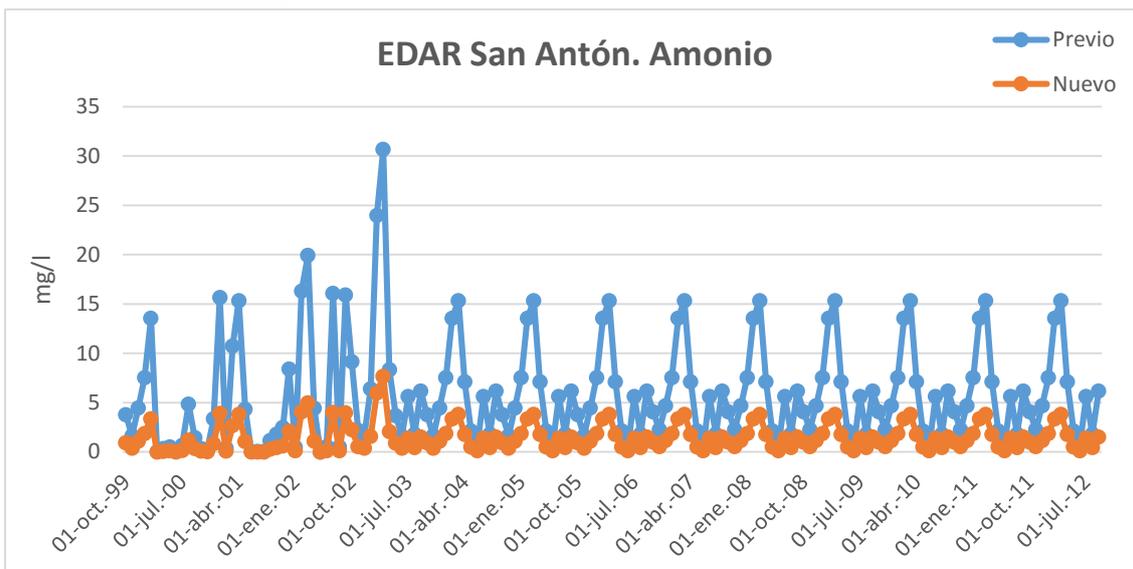


Figura 113. Propuesta de depuración para amonio en EDAR San Antón.

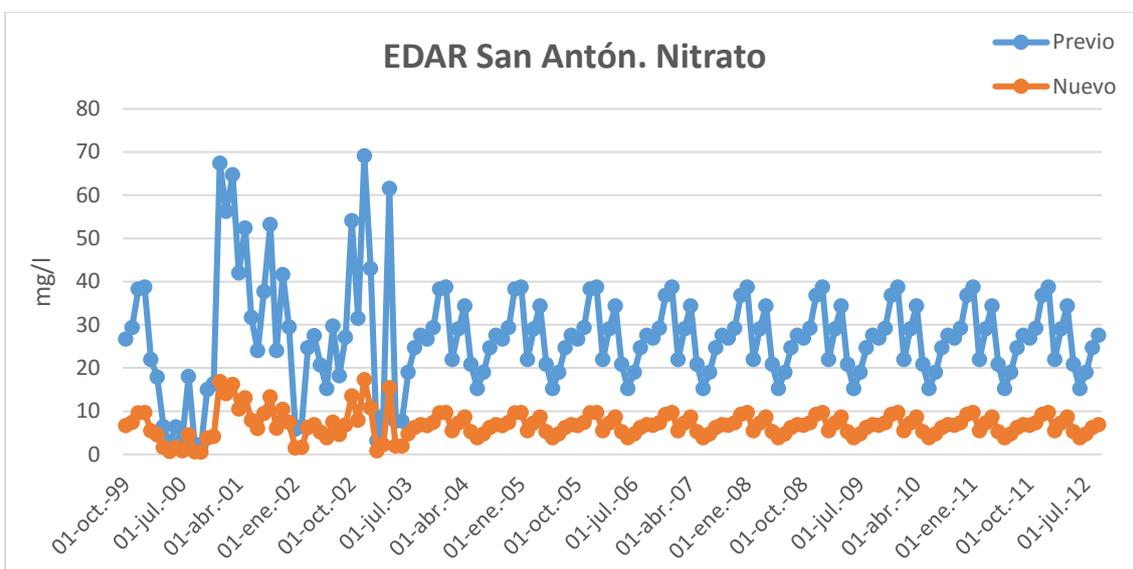


Figura 114. Propuesta de depuración para nitrato en EDAR San Antón.

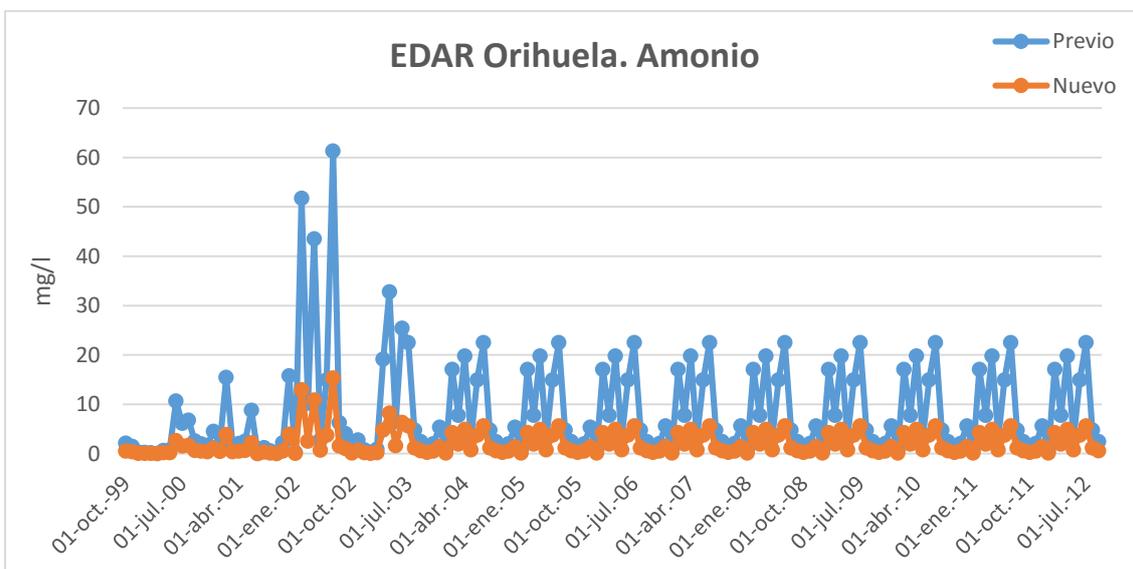


Figura 115. Propuesta de depuración para amonio en EDAR Orihuela.

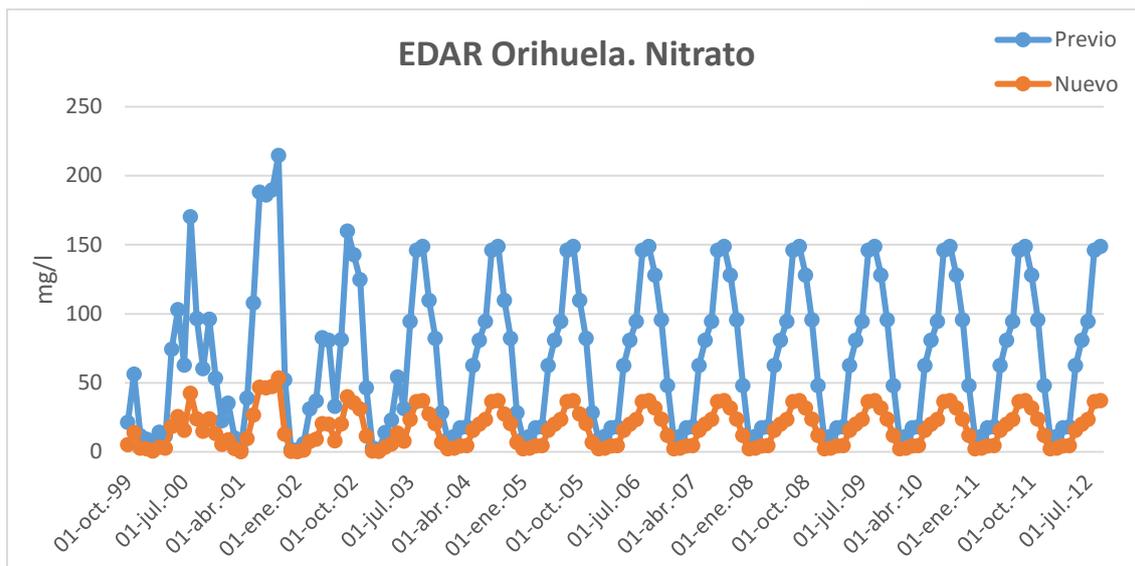


Figura 116. Propuesta de depuración para nitrato en EDAR Orihuela.

8.3. Resultado de las simulaciones realizadas

En primer lugar, se estudiará el efecto de las medidas adoptadas para los tramos de río considerados, comenzando con el efecto de la reducción de nitratos sobre el Argos, donde se aprecia como los picos de nitratos, se ven reducidos a valores aceptables comparados con los que se tenían en la situación inicial (ver Figura 117).

Las puntas asociadas al retorno de la UDA29, se ven paliadas por el tratamiento de depuración, de forma que la media de los vertidos de nitrato se ven reducidos a la mitad, y la desviación de los vertidos en una sexta parte.

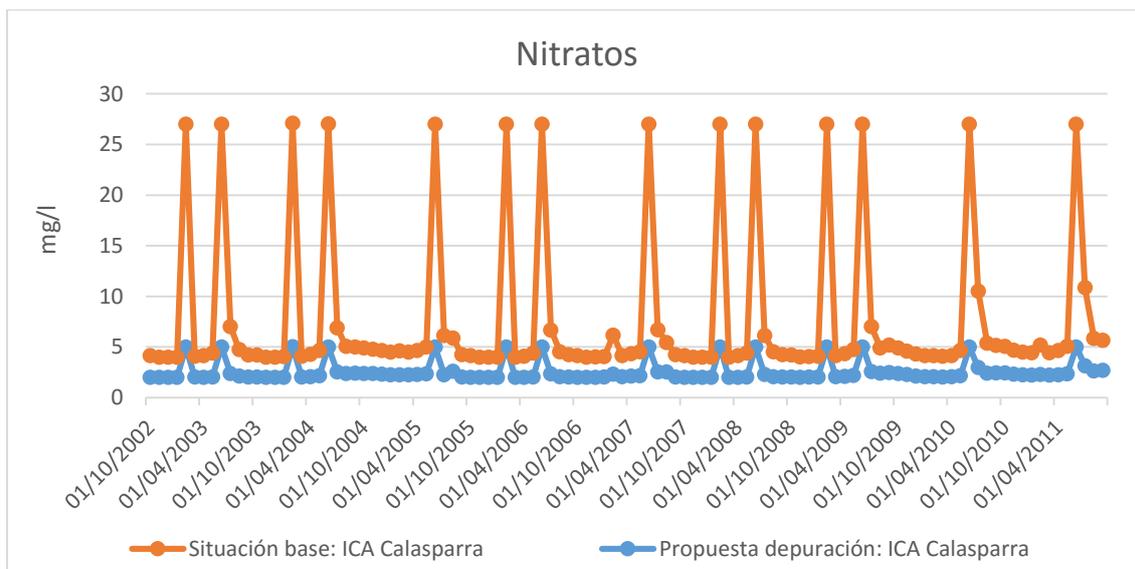


Figura 117. Propuesta de depuración. Río Argos

La traslación de estos resultados sobre el río principal no es excesiva, dado los caudales escasos del río Argos, como para apreciar una reducción importante sobre el río principal, que lleva una carga media de nitratos de en torno a 2.5 mg de N/l. Este comportamiento puede apreciarse en la Tabla 31, mostrando diversos estadísticos de depuración.

	ICA Calasparra: Río Argos		ICA Argos: Río Segura	
	Media	Desviación	Media	Desviación
Situación base	5.0876	6.5919	2.0672	0.8488
Propuesta depuración	2.5645	0.9672	2.0655	0.8494

Tabla 31. Estadísticas de la propuesta de depuración. Río Argos

La mejora propuesta sobre los nitratos para el vertido de Baños de Mula genera un gráfico como en la Figura 118, donde se observa esta reducción dinámica, es decir, que depende de la concentración de nitrato que se encontraba en la situación base.

Sobre el río principal, si bien la mejora es leve, contribuye a una media en los valores muy similar a la registrada en el afluente, lo que tanto por el PHS como por el IPH supone un buen estado cualitativo de las aguas del río. Este resultado, se muestra en la Tabla 32.

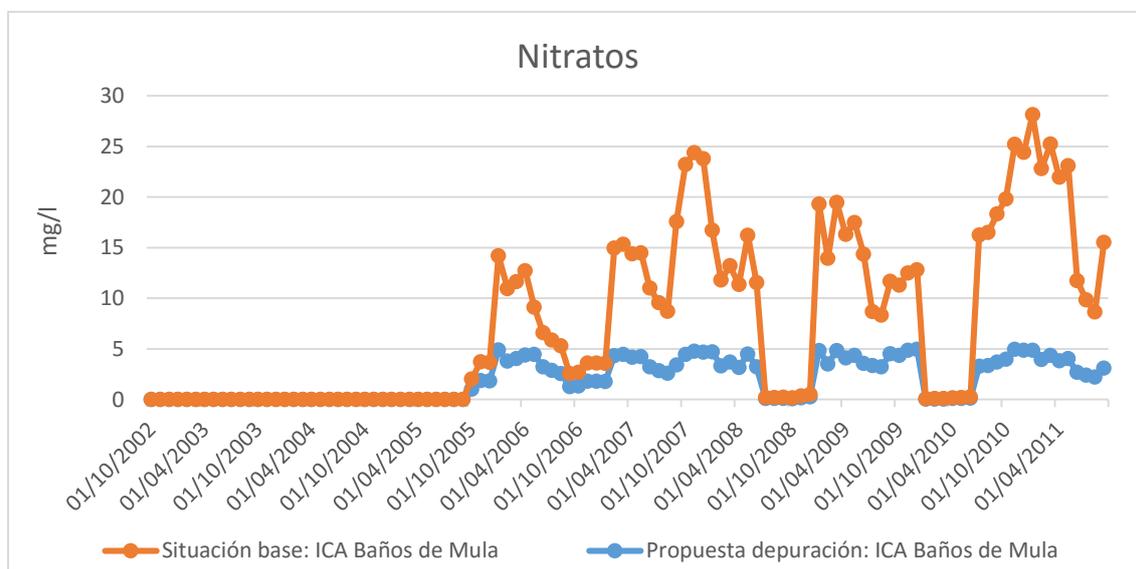


Figura 118. Propuesta de depuración. Río Mula.

	ICA Mula: Río Mula		ICA Torres y Molina: Río Segura	
	Media	Desviación	Media	Desviación
Situación base	8.3356	6.4512	4.6473	3.6407
Propuesta depuración	3.0064	1.6167	4.3222	3.4038

Tabla 32. Estadísticas de la propuesta de depuración. Río Mula.

En tercer lugar, la principal actuación propuesta, es la que se realizaría sobre el río Guadalentín, con actuación sobre la conductividad, la DBO y el ion amonio. Cabe recordar que el caudal proporcionado por este vertido era muy reducido, del orden del 1-4% del caudal total circulante por el río Guadalentín, pero las mejoras sobre el mismo, repercuten en un total cambio de las condiciones cualitativas existentes.

Respecto a la conductividad, la reducción propuesta en el vertido de Fca. Curtidos, genera un 60-70% de reducción en los valores de conductividad (ver Figura 119). A lo largo del Guadalentín, se produce un nuevo aumento en este valor, dados los efluentes procedentes de la ICA Librilla, si bien, en la confluencia con el río principal, se produce una dilución suficiente, no provocando variaciones acusadas en la calidad. Este resultado se muestra en la Tabla 33.

El valor límite de 10000 uS/cm que marca el límite para el cual el agua deja de poder ser utilizada para generar agua potable, y que se presentaba varias veces en la situación base a la altura de la estación de calidad de Librilla, se ve reducida tras la propuesta de depuración, si bien podría ser un punto de mejora en la calidad, y llevarse a cabo un tratamiento para su disminución en este punto.

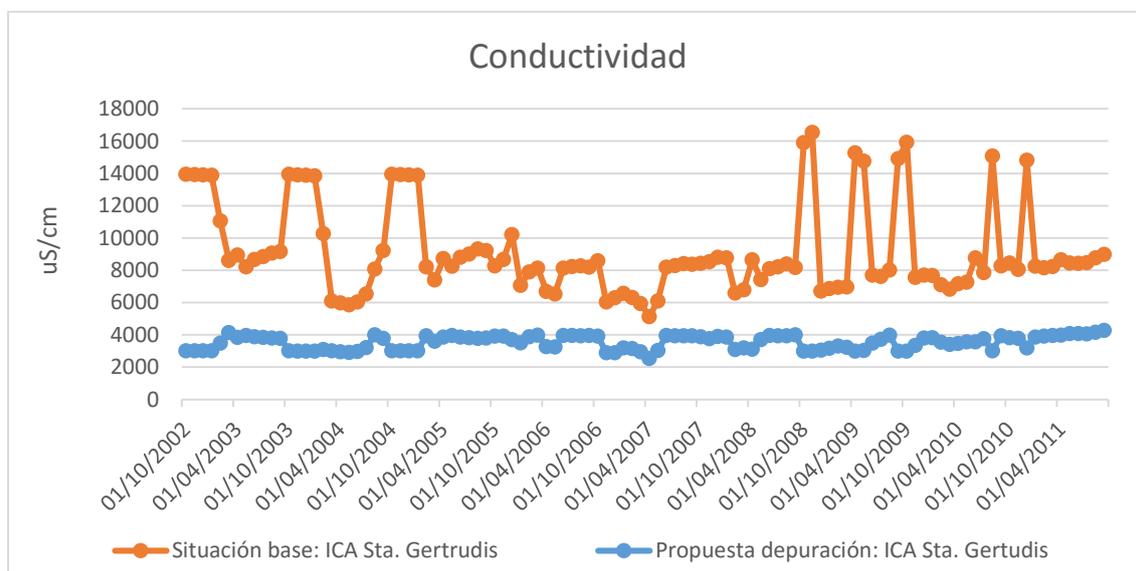


Figura 119. Propuesta de depuración. Conductividad en Río Guadalentín.

	ICA Sta Gertrudis: Río Guadalentín		ICA Librilla: Río Guadalentín		ICA Guadalentín: Río Segura	
	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
Situación base	5602.61	2931.93	7243.04	5627.91	2416.86	1605.56
Pr. depuración	3540.14	426.20	6610.49	5287.7	2327.8	1474.01

Tabla 33. Estadísticas de la propuesta de depuración. Conductividad. Río Guadalentín

En segundo lugar, las mejoras sobre la DBO que han provocado que los picos existentes, en la mayoría de casos por encima de los 200 mg/l, caigan por debajo de los 40 mg/l (ver Figura 120). Esta situación, repercute directamente con los valores de oxígeno disuelto en el tramo, dado que la DBO producía un consumo que derivaba en anoxia y en consecuencia, condiciones abióticas o casi abióticas.

Este factor podría ser una componente de mejora para subsiguientes simulaciones, dado que una mejora en la concentración de DBO conllevaría una mejora en la concentración de oxígeno disuelto presente en el vertido, por lo que debería realizarse una corrección en sus valores.

Consecuentemente, tras la confluencia con el río principal, la reducción de la DBO, contribuye a unos valores de DBO5 por debajo de 2 mg/l, lo que se traduce en un muy buen estado cualitativo en las aguas del río (ver Tabla 34).

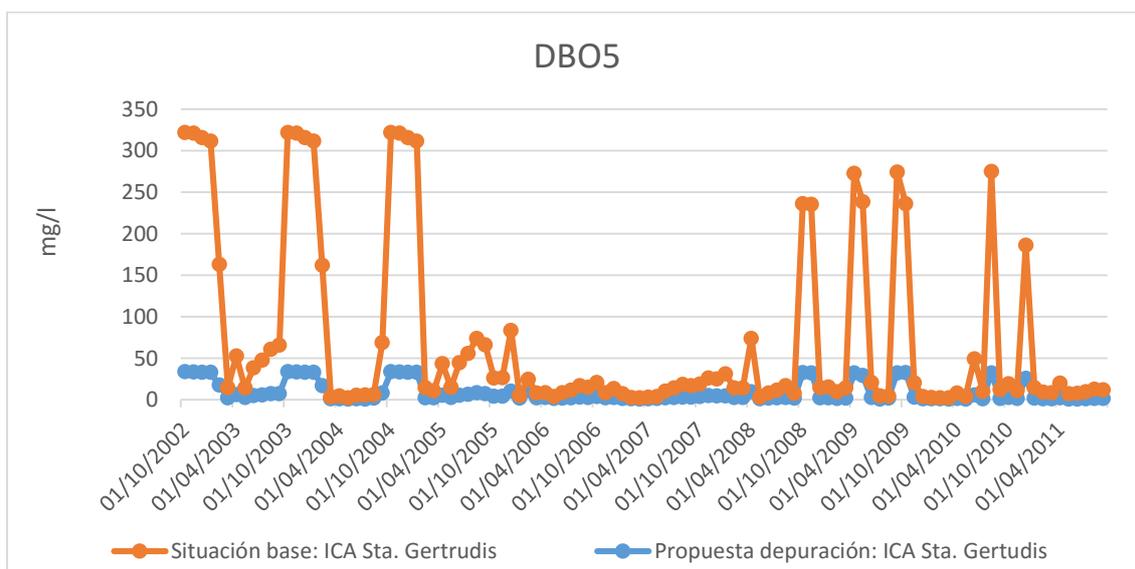


Figura 120. Propuesta de depuración. DBO5 en Río Guadalentín.

	ICA Sta Gertrudis: Río Guadalentín		ICA Librilla: Río Guadalentín		ICA Guadalentín: Río Segura	
	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
Situación base	62.9855	96.1835	8.9075	9.3123	2.0761	1.5729
Propuesta depuración	8.8367	11.7016	2.7040	1.2152	1.3618	0.9379

Tabla 34. Estadísticas de la propuesta de depuración. Conductividad. Río Guadalentín

La principal mejora sobre la situación base se produce en la reducción del amonio vertido, ya que afecta a una reducción en este constituyente, para la estación de calidad más cercana, y a una reducción en los valores de nitrato en estaciones posteriores, dado el proceso de nitrificación de estos compuestos.

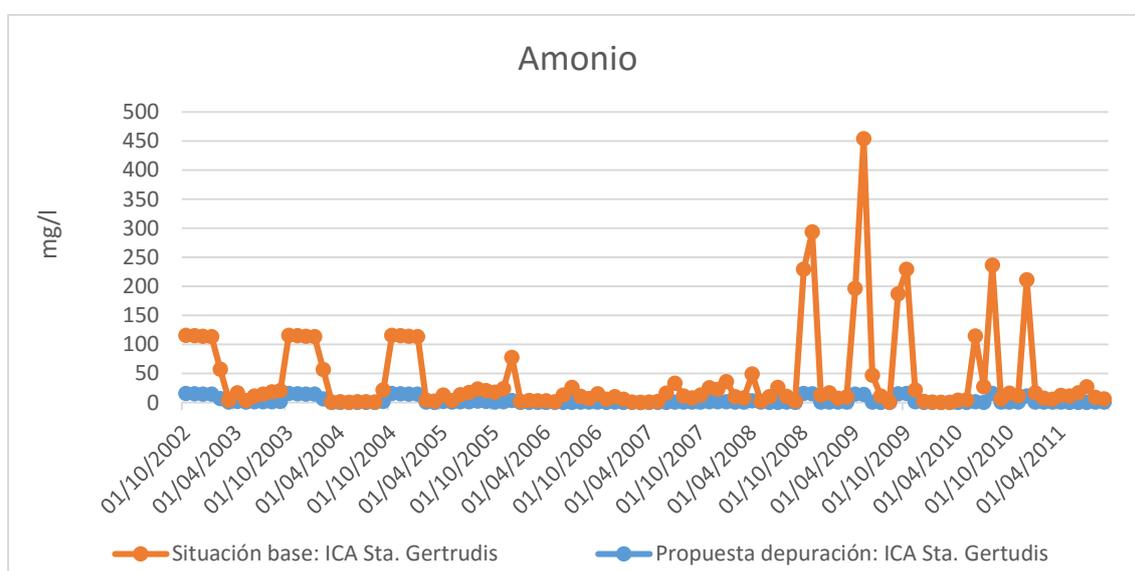


Figura 121. Propuesta de depuración. Amonio en Río Guadalentín.

Como se observa en la Figura 121, los valores se reducen drásticamente, así como la desviación de los mismos, produciendo, según las estadísticas una reducción del 90% en media sobre el amonio circulante por el tramo de río (ver Tabla 35).

	ICA Sta Gertrudis: Río Guadalentín		ICA Librilla: Río Guadalentín		ICA Guadalentín: Río Segura	
	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
Situación base	39.8565	68.2050	5.7639	6.8986	0.8920	1.7218
Propuesta depuración	3.3019	5.4752	0.0634	0.1790	0.0908	0.0430

Tabla 35. Estadísticas de la propuesta de depuración. Amonio. Río Guadalentín

Debido a ello, se observa una mejora importante en las aguas posteriores del río para los valores de amonio y nitrato, que se mantienen en el tiempo incluso en la confluencia con el río principal, generando unos resultados adecuados en la confluencia con el río principal (ver Tabla 36).

	ICA Sta Gertrudis: Río Guadalentín		ICA Librilla: Río Guadalentín		ICA Guadalentín: Río Segura	
	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
Situación base	9.9714	5.1746	24.2590	35.5058	8.2153	9.5235
Propuesta depuración	6.6497	5.1653	5.0719	3.0056	4.5505	2.0555

Tabla 36. Estadísticas de la propuesta de depuración. Nitrato. Río Guadalentín

Por último, dado que los tratamientos realizados sobre las EDAR San Antón y EDAR Orihuela tienen una afeción directa sobre el río principal, los resultados de estas actuaciones se van a mostrar sobre los perfiles modificados de amonio y nitrato para el río completo (ver Figura 122 y Figura 123).

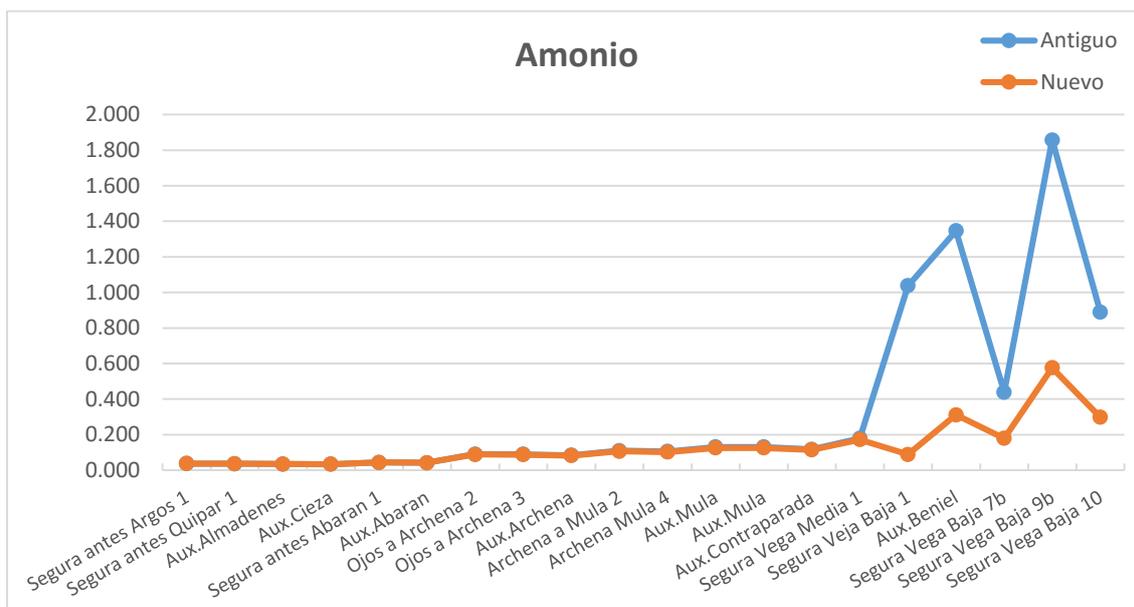


Figura 122. Propuesta de depuración. Amonio. Perfil Río Segura

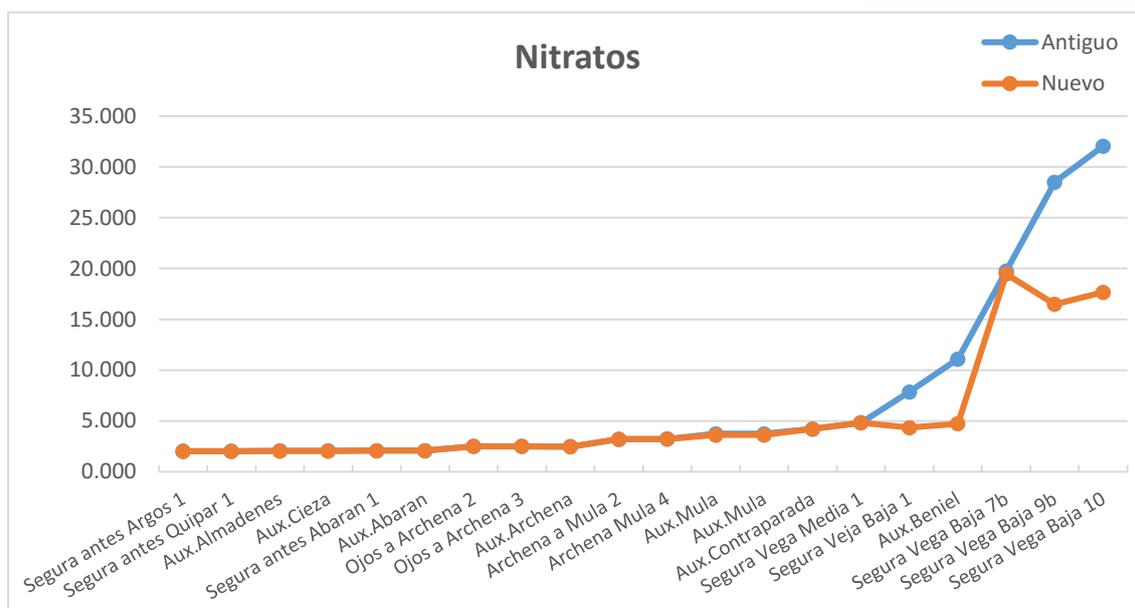


Figura 123. Propuesta de depuración. Nitrato. Perfil Río Segura

Se observa que el tratamiento sobre el amonio resulta especialmente bueno, y sobre el nitrato, los valores se reducen de forma muy importante. A destacar, que aparece un pico importante tras el vertido de R.Bonanza, que si bien no aporta unos volúmenes elevados, tras la mejora en las dos principales estaciones, se destaca como el principal aporte de nitratos al río principal. Un tratamiento repercutiría en reducir los valores de nitratos por debajo de 10 mg/l en toda la cuenca, quedando levemente por encima de los valores de la instrucción de planificación hidrológica.

8.4. Recapitulación

El resumen de las simulaciones, concluye que mejoras puntuales en los ríos Argos, Mula y Guadalentín, tienen una apreciable repercusión sobre el flujo circulante por dichas zonas, contribuyendo a catalogar las áreas sobre las que se actúa como masas de agua en buen estado cualitativo.

Del mismo modo, la mejora en la calidad del Guadalentín, o lo que es lo mismo, el depurado del vertido industrial de Fca. Curtidos, resulta indispensable para una mejora total del río, afectando de forma apreciable a los valores de amonio y nitratos que se encuentran en el río principal tras su confluencia en los mismos.

Por último, actuaciones sobre las principales EDARs de la cuenca, situadas en la Vega Baja, en materia de control de vertidos e instalación de tratamientos biológicos y

terciarios para el tratamiento de compuestos nitrogenados, se contempla como una alternativa para una mejora casi global de la calidad del río.

Pese a que la viabilidad técnica no supone un reto, dado que se conocen los tratamientos para reducir estos compuestos, uno de los hándicaps, es la vertiente económica de estas actuaciones, no considerada en este trabajo, pero que supondría sin ninguna duda, un problema en la toma de estas medidas dado el tratamiento de volúmenes grandes e importantes reducciones en los contaminantes.

Es por ello, que estas medidas quedan como un recurso o solución última, pero es importante que vayan acompañadas de una campaña de buenas prácticas agrícolas, reducción progresiva de vertidos industriales y ganaderos, mejora en los vertidos procedentes de las EDARs (por ejemplo, con un mejor control de los caudales entrantes a las mismas), y un trabajo de concienciación a nivel intercomunitario del agua como un recurso limitado en cantidad y calidad.

9. CONCLUSIONES

El propósito de este trabajo ha consistido en la adaptación del modelo del río Segura a los datos de calidad introducidos desde 2005, permitiendo una visión actualizada del estado del río, y una caracterización que permite conocer cómo afecta al modelo, diferentes cargas de cada uno de los parámetros estudiados.

Durante la calibración y el análisis de los datos aportados, se han observado dificultades, dado las diferencias existentes entre las distintas etapas de estudio, dada una importante inversión en infraestructuras para la mejora y depuración de la calidad del agua, que se aprecia entre los años 2003-2006. A partir de esta fecha, se observa una mejora importante en la calidad, donde se observa que se cumplen de forma generalizada los valores umbral de la Planificación Hidrológica, y de una forma mayoritaria, los valores de la IPH 2008 para el buen estado de las masas del agua.

La calibración ha sido satisfactoria de forma generalizada, encontrando algunos puntos de conflicto para las entradas y observaciones en la zona de Lorquí y Ceutí, la Vega Media y los puntos posteriores a las depuradoras principales de la cuenca, que satisfacen las necesidades de las ciudades de Murcia y Orihuela.

A lo largo del informe, se ha realizado un análisis de los datos existentes, un procesamiento de los mismos, un análisis por perfiles de los resultados de la calibración, así como un análisis particular de las estaciones del río principal.

Al mismo tiempo, en pos de una mejora de la calidad del agua de la cuenca, el modelo incluye ciertas simulaciones realizadas centradas en la intervención en unos pocos puntos de la cuenca, proporcionando una mejora considerable de la calidad de las aguas, y mostrando que el coste-beneficio de estas actuaciones resulta muy beneficioso para el sistema Segura.

La herramienta aquí desarrollada, debe entenderse como una modelo que no intenta reflejar un comportamiento detallado de lo que sucede en el río, sino el comportamiento promedio observado con una discretización mensual. Entre la incertidumbre inherente al modelo, destacar también, el tratamiento de los embalses en modelación, o el uso de cinemáticas de primer orden, en ciertos constituyentes.

Desde un punto de vista de una confederación hidrográfica, herramientas de este tipo permiten detectar problemas de datos discordantes entre los observados por comisarías de aguas y los autorizados por dirección técnica. Para ello, el apartado Puntos conflictivos en el modelo, presenta algunas mejoras sobre la medición de calidad y la concordancia de ciertos datos respecto a la simulación.

En la línea de futuras líneas de actuación, es necesario continuar con el tratamiento de datos, para mejorar las entradas al modelo, y continuar con las observaciones para ir aumentando la cantidad de datos para calibración, y proceder a la retirada de aquellos que reflejan condiciones muy diferentes a las actuales. De este modo, se puede perseguir una parametrización más adecuada, y sobre todo, una mayor automatización de este proceso.

En este ámbito, aspectos como una mejor caracterización del uso de aguas subterráneas, la calidad y cantidad de los retornos y el tratamiento de algunos puntos singulares descritos a lo largo del informe, puede suponer una inversión en actuaciones que se traduzcan en una mejora de la modelación a medio-largo plazo.

10. BIBLIOGRAFÍA

Andreu, J., Capilla, J. y Sanchis, E. (1991). AQUATOOL: A computer-assisted support system for water resources research management including conjunctive use. In *Decision Support Systems* (pp. 333-355). Springer Berlin Heidelberg.

Andreu, J., Capilla, J. y Ferrer, J. (1992). Modelo SIMGES de simulación de la gestión de recursos hídricos, incluyendo utilización conjunta. *Manual de usuario. Versión, 2.*

Arnau Cosín, J. (2012). Plan de mejora de la calidad del agua en la cuenca del río Llobregat (España) bajo criterios cuantitativos y cualitativos. Universidad Politécnica de Valencia

Jordán Montes, J. F., y Conesa García, C. (1992). Aguas termales y mineromedicinales en el valle bajo del río Mundo (Hellín, prov. de Albacete): aspectos geográficos, hidrogeológicos, arqueológicos, históricos y etnográficos. *Espacio Tiempo y Forma. Serie II, Historia Antigua*, (5).

Leopold, L. B., & Maddock Jr, T. (1953). The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications (Nº 252).

Orden, A. R. M. (2008). 2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la Instrucción de Planificación Hidrológica. *Boletín Oficial del Estado*, 229, 38472-38582.

Paredes, J., Solera, A. y Andreu, J. (2013) Modelo GESCAL para la simulación de la calidad del agua en sistemas de recursos hídricos. Manual de usuario Versión 2.0, Editorial UPV Valencia.

Ruza Rodríguez, J., Bordas Martínez, M.Á., Espinosa Expósito, G. y Puig Infante, A. (2007). Manual para la gestión de Vertidos. Dirección General del Agua. Ministerio de Medio Ambiente

Solera, A., Paredes, J. y Andreu, J. (2007). Manual de usuario de AQUATOOLDMA. Editorial UPV. Valencia.

11. ANEJOS

ANEJO I. Análisis cualitativo de duplas simulado-observado por estación de calidad y parámetro estudiado.

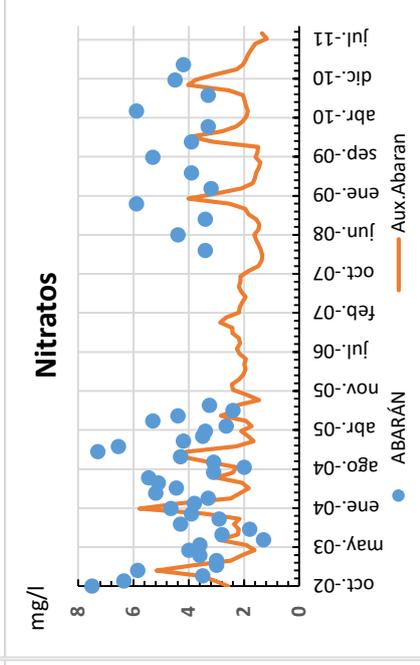
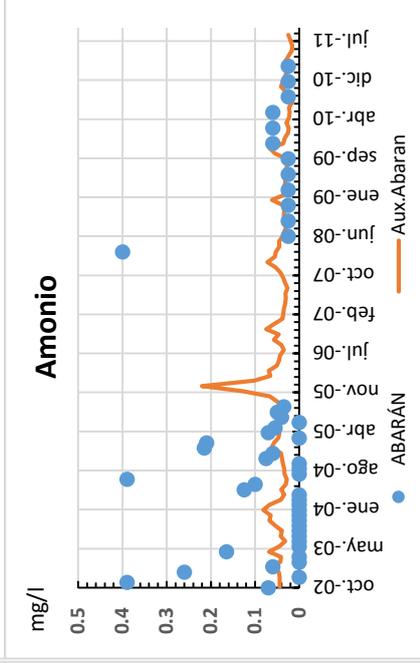
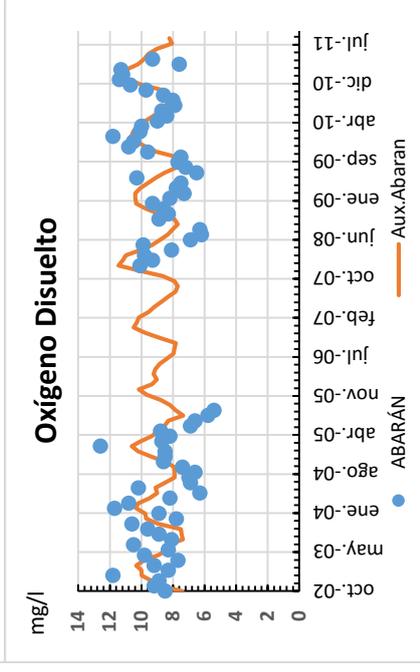
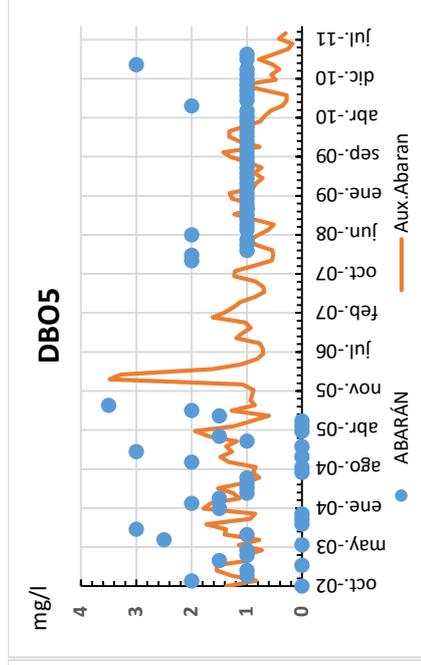
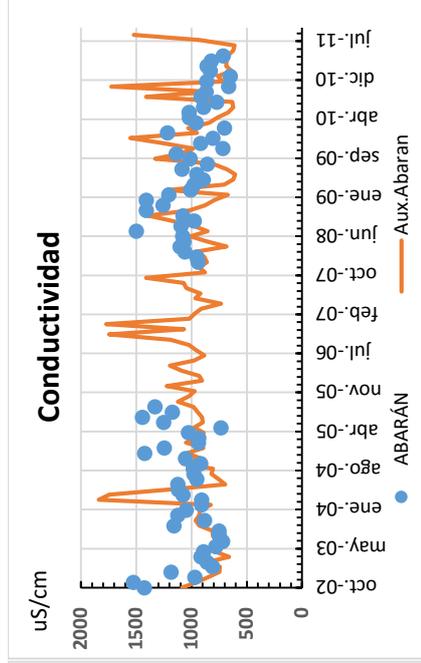
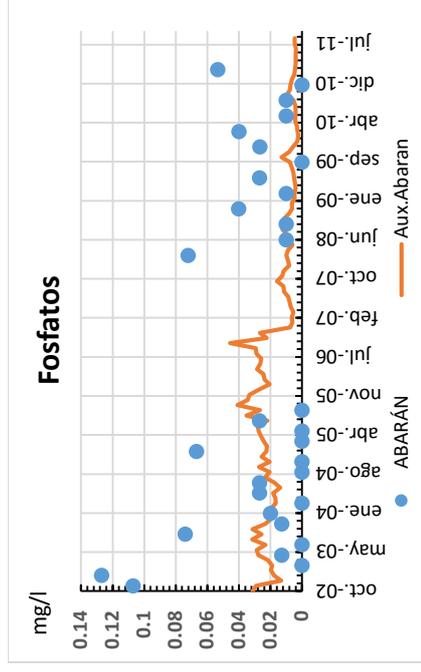
ANEJO II. Análisis cuantitativo de duplas simulado-observado por estación de aforo.

ANEJO I: ANÁLISIS CUALITATIVO DE DUPLAS SIMULADO-OBSERVADO POR ESTACIÓN DE CALIDAD Y PARÁMETRO ESTUDIADO

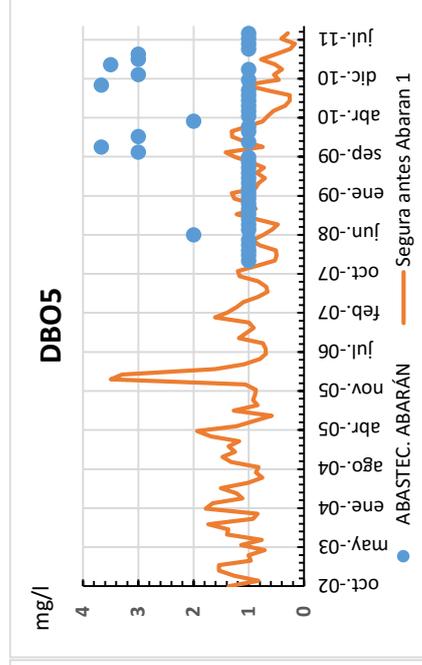
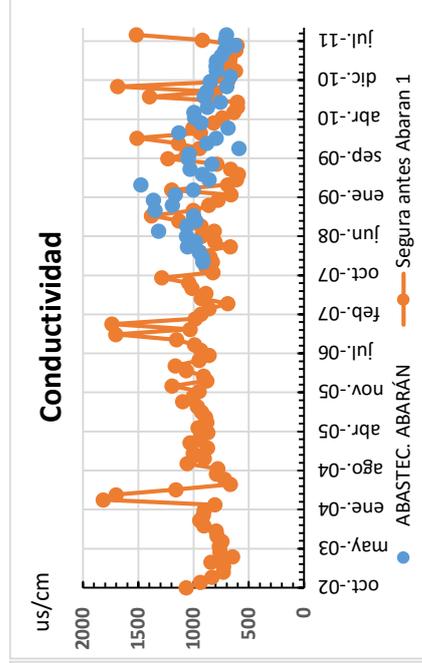
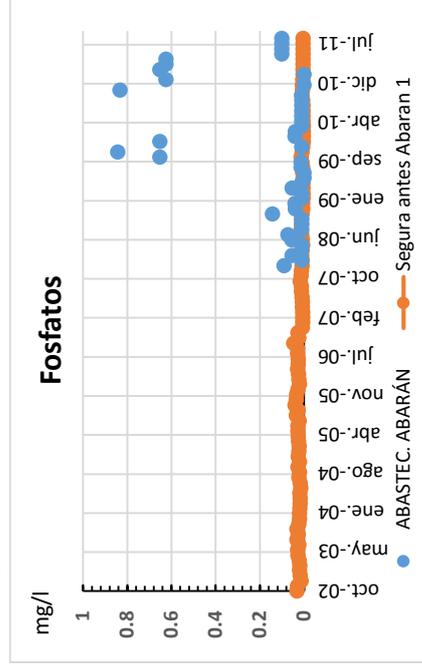
ÍNDICE DE TRAMOS

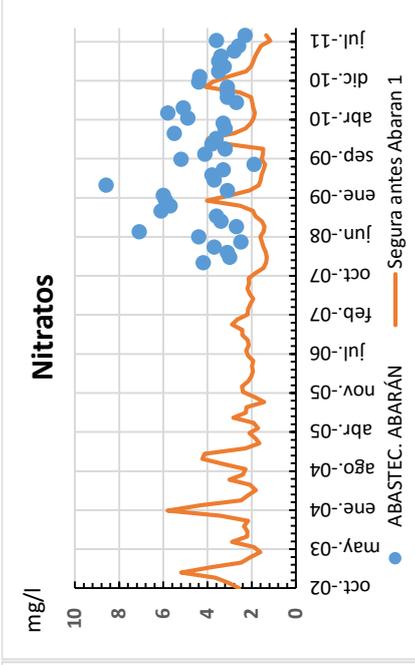
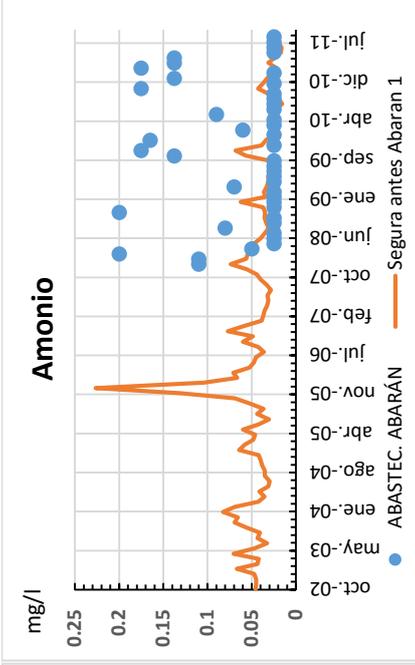
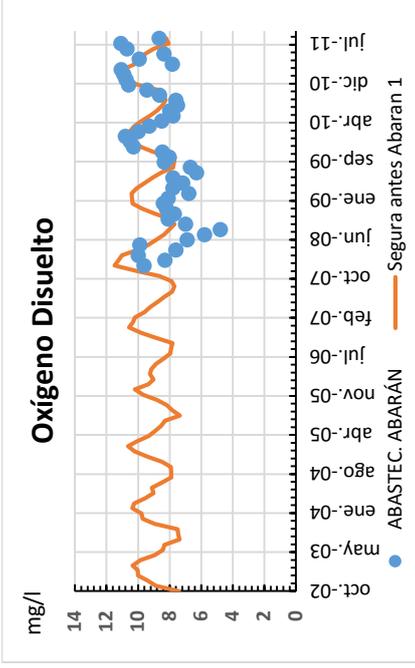
ABARÁN	2
ABASTECIMIENTO ABARÁN	2
ALCANTARILLA	3
ARCHENA	4
ARGOS	4
AZARAQUE	5
AZUD DE OJÓS	6
BENIEL	6
CALASPARRA	7
CANAL DE HELLÍN	8
CEUTÍ	8
CIEZA	9
CONTRAPARADA	10
EL ARENAL	10
EL SANTUARIO	11
EL SOTO	12
EMB. ALFONSO XIII	12
EMB. ALMADENES	13
EMB. CAMARILLAS	14
EMB. DE LA FUENSANTA	14
EMB. DEL CENAJO	15
EMB. PUENTES	16
GUADALENTÍN	16
LAS TORRES	17
LIBRILLA	18
LIETOR	18
LORQUÍ	19
LOS GALLEGOS	20
MINAS Y SALMERÓN	20
MOLINA	21
ORIHUELA	22
PUENTE BENEJÚZAR	22
PUENTE CARRETERA DE MULA	23
RÍO MUNDO	24
ROJALES	24
SANTA GERTRUDIS	25
TAIBILLA	26
ULEA (SIFÓN MCT)	26
MULA	27

ABARÁN

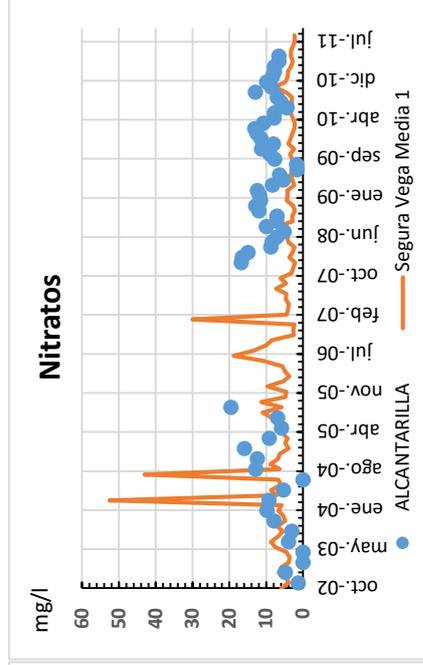
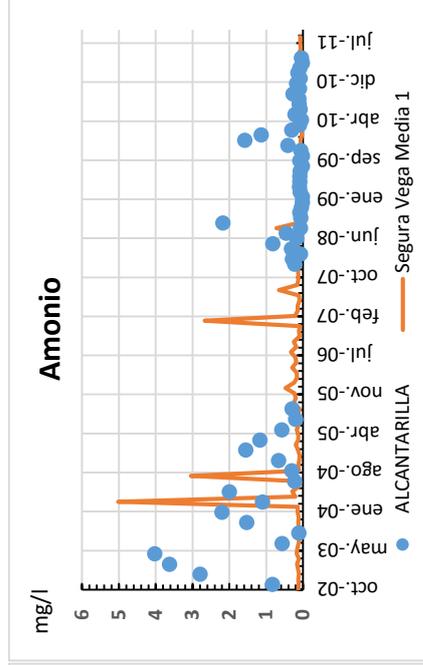
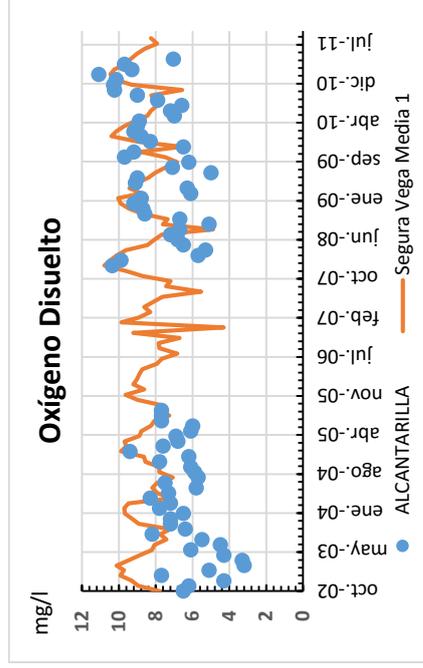
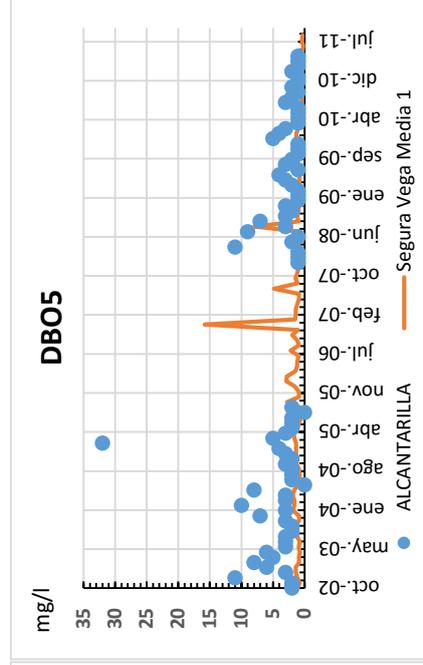
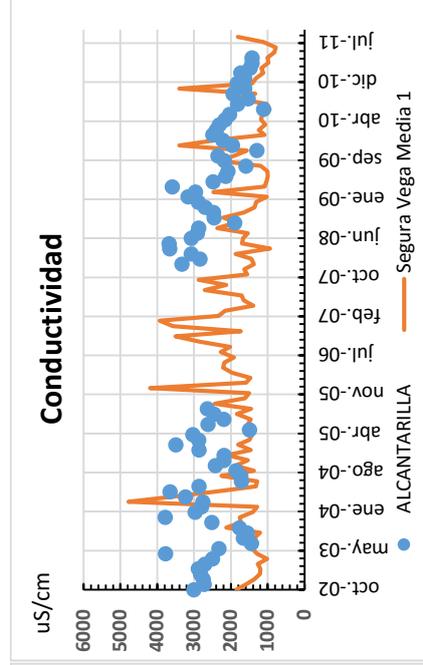
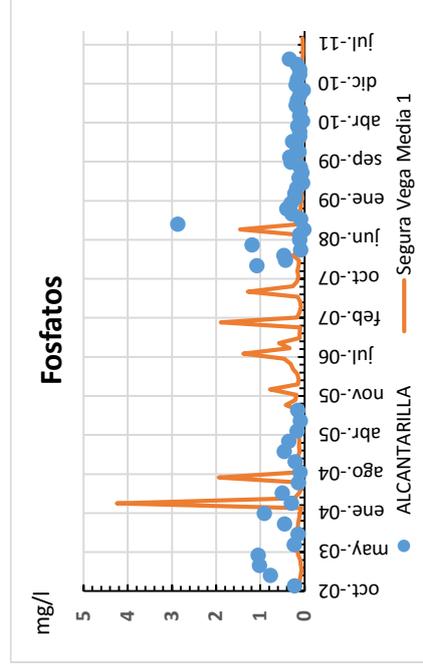


ABASTECIMIENTO ABARÁN

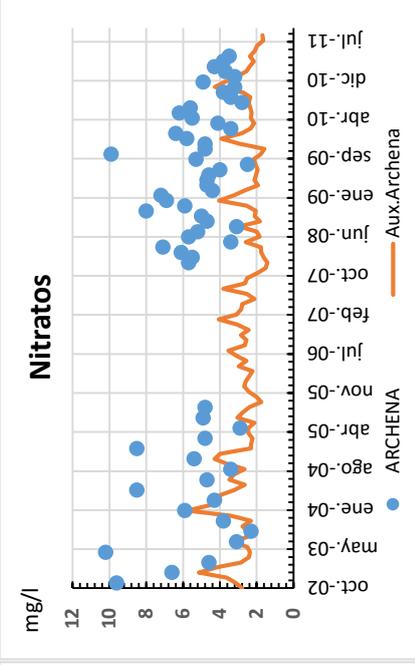
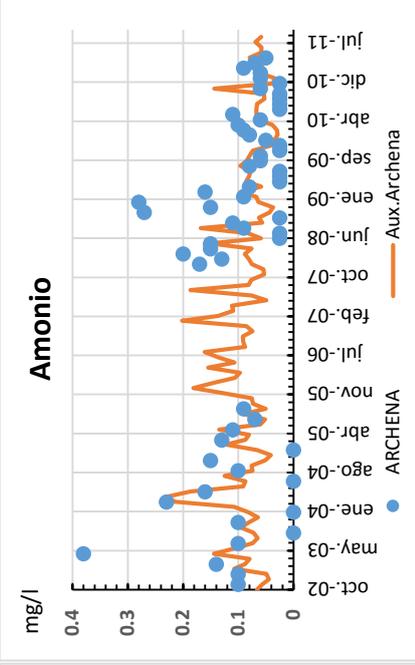
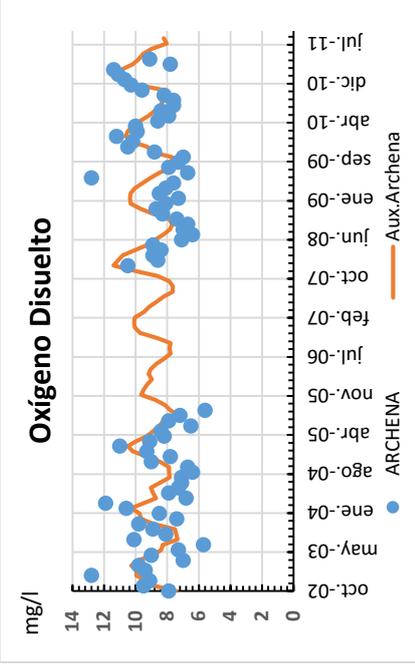
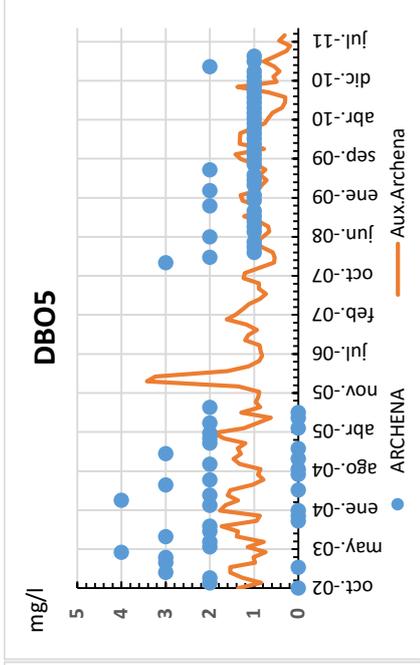
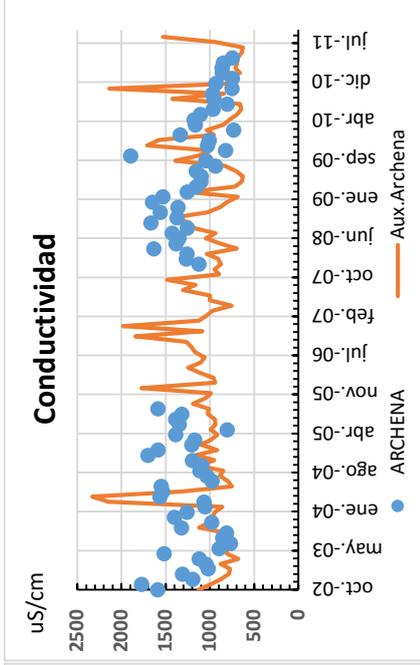
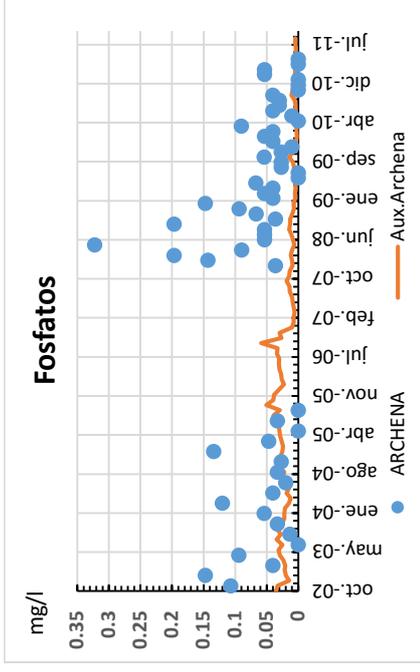




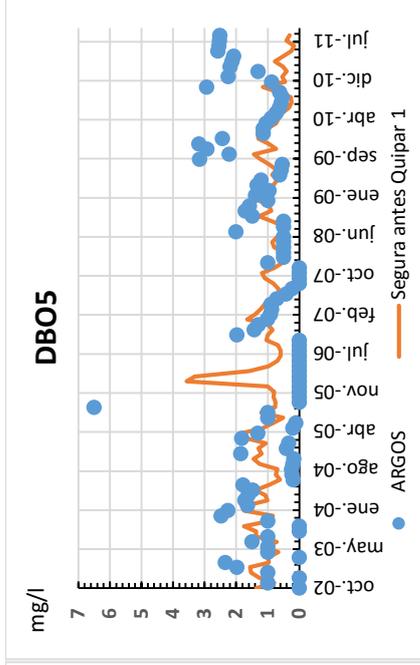
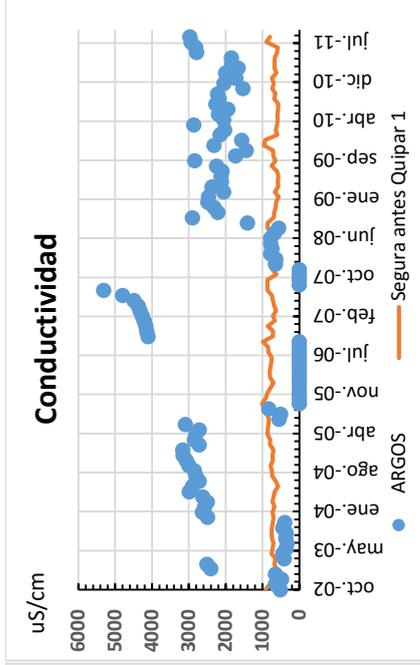
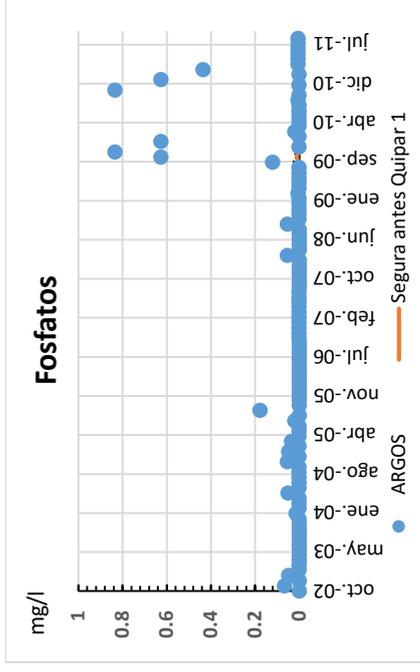
ALCANTARILLA

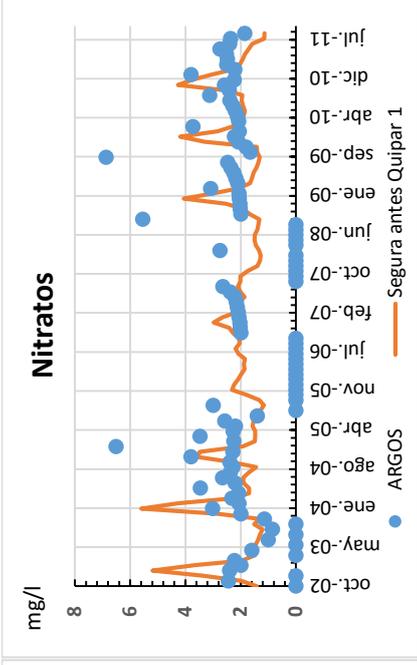
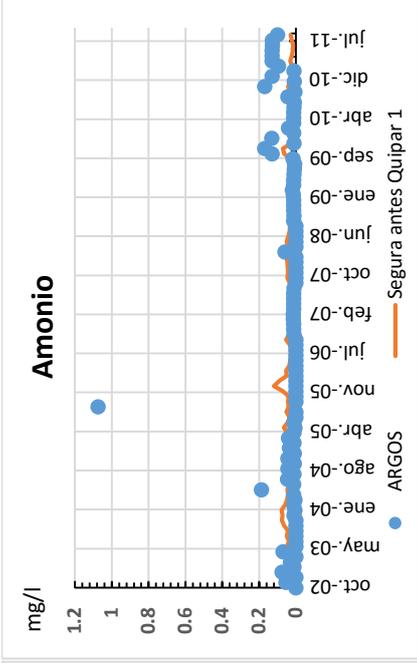
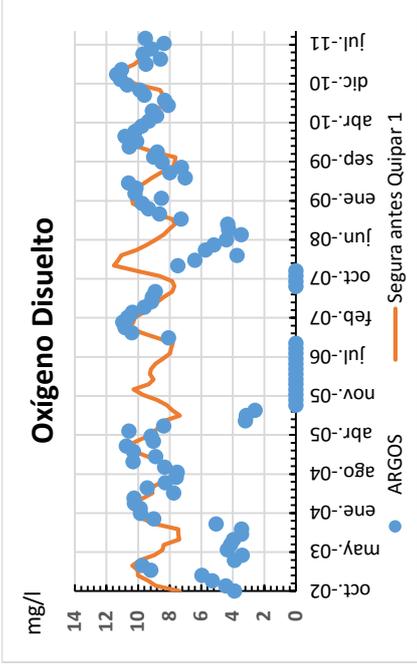


ARCHENA

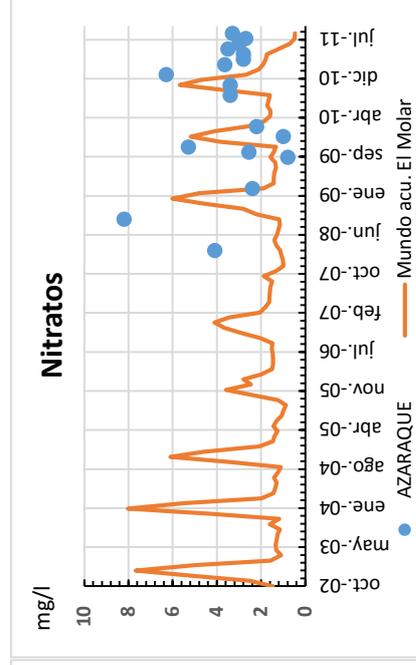
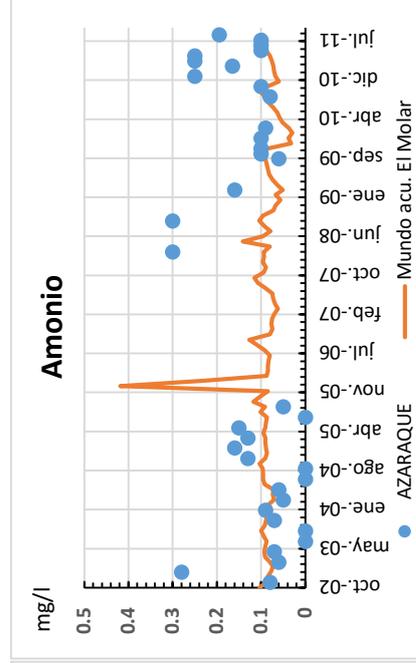
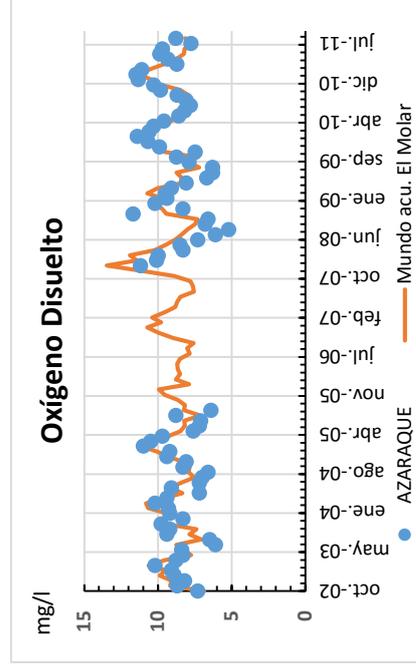
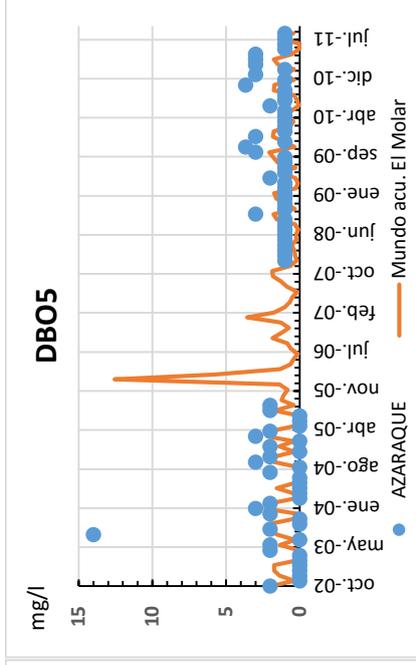
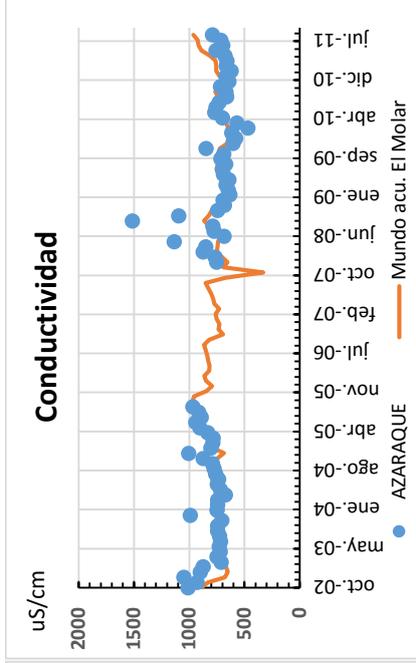
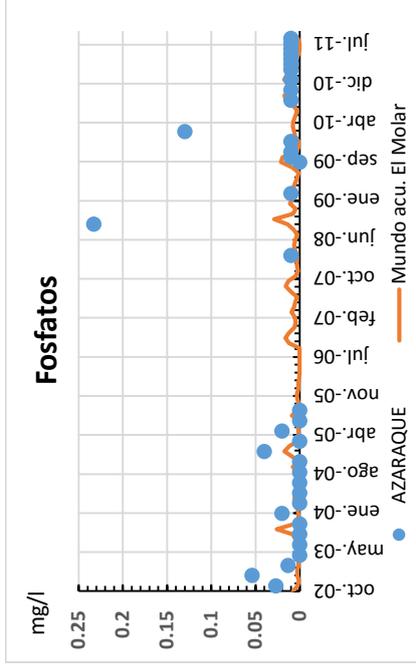


ARGOS

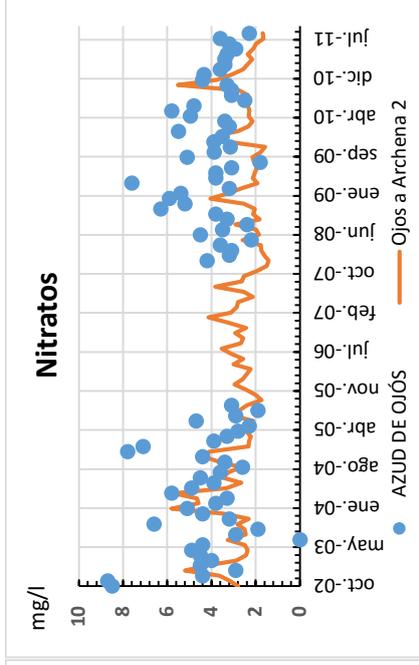
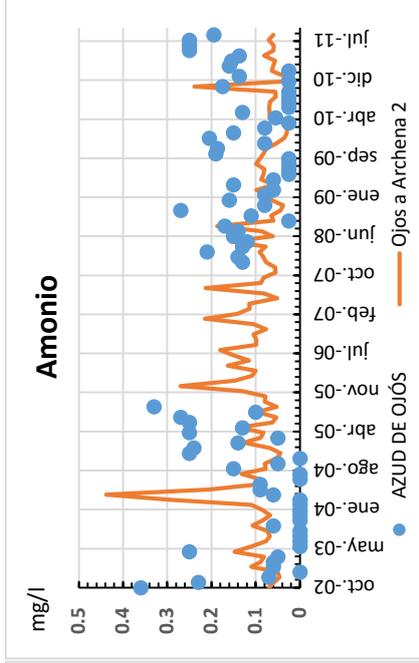
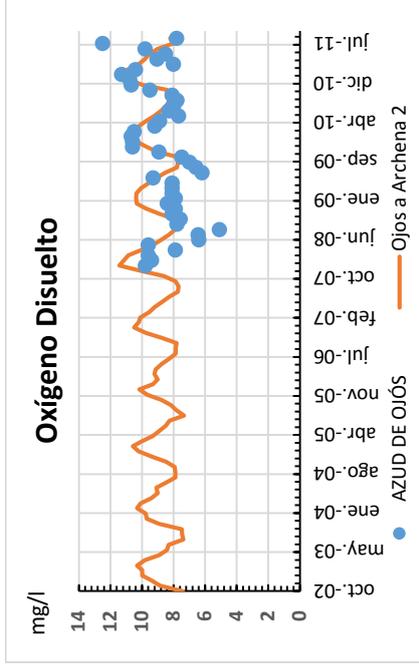
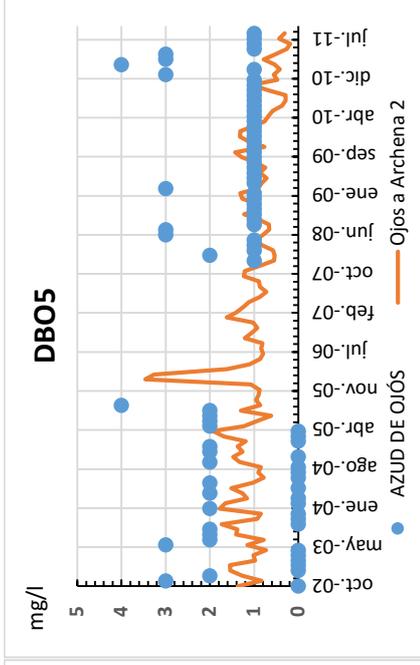
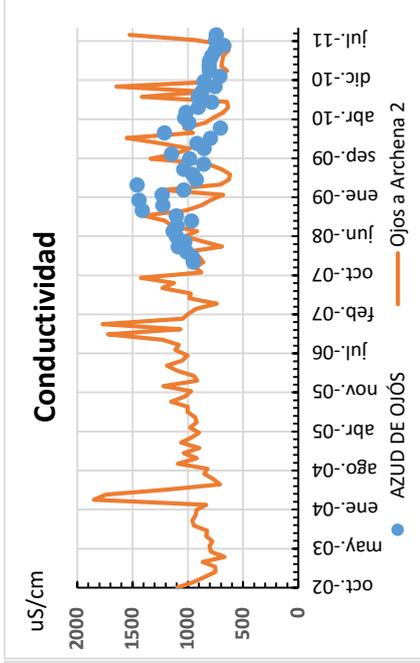
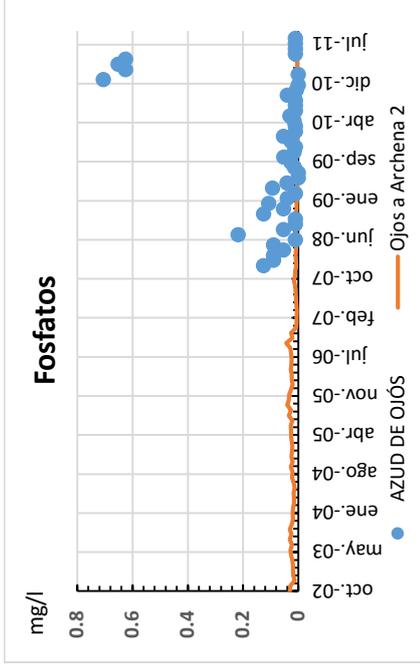




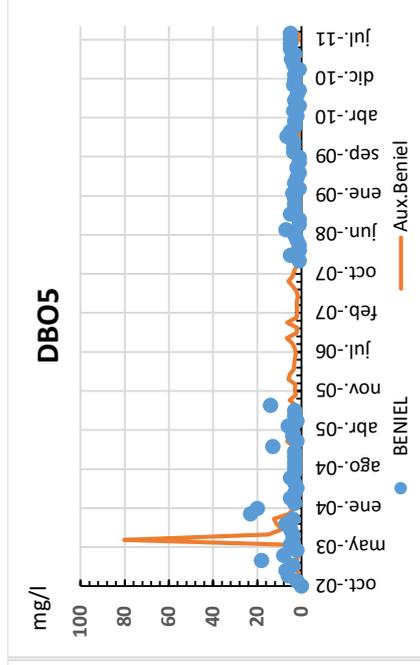
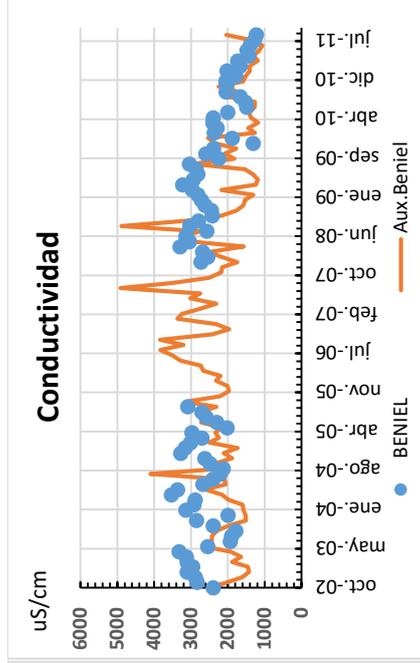
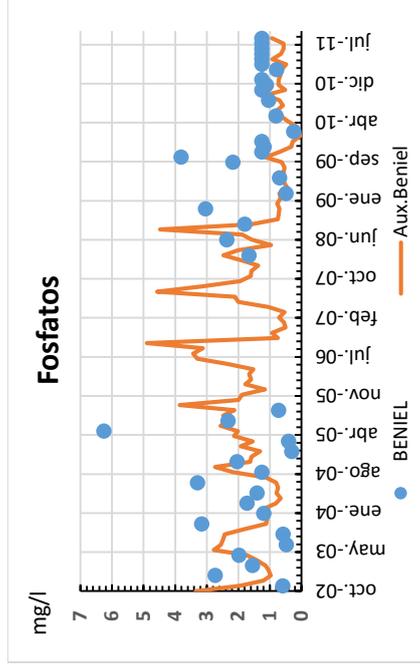
AZARAQUE

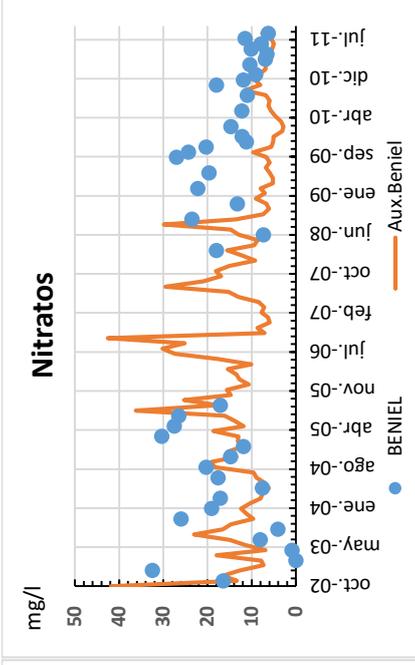
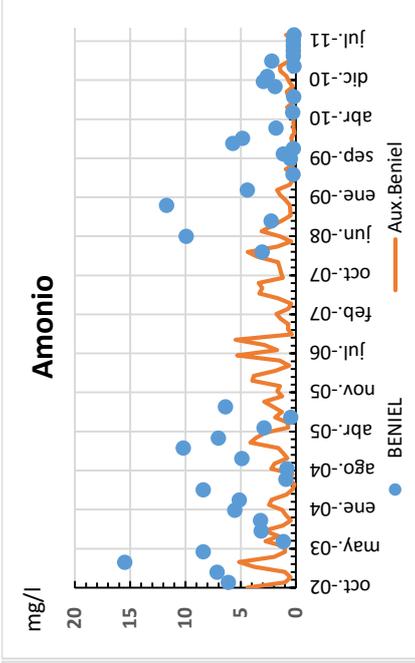
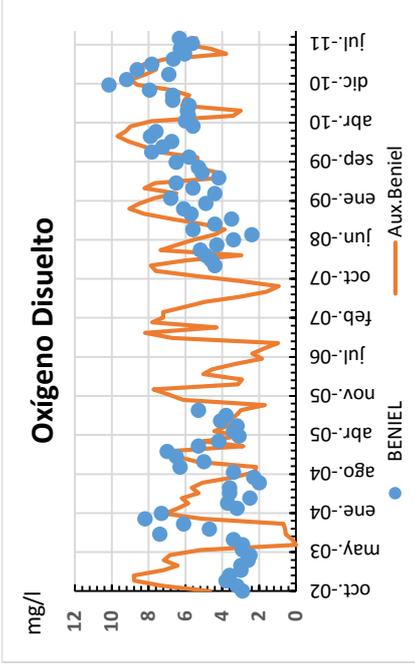


AZUD DE OJÓS

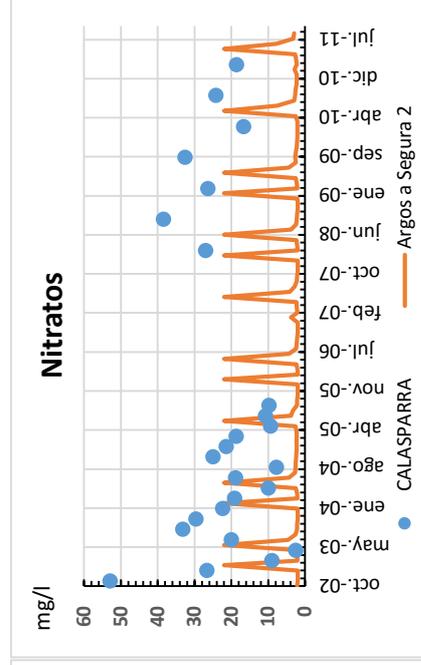
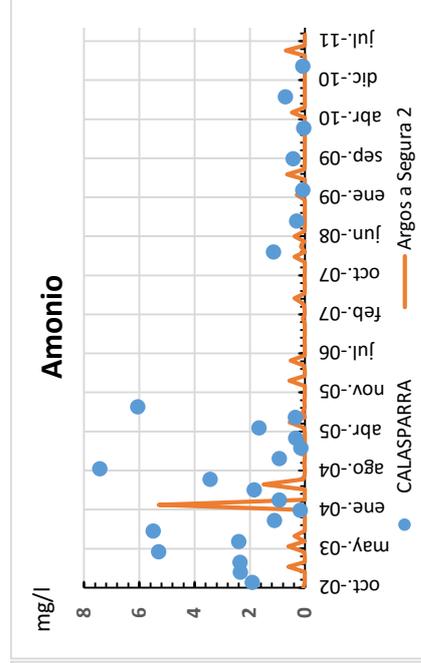
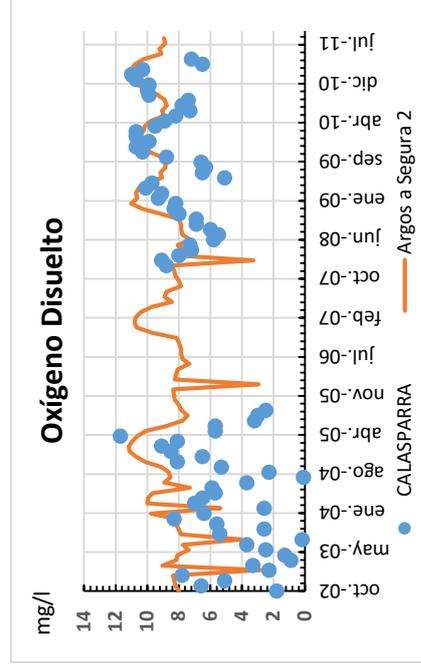
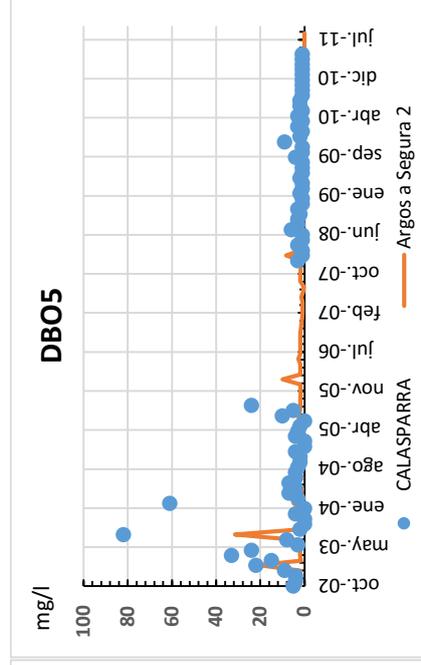
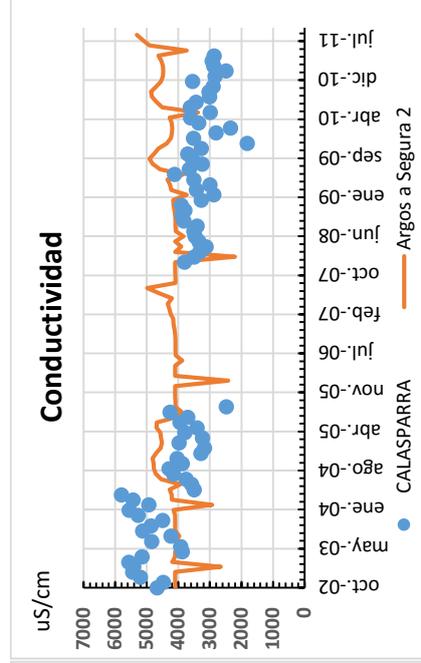
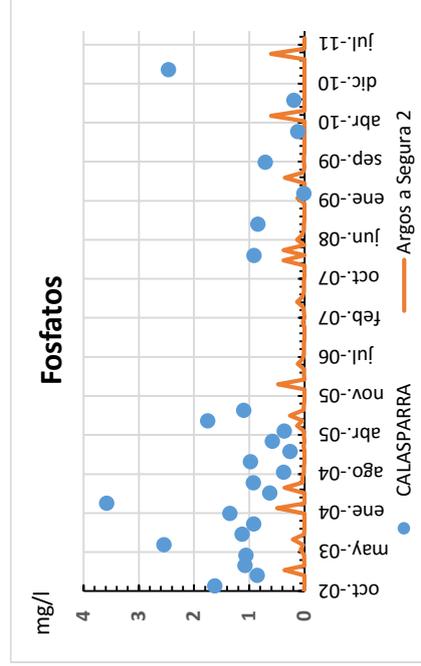


BENIEL

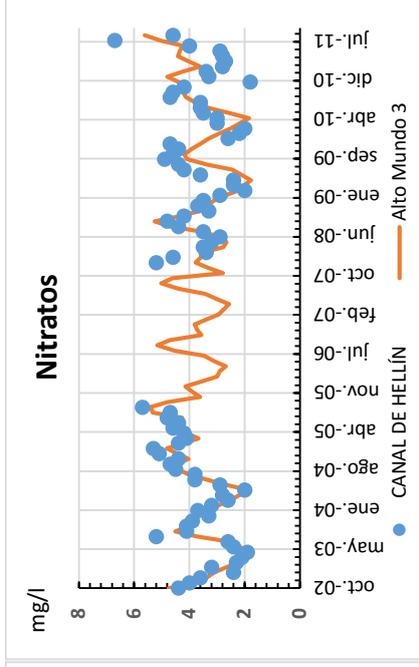
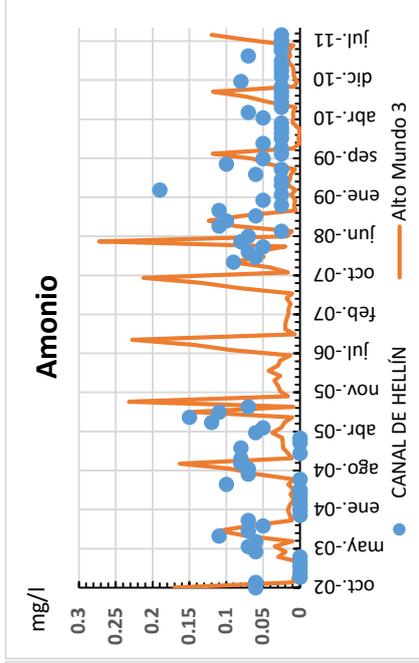
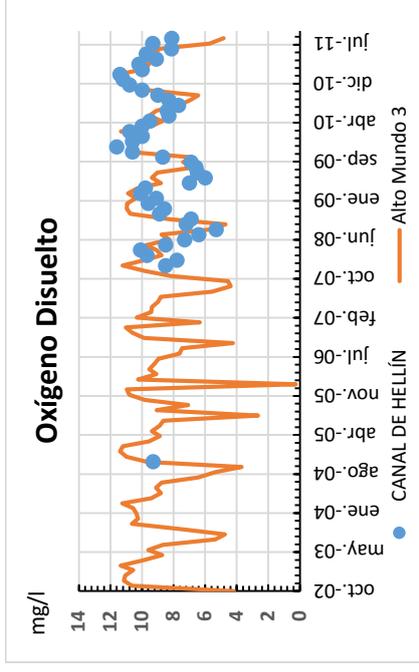
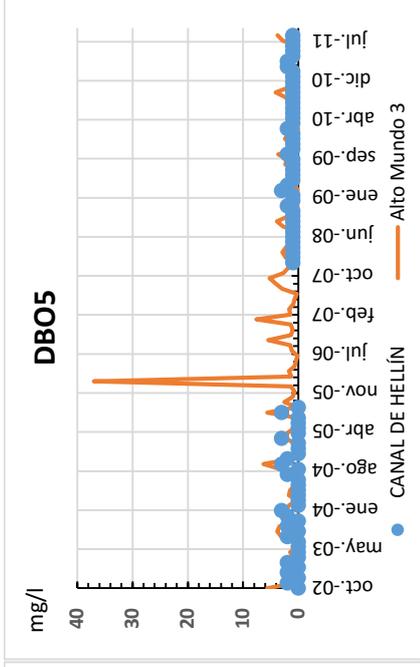
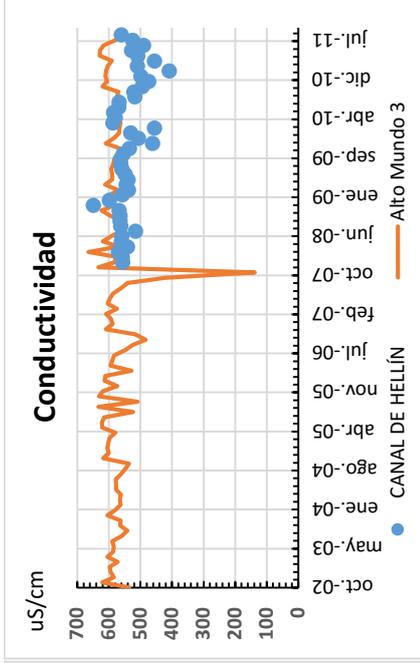
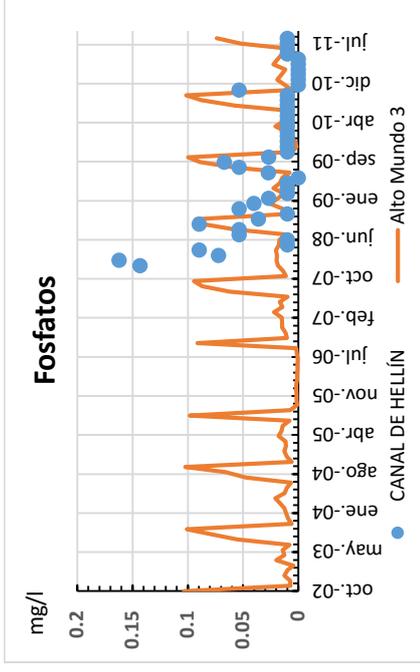




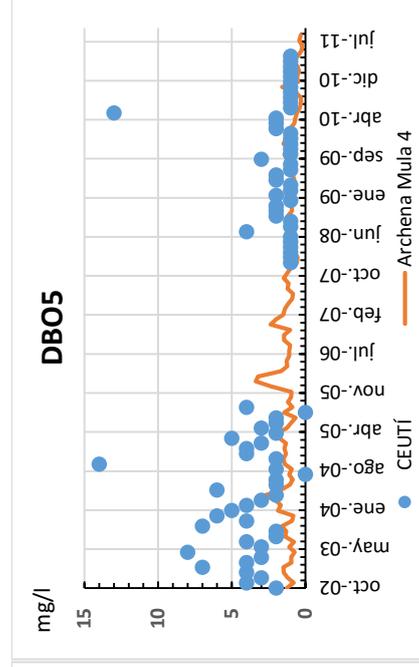
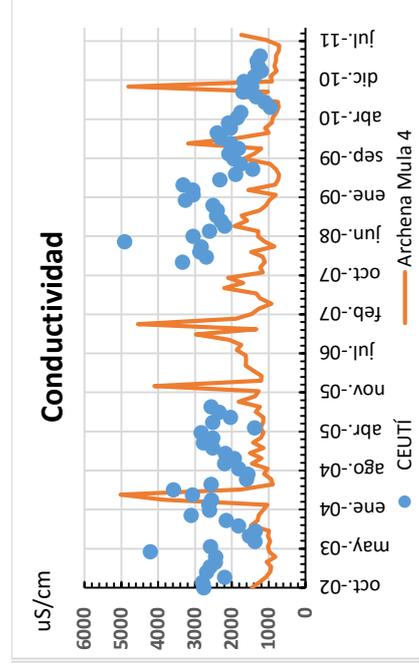
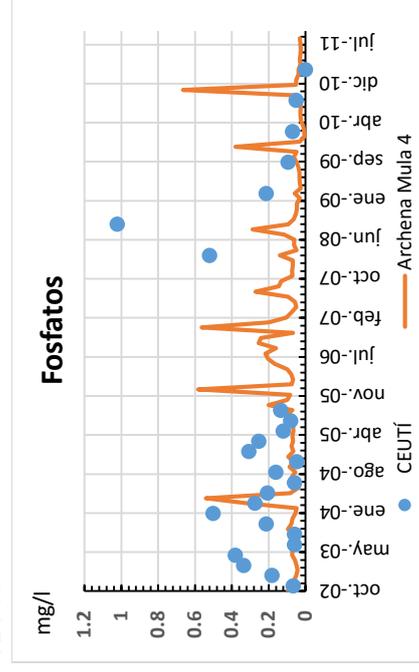
CALASPARRA

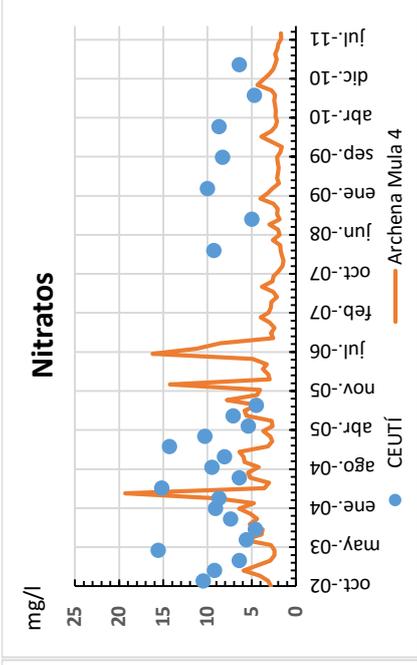
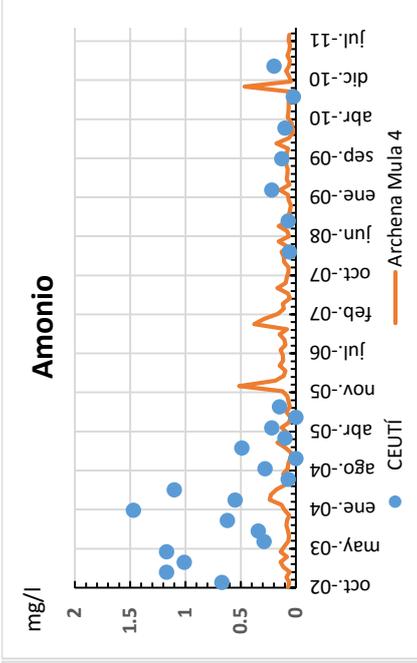
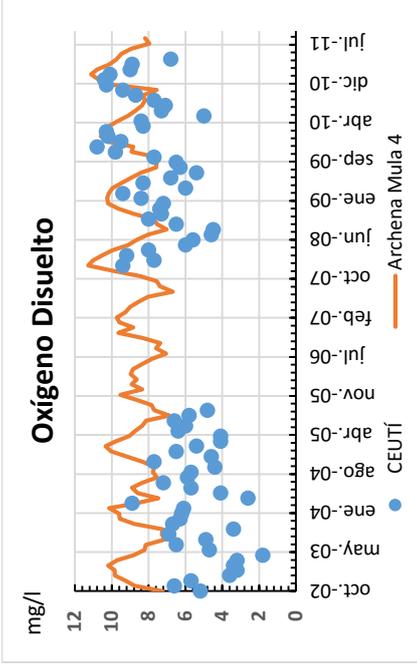


CANAL DE HELLÍN

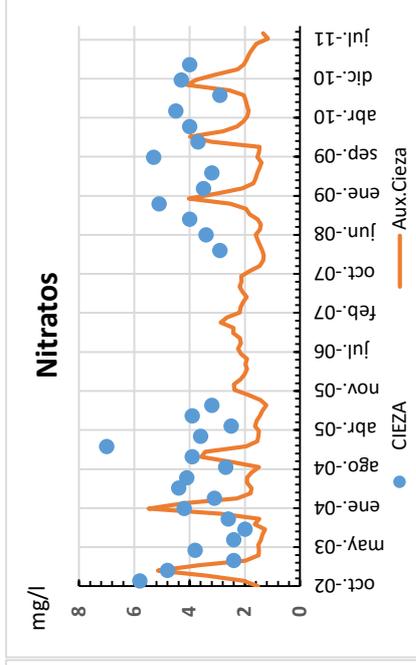
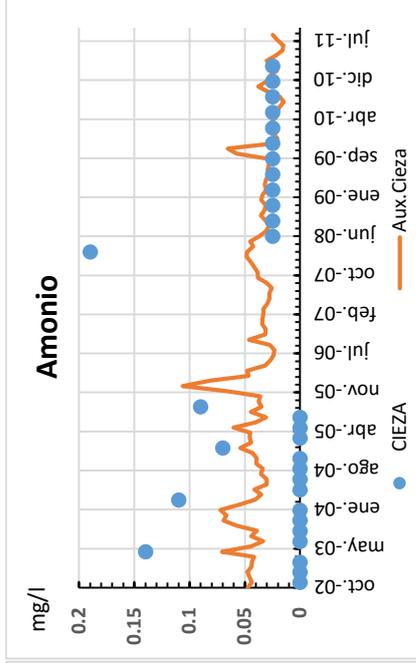
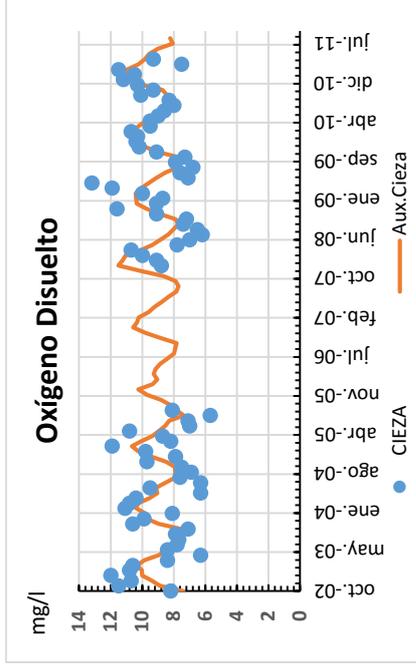
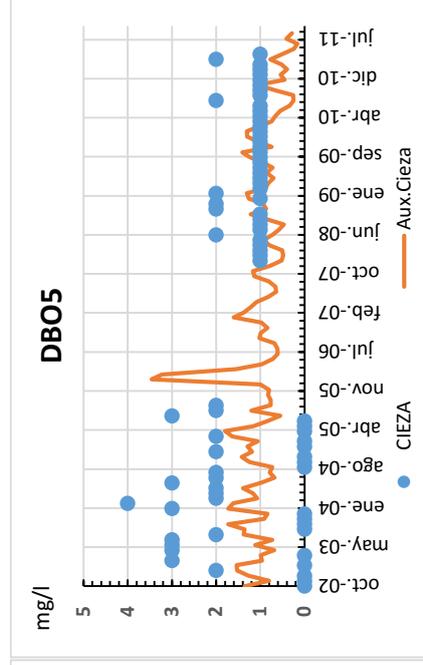
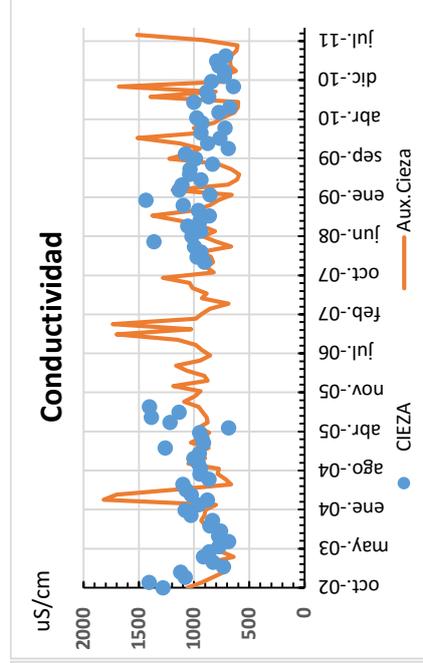
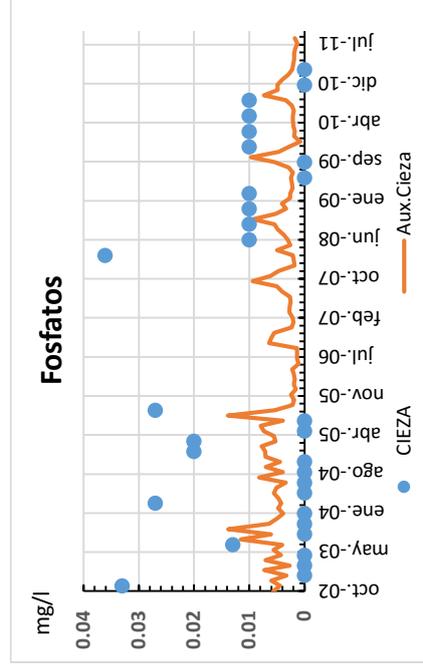


CEUTÍ

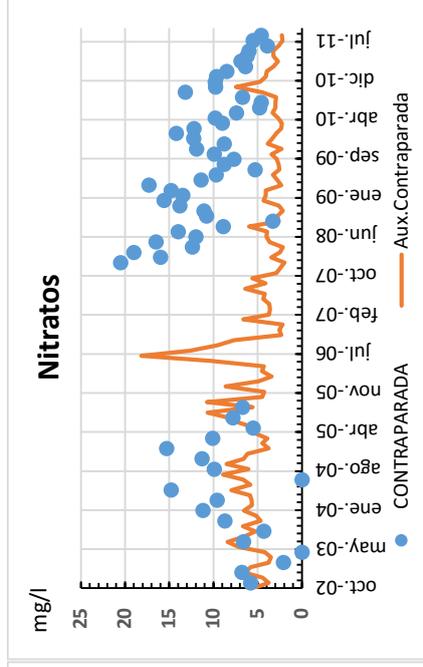
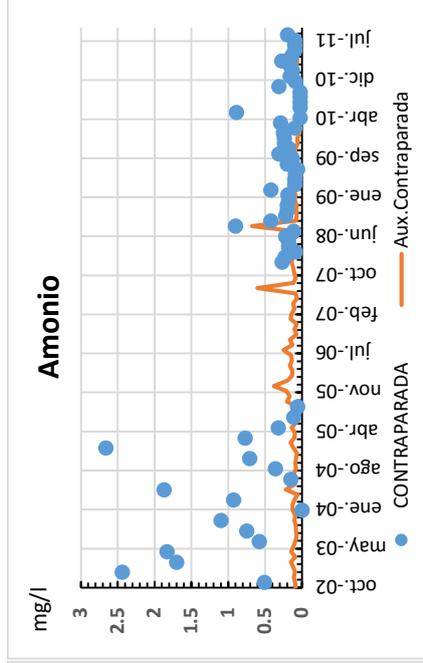
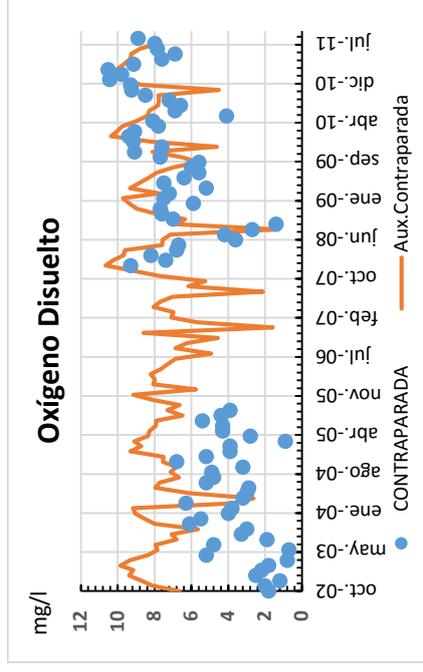
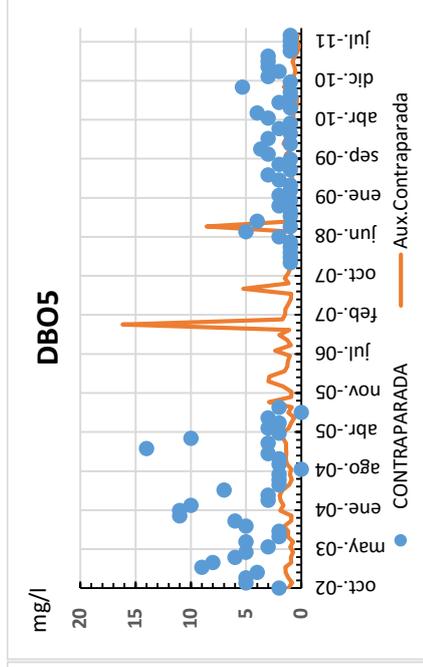
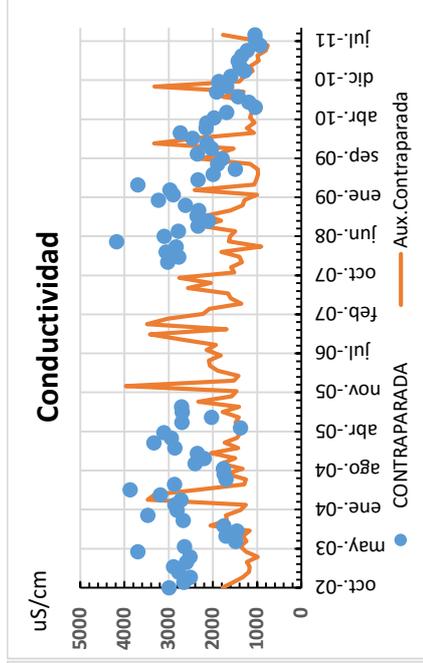
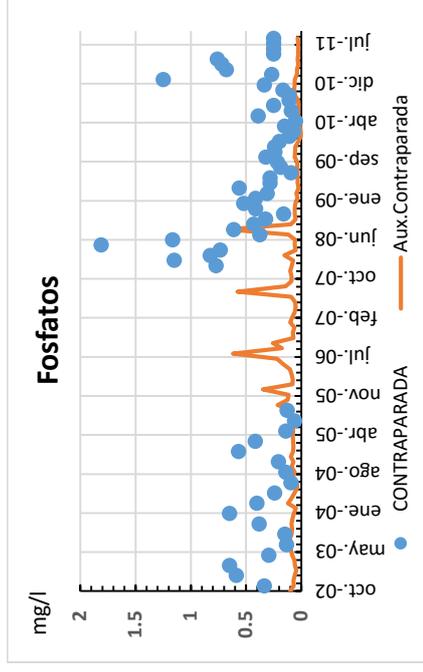




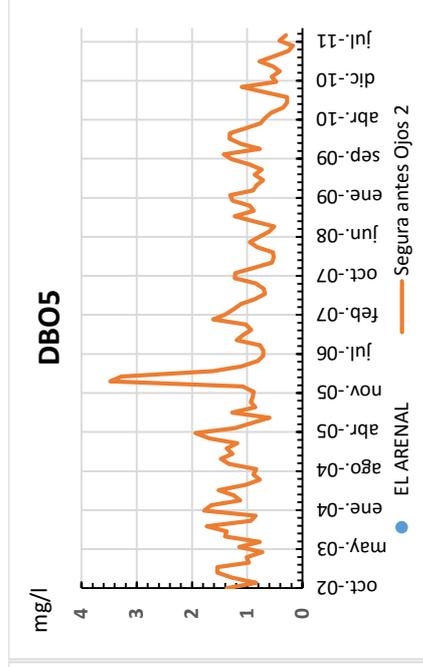
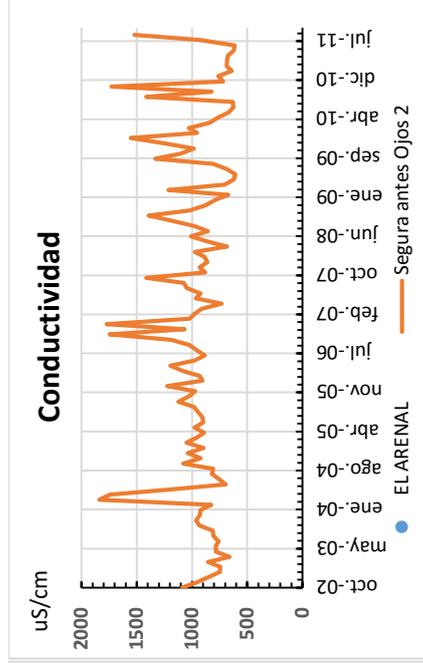
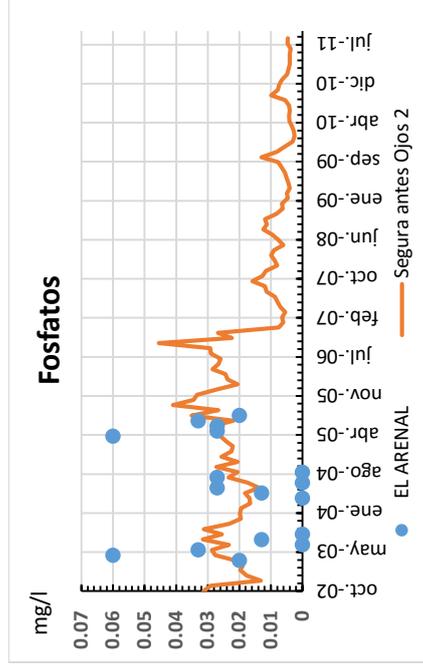
CIEZA

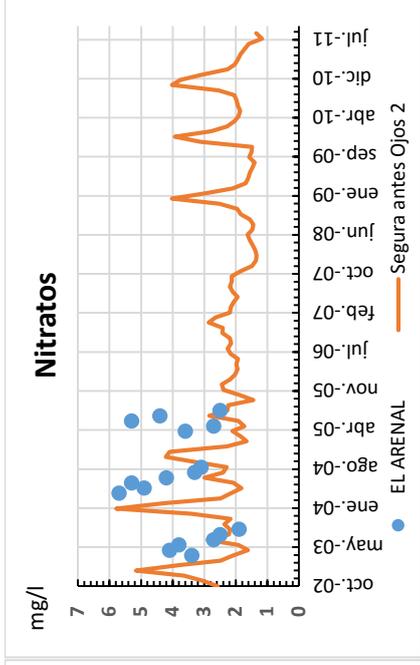
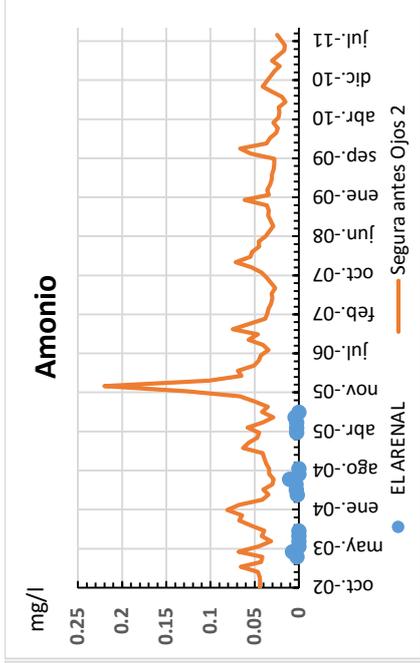
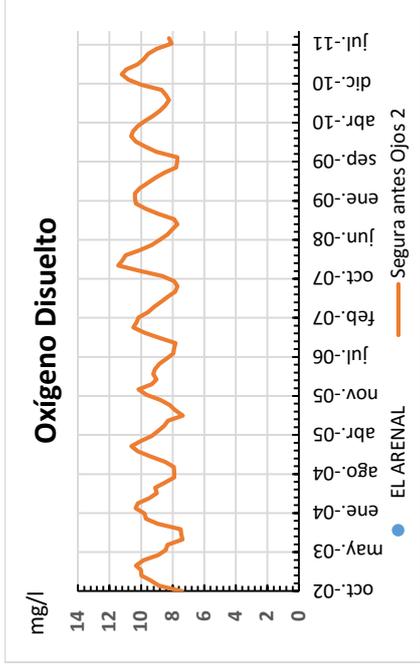


CONTRAPARADA

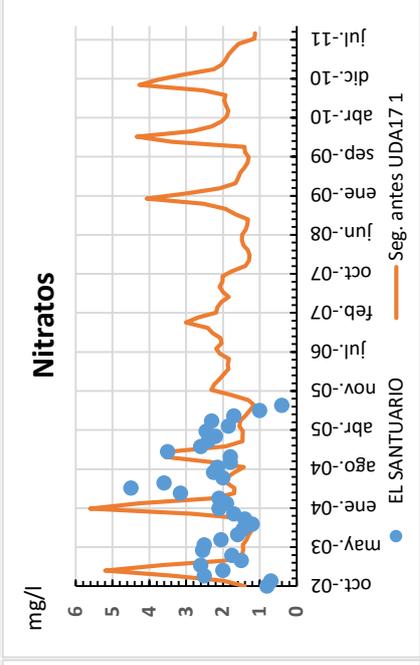
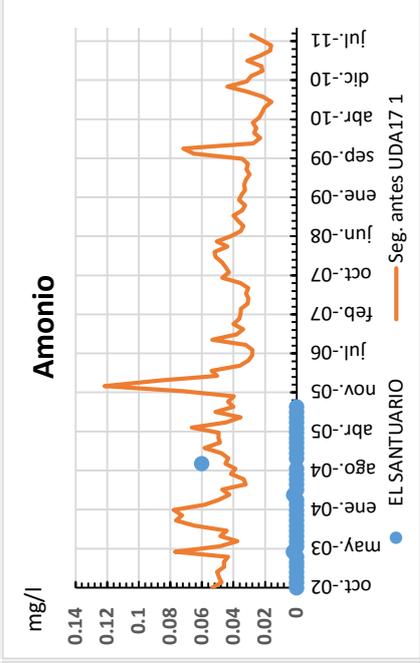
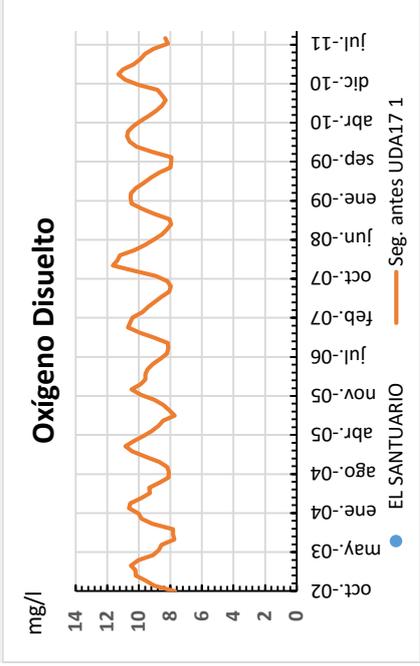
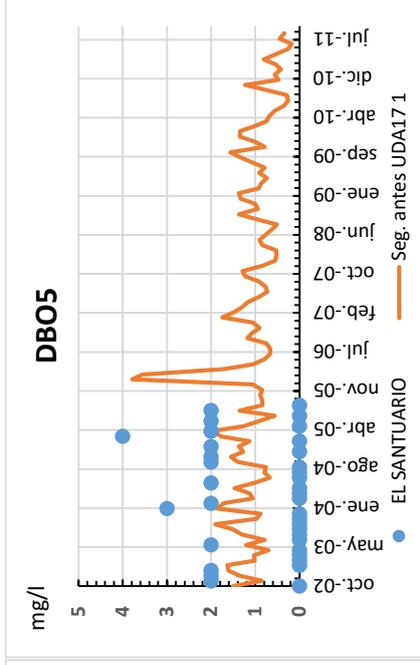
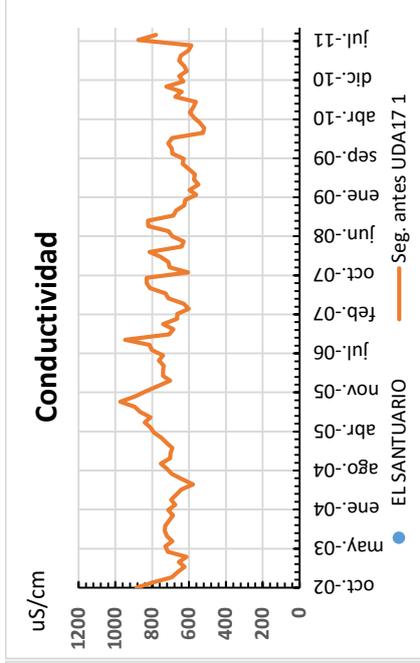
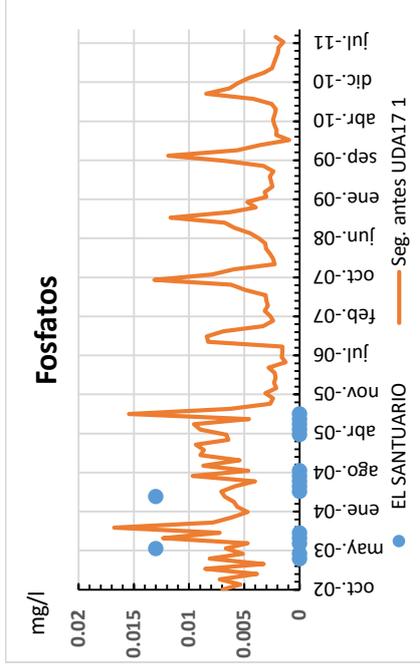


EL ARENAL

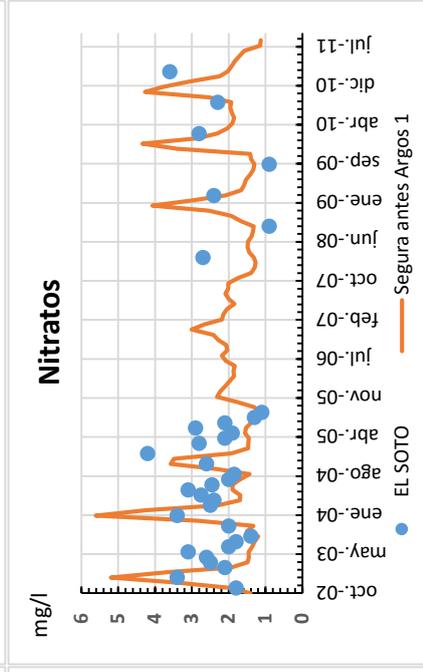
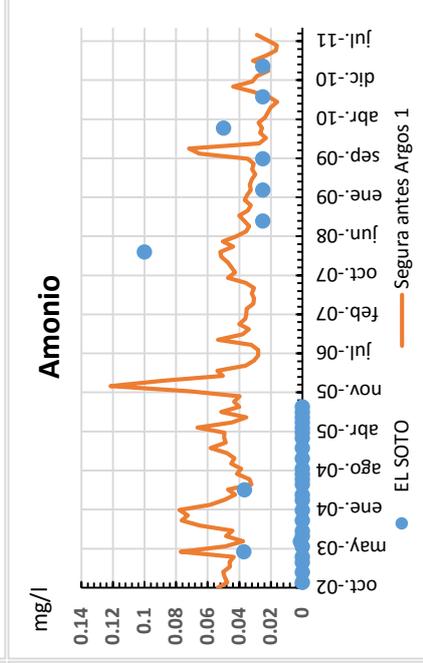
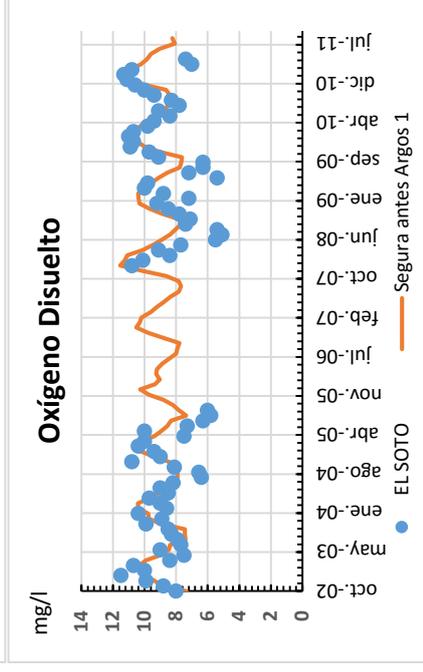
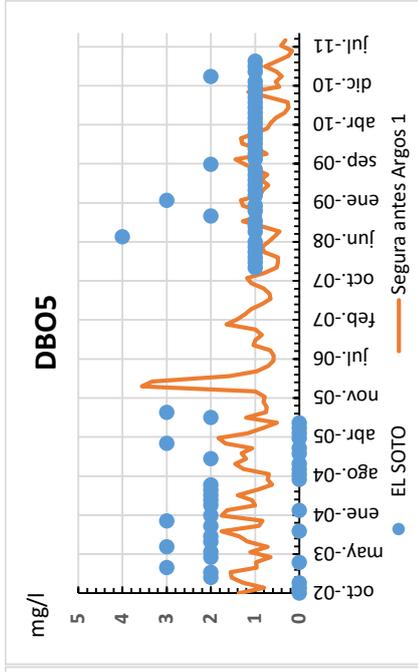
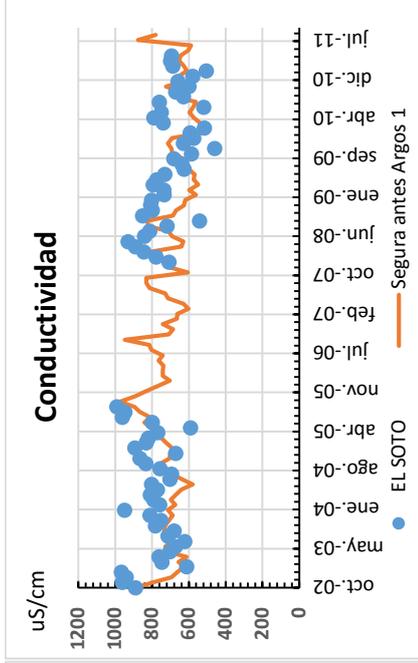
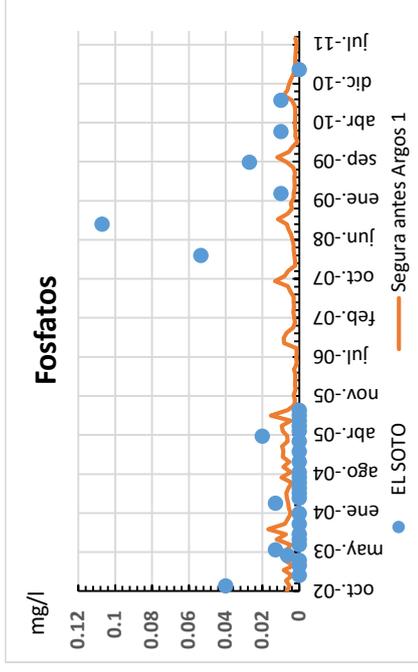




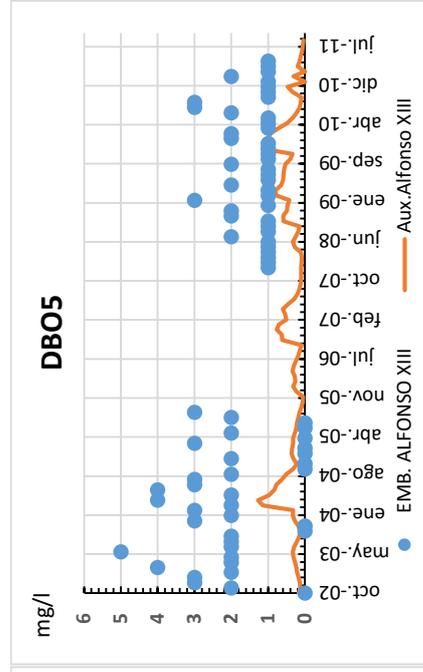
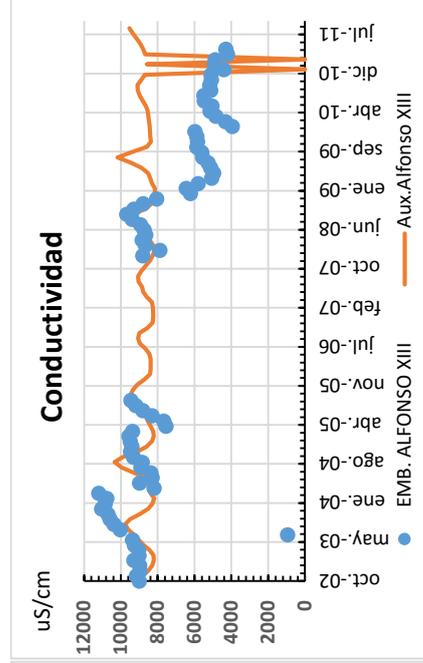
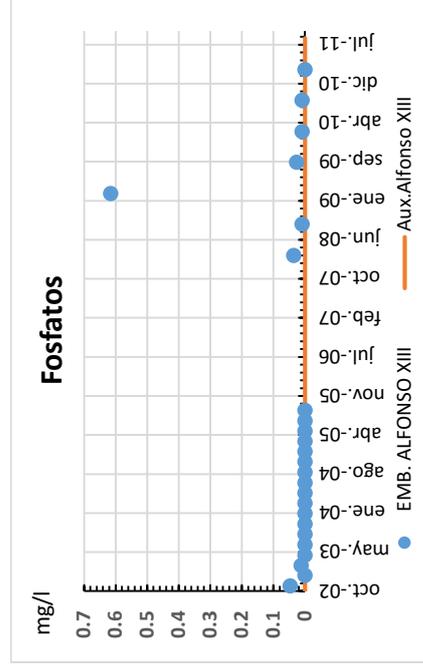
EL SANTUARIO

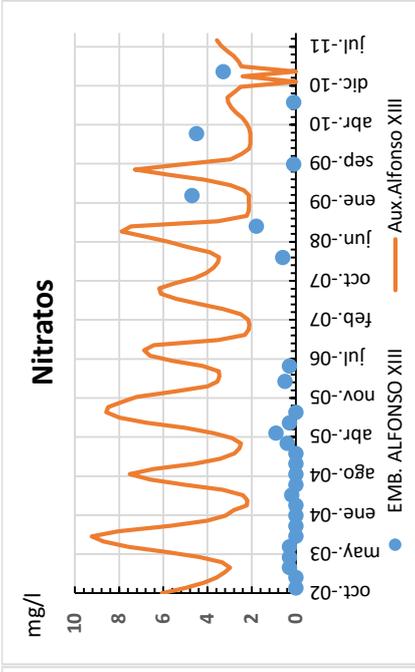
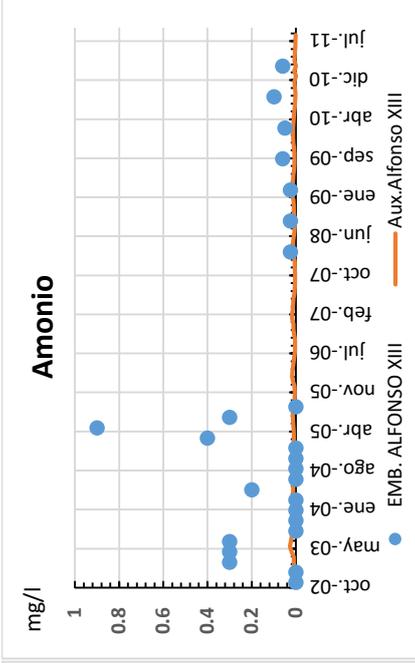
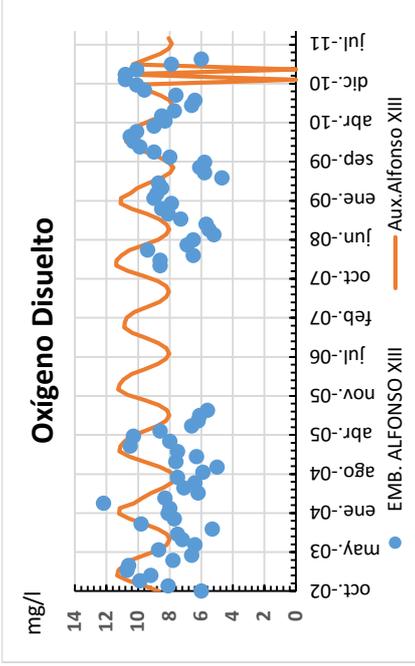


EL SOTO

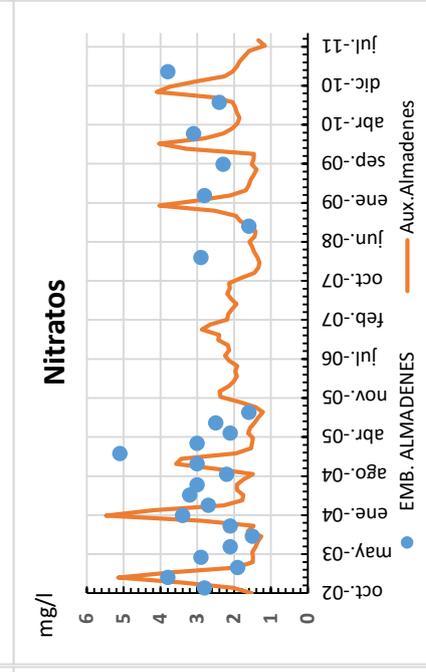
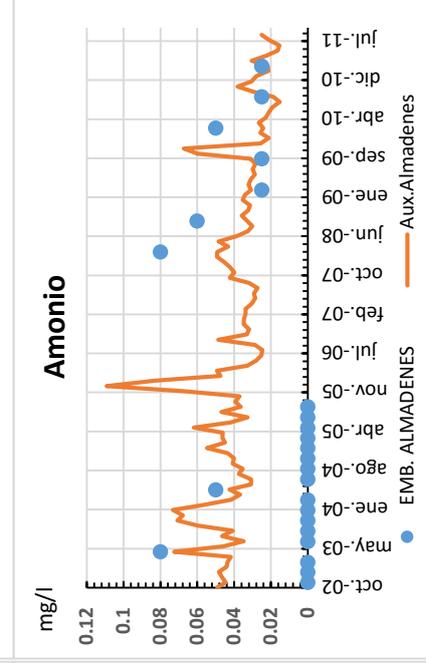
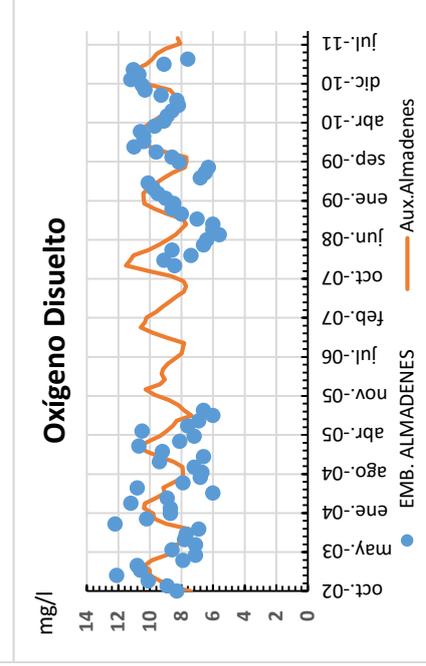
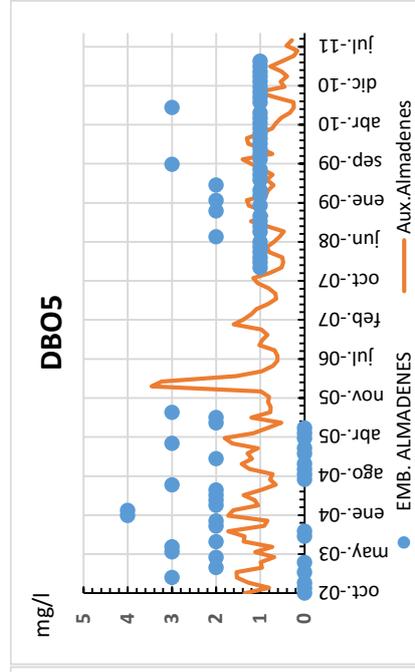
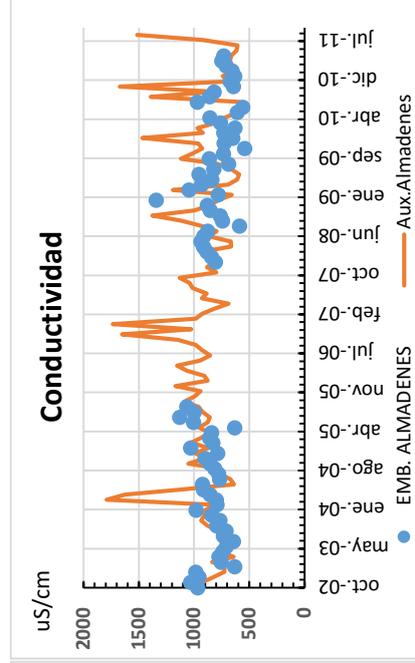
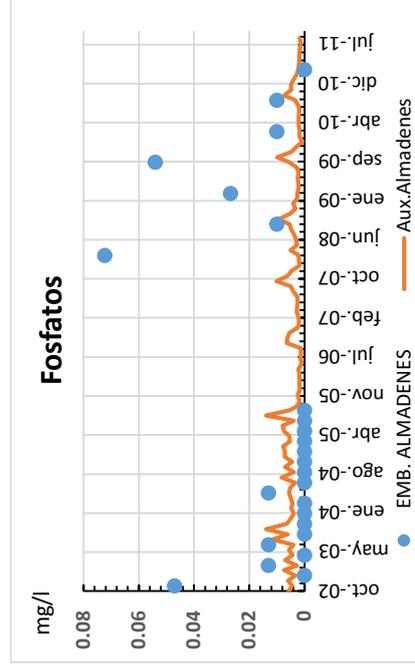


EMB. ALFONSO XIII

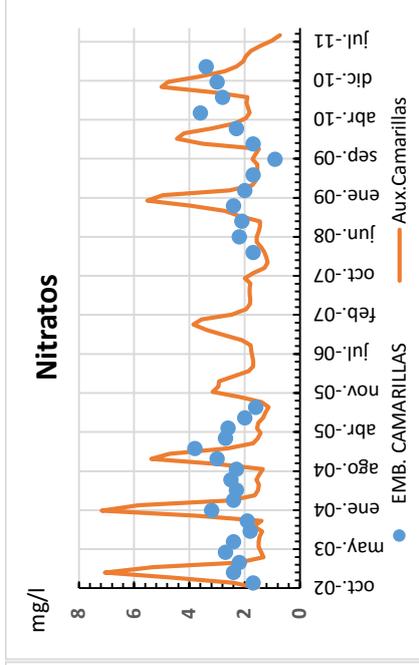
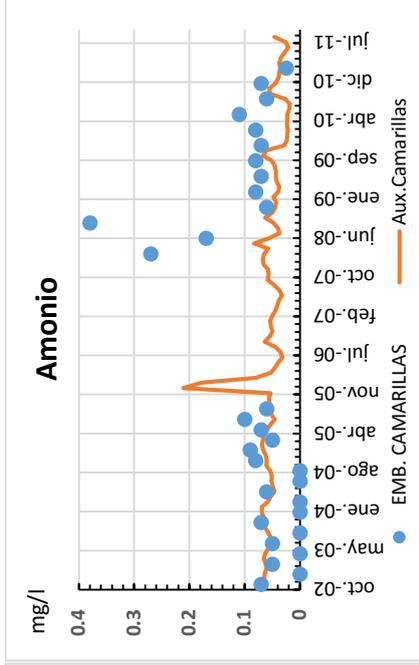
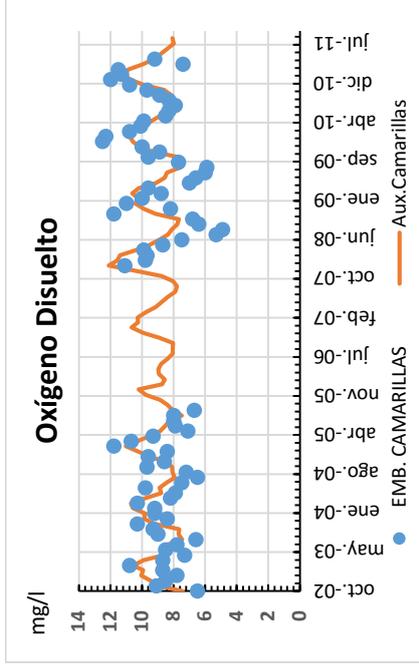
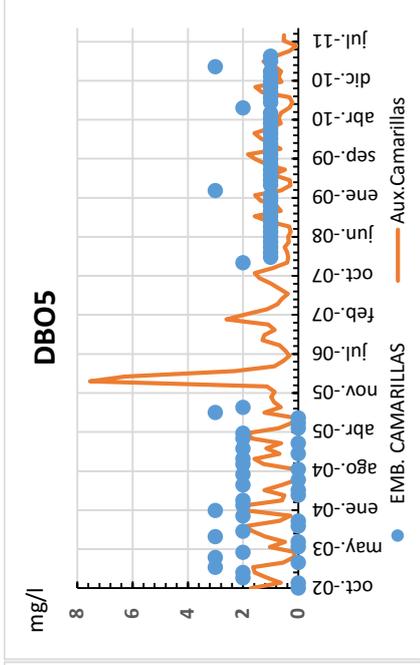
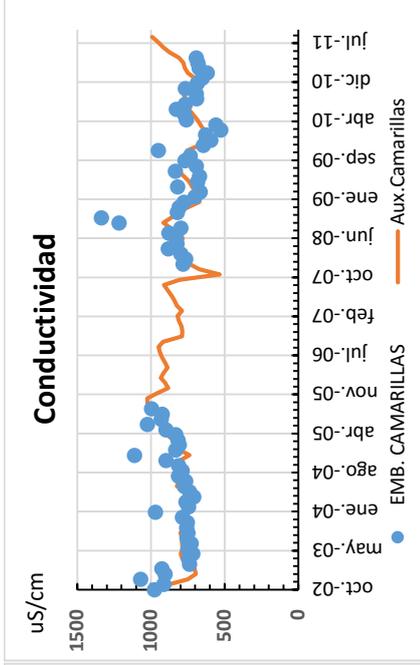
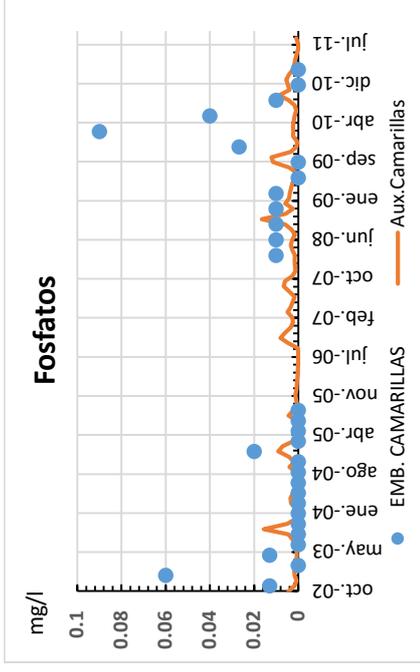




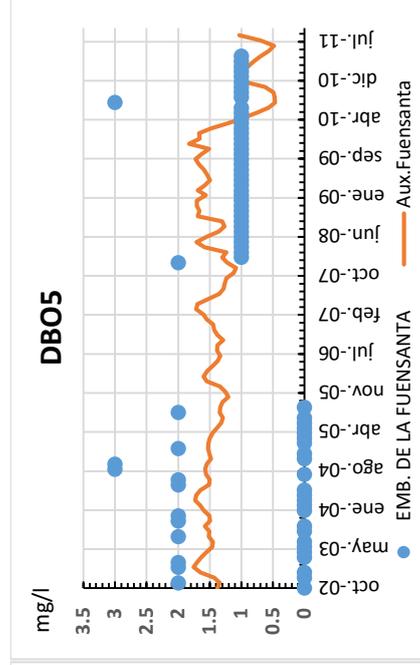
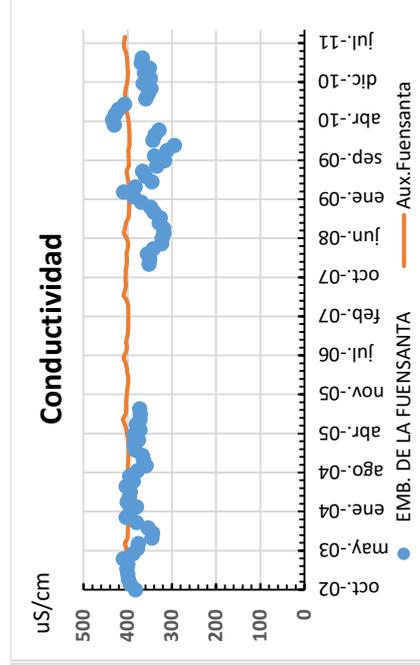
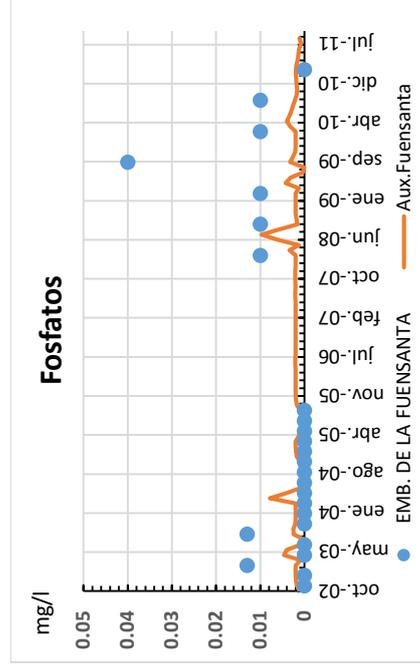
EMB. ALMADENES

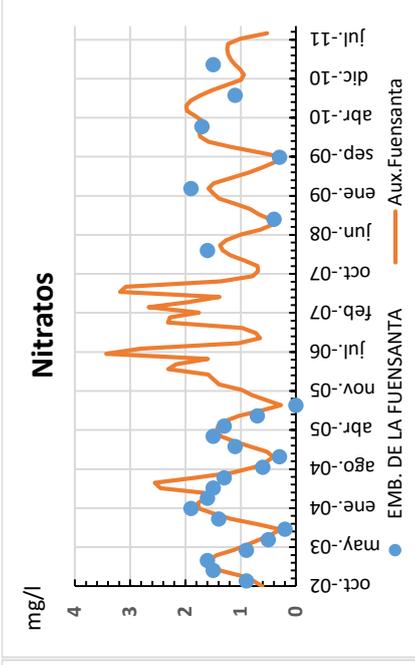
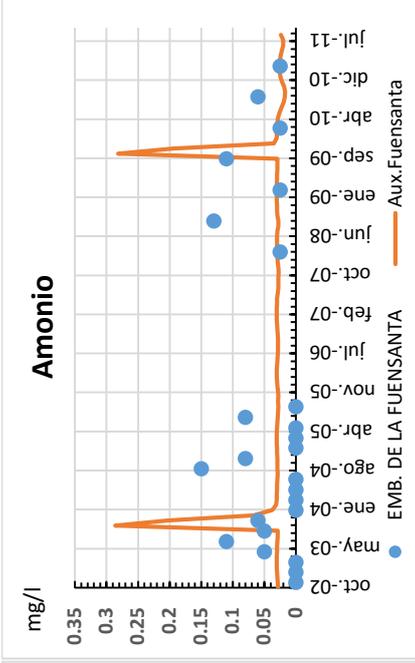
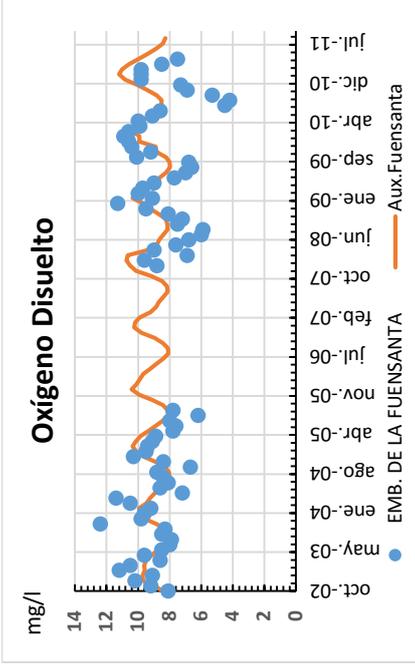


EMB. CAMARILLAS

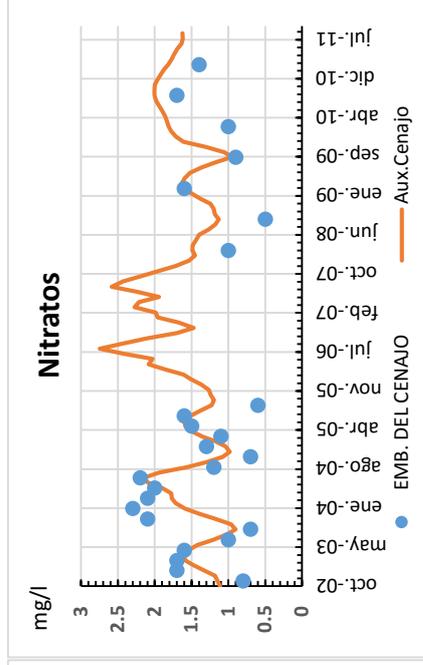
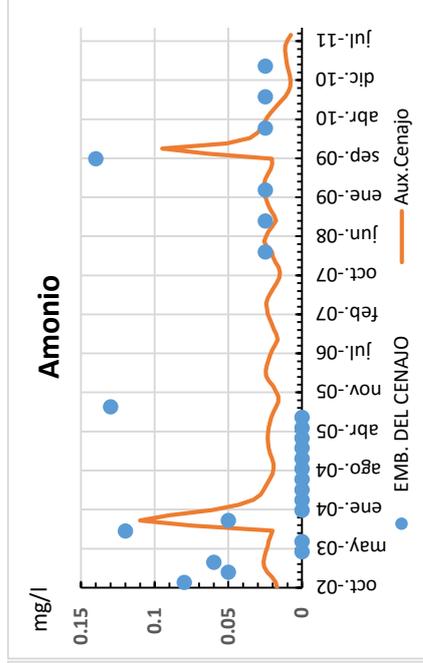
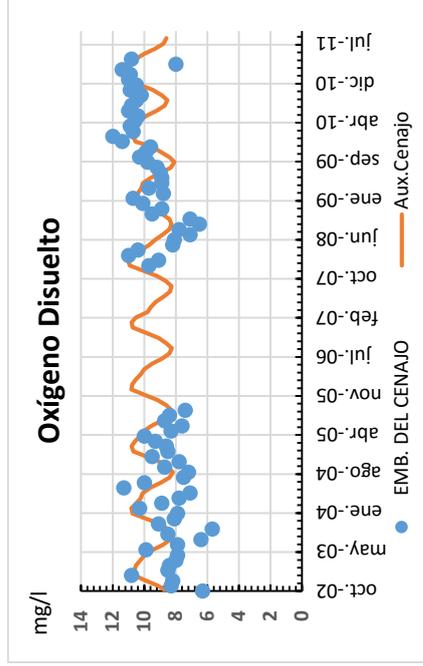
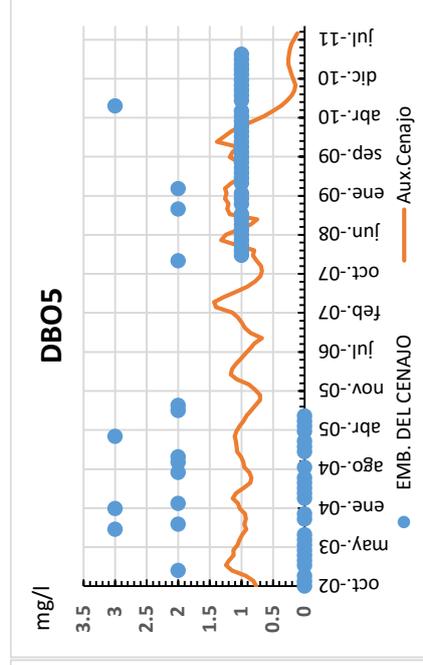
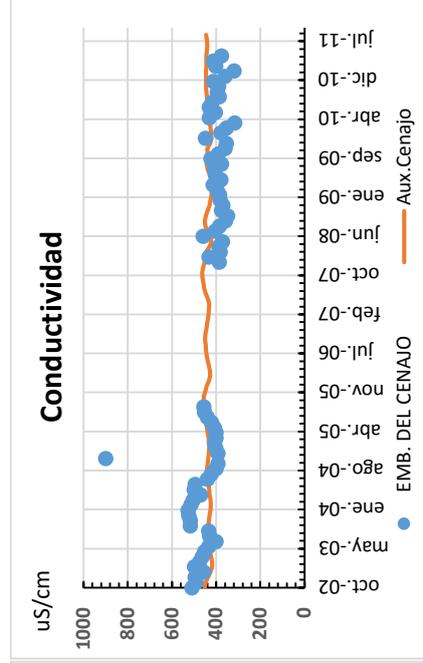
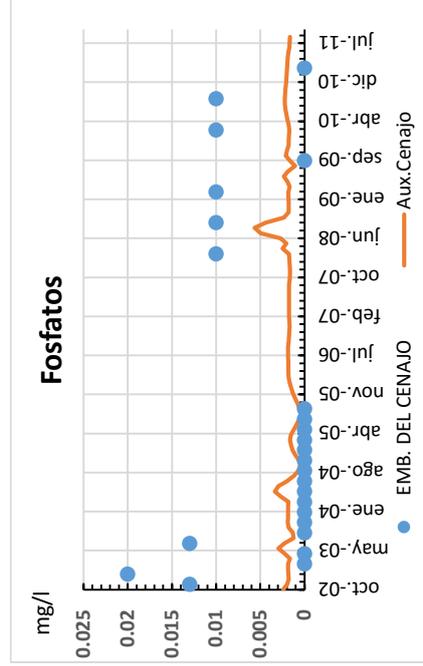


EMB. DE LA FUENSANTA

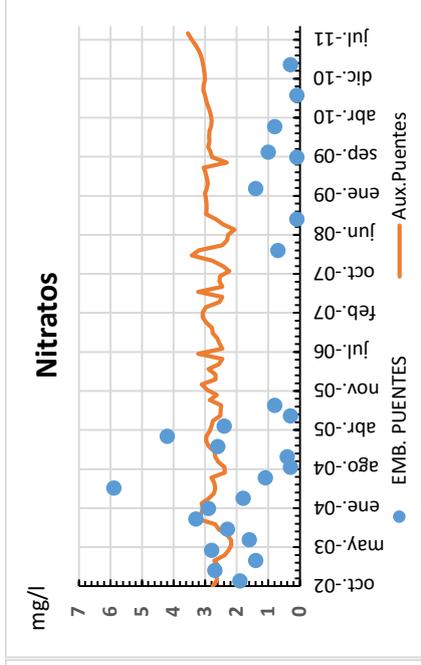
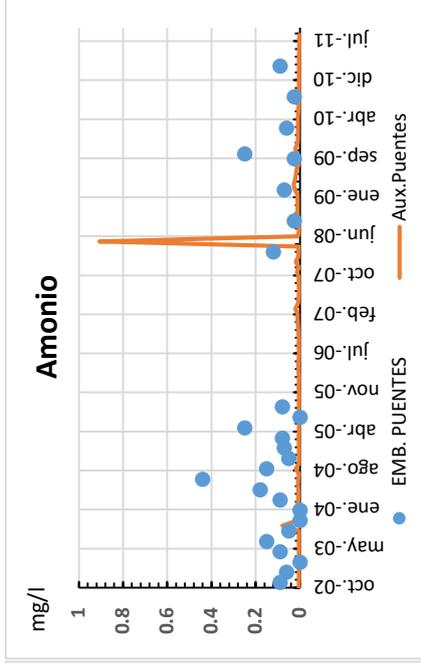
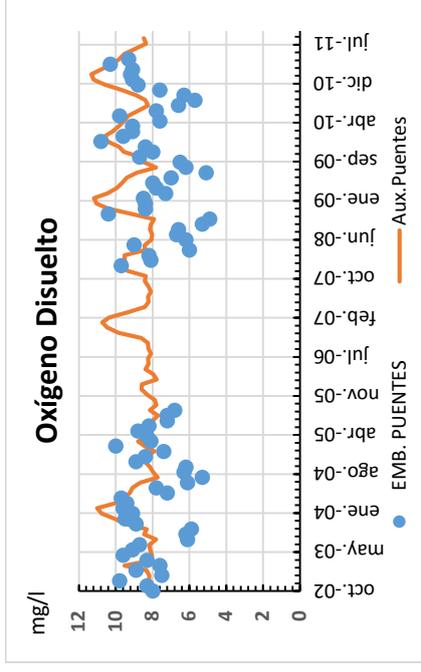
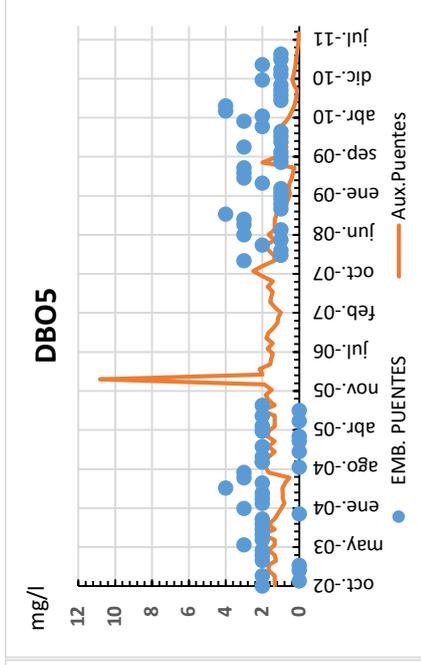
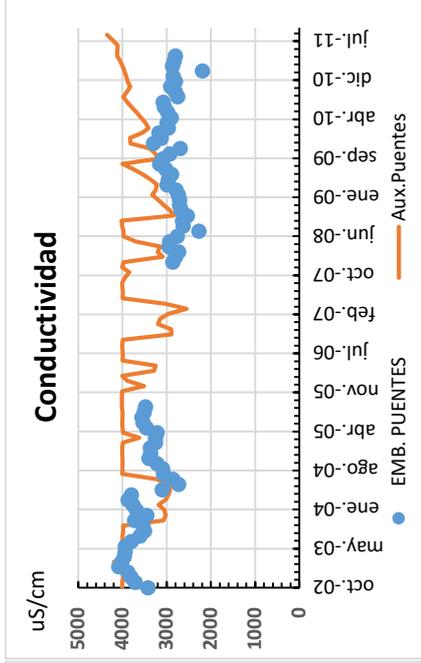
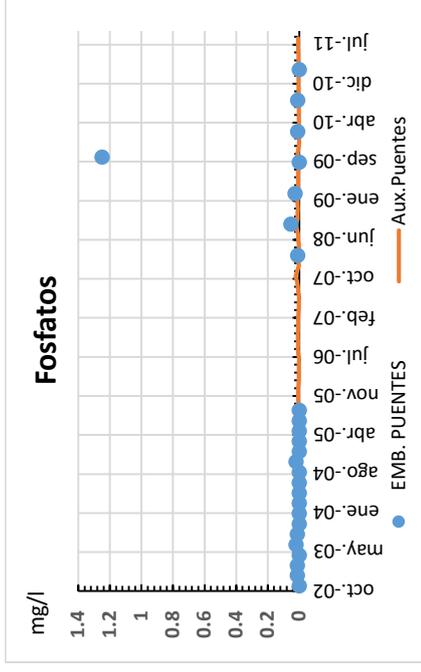




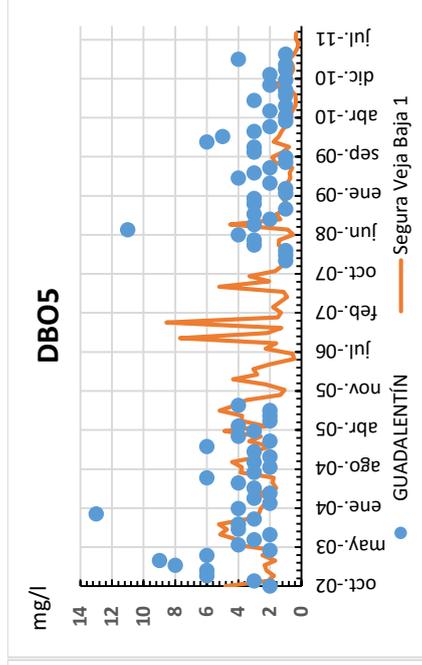
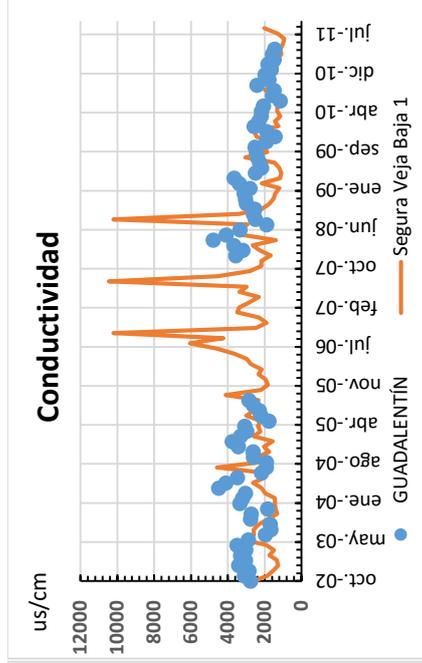
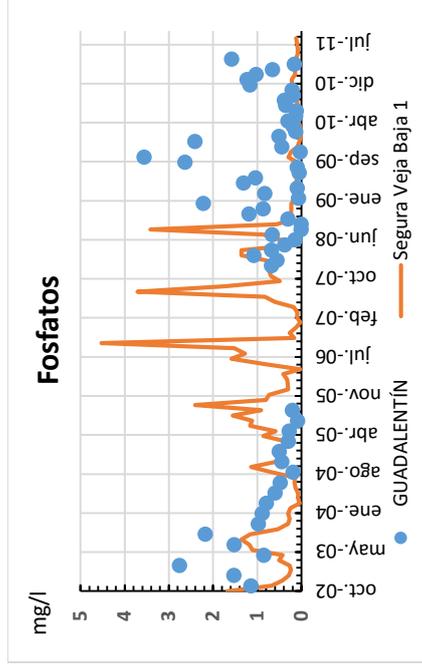
EMB. DEL CENAJO

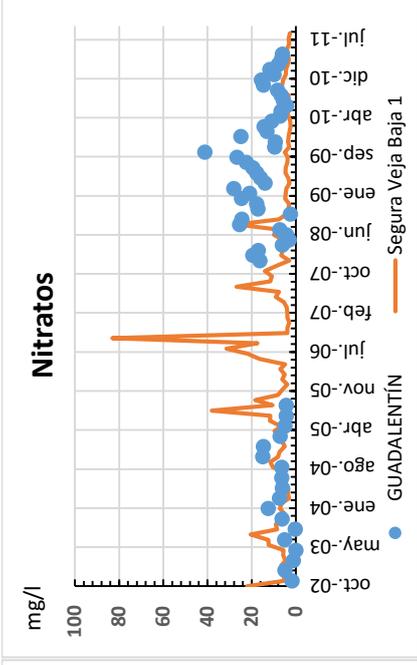
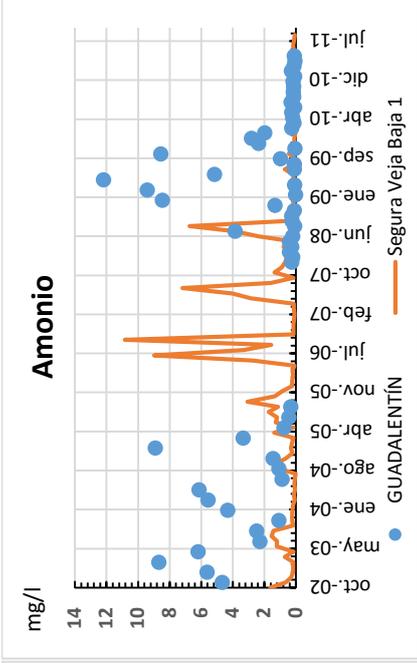
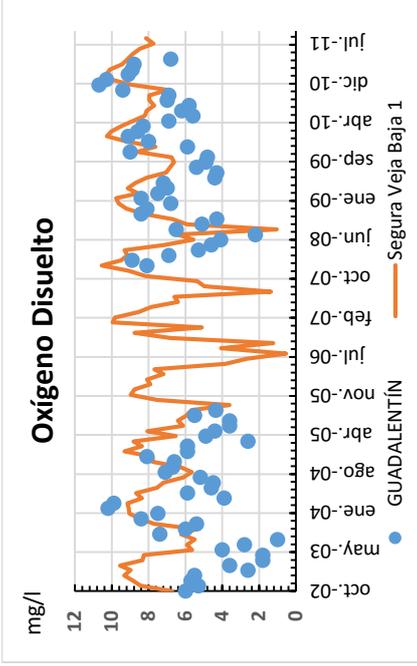


EMB. PUENTES

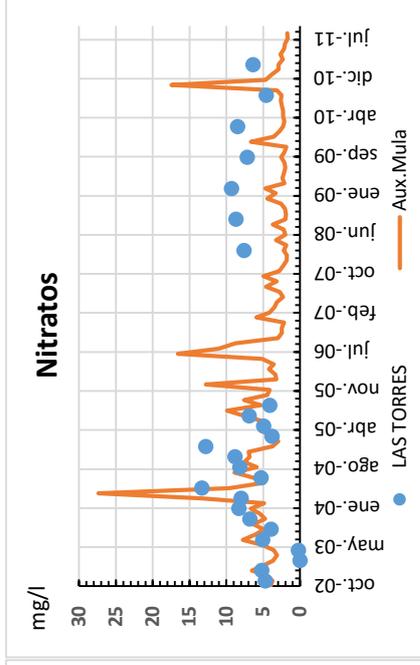
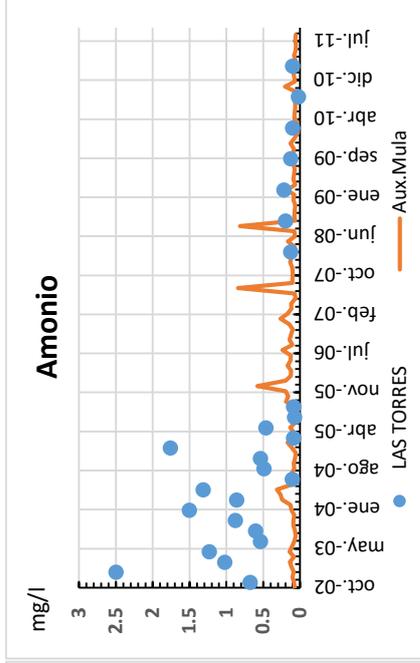
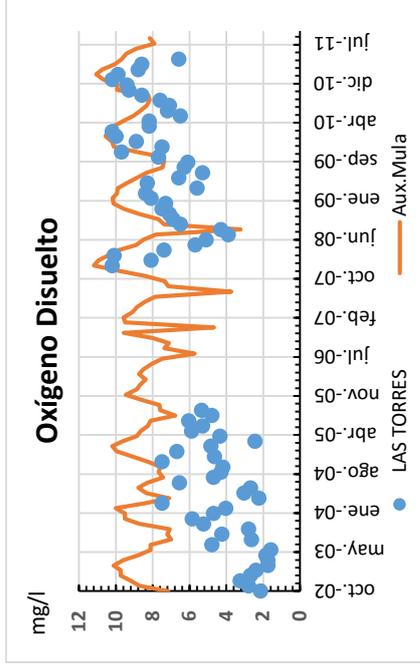
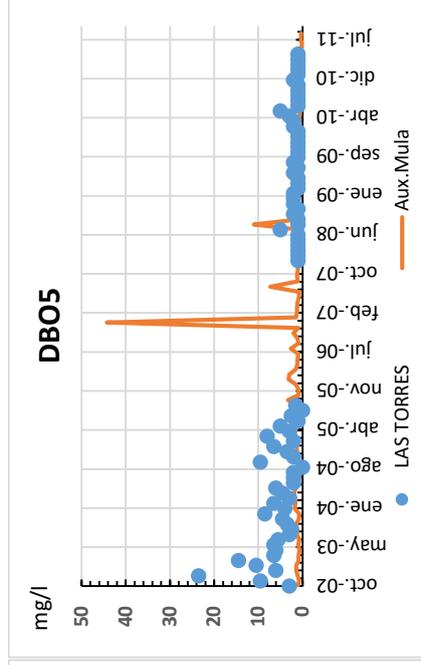
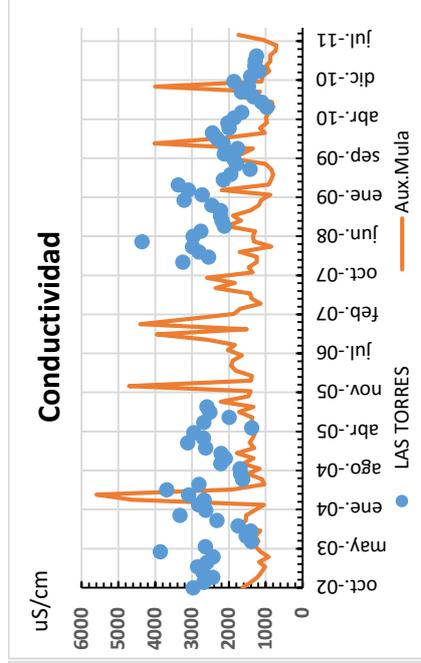
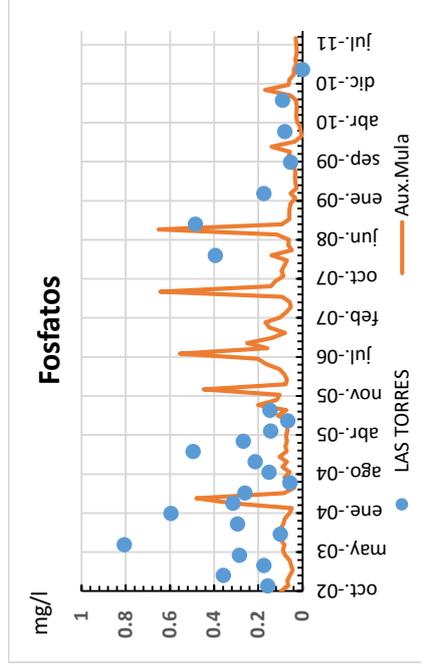


GUADALENTÍN

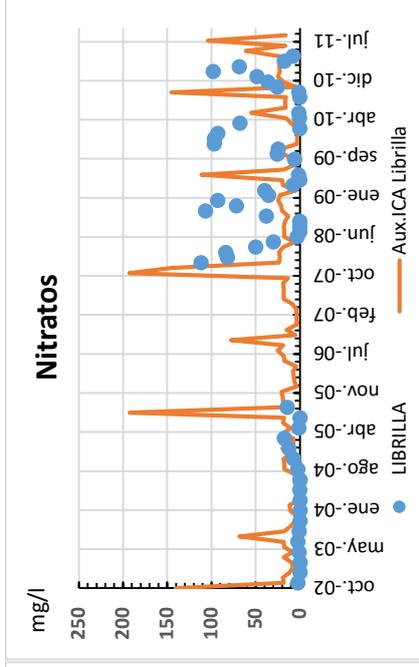
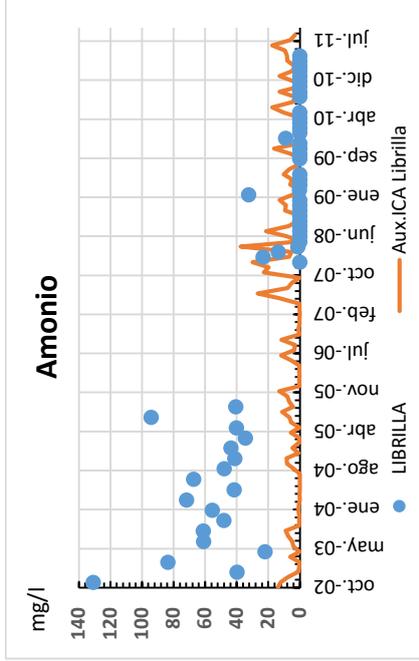
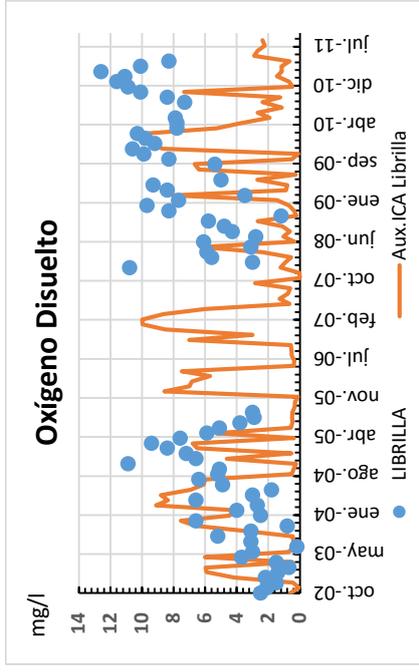
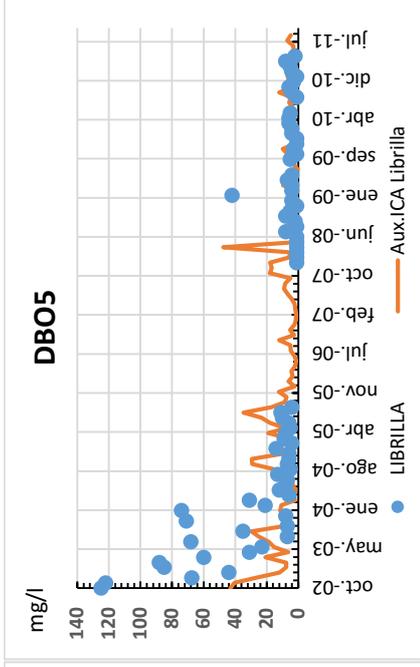
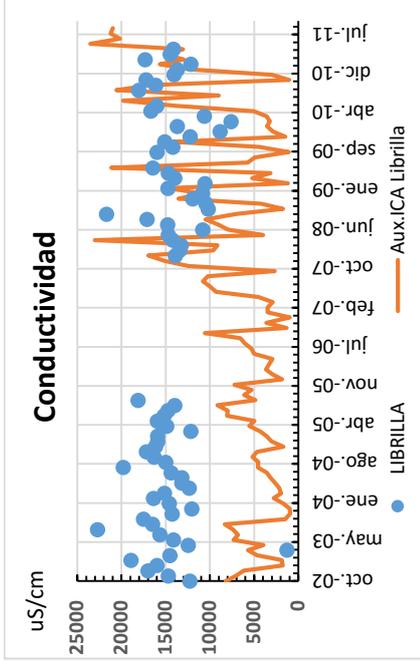
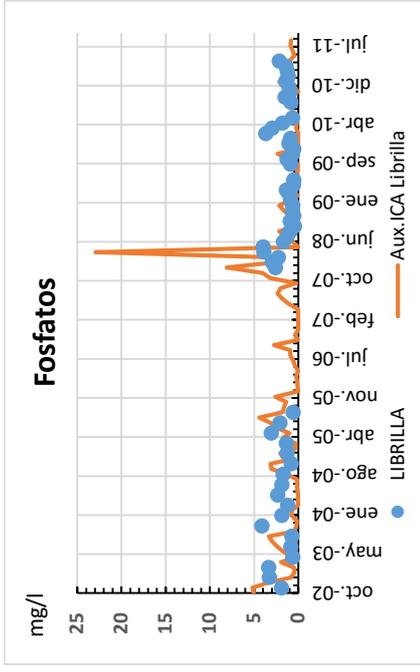




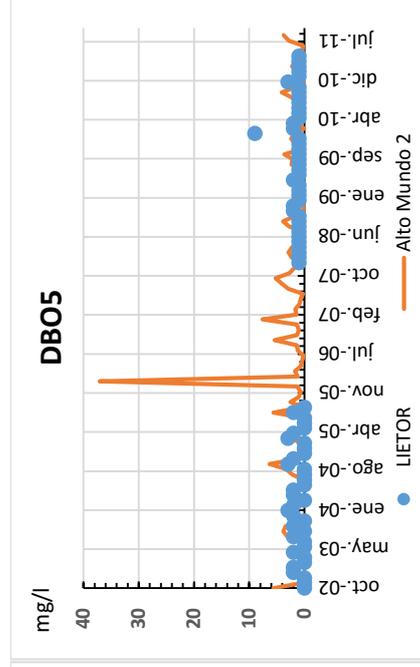
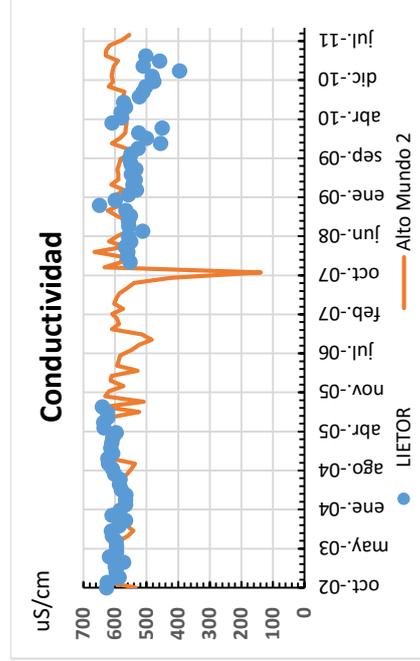
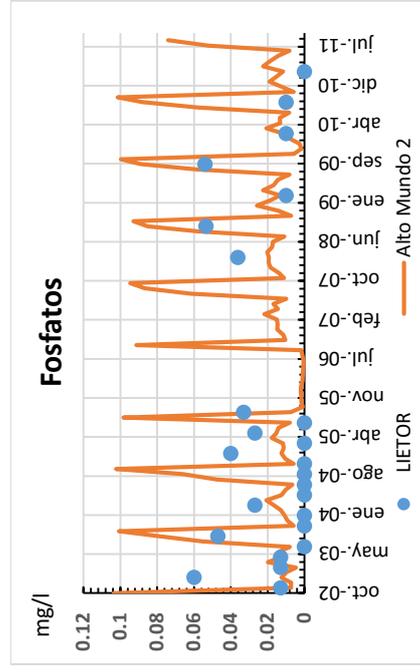
LAS TORRES

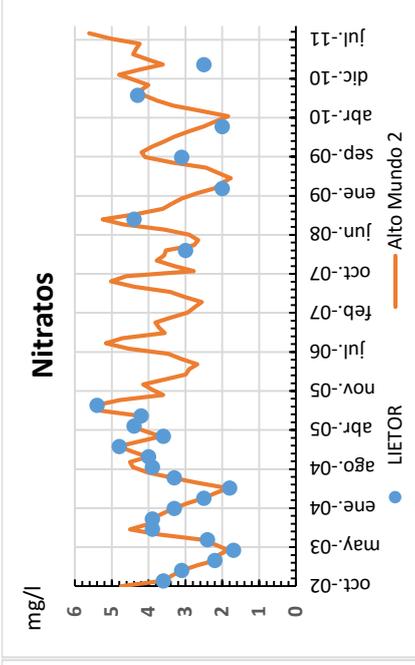
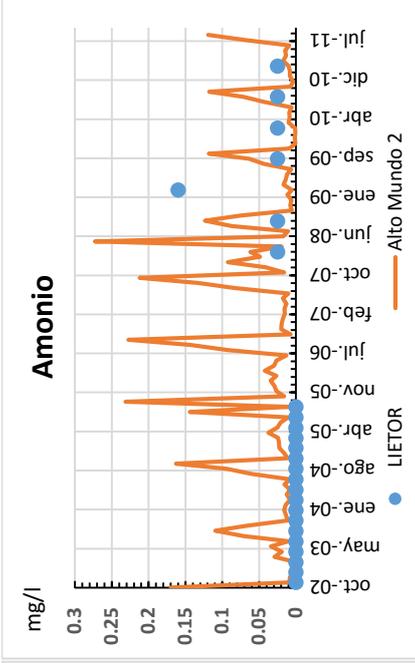
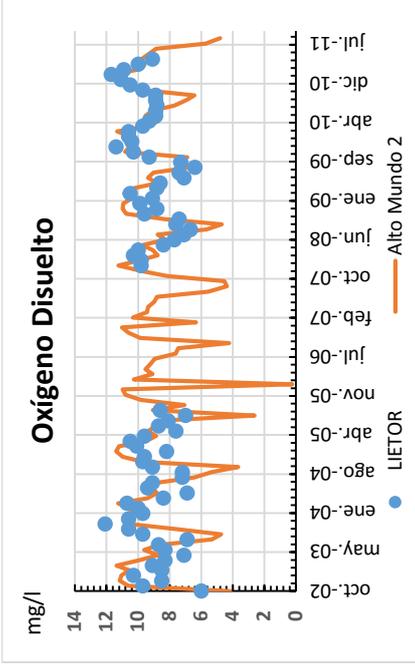


LIBRILLA

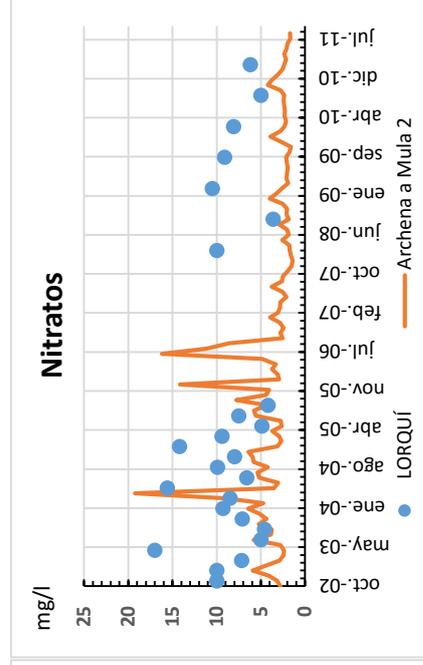
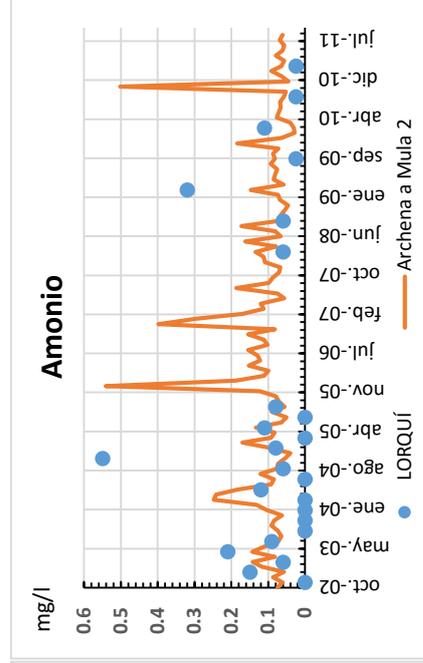
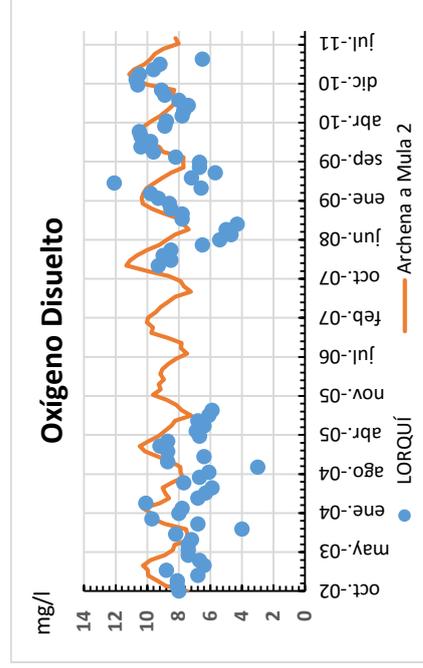
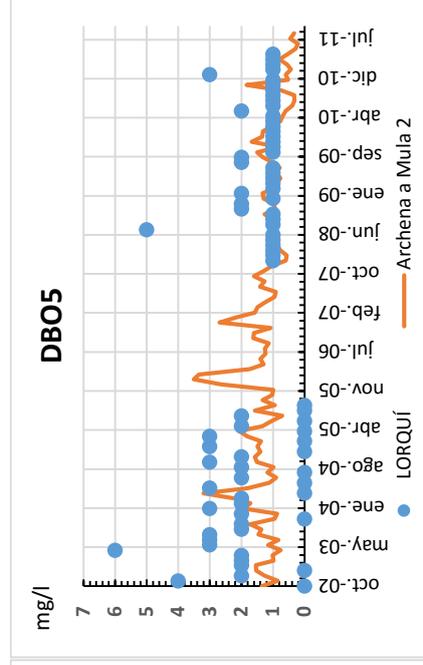
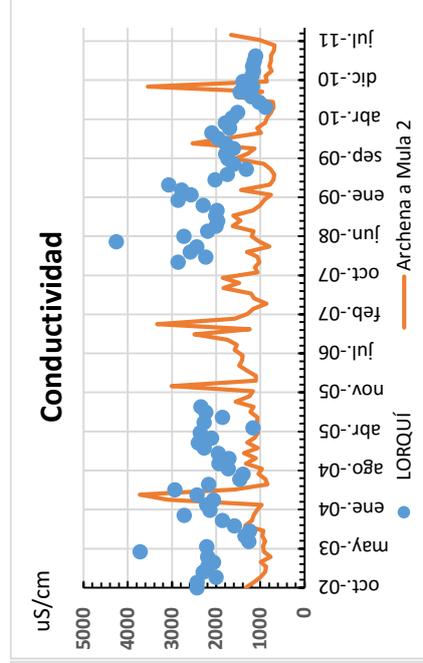
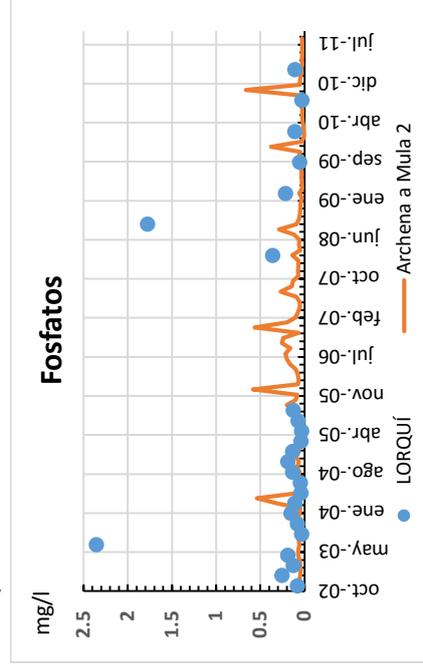


LIETOR

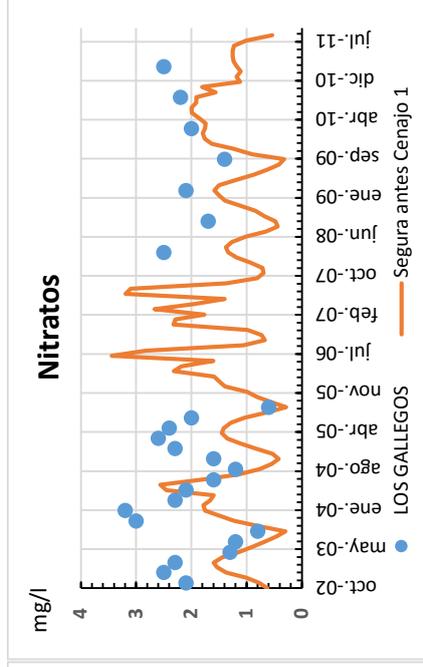
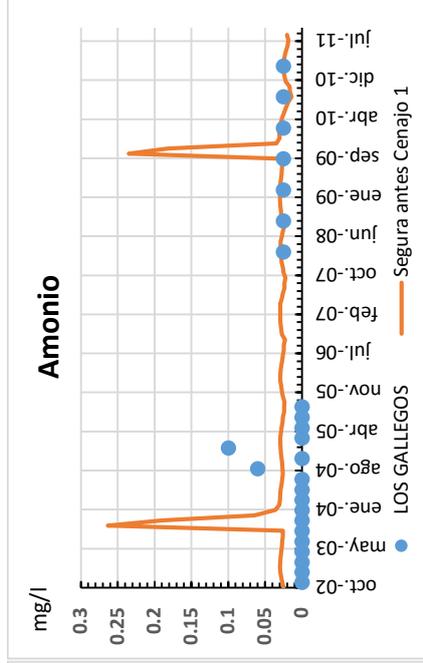
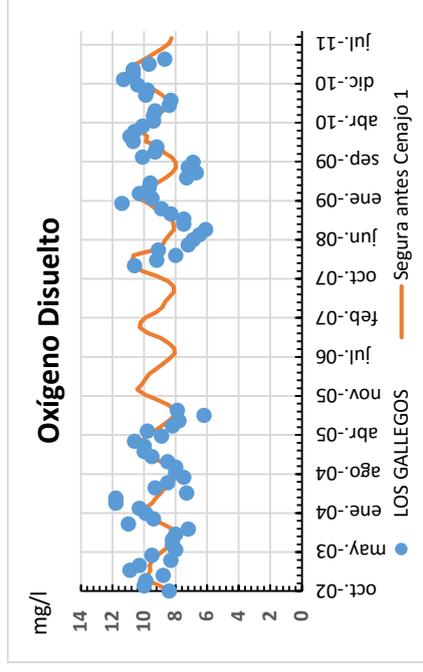
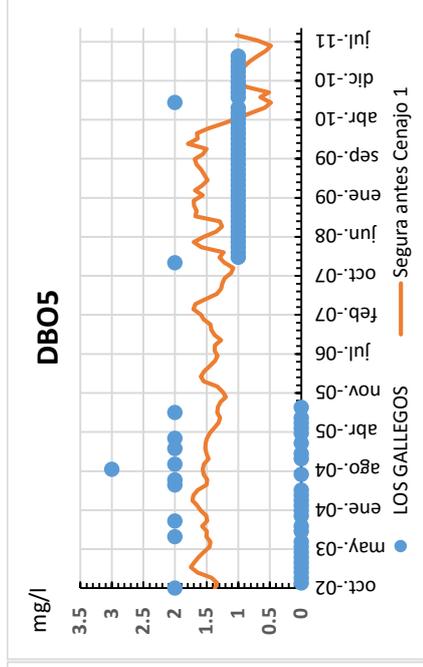
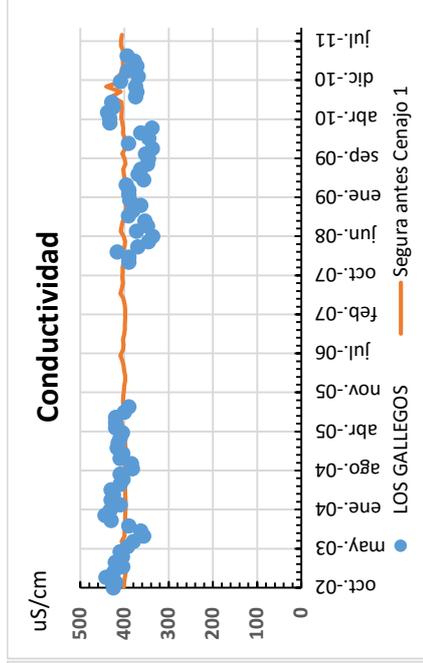
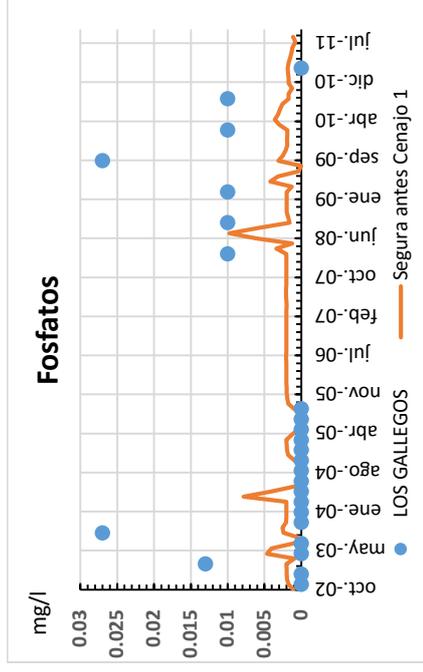




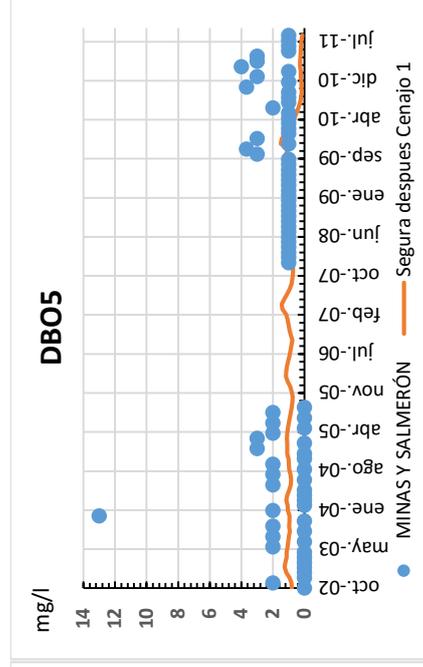
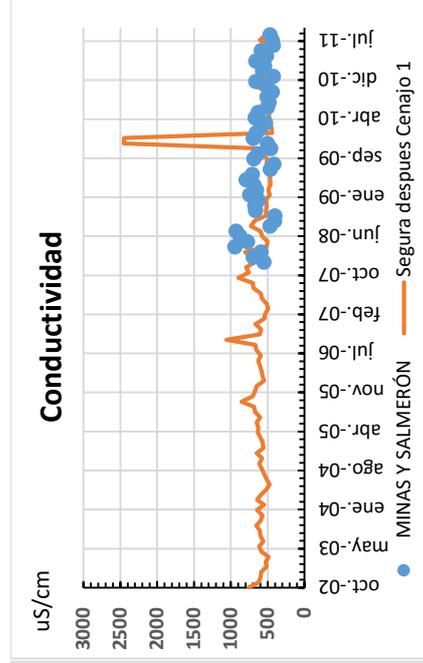
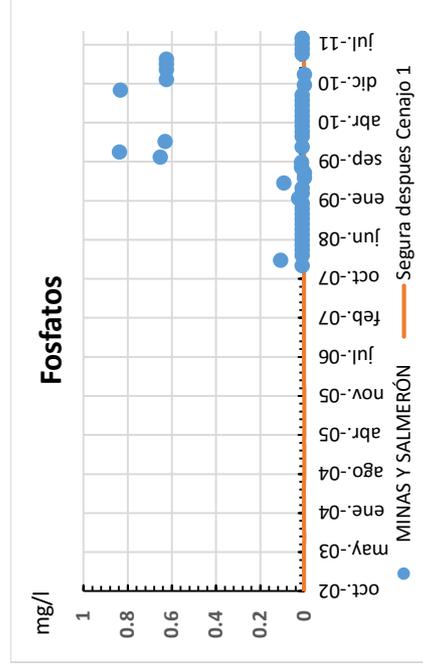
LORQUÍ

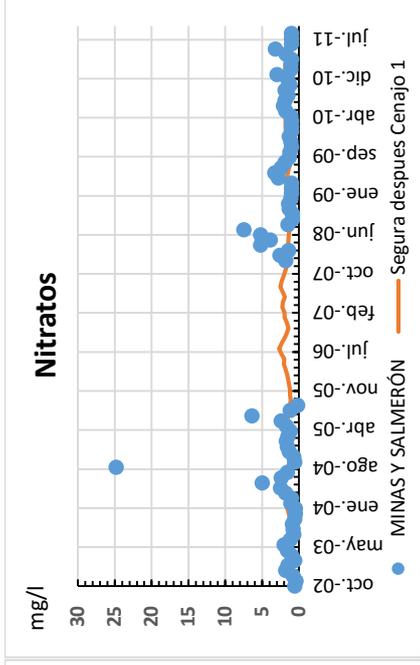
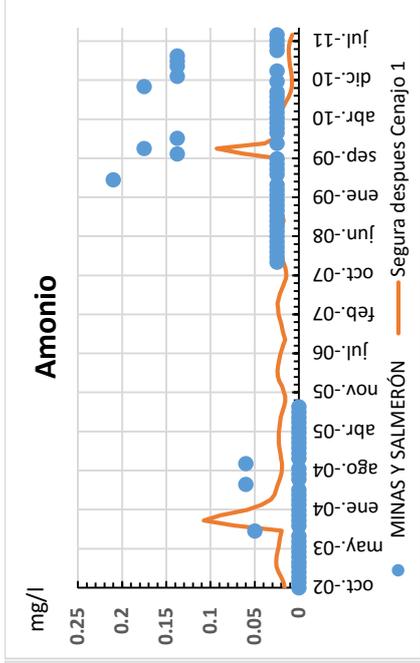
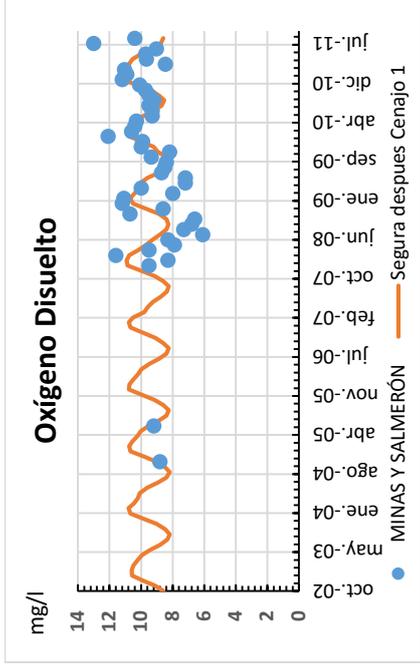


LOS GALLEGOS

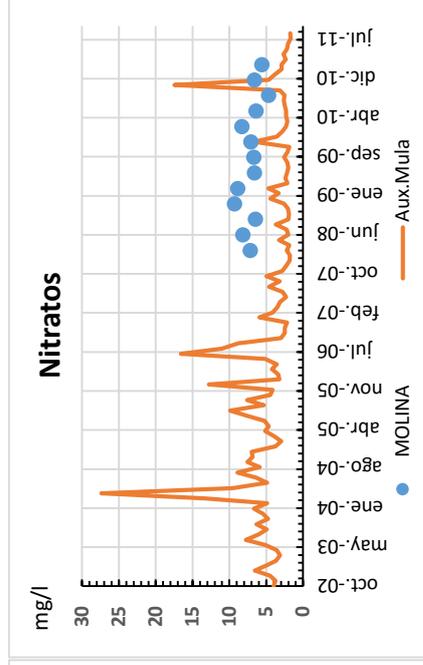
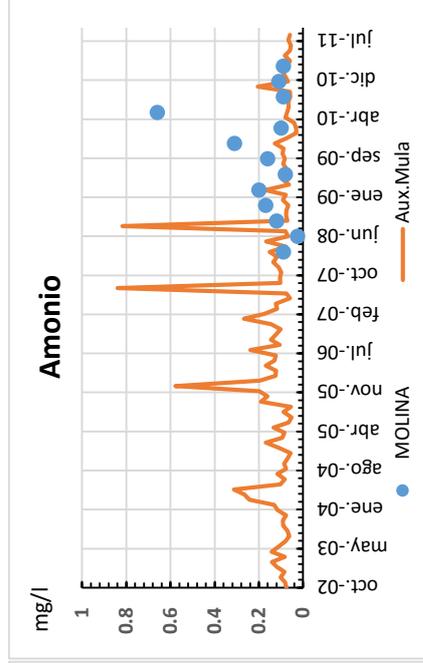
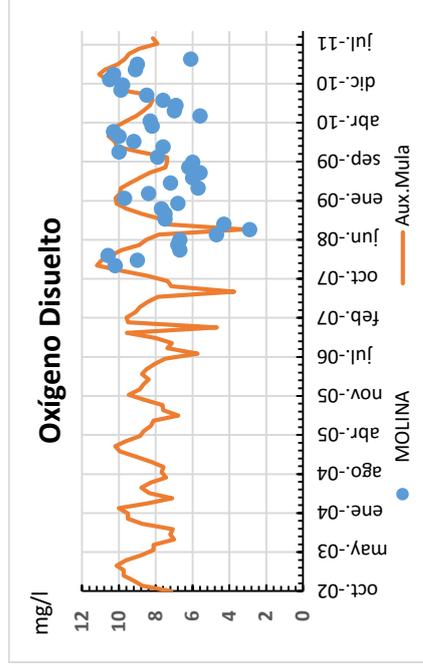
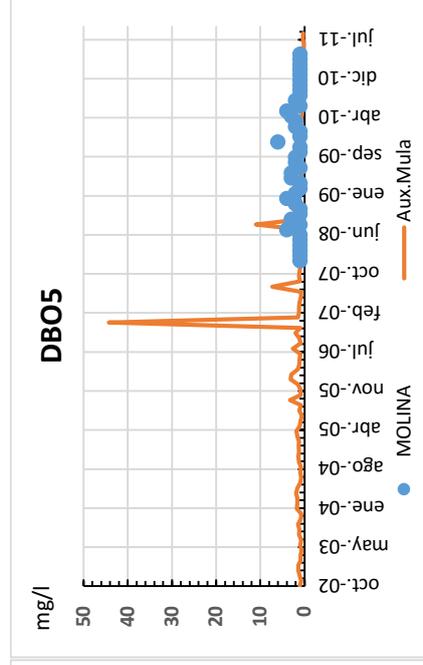
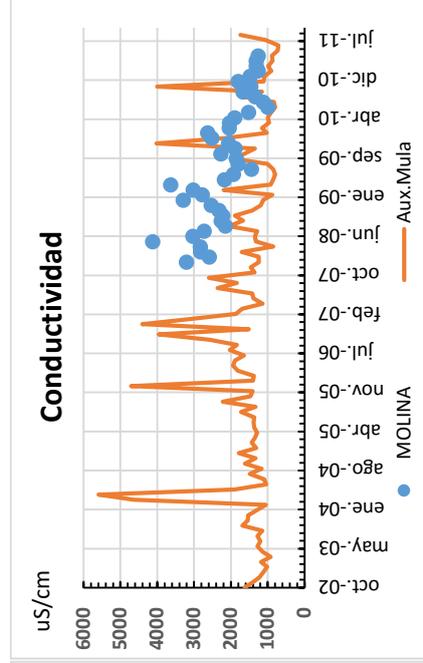
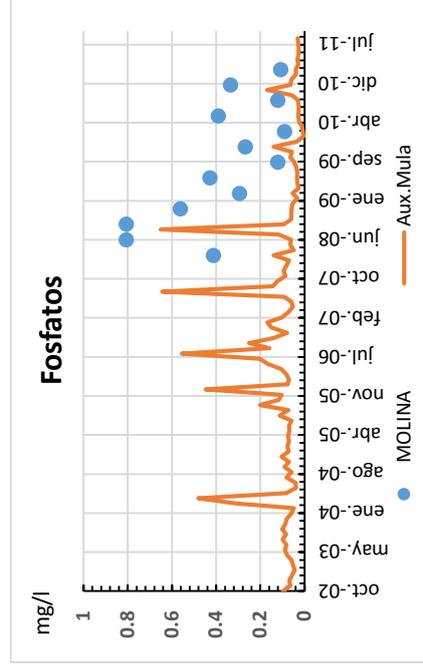


MINAS Y SALMERÓN

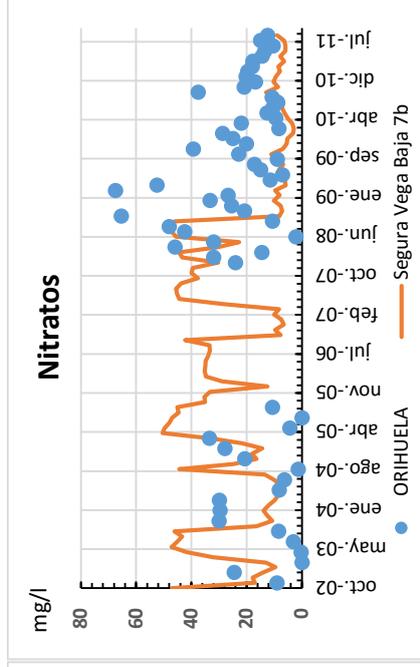
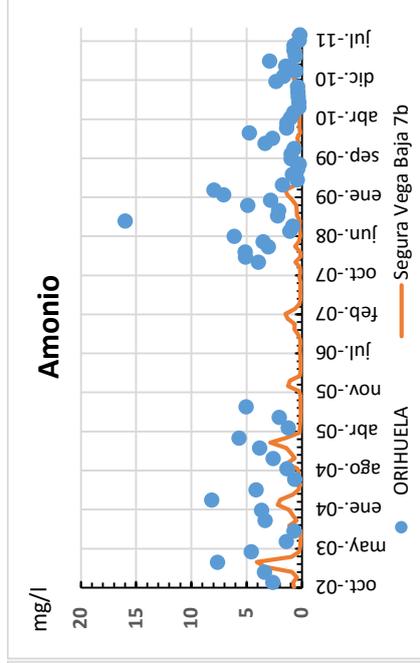
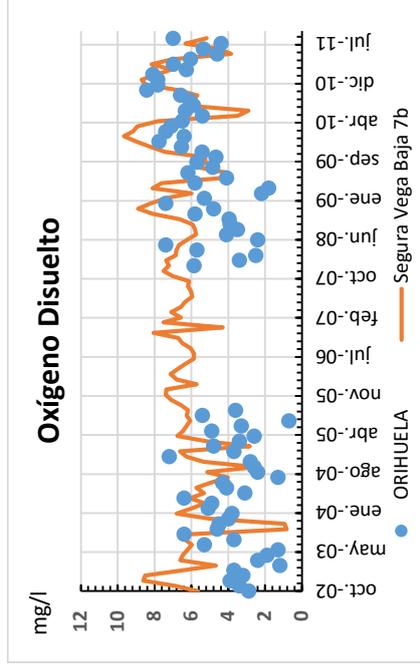
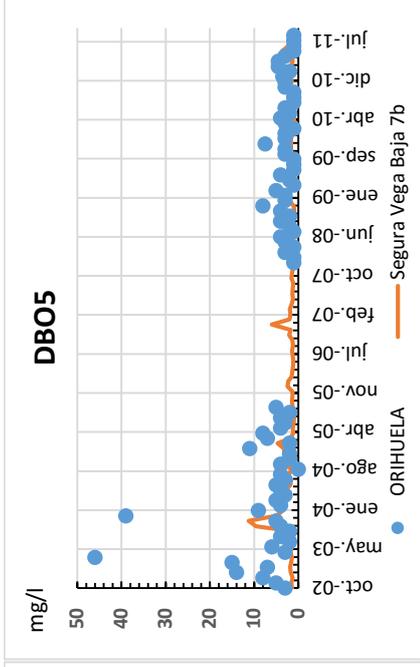
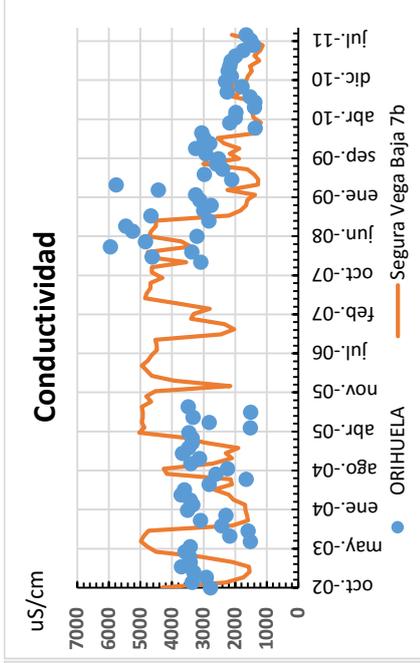
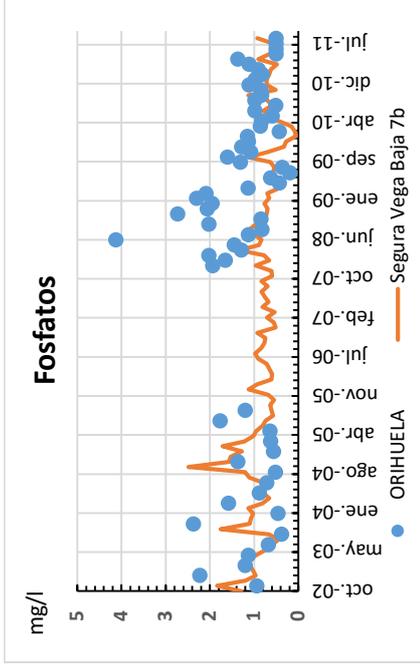




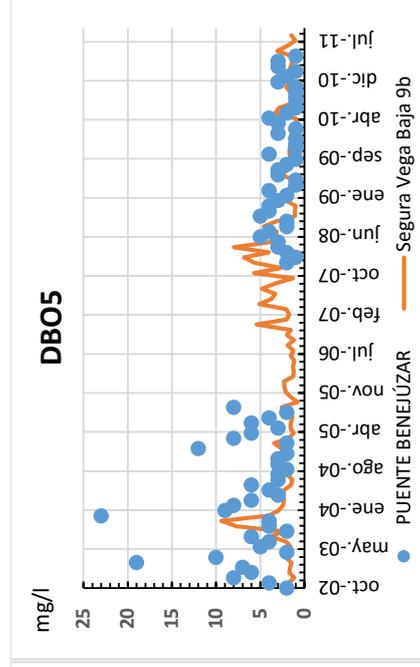
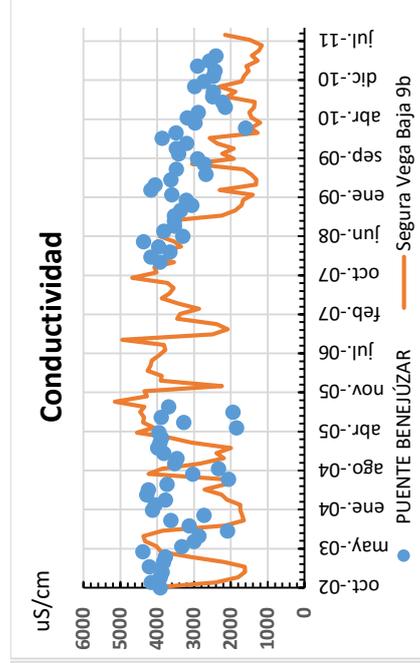
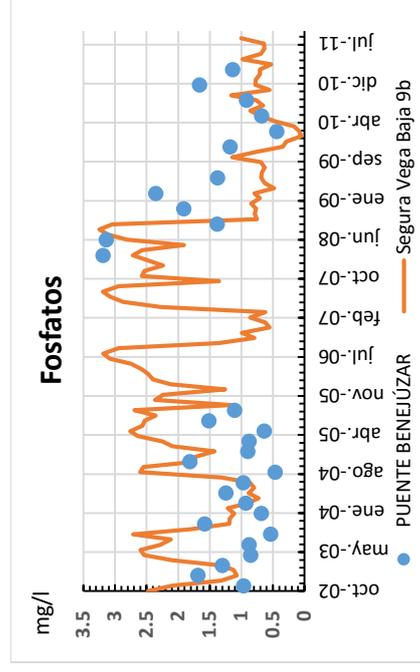
MOLINA

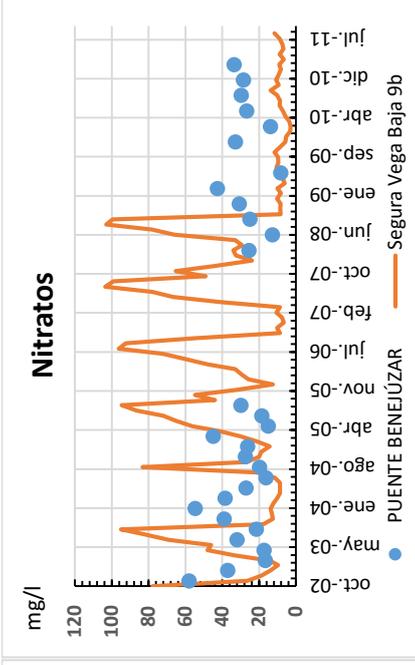
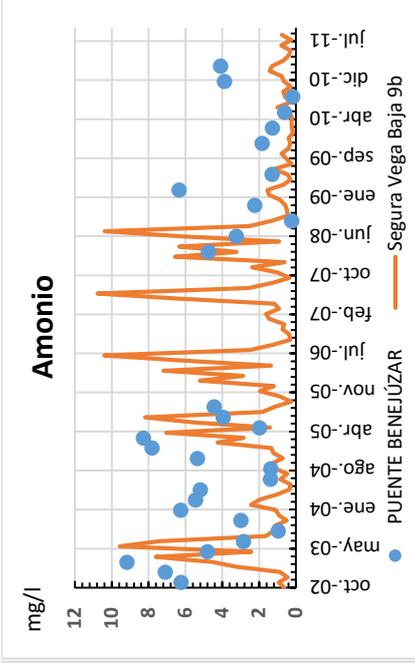
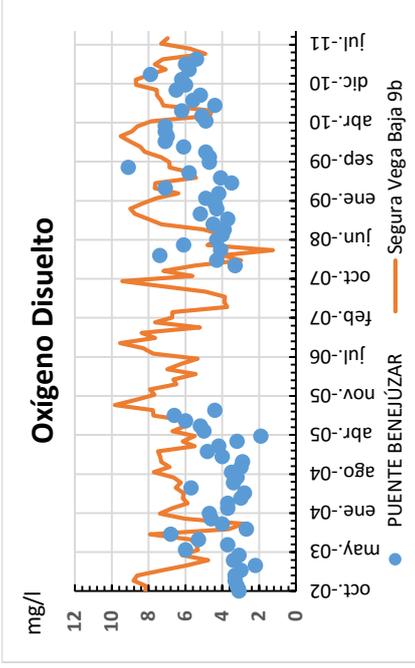


ORIHUELA

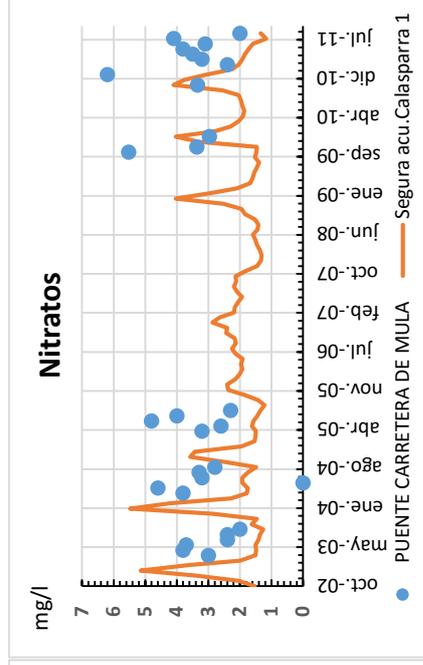
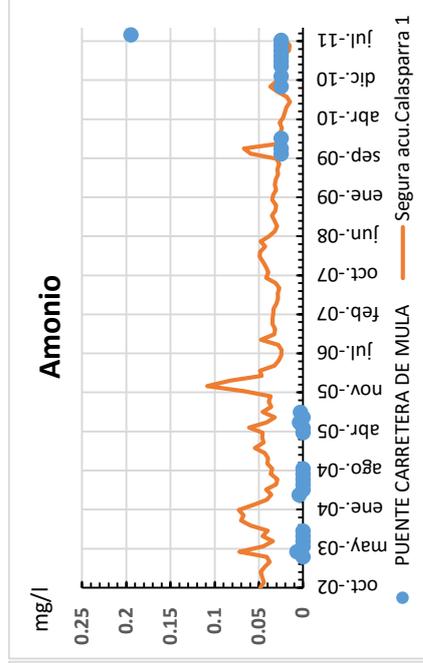
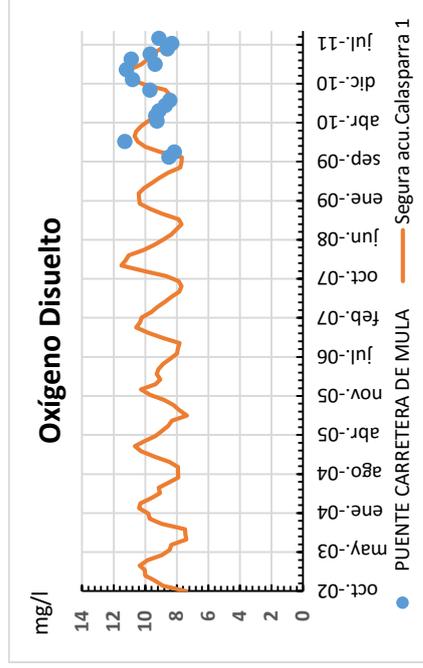
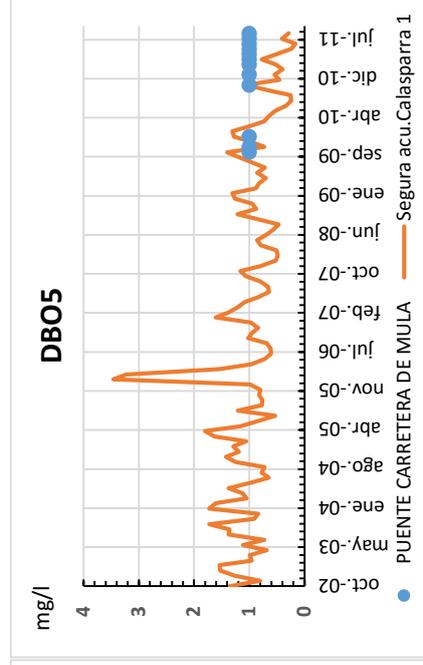
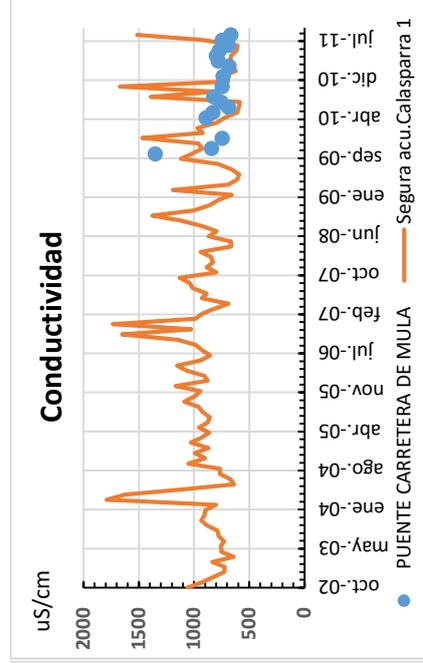
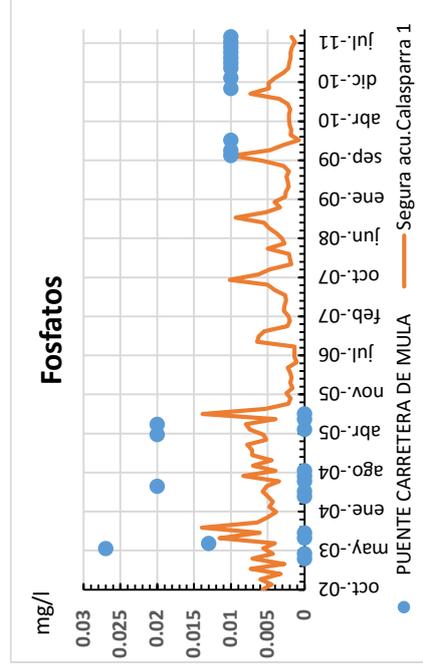


PUENTE BENEJÚZAR

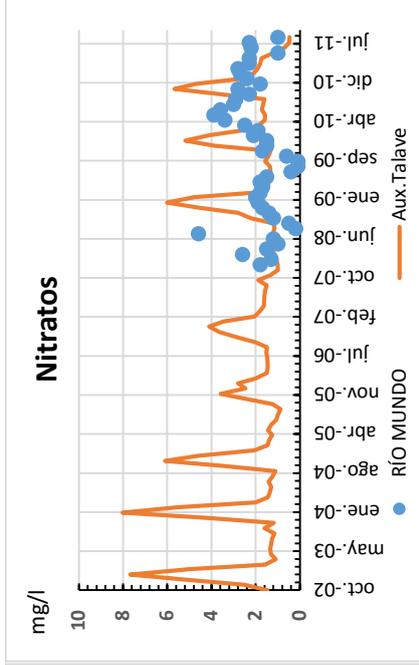
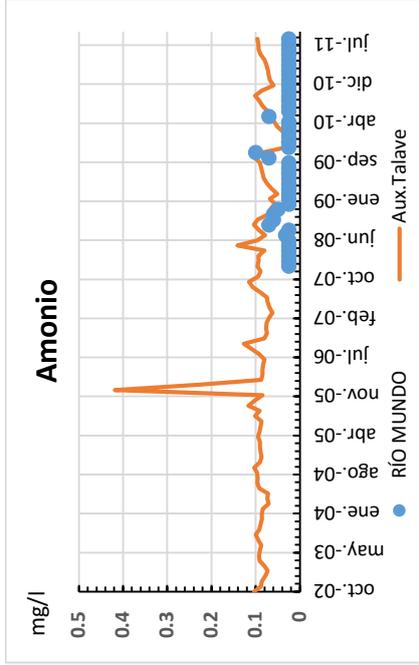
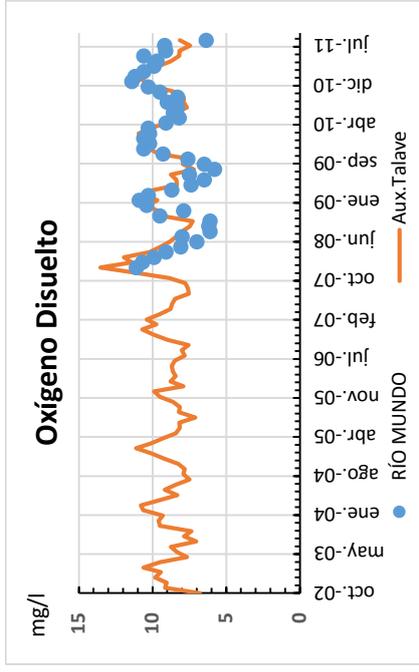
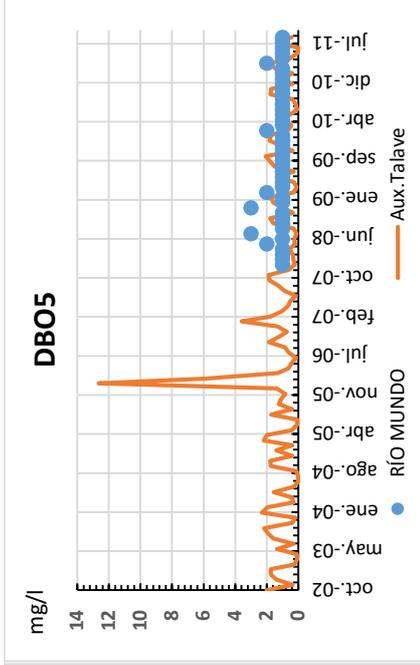
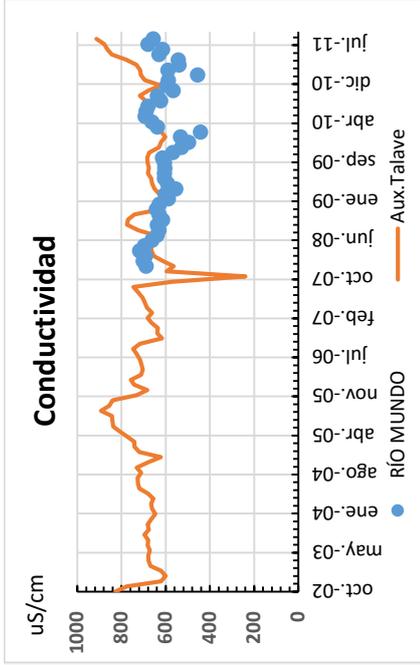
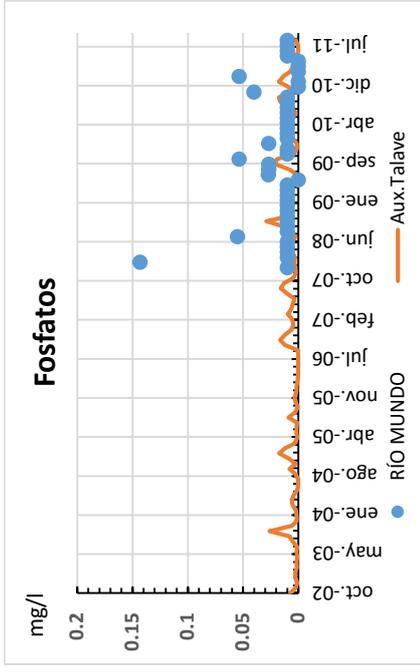




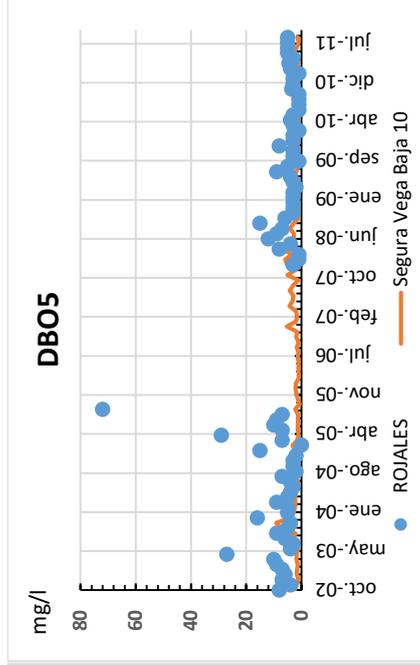
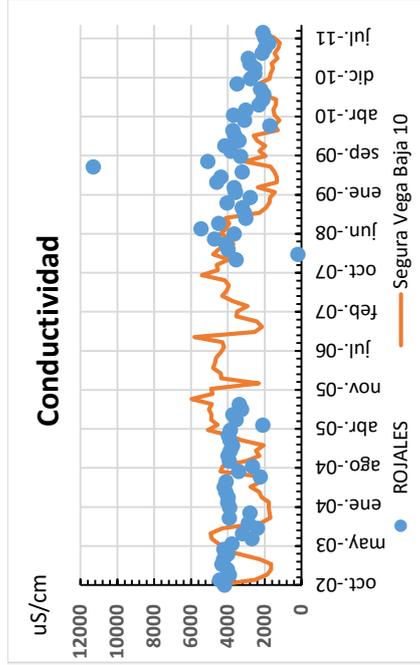
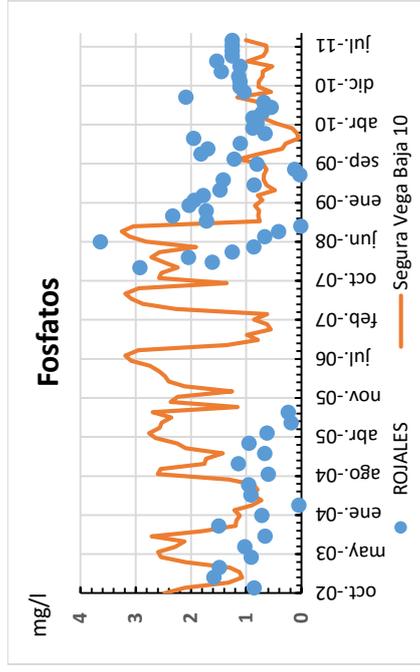
PUENTE CARRETERA DE MULA

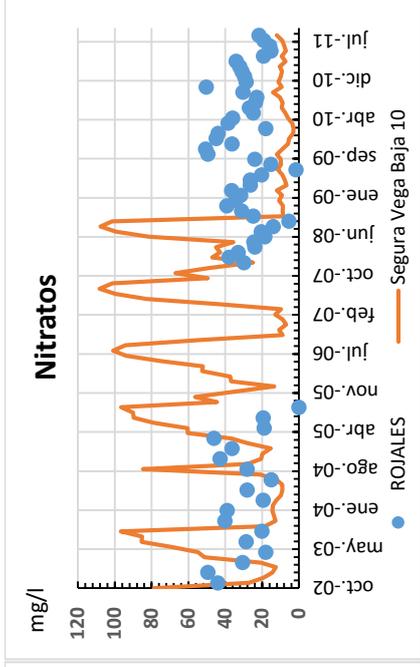
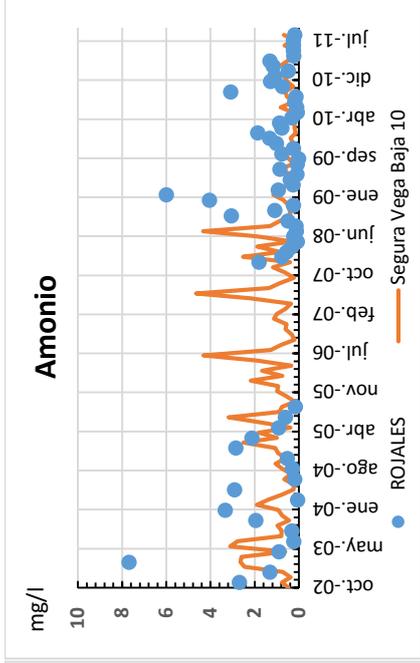
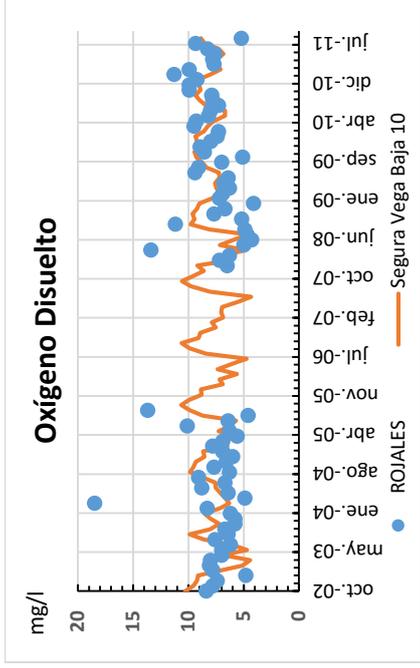


RÍO MUNDO

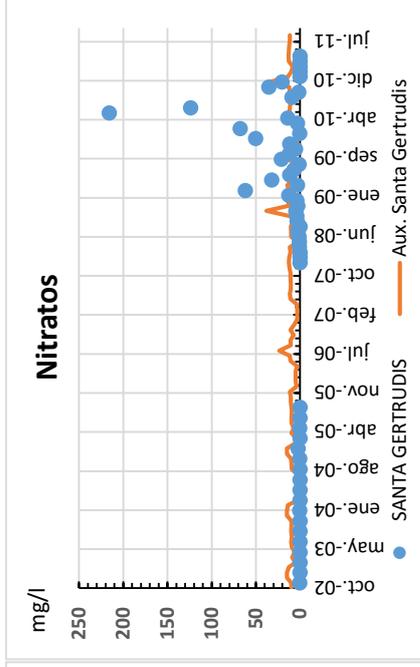
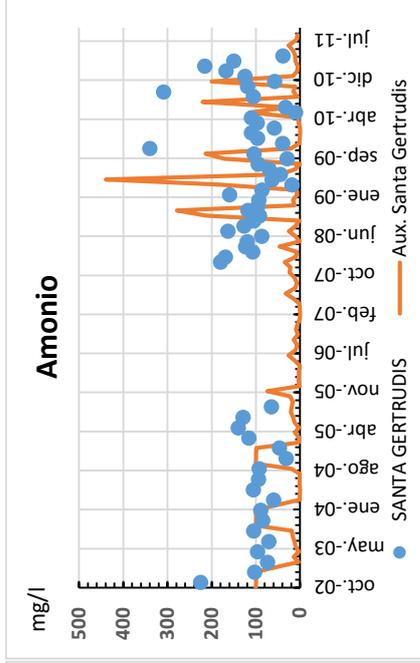
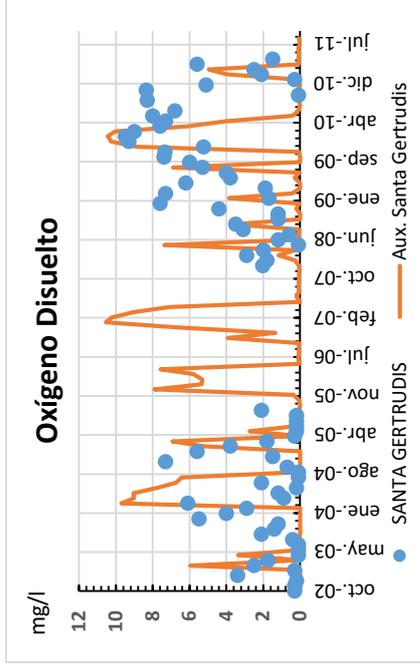
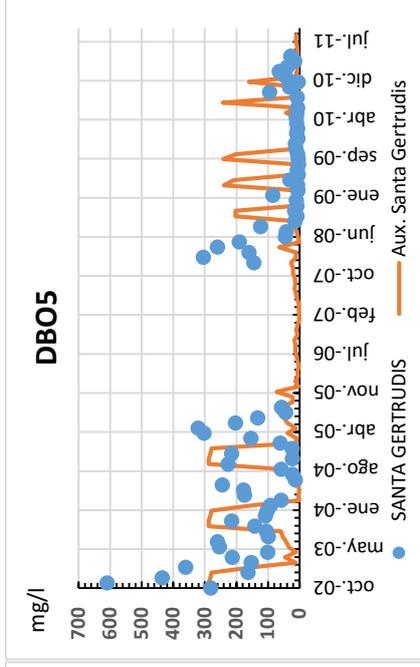
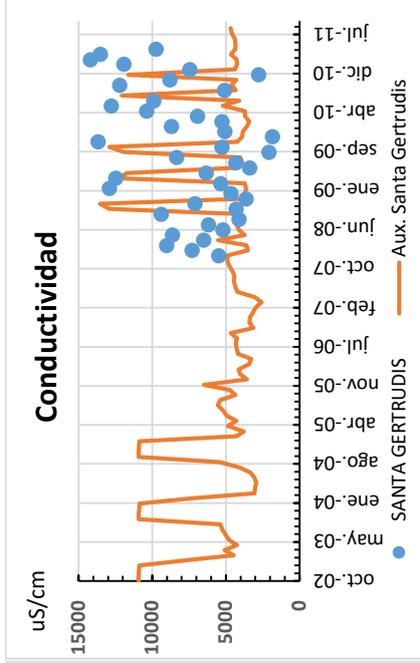
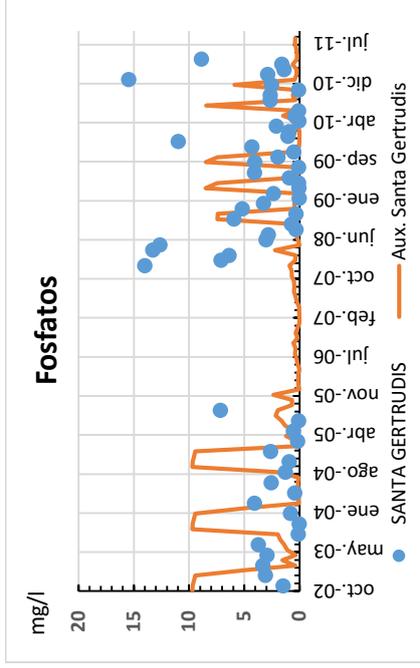


ROJALES

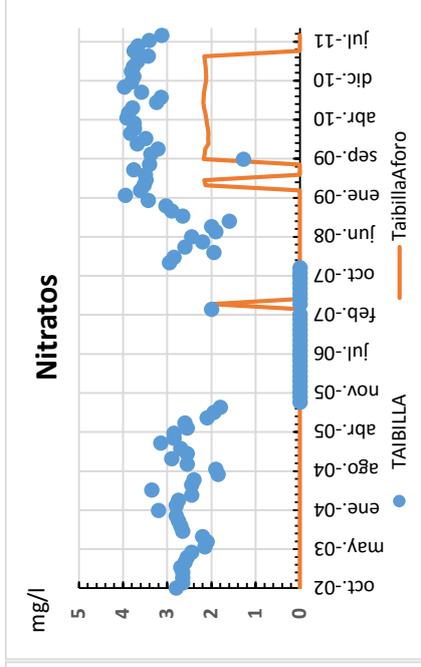
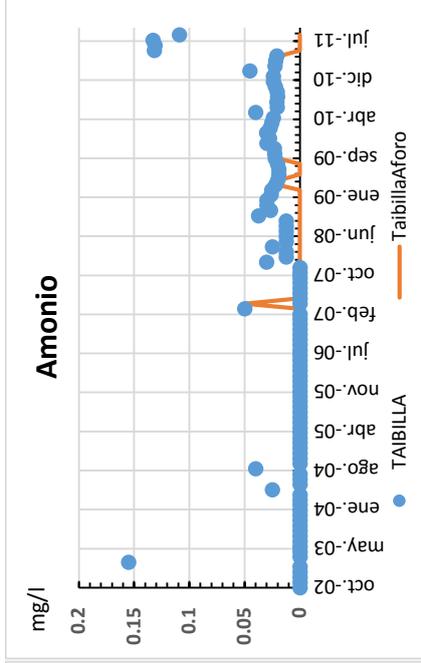
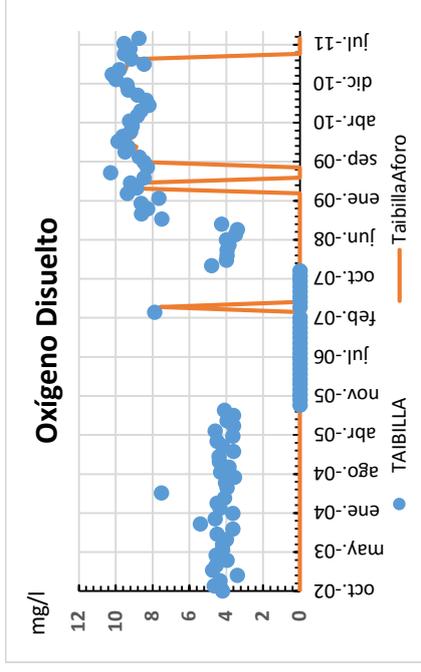
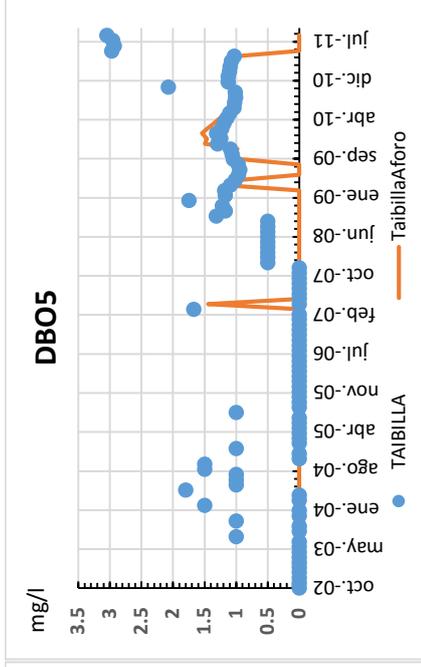
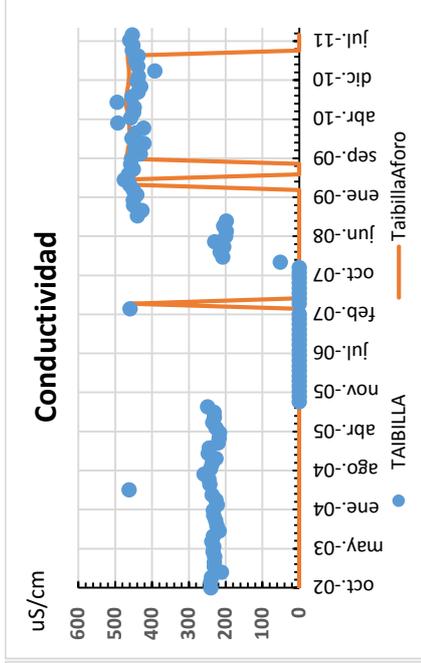
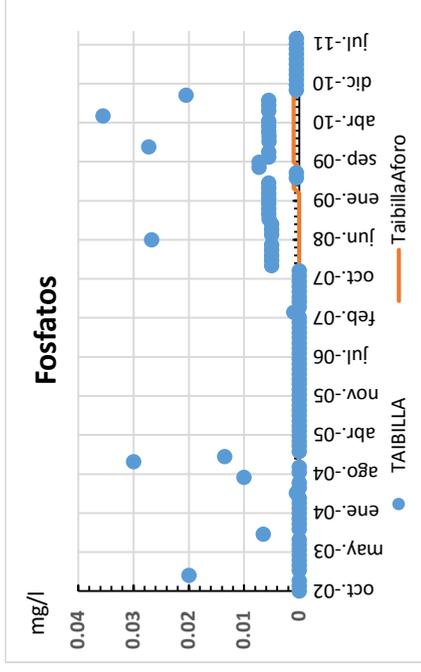




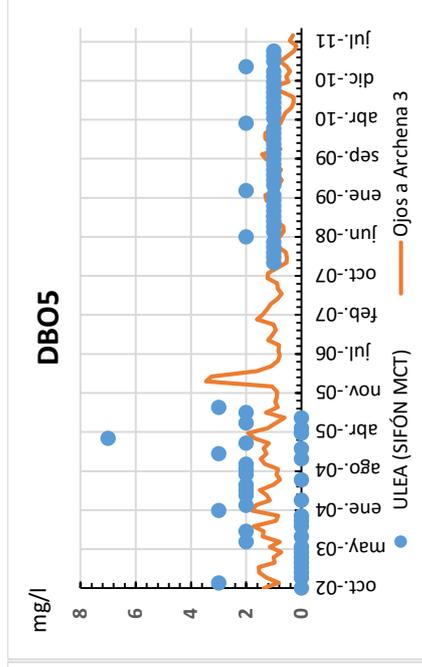
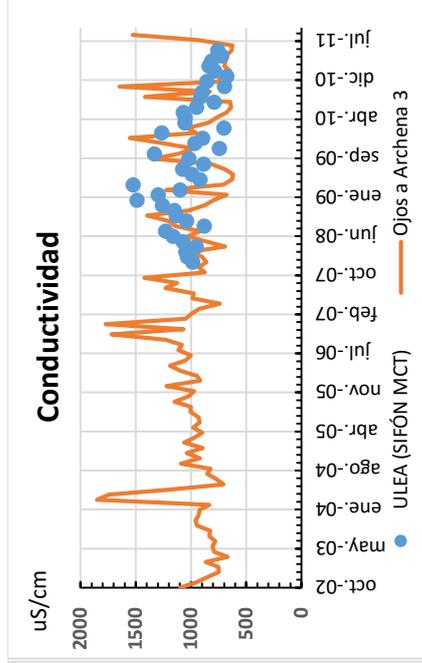
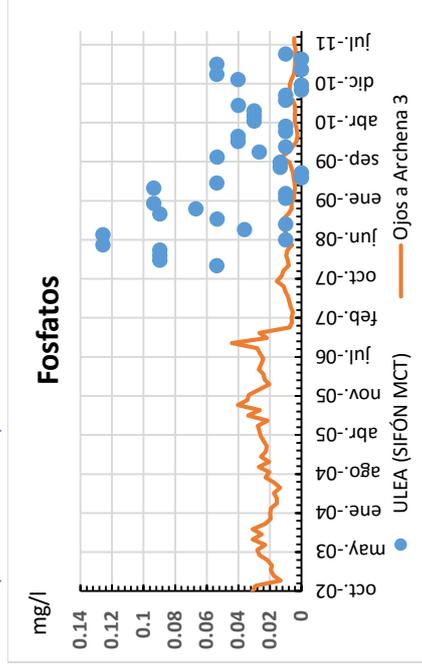
SANTA GERTRUDIS

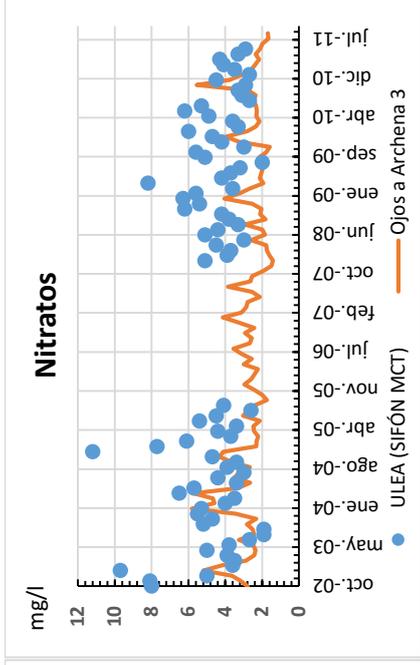
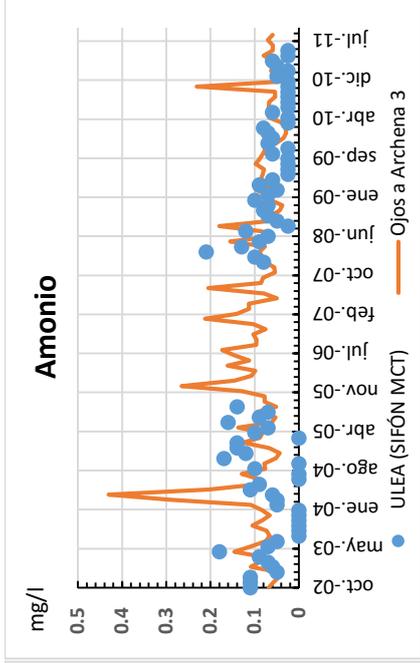
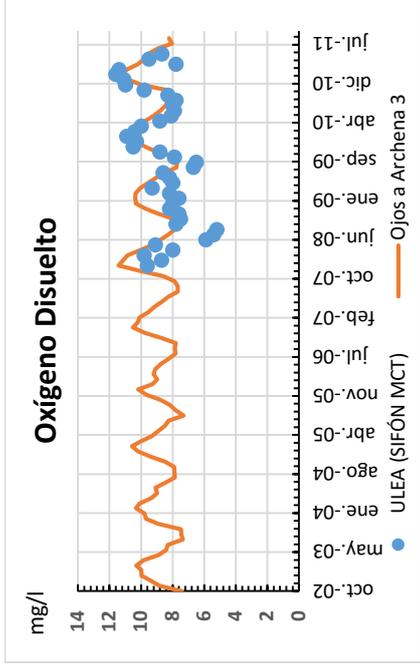


TAIBILLA

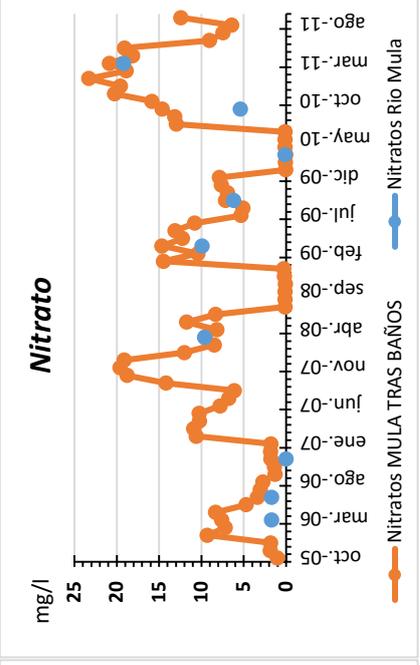
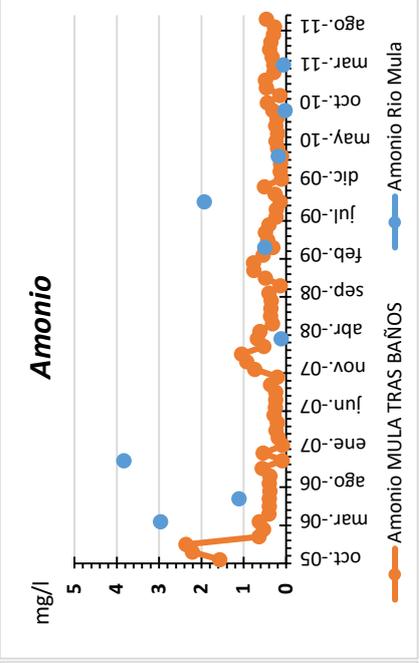
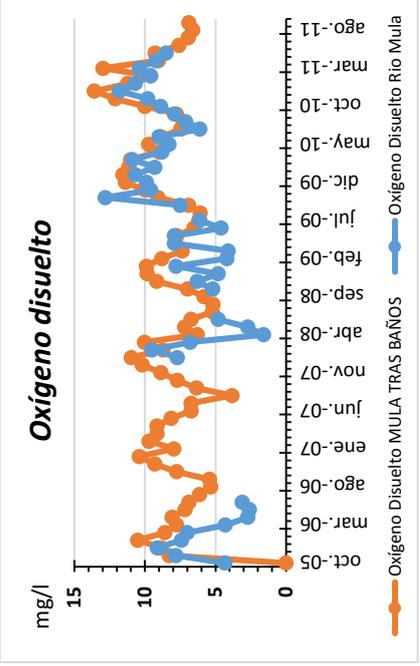
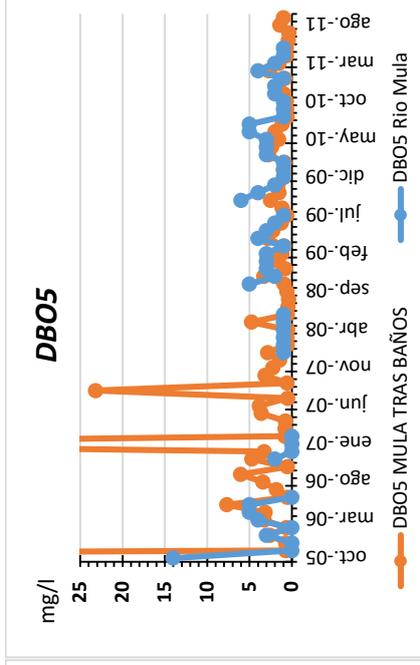
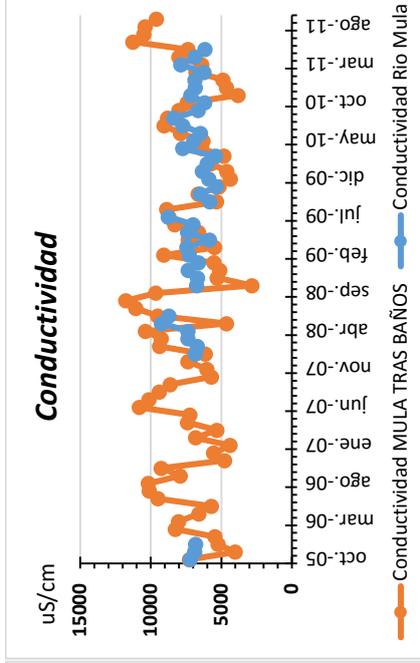
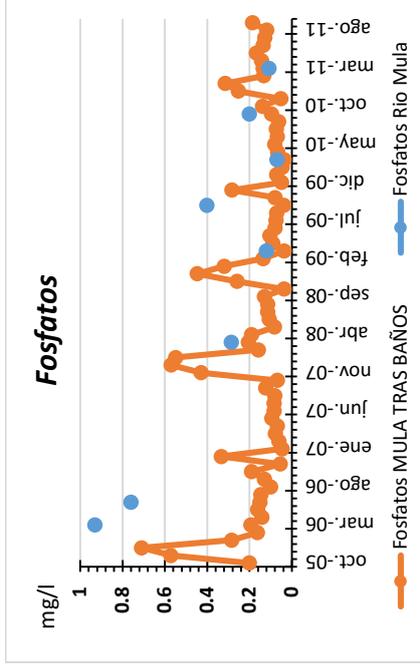


ULEA (SIFÓN MCT)





MULA

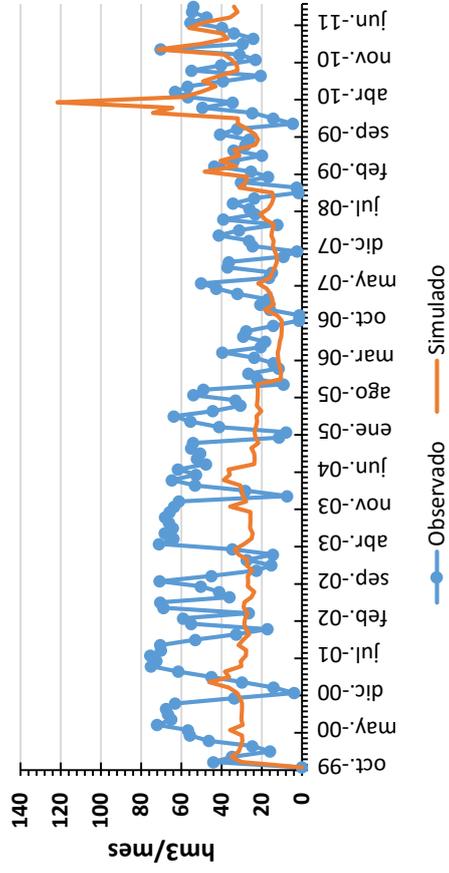


ANEJO II. ANÁLISIS CUANTITATIVO DE DUPLAS OBSERVADO-SIMULADO POR ESTACIÓN DE AFORO

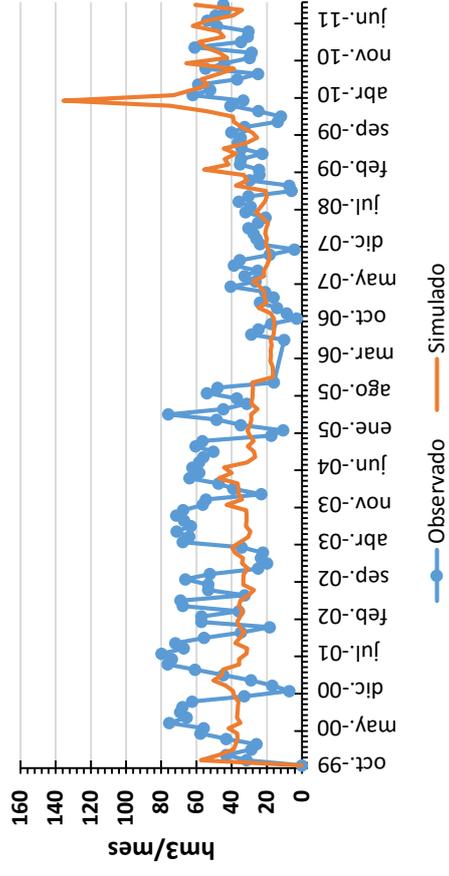
ÍNDICE DE AFOROS

AF.TALAVE.....	2
AF. CAMARILLAS.....	2
AF. FUENSANTA.....	2
AF. CENAJO.....	2
AF. LA ESPERANZA.....	3
AF. ARGOS.....	3
AF. ALFONSO XIII.....	3
AF. LA CIERVA.....	3
AF. BAÑOS.....	4
AF. VALDEINFIERNO.....	4
AF. PUENTES.....	4
AF. PASO DE LOS CARROS.....	4
AF. PRESA DEL CANAL.....	5
AF. CALASPARRA.....	5
AF. ALMADENES.....	5
AF. CIEZA.....	5
AF. MENJÚ.....	6
AF. ABARÁN.....	6
AF. ARCHENA.....	6
AF. CONTRAPARADA.....	6
AF. BENIEL.....	7
AF. GUARDAMAR.....	7

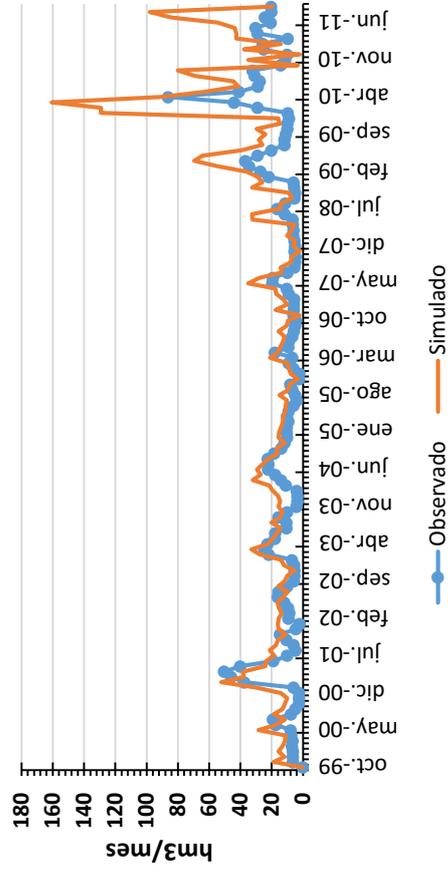
CAUDAL: AF01. Af. Talave



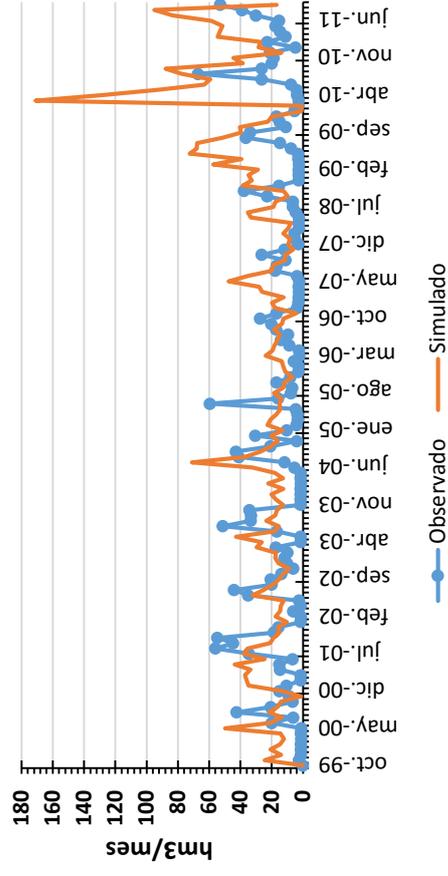
CAUDAL: AF02. Af. Camarillas



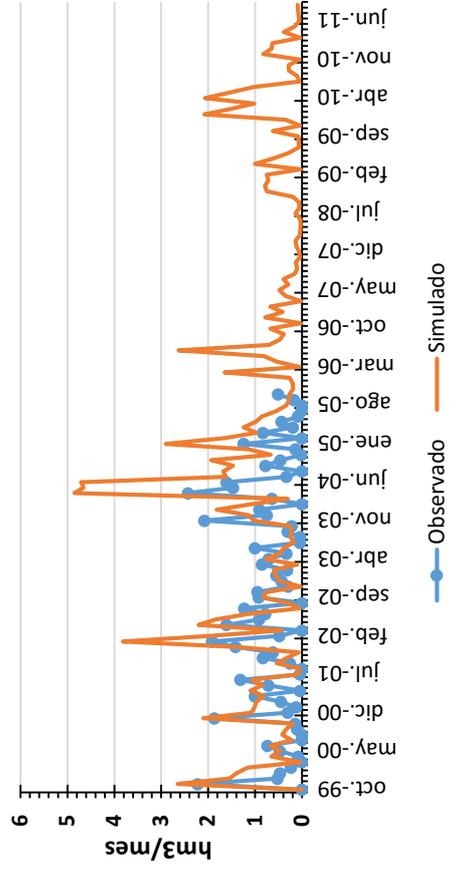
CAUDAL: AF03. Af. Fuensanta



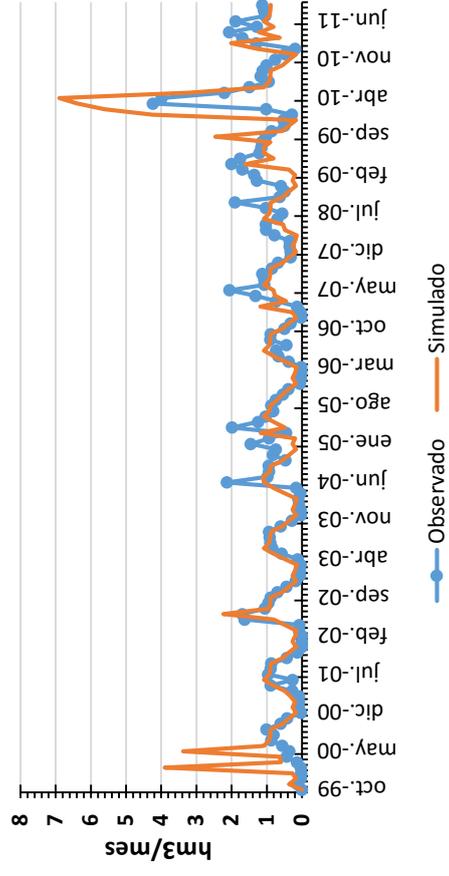
CAUDAL: AF04. Af. Cenajo



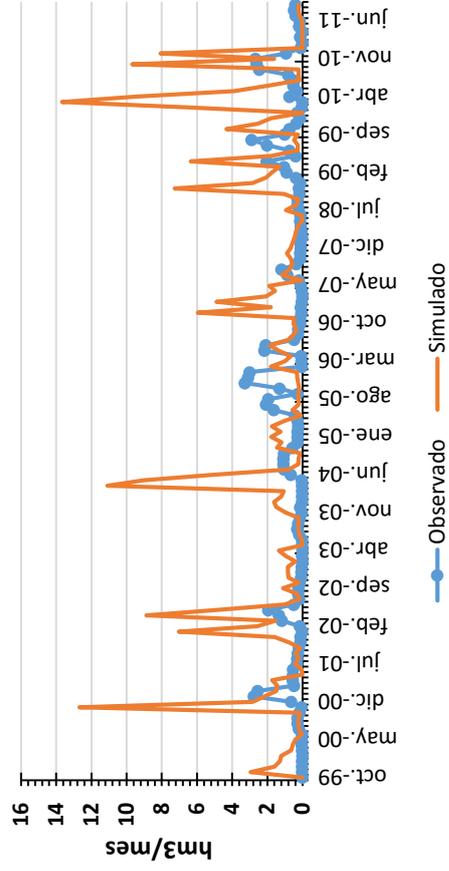
CAUDAL: AF05. Af. La Esperanza



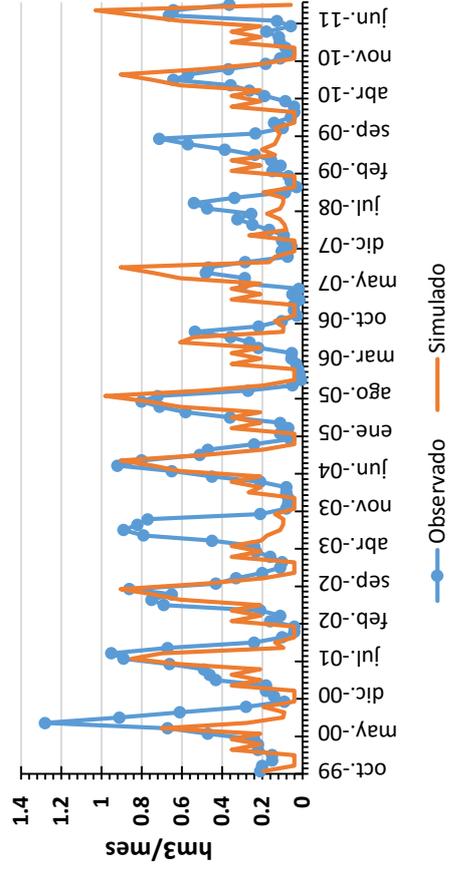
CAUDAL: AF06. Af. Argos



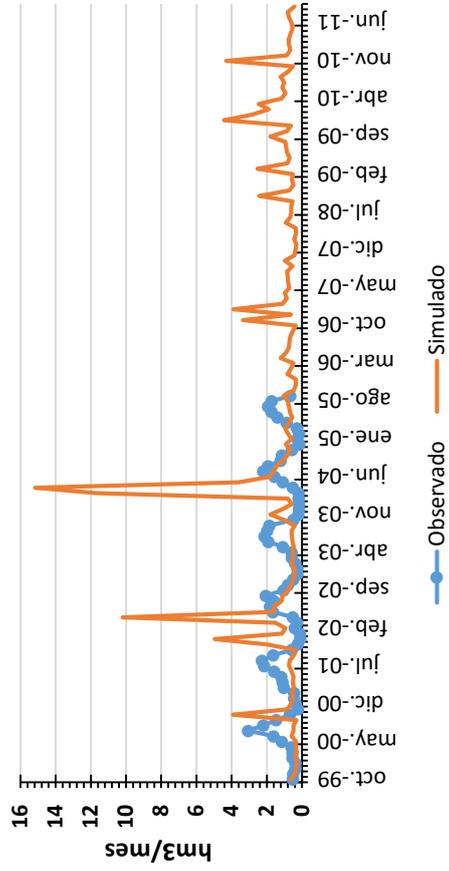
CAUDAL: AF07. Af. E. Alfonso XIII



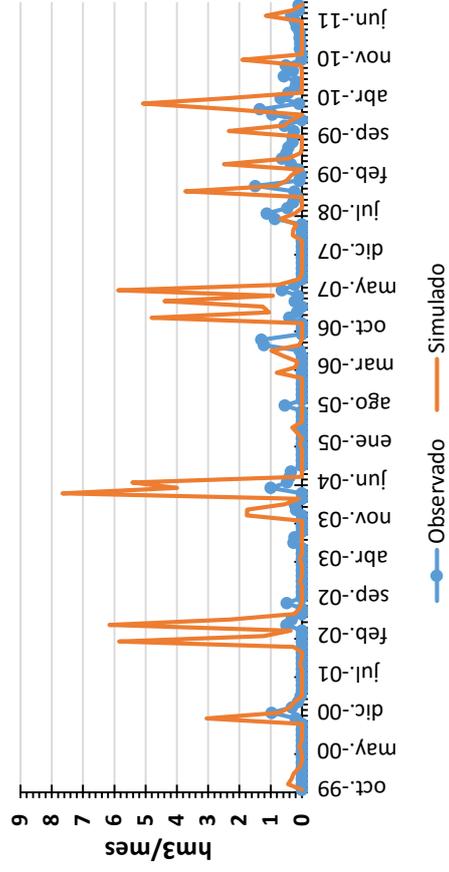
CAUDAL: AF08. Af. E. La Cierva



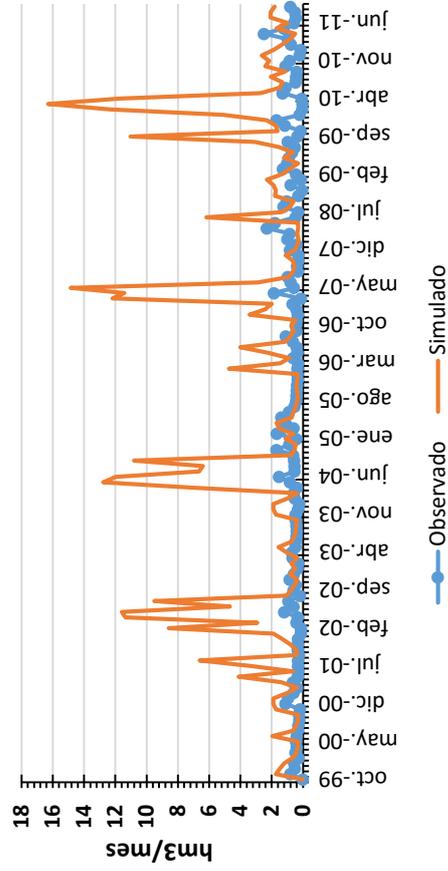
CAUDAL: AF09. Af. Baños



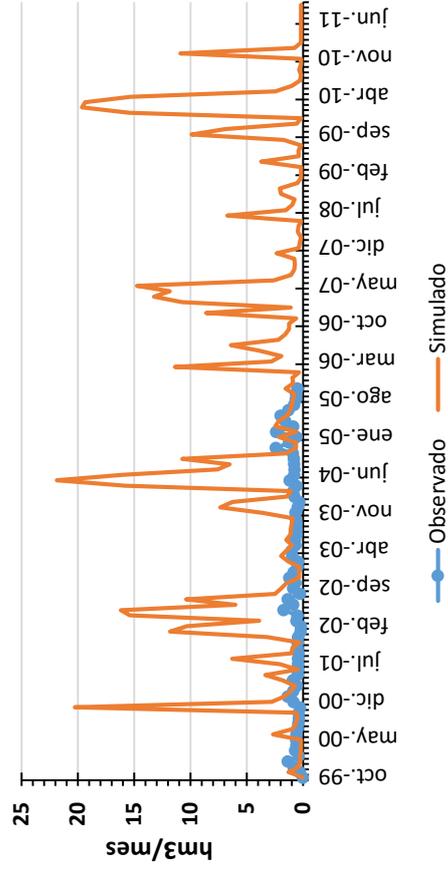
CAUDAL: AF10. Af. Valdeinfierno



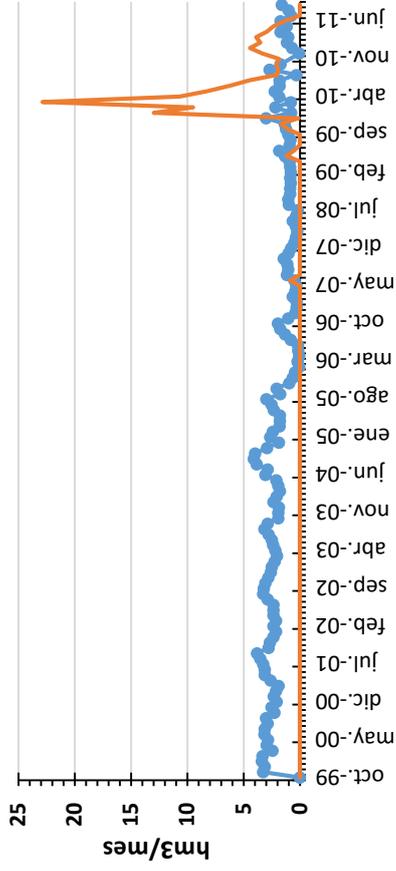
CAUDAL: AF11. Af. Puentes



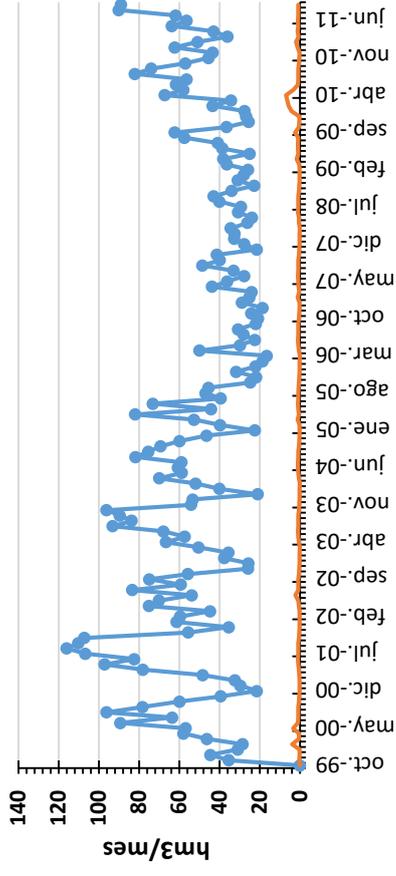
CAUDAL: AF12. Af. Paso de los Carros



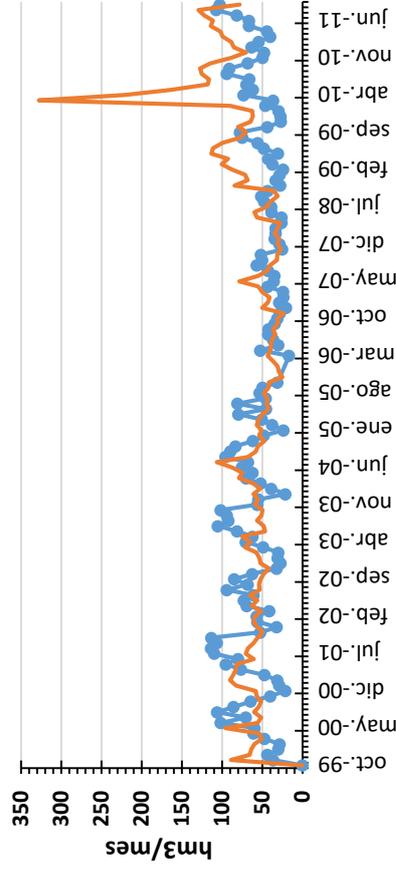
CAUDAL: AF13. Af. Presa del Canal



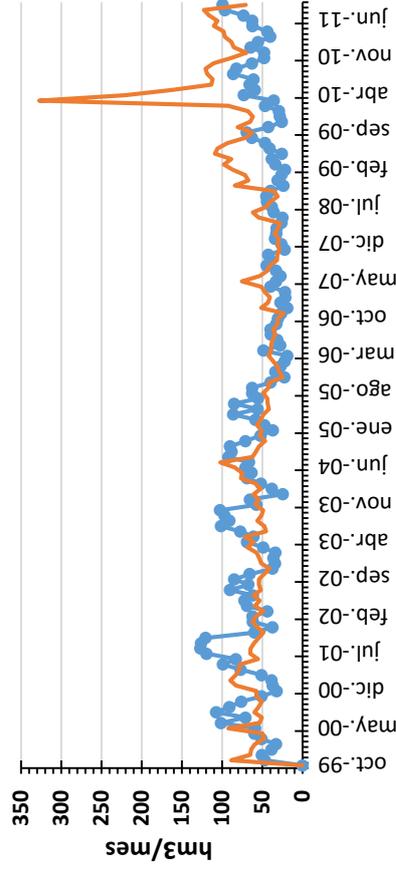
CAUDAL: AF14. Af. Calasparra



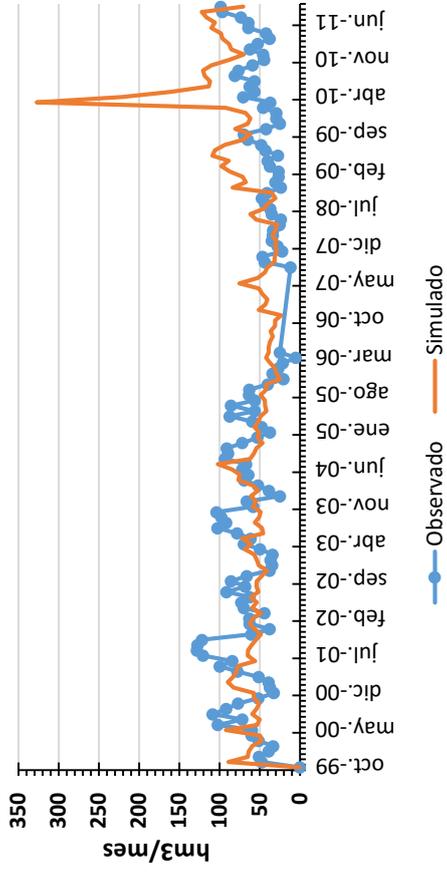
CAUDAL: AF15. Af. Almadenes



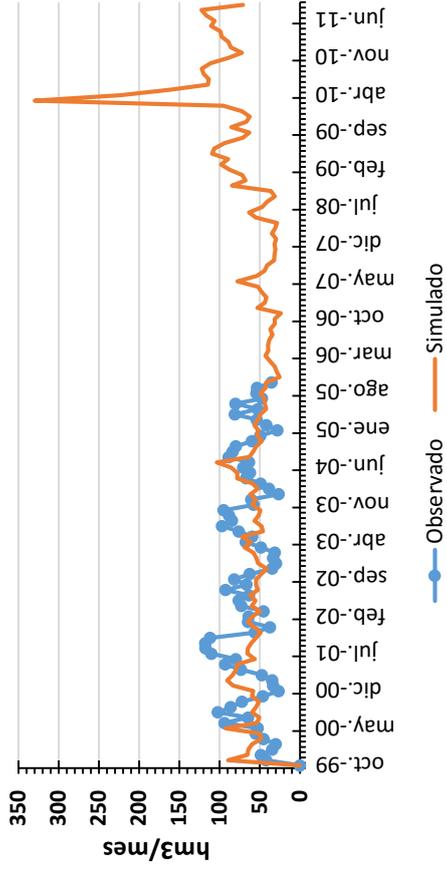
CAUDAL: AF16. Af. Cieza



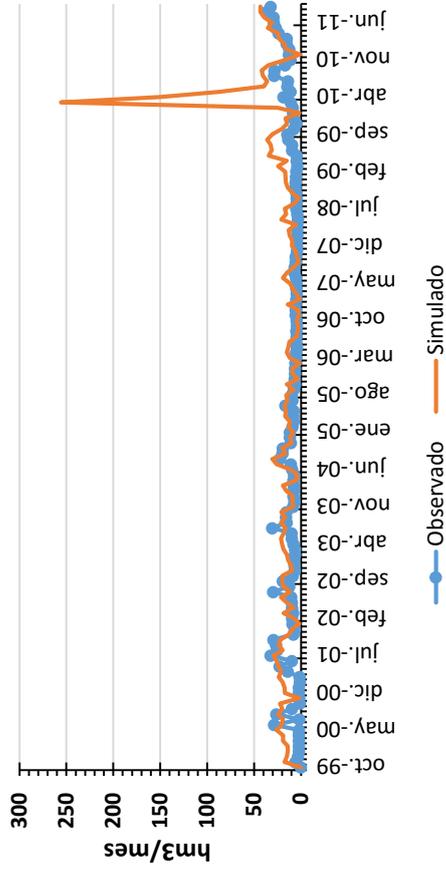
CAUDAL: AF17. Af. Menjú



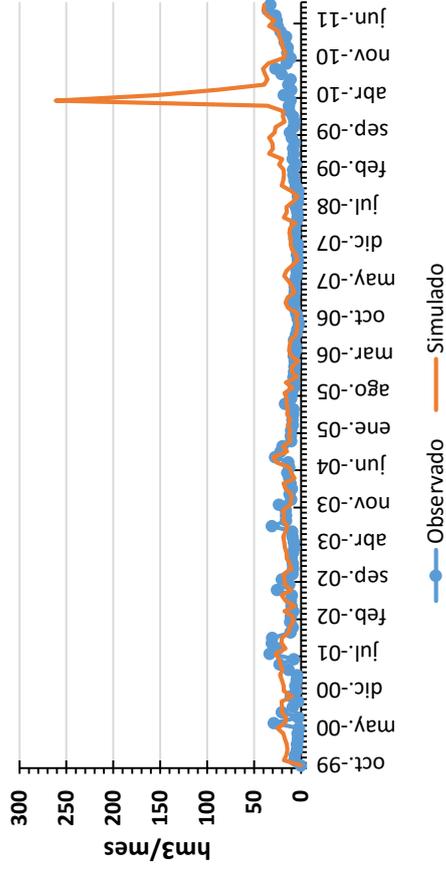
CAUDAL: AF18. Af. Abarán



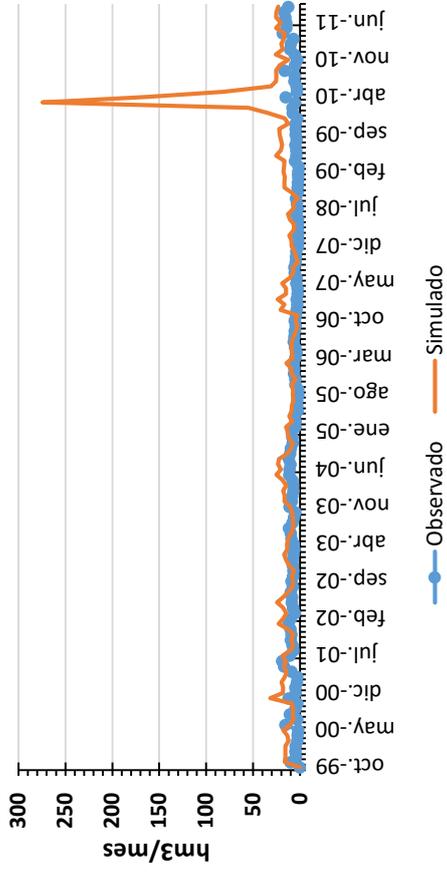
CAUDAL: AF19. Af. Archena



CAUDAL: AF20. Af. Contraparada



CAUDAL: AF21. Af. Beniel



CAUDAL: AF22. Af. Guardamar

