

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

Licenciado en Ciencias Ambientales



**UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA**



**ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR DE GANDIA**

**“Estudio del impacto del vertido de las
aguas residuales de la EDAR Fortaleny-
Riola sobre las aguas del río Júcar”**

TRABAJO FINAL DE CARRERA

Autor/es:
Jose Oliver Celda

Director/es:
D. Juan Andrés González Romero

GANDIA, 2016

Prólogo:

La idea de realizar el TFC surgió debido a una colaboración entre la Administración Local del municipio de la Ribera Baixa, Polinyà de Xúquer, y el autor del trabajo, vecino de la localidad.

La base del estudio se centra en la curiosidad que surge en la Administración Local de Polinyà respecto a la calidad y cantidad de las aguas residuales urbanas generadas en su municipio, ya que éstas son tratadas por la EDAR de Riola – Fortaleny antes de pasar a formar parte a aguas de la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ), más concretamente a las aguas del río Júcar.

En el presente trabajo se va a intentar analizar el comportamiento de las aguas residuales urbanas sobre las aguas superficiales de la CHJ, los posibles impactos y los posteriores efectos que éstas pueden generar sobre el medio.

INDICE

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 8 |
| 1.1. Descripción del medio..... | 9 |
| 1.1.1. La Demarcación Hidrográfica del Júcar (DHJ)..... | 9 |
| 1.1.2. El Río Júcar..... | 10 |
| 1.1.3. La Ribera del Júcar..... | 11 |
| 1.2. La contaminación y la calidad en las aguas..... | 13 |
| 1.3. Las aguas residuales urbanas y su depuración..... | 18 |
| 1.4. El impacto ambiental sobre el medio..... | 21 |
| 1.5. Modelación de la calidad de las aguas..... | 23 |
| 2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO..... | 26 |
| 2.1. Principal..... | 26 |
| 2.2. Secundarios..... | 26 |
| 3. DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO..... | 28 |
| 3.1. El área de estudio..... | 28 |
| 3.2. La EDAR de estudio..... | 31 |
| 3.3. La representación del estudio..... | 33 |
| 3.3.1. Datos disponibles para el estudio..... | 35 |
| 3.3.2. Tratamiento previo de los datos..... | 39 |
| 3.3.2.1. Estandarización de los datos..... | 40 |
| 3.3.2.2. Estimación de los datos..... | 42 |
| 3.3.3. Resumen del estudio..... | 59 |

| | |
|---|------------|
| 4. DESARROLLO DEL MODELO DE SIMULACIÓN..... | 64 |
| 4.1. Introducción..... | 64 |
| 4.2. Descripción de los componentes del modelo..... | 66 |
| 4.2.1. Variables de estado o internas..... | 66 |
| 4.2.2. Variables externas..... | 66 |
| 4.2.3. Ecuación general de transporte..... | 67 |
| 4.2.4. Componentes y procesos del modelo..... | 69 |
| 4.2.4.1. Materia orgánica..... | 69 |
| 4.2.4.2. Oxígeno disuelto..... | 70 |
| 4.2.4.3. Compuestos nitrogenados..... | 71 |
| 4.3. Procedimiento de simulación de los datos..... | 73 |
| 4.3.1. Discretización del modelo..... | 73 |
| 4.3.1.1. Condiciones de inicio..... | 73 |
| 4.3.1.2. Condiciones de contorno (boundaries)..... | 75 |
| 4.3.1.3. Vertidos..... | 77 |
| 4.3.2. Diagrama de flujo..... | 78 |
| 4.3.3. Velocidad y calado..... | 81 |
| 4.3.4. Temperatura..... | 82 |
| 4.4. Calibración y validación de los datos..... | 84 |
| 4.5. Simulación de los datos..... | 86 |
| 5. RESULTADOS..... | 89 |
| 5.1. Interpretación de los datos..... | 89 |
| 5.2. Principales impactos y efectos sobre el medio..... | 98 |
| 6. CONCLUSIONES..... | 101 |
| 7. BIBLIOGRAFIA..... | 104 |
| ANEXOS. | |

1. INTRODUCCIÓN.

Muchas de las citas bibliográficas manifiestan que el agua no es un bien comercial como los demás, sino un patrimonio que hay que proteger, defender y tratar como tal. Desde siempre el uso del agua ha sido orientado para satisfacer la demanda de la población en cantidades suficientes, pero en las últimas décadas, el aumento de la contaminación relacionada con un mayor desarrollo de la sociedad, unidas a algunas consecuencias de origen natural (sequías, inundaciones, etc.) han sobreexplotado los recursos hídricos, obligando a cambiar la idea sobre su gestión y uso de ésta.

Debido a que en la mayoría de ocasiones el degrado de la calidad del agua ha sido causado por las actividades humanas, el deber de la Administración competente, junto con los profesionales del sector ambiental, es el de proteger y controlar la descarga de contaminantes a los ecosistemas, protegiendo así a la vida que en ellos existe.

Desde la entrada en vigor, a nivel europeo, de la Directiva Marco del Agua 2000/60/CE (DMA) y anteriormente, a nivel estatal, de la Ley de Aguas en 1985, modificada en 1999, hace cambiar la metodología y enfoque sobre el uso y gestión de las aguas. La DMA 2000/60/CE establece un nuevo marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas en el cual se amplía considerablemente los objetivos de la calidad de los recursos hídricos, introduciendo entre otros, el concepto de “estado de las aguas superficiales” como expresión general del estado de una masa de agua determinado por su estado ecológico y químico.

Para la consecución del objetivo principal de la DMA, mantener los recursos hídricos en “buen estado”, se establece una serie de puntos, donde se incluyen la caracterización, el seguimiento y las medidas necesarias a emprender en el caso de que se produzca la contaminación de sus aguas. Por otro lado, la Administración valenciana mediante su Plan, implanta una serie de objetivos basados en la Ley de Saneamiento y Ley Ordenación del Territorio, donde establece un programa de soluciones para el tratamiento de las aguas residuales que sea viable para mejorar el balance de los recursos hídricos.

Mediante la aplicación de la legislación junto con estos trabajos técnicos y administrativos se intenta mantener estado de las aguas y en consecuencia el estado del medio lo mejor posible para el desarrollo habitual de los ecosistemas.

1.1. Descripción del medio.

1.1.1. La Demarcación Hidrográfica del Júcar (DHJ).

La DHJ está formada por una agregación de cuencas hidrográficas, desde el margen izquierdo de la Gola del Segura y la desembocadura del río Cenia, las aguas de transición y las zonas costeras asociadas. Esta superficie de 42988,6 km² es una extensa ramificación de acequias, barrancos y ríos comprendidos entre cuatro Comunidades Autónomas, siendo la Valenciana, con un 49,6 % del territorio, la de mayor superficie, seguida de Castilla La Mancha con un 36,6 % en la provincia de Albacete, Aragón con 13,2 % en la provincia de Cuenca y por último Catalunya en la provincia de Tarragona con un 0,6 %.

La DHJ está formada por dos sistemas montañosos, una meseta continental y una llanura costera donde persiste el clima mediterráneo. Los dos sistemas montañosos, el Ibérico en la parte norte y el Bético en la parte sur, actúan como barreras de los frentes marinos provocando la mayoría de las precipitaciones. La meseta continental o zona de la Mancha, está compuesta por una superficie principalmente llana a unos 650 m de altura y que alberga un gran acuífero denominado Acuífero de la Mancha Oriental. Por último, la llanura está formada por una plataforma aluvial que se extiende a lo largo de los más de 400 km de franja costera y 40 de ancho que la conforman. Esta superficie proporciona un suelo rico en nutrientes, sosteniendo la mayor parte de la producción agrícola de regadío de la zona.

Entre los ríos más importantes que componen la DHJ se encuentra el Júcar, río más importante de la demarcación y que da nombre a ésta, el Túrria y el Mijares. El conjunto de los tres ocupan más del 80% de los recursos hídricos. En un segundo bloque se hallan una serie de ríos con menor volumen pero con gran importancia en la demarcación como son el Serpis, el Palancia y el Vinalopó. Finalmente la DHJ también está formada por los pequeños ríos del norte de Castellón y sector oriental de la provincia de Valencia y Alicante. Todos los ríos de la Demarcación presentan unas características comunes como el gran valor ecológico, regímenes torrenciales, con estilos notables y fuertes crecidas tras periodos de lluvias intensas en sus tramos altos. En tramos medios y bajos su caudal es generalmente escaso, debido en gran parte al intenso aprovechamiento por parte de las actividades humanas.

El uso del suelo dentro de la Demarcación depende del tipo de actividades humanas desarrolladas durante el paso del tiempo. La mayor parte está cubierta por zonas agrícolas de secano, cubriendo un 36% y zonas agrícolas de regadío, con un 10%. Las zonas urbanas e industriales cubren un 3% del territorio, dejando una pequeña porción a humedales y superficies acuáticas.

El marco biótico de la DHJ está caracterizado por presentar una gran diversidad de ecosistemas. Cada ecosistema posee una vegetación característica asociada que varía dependiendo de la litología, geomorfología y clima. El contraste entre el norte, con un clima más húmedo, y del sur, más seco y una litología variada, determina la gran riqueza de la flora presente. El bosque en muchos cauces es ripario con una gran expresión de diversidad biológica. En cuanto a las especies zoológicas responden de manera similar a las comunidades vegetales, es decir, a aquellos factores ambientales, climáticos y biológicos que forman y alteran su hábitat.

1.1.2. El Río Júcar.

El río Júcar, el Xúquer para los ribereños, nace sobre el sistema montañoso de los Montes Universales en término municipal de Tragacete. Toma su nombre del árabe antiguo que significa “destructor”, debido a las numerosas inundaciones que históricamente han sufrido en su tramo final las zonas de llanura (1982 y 1987). En la actualidad el río Júcar es uno de los ríos españoles más regulados, siendo los embalses de Alarcón, Contreras y Tous los más importantes debido a su régimen fluvial. Se caracteriza por sus fuertes contrastes estacionales en la descarga y con una longitud de 512 km. y una cuenca de drenaje de 21.500 Km² es el principal río de la demarcación.

La cuenca del Júcar es una de las zonas con mayor riesgo de erosión y desertización. La deforestación progresiva causada por un abusivo uso del suelo y los continuos incendios que inciden en la zona, acompañada por las lluvias torrenciales y las condiciones edáficas, han provocado unas grandes pérdidas de suelo que en muchos casos no son recuperables. La orografía, la geomorfología, el clima, la hidrología, la vegetación, la fauna y el paisaje hacen de éstas unas zonas únicas.

Presenta una gran variedad de especies tanto vegetales como animales. Sus márgenes están compuestos principalmente por sauces (*Salix fragilis*, *Salix alba*), fresnos (*Fraxinus angustifolia*), álamos (*Populus alba*, *Populus nigra*) y olmos (*Ulmus minor*) en la parte alta, una vegetación dominada por tamarindos (*Tamarix gallica*, *Tamarix canariensis*) y adelfas (*Nerium oleander*) en las zonas medias y en la parte próxima a la desembocadura una cubierta vegetal prácticamente nula, por ser tramos muy degradados, como consecuencia de la total canalización del río. Sólo se aprecian algunas especies de cañaverales (*Arundo donax*, *Arundini-Convolvuletum sepium*) o de *Ludwigia grandiflora*, especie alóctona de gran capacidad invasora, con sotobosque de zarzas (*Ubís ulmifolius*) y ejemplares aislados de álamos (*Populus alba*) y olmos (*Ulmus minor*).

También existe vegetación sumergida (*Chara galioides*), un gran número de algas planctónicas (Chlorophyceas, Cyanophyceas, Bacillariophyceas, etc.), musgos y líquenes, que

juegan un papel importante como bioindicadores de la calidad de las aguas tanto continentales como de transición y costeras. Los macrófitos más comunes que se pueden encontrar son la enea o espadaña (*Typha domingensis*), las cañas (*Phragmites sp.*), los juncos (*Scirpus sp.*) y la espiga de agua (*Potamogeton sp.*).

En cuanto a las comunidades zoológicas existentes emergen una gran variedad de especies autóctonas y endémicas. Esta diversidad se debe a los factores que forman y alteran su hábitat como la cantidad y la calidad del agua, que junto a la evolución geológica, han determinado la aparición de multitud de especies de ciprínidos del género *Chondrostoma* y *Squalius*. Otras de las especies nativas y con interés ambiental son las colmillejas (*Cobitis sp.*) y los blénidos (*Salaria fluviatilis*). Cabe destacar la presencia de dos especies de Cyprinodóntidos característicos del hábitat de agua dulce del litoral: el fartet (*Aphanius iberus*) y el samaruc (*Valencia hispanica*), especies ambas endémicas y en peligro de extinción. Al igual que existen otros endemismos destacables, como la loina (*Chondrostoma toxostoma arrigonis*), ciprínido exclusivo de la cuenca del Júcar. Finalmente se encuentran la presencia de especies foráneas introducidas sobretudo para la pesca deportiva como el black bass o la tenca y especies migratorias como la anguila (*Anguilla anguilla*) mostrando la diversidad biológica existente en la zona.

Por lo que respecta a la calidad de sus aguas presenta unos índices óptimos variando entre calidad alta (Clase I) y buena (Clase II) en la cuenca superior. Sin embargo, no pasa lo mismo en la cuenca media, presentando una calidad media-buena hasta llegar a las entradas de los ríos Albaida, Sellent, Verde y Magro, empeorando su calidad al llegar a la población de Alzira, lugar donde empieza a manifestar los valores más problemáticos y prolongándose hasta las zonas cercanas a su desembocadura en la población de Cullera.

Finalmente recordar que el del río Júcar se incluye dentro de una protección Administrativa, tratándose de una zona L.I.C.. Además en su tramo final, parte de su agua pasa al lago de l' Estany de Cullera, zona catalogada como Zona Húmeda (aprobado por Decisión del Gobierno Valenciano en septiembre de 2002 en desarrollo de lo dispuesto en la Ley 11/1994, de Espacios Naturales Protegidos de la Comunidad Valenciana).

1.1.3. La Ribera del Júcar.

La comarca de la Ribera abarca un total de 48 municipios cuyos términos se extienden el la gran llanura aluvial del río Júcar. La Ribera se encuentra situada en el área de transición entre los sistemas Ibérico y Penibético, dividiéndose en dos grandes demarcaciones, la Ribera Alta o parte superior del Riu Xúquer y la Ribera Baixa o parte inferior del río.

Los rasgos climáticos que definen la comarca son los de un clima mediterráneo, caracterizado por sequías en los meses estivales y precipitaciones poco abundantes durante todo el año, sin olvidar la humedad de la zona litoral, brisas y la marcada estacionalidad otoñal de las precipitaciones. Las temperaturas medias anuales rondan los 17° C en la llanura, siendo las temperaturas mínimas en los meses invernales entre 4,5° y 5,5° C. El período de heladas se produce entre los meses de diciembre y marzo en las zonas interiores y sólo en enero y febrero en las zonas más costaneras. El régimen de precipitaciones va disminuyendo de sur a norte de la comarca, siendo la media alrededor de unos 550 mm anuales. Con los rangos de temperatura y precipitación se puede definir este clima entre mediterráneo semiárido y subhúmedo seco.

En cuanto al medio biótico de la zona se puede decir que existe una vegetación y fauna típica de las riberas de los ríos mediterráneos. Por ello se puede encontrar vegetación propia de campos de cultivo como hortalizas, frutales, así como especies herbáceas silvestres y cañares adyacentes al medio acuático. Sin embargo el cultivo que más predomina en la zona es el de cítricos como los naranjos (*Citrus sinensis*) y mandarinos (*Citrus aurantium*), suponiendo la principal actividad agrícola de la zona, sin olvidarse de las extensiones puntuales de arrozales en la parte sur de la comarca. La otra vegetación que se puede encontrar es la masa forestal típica de la zona, como son diferentes tipos de matorral y arbusto desarrollado, acompañado de pino carrasco como planta superior dominante. La fauna en esta comarca es la ligada a la diversidad de hábitats existentes y las especies asociadas a la vegetación definida anteriormente.

1.2. La contaminación y la calidad de las aguas.

Se conoce como contaminación la introducción de cualquier sustancia o forma de energía en cantidad suficiente que provoca algún daño o desequilibrio irreversible o no en el medio. De ahí que la contaminación ambiental se defina como la presencia en el entorno de cualquier agente o combinación de varios (contaminante), ya sea físico, químico o biológico, de origen antropogénico como natural, en concentración suficiente y durante el tiempo necesario para provocar efectos nocivos para la salud, seguridad o bienestar de las diferentes poblaciones o también como la incorporación a los cuerpos receptores de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas, o mezclas de ellas, siempre que alteren desfavorablemente las condiciones naturales de los mismos, o que puedan afectar la salud, la higiene o el bienestar del público. Se conoce como contaminante como cualquier sustancia o grupo de sustancias que pueda causar contaminación.

A nivel más legislativo la Ley de Aguas define la contaminación del agua o contaminación del medio hídrico como la acción de introducir materiales o formas de energía o inducir condiciones sobre el agua, que de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial para su calidad en relación con sus posteriores usos y servicios ambientales o con su función biológica. La OMS (Organización Mundial de la Salud) dice que un agua está contaminada cuando su composición se halla alterada de modo que no reúne las condiciones necesarias para el uso al que se la hubiera destinado, en su estado natural. Sin embargo en el ámbito de la hidrología, la contaminación se entiende como un concepto asociado a las características físicas, químicas y biológicas del agua que impiden o dificultan su uso.

Hay varias clases de agentes contaminantes del agua. Los primeros son agentes causantes de enfermedad como las bacterias, virus, protozoos y parásitos. Una segunda categoría son los agentes consumidores de oxígeno. Una tercera clase de agentes contaminantes son los agentes contaminantes inorgánicos solubles en agua, tales como ácidos, sales y metales tóxicos. Otros de los agentes contaminantes del agua como los nutrientes, los nitratos y los fosfatos solubles, causando el crecimiento excesivo de las algas y de otras plantas acuáticas y agotando la fuente de oxígeno en el agua. Además el agua se puede también contaminar por un número de compuestos orgánicos tales como aceite, plásticos y pesticidas. Por último mencionar los sólidos suspendidos, ya que causan una disminución en la absorción de luz, además de que sus partículas separan compuestos peligrosos tales como pesticidas.

Los contaminantes más significativos emitidos al medio como consecuencia de las actividades humanas son:

- Materia orgánica (como COT, DBO, DQO)
- Sólidos en suspensión

- Nutrientes (como N, P y C)
- Metales pesados
- Sustancias peligrosas (33 sustancias identificadas en la Directiva 2455/2001/CE)
- Otros contaminantes significativos (Listados en el Anexo VIII de la DMA)

Estos contaminantes emitidos durante tiempo necesario y una concentración considerable en el medio que no tolere puede provocar alteraciones en él originando ciertos cambios como:

- La salinización
- Reducción de niveles de oxígeno disuelto
- Eutrofización
- Disminución de la biodiversidad
- Bioacumulación de compuestos tóxicos

La contaminación en el medio puede originarse de dos formas, de origen natural, a base de la incorporación de sustancias que se encuentran en los diferentes ecosistemas por los que va atravesando, o bien de forma antropogénica, siendo la más perjudicial para el medio, a través de las diferentes acciones que el ser humano utiliza para actividades de su vida cotidiana a través de diversas fuentes. Existen dos clases de fuentes o focos de contaminación, las puntuales y las difusas. Las fuentes puntuales descargan agentes contaminantes en localizaciones específicas (tuberías, alcantarillas, canalizaciones, etc.) en el agua superficial. Las difusas son las fuentes que no se pueden localizar en un solo sitio de descarga (excedentes agrícolas, suelos potencialmente contaminados por la industria, escombreras, extracción minera, etc.). La contaminación difusa por nitratos y fosfatos y los vertidos de aguas urbanas e industriales son los que están produciendo los impactos más importantes en el medio hídrico y en la calidad de sus aguas.

La calidad es un concepto muy relativo y con múltiples significados, aunque todos ellos se basan en el conjunto de propiedades propias de un elemento que le confieren capacidad de satisfacer necesidades implícitas o explícitas. La fuerte presión sobre los recursos hídricos y los vertidos incontrolados se traducen en una pérdida de calidad de las aguas y en consecuencia en un aumento de los niveles de contaminación.

En lo que se refiere a la hidrología, la calidad se define como la medida en que es afectada una masa de agua por la concentración de sustancias producidas por procesos naturales y actividades humanas. Los límites tolerables de las diversas sustancias contenidas en el agua son normadas por la Organización Mundial de la Salud (O.M.S.) y por los gobiernos

nacionales. La buena o mala calidad del agua va a depender del uso final que dicha masa de agua tenga (consumo humano, agrícola, industrial, etc.).

Desde la incorporación de España a la U.E. se ha visto obligada a adaptar la normativa a sus exigencias en materia de calidad de aguas. La U.E. exige una especial importancia a la calidad de las aguas y su control periódico en función del uso específico, al igual que la gestión de sus vertidos.

Por otro lado, debido a la entrada en vigor de la Directiva 2000/60/CE, el 23 de octubre de 2000, la Confederación Hidrográfica del Júcar establece una serie de redes de control de calidad, tanto superficiales como subterráneas, que permite, mediante determinaciones analíticas, fisicoquímicas y biológicas, determinar el estado de las masas de agua. Las distintas redes de calidad que la CHJ dispone para el control de sus aguas superficiales son la Red Biológica. (I.C.A.B.), Red de Estaciones Automáticas de Alerta. (Programa SAICA), Red de Sustancias Peligrosas, Red de Embalses, Red I.C.A. y la Red de Control Básico (R.C.B.) (Figura 1).



Modificado de Doc Síntesis PHJ 2007

Figura 1. Mapa de situación de estaciones R.C.B.

Estas redes de control proporcionan información de forma continua sobre los niveles de calidad del agua y caudales en los ríos a partir de una medición de parámetros. Este contexto se creó desde de la Red Integral de Calidad de Aguas (I.C.A.) en 1994 y posteriormente mediante

la red de Indicadores de Calidad Biológica (I.C.A.B.) en 1999. Este tipo de normativas van encaminadas principalmente en la fijación de unas normas de emisión (límites tolerables de vertido normados por la O.M.S.) y en el establecimiento de unos objetivos de calidad, con el fin de preservar la calidad del agua y sus posibles impactos en el medio.

A continuación se destacan los parámetros más estudiados a la hora de determinar la calidad de una masa de agua:

- **Sólidos en suspensión:** Se define como toda la materia que queda como residuo de la evaporación a 103-105 °C. Se encuentran principalmente disueltos en el agua junto arenas, arcillas y microorganismos. Su tamaño estándar se encuentra entre 10 y 0.1 nm. de diámetro aunque pueden variar.
- **Demanda Biológica de Oxígeno (D.B.O.) y Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.):** Parámetro utilizado para determinar el contenido orgánico de las aguas naturales y residuales municipales e industriales.
- **Compuestos de nitrógeno:** El nitrógeno es el elemento esencial de los organismos, ya que es un constituyente fundamental en las proteínas. El nitrógeno puede aparecer en las aguas de diferentes formas según su estado de oxidación. Por ejemplo: el ión amonio (NH_4^+), que aparece en el agua residual por la descomposición de la materia orgánica (tanto del sedimento como de la propia agua), por los excrementos de los organismos vivos y por la reducción biológica del nitrógeno gaseoso. Otro componente nitrogenado que se utiliza para la medición de la calidad es el nitrógeno Kjeldahl o nitrógeno orgánico biológico. Las formas NH_4^+ y nitrógeno Kjeldahl son las de mayor interés en el análisis de aguas residuales, aunque sin olvidar el NO_3^- y NO_2^- , siendo éstas las más importantes en aguas superficiales y subterráneas.
- **Fósforo total:** Elemento esencial para el desarrollo de los microorganismos acuáticos. Generalmente es el nutriente limitante para el crecimiento de las algas, siendo por lo tanto la principal causa de la eutrofización en los sistemas acuáticos. Esta sustancia puede encontrarse en forma disuelta o en suspensión. El origen natural del fósforo en el agua es por la disolución de la roca fosfática o por descomposición de la materia orgánica. Las aguas residuales suelen tener altas concentraciones debido principalmente a los fertilizantes.
- **pH:** Indicador imprescindible para los procesos biológicos que se desarrollan en las aguas. Debe mantenerse entre un 6,2 y 8,5 para que no aparezcan problemas de inhibición. La variación del pH en una masa de agua puede tener efectos indeseables

sobre el medio como el aumento de la proporción del ión amonio, variar la concentración de metales disponibles en disolución e incluso alterar el crecimiento del fitoplancton.

- Los parámetros minoritarios. Estos parámetros no están tan estudiados pero su alta concentración en un sistema acuoso puede provocar cambios irreversibles.

1.3. Las aguas residuales urbanas y su depuración.

Se entiende como aguas residuales aquellas que proceden de un uso determinado, ya sea de origen natural o de la red. Dentro de las diferentes clasificaciones existentes sobre estas aguas, una de las más sencillas y utilizadas, es la que las identifica según su procedencia, ya sea por aguas pluviales o derivadas de la precipitación atmosférica, aguas agrarias o que proceden de la escorrentía agrícola, aguas negras o procedentes de los vertidos de las aguas de uso doméstico y finalmente aguas industriales líquidas (Riles) o provenientes de descargas de vertidos industriales.

Las aguas residuales urbanas son las que provienen de un uso urbano. Contienen principalmente papel, jabón, orina, heces y detergentes. Estas aguas están compuestas mayoritariamente por agua potable o agua tratada para el consumo humano y en menor cantidad por sólidos, gases disueltos y componentes biológicos. Los sólidos orgánicos son sustancias que contienen carbón, hidrógeno, oxígeno y en ocasiones moléculas combinadas de nitrógeno, azufre y fósforo. Los sólidos inorgánicos son compuestos inertes y no susceptibles de ser degradados. Se conocen más comúnmente como minerales y se encuentran en los aceites, arenas y sales minerales disueltas en el fluido. En cuanto a los gases disueltos que se encuentra el oxígeno, tanto en estado natural como disuelto en el aire, el anhídrido carbónico, resultante de la descomposición de la materia orgánica, el nitrógeno, procedente de la atmósfera y el sulfuro de hidrógeno. Por último se hallan los componentes biológicos, donde destacan las bacterias, organismos macroscópicos, insectos y virus.

Cuando las aguas residuales son descargadas al medio se denominan vertidos. Vertido, según la Ley de Aguas, se considera toda emisión de contaminantes realizada directa o indirectamente a las aguas continentales, así como al resto del Dominio Público Hidráulico, sin diferenciar el procedimiento o técnica utilizada, ocasionando la contaminación del agua con sus respectivos problemas al medio. Los vertidos se clasifican en:

- Directos: son los que se realizan directamente a las aguas continentales o a cualquier otro elemento del Dominio Público Hidráulico. Por ejemplo los que se llevan a cabo en cauces (con o sin agua fluyente), lagunas, embalses, e incluso acequias o canales de riego.
- Indirectos: son los realizados a Dominio Público Hidráulico a través de azarbes, redes de colectores de recogida de aguas residuales o de aguas pluviales o por cualquier otro medio de desagüe. Ejemplo: vertidos a colector municipal.

1. Introducción

Los vertidos arrastran diferentes compuestos que han estado en contacto con las aguas. Estos compuestos pueden clasificarse según su naturaleza en compuestos conservativos y no conservativos. Los conservativos son aquellos cuya concentración en las aguas depende de la Ley de la dilución del caudal del vertido con la masa de agua. Estos compuestos son generalmente estables y de carácter inorgánico (cloruros, sulfatos, etc.) Los compuestos no conservativos son todos los compuestos que pueden alterarse en las aguas por una acción física, química o biológica (amonio, fenoles, materia orgánica, etc.).

A continuación en la figura 2 se aprecia los diferentes parámetros que se tienen en cuenta en el análisis de aguas, al igual que los límites máximos exigidos por la Normativa de Calidad de Aguas.

| PARÁMETROS | CONCENTRACIÓN MEDIA DIARIA MÁXIMA | CONCENTRACIÓN INSTANTANEA MÁXIMA |
|---------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| pH (U. de pH) | 5,5-9,00 | 5,5-9,00 |
| Sólidos en suspensión (mg/l) | 500,00 | 1.000,00 |
| Materiales sedimentables (ml/l) | 15,00 | 20,00 |
| Sólidos gruesos | Ausentes | Ausentes |
| DBO ₅ (mg/l) | 500,00 | 1.000,00 |
| DQO (mg/l) | 1.000,00 | 1.500,00 |
| Temperatura (°C) | 40,00 | 50,00 |
| Conductividad eléctrica a 25°C(µS/cm) | 3.000,00 | 5.000,00 |
| Color | Inapreciable a dilución 1/40 | Inapreciable a dilución 1/40 |
| Aluminio (mg/l) | 10,00 | 20,00 |
| Arsénico (mg/l) | 1,0 | 1,0 |
| Bario (mg/l) | 20,00 | 20,00 |
| Boro (mg/l) | 3,00 | 3,00 |
| Cadmio (mg/l) | 0,50 | 0,50 |
| Cromo III (mg/l) | 2,00 | 2,00 |
| Cromo VI (mg/l) | 0,50 | 0,50 |
| Hierro (mg/l) | 5,00 | 10,00 |
| Manganeso (mg/l) | 5,00 | 10,00 |
| Níquel (mg/l) | 5,00 | 10,00 |
| Mercurio (mg/l) | 0,10 | 0,10 |
| Plomo (mg/l) | 1,00 | 1,00 |
| Selenio (mg/l) | 0,50 | 1,00 |
| Estaño (mg/l) | 5,00 | 10,00 |
| Cobre (mg/l) | 1,00 | 3,00 |
| Zinc (mg/l) | 5,00 | 10,00 |
| Cianuros (mg/l) | 0,50 | 0,50 |
| Cloruros (mg/l) | 800,00 | 800,00 |
| Sulfuros (mg/l) | 2,00 | 5,00 |
| Sulfitos (mg/l) | 2,00 | 2,00 |
| Sulfatos (mg/l) | 1.000,00 | 1.000,00 |
| Fluoruros (mg /l) | 12,00 | 15,00 |
| Fósforo total (mg/l) | 15,00 | 50,00 |
| Nitrógeno amoniacal (mg/l) | 20,00 | 85,00 |
| Nitrógeno nítrico (mg/l) | 20,00 | 65,00 |
| Aceites y grasas (mg/l) | 100,00 | 150,00 |
| Fenoles totales (mg/l) | 2,00 | 2,00 |
| Aldehidos (mg/l) | 2,00 | 2,00 |
| Detergentes (mg/l) | 6,00 | 6,00 |
| Pesticidas (mg/l) | 0,10 | 0,50 |
| Toxicidad (U.T.) | 15,00 | 30,00 |

Figura 2. Concentraciones máximas permitidas, EPSAR 2008

La depuración es la eliminación de la contaminación e impurezas incorporadas artificialmente en el agua a través de varios procesos o tratamientos, imitando así a los que se producen naturalmente en el medio o procesos de autodepuración natural. En la autodepuración de las aguas intervienen procesos físicos, químicos y biológicos. Estos tratamientos artificiales de depuración se realizan en las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDARs).

Una EDAR tiene como propósito tratar las aguas transportadas por alcantarillas y colectores antes de ser vertidas a un cauce receptor, eliminando así toda contaminación química y bacteriológica del agua que pueda ser nociva para los seres humanos, la flora y la fauna del medio y para que sea dispuesta en el éste de forma segura. En estas instalaciones se pueden recoger y tratar tanto aguas residuales urbanas como industriales, ya sea conjunta o separada. En general las EDARs tratan agua residual local procedente del consumo humano en su mayor parte, así como de la escorrentía superficial del drenaje de las zonas urbanizadas y agrícolas.

Los tratamientos que se pueden realizar en una EDAR se dividen fundamentalmente en dos líneas, la línea de agua con los procesos de pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario y la línea de fangos. (Figura 3). Una vez sometidas las aguas a los diferentes procesos el efluente será vertido a un medio receptor (ríos, embalses o mar) o ser reutilizadas para actividades que requieran aguas de inferior calidad como el riego agrícola, urbano o recarga de acuíferos.

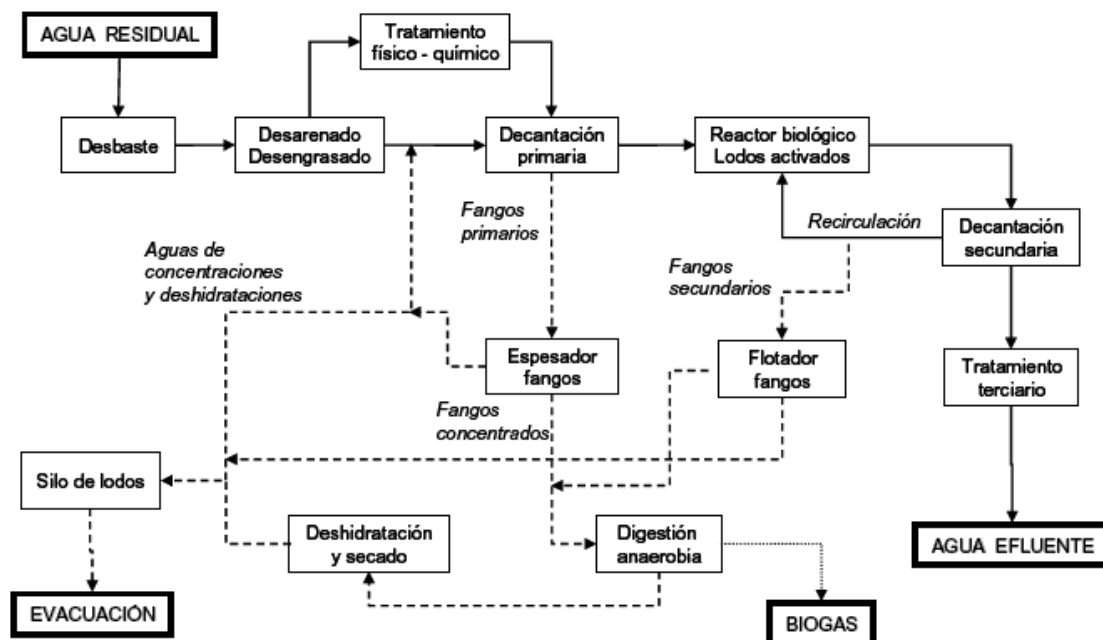


Figura 3. Distintos tratamientos y procesos en un EDAR

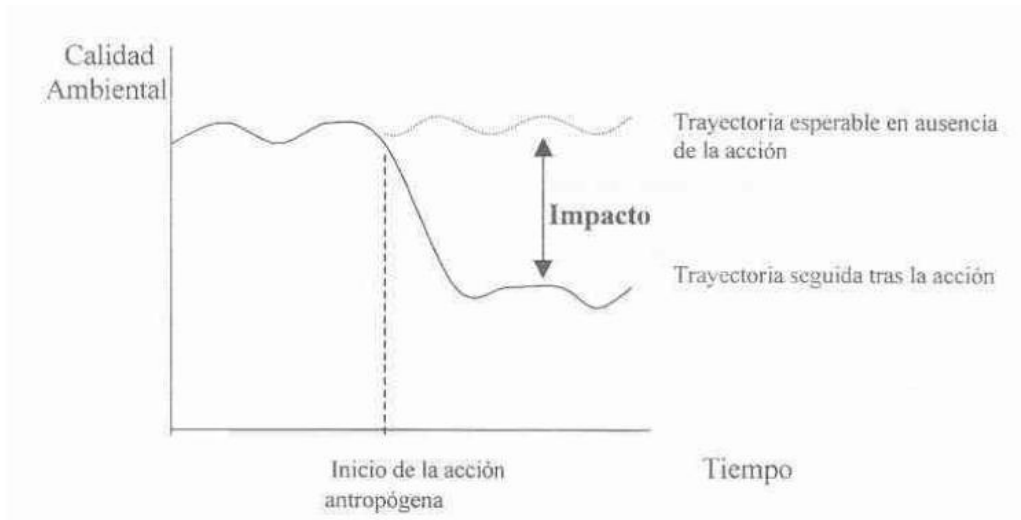
1.4. El impacto ambiental sobre el medio.

El medio ambiente es un conjunto, en un momento dado, de todas las condiciones e influencias a las que es sometido un individuo en su entorno vital (ecosistemas). Aunque como definición más aceptada consta que el medio ambiente es el entorno vital o conjunto de factores físico-naturales, sociales, culturales, económicos y estéticos que interactúan entre el individuo y la comunidad en la que vive, constituyendo entre sí una estructura y función en el ecosistema. La estructura es el conjunto de elementos que componen el ecosistema, es decir la parte perceptible y la forma en que aparecen dispuestos dichos elementos. La función es la interrelación entre los elementos del ecosistema mediante la transferencia de energía, materia e información. Según el R.D. 1131/88 de la Constitución Española los elementos del medio son:

- El aire, la gea, el suelo y el agua como medio físico-natural inerte.
- La flora, vegetación y fauna como medio físico-natural biótico.
- Unidades de paisaje como medio físico-natural perceptivo.
- La población humana, condiciones sociales y de sosiego público y las histórico-culturales y económicas en general como medio socio-económico.
- Las interacciones entre los diferentes ecosistemas.

El ecosistema se define como el conjunto de elementos formado por varias especies en el seno de un ambiente de características definidas e implicado en un proceso dinámico e incesante de interacción, ajuste y regulación, expresado como intercambio de materia y energía, ya sea como una secuencia de nacimientos y muertes, y cuyo resultado es la evolución y la sucesión de las especies. (Margalef., 1980). A un nivel más coloquial, el ecosistema se podría definir como la organización vital en un determinado espacio, donde animales y plantas, interaccionan entre sí y con el entorno en el que viven.

Todas las actividades humanas ejercen una influencia sobre el medio que las rodea. Se considera impacto a la acción o actividad humana que produce una modificación, alteración o perturbación con su posterior efecto, ya sea favorable o desfavorable, en el medio o en alguno de los componentes que lo forman, modificando su calidad o el grado de conservación de los ecosistemas. Más concretamente se dice que el impacto final sobre el medio sería la situación en la que se quedaría éste, una vez elaborada la actividad, en comparación conforme hubiera evolucionado sin la aplicación de ésta. (Figura 4).



Fuente: Conesa., 2003

Figura 4. Visualización de un impacto en el medio.

La secuela que cada impacto deja sobre el medio es efecto y se describe como una consecuencia medible sobre algún componente básico del ambiente, provocada o inducida por cualquier acción del hombre. No hay que olvidar que toda acción sobre el medio va a producir un impacto y, aunque muchos de ellos van a ser despreciables, se tendrá que prestar atención a los que sean más importantes y más significativos para el desarrollo del ecosistema.

1.5. Modelación de la calidad de las aguas.

En el ámbito de la hidrología superficial existen multitud de instrumentos y técnicas para medir puntualmente el valor de contaminante en el medio acuático, pero no es suficiente para prevenir el comportamiento de dichos contaminantes a lo largo del tiempo o de un tramo específico del sistema. Desde que en 1925 Streeter y Phelps obtienen una expresión analítica para determinar el contenido de oxígeno a lo largo de un río sobre una descarga continua de materia orgánica, los modelos de simulación de calidad de aguas han sido las herramientas de cálculo más utilizadas para determinar la evolución de la de cualquier sustancia en una masa de agua, de las condiciones del entorno y de la distribución espacial de los aportes de los contaminantes a lo largo del tiempo.

Un modelo matemático es una representación abstracta de un sistema real a base de conocimientos previos que finalmente representa la respuesta de un sistema físico ante un estímulo externo y que se elabora para facilitar su comprensión y estudio de su comportamiento. Se entiende por sistema el conjunto complejo de elementos funcionales directa o indirectamente relacionados entre sí sobre una red causal. Si existe una relación entre los componentes del sistema y el entorno exterior se dice que son sistemas abiertos, por el contrario, si los componentes del sistema no tienen ningún tipo de relación se dice que el sistema es cerrado.

Este tipo de modelos no solo sirven de ayuda en la gestión de la calidad del agua sino también se emplean para optimizar la gestión de vertidos tanto a nivel local como de cuenca. De ahí que, la correcta selección y aplicación de un modelo puede ser determinante para posteriores actuaciones de mejora del ecosistema.

En general los modelos de calidad de aguas se basan en ecuaciones de balances de materia y de cantidad de movimiento, formándose una amplia gama de parámetros en la caracterización a base de un complejo sistema de ecuaciones matemáticas. Para facilitar los cálculos en los últimos años se han desarrollado diversas aplicaciones informáticas que simulan el medio receptor frente a una distribución espacial y temporal de vertidos y de sus cargas contaminantes. Los modelos pueden clasificarse en dos grandes grupos:

- Modelos inductivos o empíricos. Este tipo de modelos se basa en el establecimiento de relaciones entre variables a partir de un gran número de datos de campo. La limitación fundamental de estos modelos estriba en su carácter excesivamente local, que impide su extrapolación a otros lugares.

- Modelos deductivos o mecanicistas. Este segundo grupo aplican la ley de conservación de la materia para llegar a la ecuación general de transporte. Establecen una serie de relaciones teóricas entre las variables que intervienen en el proceso. Para ello necesitan los valores de una serie de parámetros químicos, físicos y/o biológicos.

Las principales ventajas que los modelos presentan son:

- Su carácter predictivo.
- Se puede observar el efecto en diferentes situaciones sin necesidad de experimentación.
- Visión global del ecosistema.
- Identifica los parámetros clave o determinantes que pueden originar efectos perjudiciales al medio.

Sin embargo, existen algunos problemas que hacen plantear el uso o no del tipo de modelos como:

- La dificultad para especificar la transferencia interna turbulenta de cantidad de movimiento y de materia.
- El alto coste económico que supone la obtención de dichos datos.
- El alto coste computacional de estos modelos, aunque este factor va siendo cada vez menos importante.

Recordar que, la elección de un modelo no es un hecho arbitrario sino que depende de cuatro factores. El primero depende del sistema natural de estudio, ya sea un río, un lago, un estuario, etc. El segundo factor va a depender del contaminante que se vaya a estudiar, ya que en función del contaminante de estudio se elegirán las formulaciones más adecuadas y las escalas de tiempo y espacio del modelo. El tercer factor para la elección de uno u otro modelo va a ser la obtención de datos que se disponga, ya que cuando más numerosos sean éstos más detallado podrá ser el modelo que se emplee y mayor número de aspectos podrán ser abordados. Por último, el cuarto factor para la elección de uno u otro modelo será la capacidad computacional de la que se disponga, ya que dependiendo de la dimensionalidad del modelo, los cálculos numéricos se multiplican exponencialmente.

Para finalizar con el apartado hay que matizar que, aunque los modelos no sean realistas del todo, serán la herramienta más fiable para predecir el comportamiento de un sistema, tanto cualitativa como cuantitativamente.

2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO.

2.1. Principal.

El objetivo principal del trabajo es el estudio de un tramo del cauce del río Júcar con el fin de intuir la existencia de contaminación, posibles impactos y efectos sobre éstas debido al vertido proveniente de las aguas residuales urbanas.

2.2. Secundarios.

- Búsqueda y recopilación de bibliografía y datos para la realización del estudio.
- Identificar y conocer los parámetros y variables que influyen en la contaminación de las aguas en el tramo de estudio.
- Conocimiento y manejo del programa de simulación WASP 7.2.
- Tratamiento y simulación de los datos recopilados.
- Planteamiento y diseño de un modelo de calidad para las aguas de estudio.
- Interpretación de los datos simulados.
- Identificar los principales problemas de calidad en las aguas de estudio.
- Señalar los principales impactos y efectos más significativos que se pueden producir en el medio.
- Puntualizar algunas conclusiones y plantear posibles propuestas de mejora del estudio.

Tramo 1: Zona recreativa Polinyà – Azud de Sueca. (Figura 6).

La primera parte del recorrido comprende, desde la estación de medida de calidad de las aguas JUU627 (punto inicial) en el municipio de Polinyà de Xúquer, donde la CHJ mide el caudal y diferentes parámetros de la calidad del agua, hasta la Azud de Sueca, donde se encuentra la estación de medida de calidad JUU624. Esta azud limita a una parte y otra del río los términos municipales de Riola y Sueca. Durante este recorrido se localizan varios ramales que aportan o retiran flujo del río como son la acequia Racó Nou, la acequia de Campanar, la acequia Major de Sueca, la acequia Nova, la acequia Murquiz, la acequia Racó Vell y por último un grupo de acequias formado por las acequias Presa Major, Presa Canal y Presa Angla.

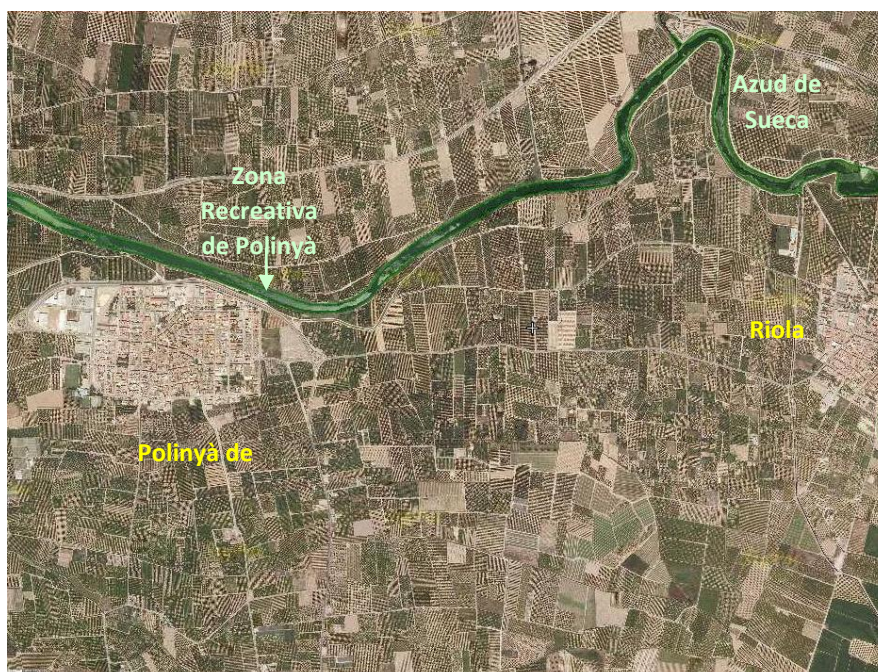


Figura 6. Ortofoto del tramo de río: Zona Recreativa Polinyà – Azud de Sueca

Tramo 2: Azud de Sueca – Coto de Fortaleny. (Figura 7).

La segunda parte del recorrido abarca desde la estación JUU624 en el Azud de Sueca, cerca del municipio de Riola, hasta llegar a la estación de medida de calidad de las aguas Coto de Fortaleny JUU625, ubicada en el trayecto de río que pasa por esta misma localidad. Esta estación aporta información sobre el caudal y algunos parámetros de calidad. Durante este segundo tramo también se localizan las estaciones de medida de calidad de las aguas JUU626 (Coto de Riola) y la JUU609 en la misma Azud de Cullera y muy cerca a la población de Fortaleny, indicando las dos valores de caudal y varios parámetros de calidad. En el transcurso del río en este tramo existen varios ramales de entrada y salida de flujo como son la acequia Angla, la acequia Racó de Riola, la acequia de Murquiz, la acequia Liber, la acequia Major de Cullera y por último la acequia de Cullera.



Figura 7. Ortofoto del tramo de río: Azud de Sueca – Coto de Fortaleny

Tramo 3: Coto de Fortaleny – Azud de la Marquesa. (Figura 8).

La tercera parte del recorrido comprende desde la estación JUJ625 (Coto de Fortaleny) hasta llegar a la estación de medida de calidad de las aguas JUJ601 (Azud de la Marquesa), ubicada cerca de la localidad de Cullera y punto concluyente del estudio. Esta estación proporciona valores de caudal y de algunos parámetros de calidad del agua del río. Durante el transcurso del río en este tramo surgen varios ramales de entrada y salida de flujo como son la acequia Canet o del Rei y en los últimos metros varias acequias como son la Raconada, acequia Molina y Braçal de Galdufa. Remarcar que en este último subtramo se aprecia la ubicación de la EDAR donde se tratan las aguas residuales urbanas de estudio.



Figura 8. Ortofoto del tramo de río: Coto de Fortaleny – Azud de la Marquesa

3.2. La EDAR de estudio.

La estación de depuración de aguas residuales (EDAR) de Riola – Fortaleny (Figura 9) está situada al sur del término de Riola (729952 XUTM, 4340669 YUTM) en la comarca de la Ribera Baixa (Valencia). Esta EDAR, durante la cronología del estudio, estaba gestionada por la empresa de tratamientos de aguas EGEVASA y teniendo como asistente técnico la empresa IVA LEYING S.A. Dicha EDAR proporciona sus servicios aproximadamente a los 5000 habitantes que conforman las poblaciones de Polinyà de Xúquer, Benicull de Xúquer, Riola y Fortaleny. Según los datos obtenidos, la instalación tendría una capacidad de trabajo máxima de 1700 m³/día.



Figura 9. Imagen aérea de la EDAR de estudio.

Como la mayoría de estas instalaciones, la EDAR se divide en dos líneas de trabajo. Una primera línea o línea de agua, donde se efectúa el pretratamiento y el tratamiento en sí de las aguas residuales y una segunda línea o línea de fango, donde se realiza el procedimiento de éste.

En la línea de agua el tipo de pretratamiento que se realiza es el desbaste fino con un tamiz tipo meba, reteniendo y separando los cuerpos voluminosos flotantes y los sólidos suspendidos de pequeño tamaño, seguido de un tratamiento de sistema dual, compuesto por una arqueta con un reactor biológico de lecho sumergido y por un proceso de decantación lamelar. En este sistema de depuración biológica la materia orgánica, sustancias contaminantes, junto a los sólidos en suspensión, son degradados por una película biológica compuesta por microorganismos seguido por el decantador secundario, donde los sólidos (fangos) son arrastrados, floculados y recogidos.

3. Descripción del estudio

Seguidamente en la segunda línea o línea de fango, se realiza un espesado más una deshidratación mecánica y finalmente el almacenado en tolvas de deposición. El espesado por gravedad se realiza para reducir el volumen de los fangos mediante concentración o eliminación parcial de agua. La deshidratación se realiza para reducir la humedad del fango, obteniendo una mejor manipulación y disminuyendo la generación de lixiviados y olores desagradables. Además se consigue reducir volumen total del fango reduciendo así el coste del transporte para otras actividades. Una vez terminado el proceso, los residuos son llevados a los tanques o tolvas de tratamiento de fango, donde empezaría el tratamiento terciario, aunque esta EDAR no está habilitada para ello.

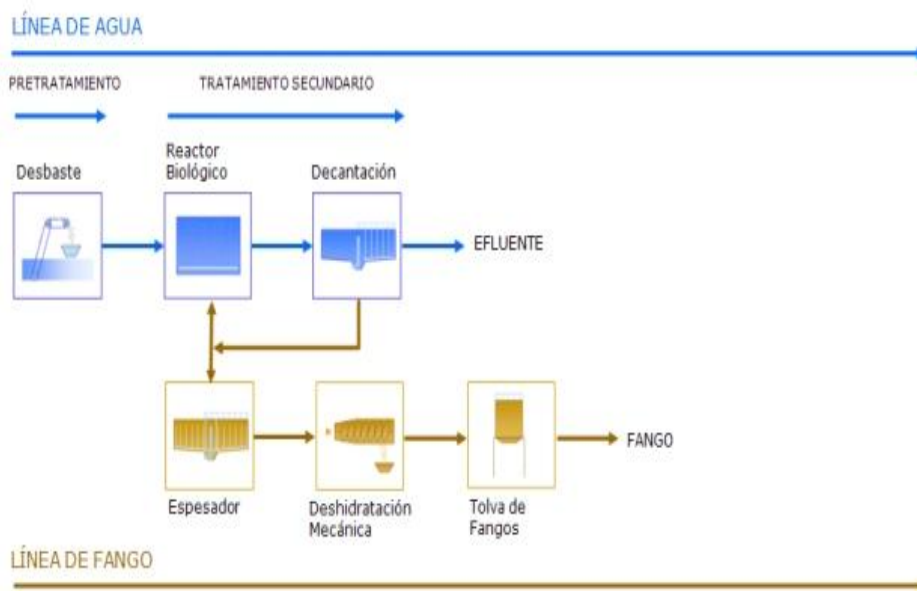


Figura 10. Esquema de los procesos internos en la EDAR.

Como ya se ha mencionado antes y debido a las características de la instalación, la totalidad del tratamiento de la línea de fango no se puede realizar en planta, así que después de las acciones espesado, centrifugado y almacenado, el fango es transportado, mediante contenedores en vehículos especializados, a empresas ajenas para su tratamiento y gestión final, siendo utilizado generalmente para generar compost o como empleo agrícola.

3.3. La representación del estudio.

El creciente aprovechamiento de las aguas del sistema Júcar junto con los recientes episodios de sequía, hacen necesario la realización de diagnósticos que actualicen la información existente en cuanto a recursos, demandas, aportes, impactos, efectos y consecuencias en el medio. Mediante los estudios de los modelos se puede reflejar o al menos aproximar a un escenario real de la situación y así poder prever las hipotéticas situaciones de futuro del sistema.

Antes de introducirnos definitivamente en el tratamiento de datos disponibles y su posterior simulación, recordar que el objetivo principal del trabajo es el estudio de las aguas del río Júcar y la influencia que puede dar al medio el vertido de las aguas residuales urbanas que la EDAR Riola-Fortaleny trata de varios municipios de la zona.

El origen del estudio proviene por la curiosidad que existía en la Administración de Polinyà de Xúquer por el buen funcionamiento y gestión de la EDAR que trata sus aguas residuales urbanas. Esta suposición se basa por la cantidad total de flujo proveniente de los diferentes municipios a la EDAR, ya que basándonos en las características técnicas y físicas de ésta, se supone que a la depuradora llega más flujo de agua residual urbana del que se puede tratar. Por eso, en los periodos donde hay un hipotético exceso de volumen, éste se derive a las aguas del río Júcar. Dicha derivación a las aguas superficiales del río podría generar problemas de contaminación en el medio, produciendo alteraciones, impactos y posteriores efectos sobre éste. Así que, para poder averiguar los posibles cambios en el medio, se va a realizar el estudio de las aguas a partir de varias hipótesis, mediante la construcción de un modelo matemático y posterior simulación de los datos disponibles.

Las aguas motivo de estudio se dividen en dos grupos. Por un lado, las aguas superficiales del mismo río Júcar, comprendidas desde el término municipal de Polinyà de Xúquer a la altura de su núcleo urbano, hasta el término municipal de Cullera, a la altura de la Azud de la Marquesa. Por otro lado, las aguas residuales urbanas generadas por varios municipios de la ribera del río Júcar.

Sintetizando un poco más, las aguas superficiales del estudio recorren los términos municipales de Polinyà de Xúquer, Riola, Sueca, Fortaleny y finalmente Cullera. El tramo de estudio consta de 19 Km de longitud. Tiene como punto de partida del estudio la estación de medida de calidad de las aguas de Polinyà de Xúquer (JUJ627) y como punto final del estudio la estación de medida de la Azud de la Marquesa (JUJ601). Además, durante todo el trayecto las aguas del río van aumentando y disminuyendo en caudal debido a las diferentes entradas y salidas de las acequias, conducciones o canalizaciones que van apareciendo en éste.

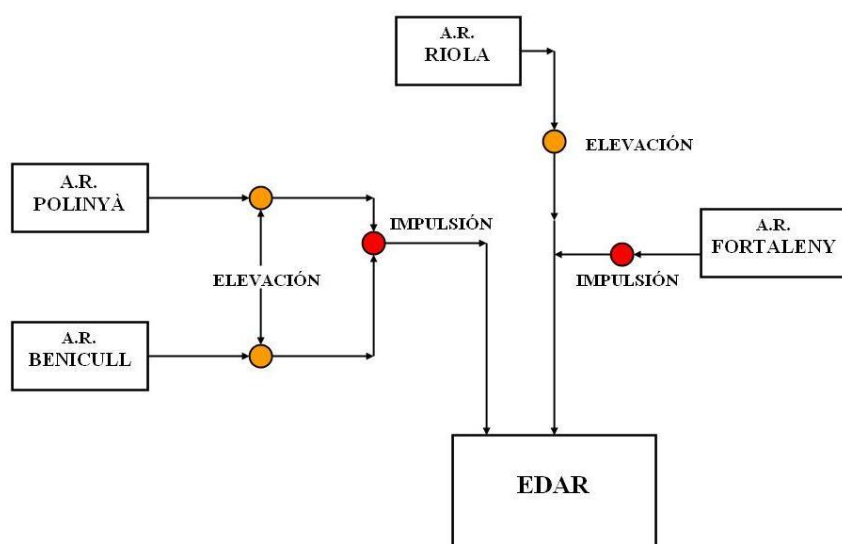
3. Descripción del estudio

Como ya se ha nombrado también las aguas residuales urbanas provienen de 4 municipios, Polinyà de Xúquer, Benicull de Xúquer, Fortaleny y Riola. Estos municipios, que suman un total de 5000 habitantes aproximadamente, han optado por la opción mancomunar este tipo de gestión mediante la unión y la realización de una serie de conducciones adicionales para que el flujo total llegue a la EDAR de tratamiento. Estas conducciones se dividen en dos grandes líneas, una que proviene de los municipios de Polinyà y Benicull y otra proviene de Fortaleny y Riola. (Figura 11)

La línea Polinyà – Benicull se divide en dos subsistemas, uno que proviene de las aguas residuales de Polinyà y otro que proviene de las aguas residuales de Benicull de Xúquer. Las aguas residuales de estos dos municipios son sometidas a un proceso de elevación para poder trasladar mejor sus volúmenes a la EDAR. Posteriormente, para que las aguas residuales lleguen con garantía a la instalación de tratamiento, se fusionan y, mediante un proceso de impulsión, son llevadas hasta ésta. (Figura 11).

La línea Riola – Fortaleny también se divide en dos subsistemas, una que proviene de las aguas residuales de Riola y otra que proviene de las aguas residuales de Fortaleny. Las aguas residuales de Riola se someten a un previo proceso de elevación y, gracias a la pendiente del terreno y por gravedad, son conducidas hasta la explotación. Las aguas residuales de Fortaleny son sometidas a un proceso de impulsión y así que se puedan unir con las aguas provenientes de Riola, donde juntas son conducidas a la depuradora. (Figura 11).

La llegada de las dos líneas de agua a la EDAR es independiente hasta llegar al inicio del pretratamiento, donde se unen en un único conducto. Seguidamente se realizan los debidos análisis, toma de datos y posteriores procesos. Una vez tratadas, las aguas resultantes son vertidas de nuevo a las aguas superficiales del río Júcar.



A.R. = aguas residuales

Figura 11. Croquis de la conducción de las aguas residuales previa a la EDAR.

3.3.1. Datos disponibles para el estudio.

Los datos de estudio se han obtenido a partir de dos fuentes de información. Primeramente datos mediante la Comisaría de Aguas de la CHJ (1 y 2) que en su día estaban disponibles mediante su página web, obteniéndose valores de los caudales mensuales del río durante las diferentes estaciones de medida y valores mensuales de parámetros de calidad del agua como sólidos suspendidos, D.Q.O., D.B.O., varios compuestos nitrogenados y oxígeno disuelto (O.D.). El intervalo de datos obtenidos abarcaba desde Octubre – 2000 a Diciembre – 2008 dependiendo de la estación y del parámetro de medida.

La otra fuente de información de datos ha sido mediante la página web de la Entitat de Sanejament d'Aigües (Epsar) (3), obteniéndose datos mensuales del caudal total tratado por la depuradora y datos mensuales del análisis de calidad del agua residual urbana de dicho flujo, analizando parámetros como sólidos suspendidos, D.B.O., D.Q.O. y varios compuestos nitrogenados.

Para una mayor aclaración visual, a continuación se muestran una relación de los datos de las aguas superficiales (www.chj.es) medidos en las diferentes estaciones de medida de control, como los datos de la EDAR (www.epsar.gva.es) medidos en la estación depuradora. (Ver Anexos 01 hasta 06 y 09).

1. Datos CHJ. Caudales.

- **JUJ627: Zona recreativa de Polinyà de Xúquer.**

| Mes/Año | 2000-2001 | 2001-2002 | 2002-2003 | 2003-2004 | 2004-2005 | 2005-2006 |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Octubre | 33,80 | 8,70 | 10,10 | 10,10 | 11,90 | 9,90 |
| Noviembre | 10,80 | 7,30 | 11,50 | 11,50 | 11,60 | 9,20 |
| Diciembre | 8,50 | 7,80 | 8,80 | 10,20 | 17,90 | 8,30 |
| Enero | 7,70 | 9,60 | 8,10 | 9,20 | 13,80 | 8,60 |
| Febrero | 7,60 | 9,00 | 8,90 | 10,00 | 14,20 | 6,60 |
| Marzo | 7,30 | 7,70 | 8,70 | 13,60 | 13,30 | 5,30 |
| Abril | 7,90 | 9,00 | 9,60 | 18,90 | 12,70 | 4,60 |
| Mayo | 21,00 | 26,80 | 20,70 | 26,60 | 21,10 | 19,80 |
| Junio | 20,30 | 18,70 | 21,60 | 20,20 | 17,80 | 12,40 |
| Julio | 20,50 | 21,30 | 24,30 | 24,40 | 21,00 | 9,60 |
| Agosto | 19,70 | 20,90 | 21,40 | 23,60 | 21,10 | 8,70 |
| Septiembre | 10,60 | 12,40 | 10,20 | 13,00 | 11,30 | 3,10 |

Unidades de caudal medidas en m³/s

3. Descripción del estudio

- JUU601: Azud de la Marquesa.

| Mes/Año | 2005-2006 | 2006-2007 | 2007-2008 | 2008-2009 |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Octubre | 1,40 | - | 10,34 | - |
| Noviembre | 3,60 | 5 | 3,84 | 4,70 |
| Diciembre | - | 1,40 | 1,32 | - |
| Enero | 4,20 | 2,52 | 1,30 | - |
| Febrero | - | 3,92 | 9,62 | - |
| Marzo | - | 2,70 | 1,62 | - |
| Abril | - | 2,46 | 1,90 | - |
| Mayo | - | 3,43 | 1,85 | - |
| Junio | - | - | - | - |
| Julio | - | - | - | - |
| Agosto | - | - | - | - |
| Septiembre | - | - | - | - |

Unidades de caudal medidas en m³/s

2. Datos CHJ. Parámetros de calidad.

- JUU627: Zona recreativa de Polinyà de Xúquer.

| | SS (mg/l) | DBO ₅ (mg/l O ₂) | DQO (mg/l O ₂) | Amonio (mg/l) | Nitratos (mg/l) | Nitritos (mg/l) | Nitrógeno Kjeldahl (mg/l) | O.D. (mg/l O ₂) |
|--------|--------------|--|-------------------------------|------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| sep-07 | 15 | 5 | 11 | 0,079 | 21 | 0,310 | 1,900 | 12 |
| feb-08 | 26 | 3 | 8 | 0,390 | 26 | 0,400 | 0 | 6,300 |
| jun-08 | 22 | 2 | 8 | 0,478 | 31 | 0,228 | 1,200 | 7,100 |
| sep-08 | 16 | 3,800 | 8 | 0,140 | 32 | 0,390 | 1,200 | 6,600 |
| dic-08 | 22 | 3,800 | 11,500 | 0,370 | 34 | 0,410 | 0 | 7,600 |

- JUU624: Azud de Sueca.

| | SS (mg/l) | DBO ₅ (mg/l O ₂) | DQO (mg/l O ₂) | Amonio (mg/L) | Nitratos (mg/l) | Nitritos (mg/l) | Nitrógeno Kjeldahl (mg/l) | O.D. (mg/l O ₂) |
|--------|--------------|--|-------------------------------|------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| sep-07 | 18 | 9 | 8 | 0 | 20 | 0,610 | 1,300 | 14 |
| feb-08 | 19 | 3 | 7 | 0,370 | 27 | 0,520 | 1,200 | 6,900 |
| jun-08 | 24 | 4 | 10 | 0,399 | 28 | 0,241 | 1,100 | 6,800 |
| sep-08 | 29 | 6 | 12 | 0 | 28 | 0,360 | 1,200 | 11 |

- JUU626: Coto de Riola.

| | SS (mg/l) | DBO ₅ (mg/l O ₂) | DQO (mg/l O ₂) | Amonio (mg/l) | Nitratos (mg/l) | Nitritos (mg/l) | Nitrógeno Kjeldahl (mg/l) | O.D. (mg/l O ₂) |
|--------|--------------|--|-------------------------------|------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| sep-07 | 13 | 3 | 9 | 0,033 | 14 | 0,370 | 0 | 14 |
| feb-08 | 11 | 2 | 8 | 0,820 | 26 | 0,590 | 1,6 | 6,400 |
| jun-08 | 21 | 5 | 13 | 0 | 28 | 0,207 | 1,200 | 10 |
| sep-08 | 16 | 3,900 | 11 | 0,050 | 30 | 0,230 | 1,200 | 9,400 |

3. Descripción del estudio

- **JUJ609: Azud de Cullera.**

| | SS (mg/l) | DBO ₅ (mg/l O ₂) | DQO (mg/l O ₂) | Amonio (mg/l) | Nitratos (mg/l) | Nitritos (mg/l) | Nitrógeno Kjeldahl (mg/l) | O.D. (mg/l O ₂) |
|--------|--------------|--|-------------------------------|------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| ene-05 | 5 | 3 | 13 | | | | | |
| dic-05 | 12 | 2 | 26 | | | | | |

- **JUJ625: Coto de Fortaleny.**

| | SS (mg/l) | DBO ₅ (mg/l O ₂) | DQO (mg/l O ₂) | Amonio (mg/l) | Nitratos (mg/l) | Nitritos (mg/l) | Nitrógeno Kjeldahl (mg/l) | O.D. (mg/l O ₂) |
|--------|--------------|--|-------------------------------|------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| sep-07 | 11 | 5 | 11 | 0,026 | 12 | 0,2 | 0 | 12 |
| feb-08 | 22 | 2 | 9 | 0,940 | 25 | 0,640 | 1,100 | 6,300 |
| jun-08 | 21 | 5 | 14 | 0 | 28 | 0,194 | 1,100 | 12 |
| sep-08 | 26 | 3,700 | 7 | 0 | 28 | 0,220 | 1,200 | 11 |

- **JUJ601: Azud de la Marquesa.**

| | SS (mg/l) | DBO ₅ (mg/l O ₂) | DQO (mg/l O ₂) | Amonio (mg/l) | Nitratos (mg/l) | Nitritos (mg/l) | Nitrógeno Kjeldahl (mg/l) | O.D. (mg/l O ₂) |
|--------|--------------|--|-------------------------------|------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| oct-05 | 9 | 2 | 8 | 0,150 | 17,400 | 0,280 | - | 6,500 |
| nov-05 | 11 | - | 8 | 0,650 | 18,500 | 1,170 | 1,700 | 5,800 |
| ene-06 | 9 | - | 7 | 1,790 | 12,700 | 0,060 | 2,200 | 4,800 |
| feb-06 | 9 | - | - | 1,360 | 19,500 | - | - | 5,700 |
| mar-06 | 11 | - | - | 0,440 | 14,100 | - | - | 7,700 |
| may-06 | 14 | - | - | 0,787 | 2,990 | - | - | 5,970 |
| jul-06 | 6 | 3 | 16 | 0,349 | 9,460 | 0,083 | 1,200 | 6,900 |
| ago-06 | 17,300 | - | - | 0 | 0 | - | - | 11,900 |
| sep-06 | 34 | - | - | 0 | 1,200 | - | - | 13 |
| oct-06 | 12 | 6 | 14 | 0,360 | 14 | 0,740 | 1,900 | 6,700 |
| nov-06 | 30,500 | - | - | 0,610 | 12 | - | - | 4,500 |
| dic-06 | 9 | - | - | 1,100 | 16 | - | - | 5,300 |
| ene-07 | 18 | 3 | 19 | 1,200 | 16 | 1,400 | 2,100 | 11 |
| feb-07 | 12 | - | - | 1,600 | 15 | - | - | 4,500 |
| mar-07 | 21 | - | - | 0,056 | 14 | - | - | 13 |
| abr-07 | 10 | - | 8 | 0,920 | 27 | 0,700 | 1,700 | 6,800 |
| may-07 | 18 | - | - | 0,025 | 5 | 0,260 | - | 19 |
| jun-07 | 14 | - | - | 0 | 2,800 | - | - | 14 |
| jul-07 | 17 | 4 | 13 | 0,071 | 1,400 | 0,079 | 1,400 | 9,300 |
| ago-07 | 13 | 3 | - | 0,140 | 1,800 | 0,200 | - | 9,800 |
| oct-07 | 53 | - | 11 | 0,240 | 20 | 0,230 | 1 | 7,500 |
| nov-07 | 29 | - | - | 0,160 | 33 | 0,200 | - | 8,500 |
| dic-07 | 21 | - | - | 0,100 | 38 | - | - | 9,800 |
| ene-08 | 15 | - | - | 0,290 | 32 | 0,470 | 0 | 8,800 |
| feb-08 | 24 | - | - | 0,530 | 30 | - | - | 7,600 |
| mar-08 | 13 | - | - | 0 | 34 | - | - | 9,600 |

3. Descripción del estudio

| | SS (mg/l) | DBO ₅ (mg/l O ₂) | DQO (mg/l O ₂) | Amonio (mg/l) | Nitratos (mg/l) | Nitritos (mg/l) | Nitrógeno Kjeldahl (mg/l) | O.D. (mg/l O ₂) |
|--------|--------------|--|-------------------------------|------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| abr-08 | 19 | 3 | 11 | 0,080 | 29 | 0,350 | 1,100 | 16 |
| may-08 | 15,500 | - | - | 0,150 | 16 | - | - | 8,100 |
| jun-08 | 17 | - | - | 0 | 12 | - | - | 17 |
| jul-08 | 22 | 4,600 | 16 | 0 | 10 | 0,220 | 1,300 | 13 |
| sep-08 | 22 | | 8 | 0 | 11 | - | 0 | 13 |

3. Datos Epsar.

| Fecha | Volumen (m ³ /día) | SS E (mg/l) | SS S (mg/l) | DBO E (mg/l) | DBO S (mg/l) | DQO E (mg/l) | DQO S (mg/l) | N total (mg/l) | Nitratos (mg/l) | N orgánico (mg/l) |
|--------|----------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|----------------------|
| ene-05 | 1332,1935 | 209 | 13 | 256 | 21 | 447 | 55 | 19,420 | 3,884 | 1,942 |
| feb-05 | 1578,5357 | 137 | 17 | 261 | 33 | 447 | 81 | 15,270 | 3,054 | 1,527 |
| mar-05 | 1225,6452 | 299 | 6 | 342 | 16 | 600 | 60 | 18,540 | 3,708 | 1,854 |
| abr-05 | 1857,1333 | 393 | 13 | 360 | 10 | 834 | 48 | 7,250 | 1,450 | 0,725 |
| may-05 | 1507,3226 | 247 | 8 | 228 | 18 | 489 | 57 | 12,440 | 2,488 | 1,244 |
| jun-05 | 1633,5000 | 208 | 5 | 430 | 19 | 661 | 35 | 9,900 | 1,980 | 0,990 |
| jul-05 | 1640,7419 | 211 | 14 | 309 | 27 | 554 | 58 | 10,640 | 2,128 | 1,064 |
| ago-05 | 1747,7419 | 774 | 10 | 355 | 6 | 882 | 31 | 11,960 | 2,392 | 1,196 |
| sep-05 | 1510,2667 | 2170 | 14 | 1100 | 20 | 2990 | 35 | 8,900 | 1,780 | 0,890 |
| oct-05 | 1357,3226 | 212 | 17 | 90 | 8 | 445 | 61 | 9,600 | 1,920 | 0,960 |
| nov-05 | 1856,4667 | 812 | 17 | 700 | 5 | 1205 | 30 | 15,600 | 3,120 | 1,560 |
| dic-05 | 1612,0323 | 238 | 18 | 120 | 15 | 430 | 54 | 16,300 | 3,260 | 1,630 |
| ene-06 | 1742,8387 | 142 | 44 | 110 | --- | 320 | 49 | 20 | 4 | 2 |
| feb-06 | 1375,2857 | 294 | 21 | 220 | 12 | 670 | 66 | 25,300 | 5,060 | 2,530 |
| mar-06 | 1527,7419 | 602 | 16 | 300 | 5 | 758 | 50 | 24,100 | 4,820 | 2,410 |
| abr-06 | 1822,7333 | 204 | 20 | 170 | 15 | 537 | 60 | 20 | 4 | 2 |
| may-06 | 1989,5161 | 76 | 17 | 70 | --- | 194 | 33 | 25 | 5 | 2,500 |
| jun-06 | 1527,3333 | 656 | 31 | 220 | 19 | 512 | 68 | 29,100 | 5,820 | 2,910 |
| jul-06 | 1649,645 | 138 | 7 | 135 | 9 | 256 | 40 | 10,400 | 2,080 | 1,040 |
| ago-06 | 1225,839 | 462 | 5 | 240 | 5 | 694 | 28 | 60,400 | 12,080 | 6,040 |
| sep-06 | 1432,233 | 114 | 9 | 65 | 6 | 170 | 27 | 11,200 | 2,240 | 1,120 |
| oct-06 | 1212,323 | 82 | 14 | 130 | 5 | 218 | 32 | 9,400 | 1,880 | 0,940 |
| nov-06 | 1941,700 | 336 | 8 | 130 | 5 | 428 | 29 | 5 | 1 | 0,500 |
| dic-06 | 1324,839 | 410 | 12 | 200 | 9 | 666 | 46 | 11,300 | 2,260 | 1,130 |
| ene-07 | 1383,516 | 350 | 12 | 450 | 14 | 894 | 53 | 17 | 3,400 | 1,700 |
| feb-07 | 1375,533 | 102 | 10 | 95 | 7 | 262 | 37 | 24 | 4,800 | 2,400 |
| mar-07 | 1604,581 | 766 | 29 | 650 | 5 | 1476 | 65 | 17 | 3,400 | 1,700 |
| abr-07 | 1441,067 | 126 | 8 | 90 | 5 | 249 | 31 | 18 | 3,600 | 1,800 |
| may-07 | 1691,903 | 188 | 8 | 160 | 5 | 325 | 30 | 11 | 2,200 | 1,100 |
| jun-07 | 1726,100 | 174 | 9 | 90 | 5 | 344 | 47 | 7,300 | 1,460 | 0,730 |
| jul-07 | 1608,742 | 344 | 10 | 70 | 5 | 522 | 37 | 12 | 2,400 | 1,200 |
| ago-07 | 1371,807 | 637 | 8 | 150 | 5 | 785 | 20 | 16 | 3,200 | 1,600 |
| sep-07 | 1537,700 | 338 | 12 | 180 | 12 | 421 | 46 | 7,700 | 1,540 | 0,770 |
| oct-07 | 2475,613 | 268 | 14 | 130 | 5 | 410 | 21 | 2 | 0,400 | 0,200 |
| nov-07 | 2000,267 | 295 | 16 | 130 | 8 | 382 | 53 | 9,500 | 1,900 | 0,950 |
| dic-07 | 1586,516 | 155 | 8 | 110 | 5 | 390 | 37 | 8,300 | 1,660 | 0,830 |
| ene-08 | 1468,710 | 160 | 20 | 65 | 6 | 288 | 52 | 14 | 2,800 | 1,400 |
| feb-08 | 1513,833 | 84 | 19 | 65 | 17 | 151 | 54 | 13 | 2,600 | 1,300 |
| mar-08 | 1359,742 | 336 | 12 | 260 | 9 | 625 | 48 | 26 | 5,200 | 2,600 |
| abr-08 | 1408,467 | 190 | 10 | 300 | 7 | 626 | 45 | 32 | 6,400 | 3,200 |
| may-08 | 1244,000 | 300 | 34 | 190 | 28 | 473 | 84 | 20 | 4 | 2 |

3.3.2. Tratamiento previo de los datos.

Como se puede observar en el apartado anterior, los datos CHJ y Epsar muestran información sobre los caudales y parámetros de calidad del agua superficial del río en las distintas estaciones de medida y también información sobre caudales y parámetros de calidad del agua residual urbana en la estación depuradora. En resumen, lo que principalmente destaca es que el número de mediciones, el intervalo medido y el número de parámetros medidos no coincide en los diferentes puntos de medida del estudio. (Tabla 1, 2 y 3).

1. Datos CHJ-Caudales.

| Estación de medida | Periodo de medición | Nº de mediciones |
|--------------------|---------------------|------------------|
| JUJ627 | Oct/2000- Sep/2006 | 72 |
| JUJ624 | - | - |
| JUJ626 | - | - |
| JUJ609 | - | - |
| JUJ625 | - | - |
| JUJ601 | Oct/2005- Nov/2009 | 19 |

Tabla 1. Tabla-resumen de datos inicialmente disponibles CHJ.

2. Datos CHJ-Parámetros de calidad.

| Estación de medida | Periodo de medición | Nº de mediciones | Parámetros medidos |
|--------------------|---------------------|------------------|---|
| JUJ627 | Sep/2007- Dic/2008 | 40 | S.S.; D.B.O. ₅ ; D.Q.O.; Amonio, Nitratos; Nitritos; Nkjeldhal; O.D. |
| JUJ624 | Sep/2007- Sep/2008 | 32 | |
| JUJ626 | Sep/2007- Sep/2008 | 32 | |
| JUJ609 | Ene/2005- Dic/2005 | 6 | |
| JUJ625 | Sep/2007- Sep/2008 | 32 | |
| JUJ601 | Oct/2005- Sep/2008 | 167 | |

Tabla 2. Tabla-resumen de datos inicialmente disponibles CHJ.

3. Datos Epsar.

| Estación de medida | Periodo de medición | Nº de mediciones | Parámetros medidos |
|------------------------|---------------------|------------------|---|
| EDAR Caudales | Ene/2005- May/2008 | 41 | Caudales |
| EDAR parámetros | Ene/2005- May/2008 | 41 | S.S.; D.B.O. ₅ ; D.Q.O.; Nitratos; N total; N orgánico |
| | | 41 | |
| | | 41 | |
| | | 39 | |
| | | 41 | |
| | | 39 | |
| | | 41 | |
| | | 41 | |
| | | 41 | |

Tabla 3. Tabla-resumen de datos inicialmente disponibles Epsar.

De ahí que, con el fin de poder adecuar correctamente los datos de cara a la introducción del programa de simulación, se debe realizar un pretratamiento mediante una estandarización y una estimación de éstos.

3.3.2.1. Estandarización de los datos.

Conforme se aprecia en las tablas-resumen 1, 2 y 3 del apartado anterior existe discordancia de datos tanto en el periodo de medida, el tipo de parámetro, como en el número de mediciones en las dos fuentes de información que se dispone.

Para poder realizar la estandarización y después de analizar las distintas discordancias que hay en los datos iniciales de estudio con las tablas-resumen 1, 2 y 3 anteriores, se observa que la amplitud total de medición de los datos CHJ-Caudales (1) va desde Octubre-2000 hasta Noviembre-2009, coincidiendo en todas las estaciones que tenemos medida en el intervalo que Octubre-2005 hasta Septiembre-2006. Además se observa que la amplitud total de medición de los datos CHJ-Parámetros de calidad (2) va desde Enero-2005 hasta Diciembre-2008, coincidiendo en todas las estaciones de medida el intervalo Septiembre-2007 hasta Septiembre-2008. Finalmente se observa que la amplitud total de medición de los datos Epsar (3), tanto en caudales como en parámetros, va desde Enero-2005 hasta Mayo-2008. De ahí que se llega a la deducción que la amplitud general de medida coincidente abarca desde Octubre-2005 hasta Mayo-2008, eligiendo éste como intervalo de medición estandarizado.

3. Descripción del estudio

| Nº de tabla-resumen | Amplitud de medición | Intervalo de medición coincidente | Amplitud de medición coincidente | Parámetros medidos |
|---------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---|
| 1-CHJ | Oct/2000-Nov/2009 | Oct/2005-Sep/2006 | Oct/2005-May/2008 | Caudales, S.S.; D.B.O. ₅ ; |
| 2-CHJ | Ene/2005-Dic/2008 | Sep/2007-Sep/2008 | | D.Q.O.; Amonio, Nitratos; Nitritos; Nkjeldhal y O.D. |
| 3-Epsar | Ene/2005-May/2008 | Ene/2005-May/2008 | | Caudales, S.S.; D.B.O. ₅ ; D.Q.O.; Nitratos; Ntotal y Norgánico |

Tabla 4. Tabla-resumen de intervalos de datos coincidentes

La segunda discordancia de datos que se observa en la tabla-resumen anterior es en el tipo de parámetro a medir, donde se aprecia que en los datos-CHJ se han medido los parámetros: Caudales, S.S.; D.B.O.₅; D.Q.O.; Amonio, Nitratos; Nitritos; Nkjeldhal y O.D.. En los datos-Epsar se han medido: Caudales, S.S.; D.B.O.₅; D.Q.O.; Nitratos; Ntotal y Norgánico. De ahí que, para poder estandarizar dicha discordancia se tienen que transformar los parámetros CHJ que no coincidan con los parámetros Epsar. Estos parámetros son los compuestos de nitrógeno Nitritos, Nitratos, Amonio y Nkjeldhal en los datos-CHJ y en los datos-Epsar Norgánico y Ntotal, quedando así estandarizados. A continuación se muestra las fórmulas a aplicar. A continuación se muestran las transformaciones adoptadas.

$$\text{Norgánico} = \text{Nkjeldhal} - \text{Amonio}$$

$$\text{Ntotal} = \text{Nkjeldhal} + \text{Nitratos}$$

Finalmente para poder estandarizar la última discordancia, número de mediciones en cada estación, se ha decidido realizar una estimación de datos en los meses donde no se tenga datos disponibles. Esta estimación se basa en la tendencia de los datos disponibles en los meses anteriores y posteriores de su ciclo anual y conforme se desarrolla el parámetro en el entorno. Además dicha estimación, también se corrobora a partir del análisis de criterio de experto.

Señalar que finalmente se ha optado por excluir la estación JUU609 Azud de Cullera de la estimación debido a sus insuficientes datos disponibles, siendo éstos poco representativos. (Ver Anexo 04).

3.3.2.2. Estimación de los datos.

La estimación, conforme se ha comentado en el apartado anterior, se ha realizado a partir de los datos disponibles en cada estación. Para la elección de un valor u otro, se ha basado en conocimientos teóricos y de criterio de experto. Así que, a partir del intervalo de medición estandarizado, que va desde Octubre-2005 hasta Mayo-2008, los parámetros de medición estandarizados y el número de mediciones estimadas y estandarizadas, se llega a la conclusión que el intervalo de medición de datos se tendrá que ampliar, siendo éste el que va desde Enero-2005 hasta Diciembre-2008, ya que para un mejor estudio de la evolución de los parámetros analizar y posterior simulación, conviene tener disposición de datos de todo su ciclo anual.

Para una mejor apreciación visual de los datos estimados CHJ se muestra a continuación una serie de gráficos con los datos disponibles inicialmente (parte izquierda) y los datos estimados después de su estandarización (parte derecha). Para los datos estimados Epsar sólo se ha representado un gráfico de datos para cada parámetro de estudio, ya que para el intervalo elegido, se dispone de la mayoría de datos desde el inicio, salvo en algunos donde si han sido estimados. (Anexos 01 hasta 06 y 09).

1. JUJ627 Zona recreativa de Polinyà de Xúquer.

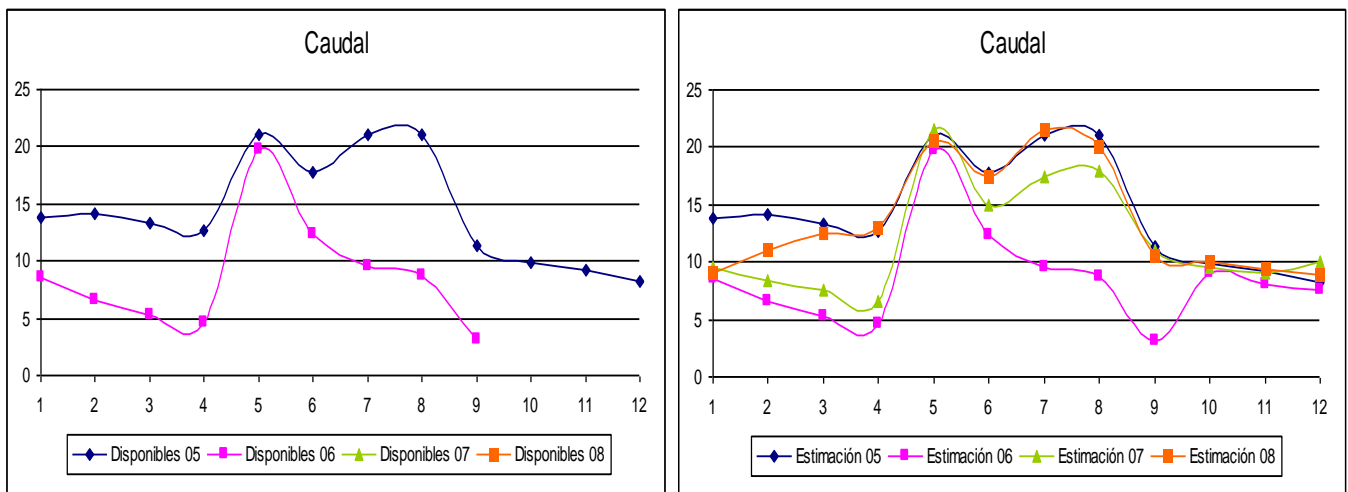


Figura 12. Gráficos de datos de caudal disponibles y datos estimados.

3. Descripción del estudio

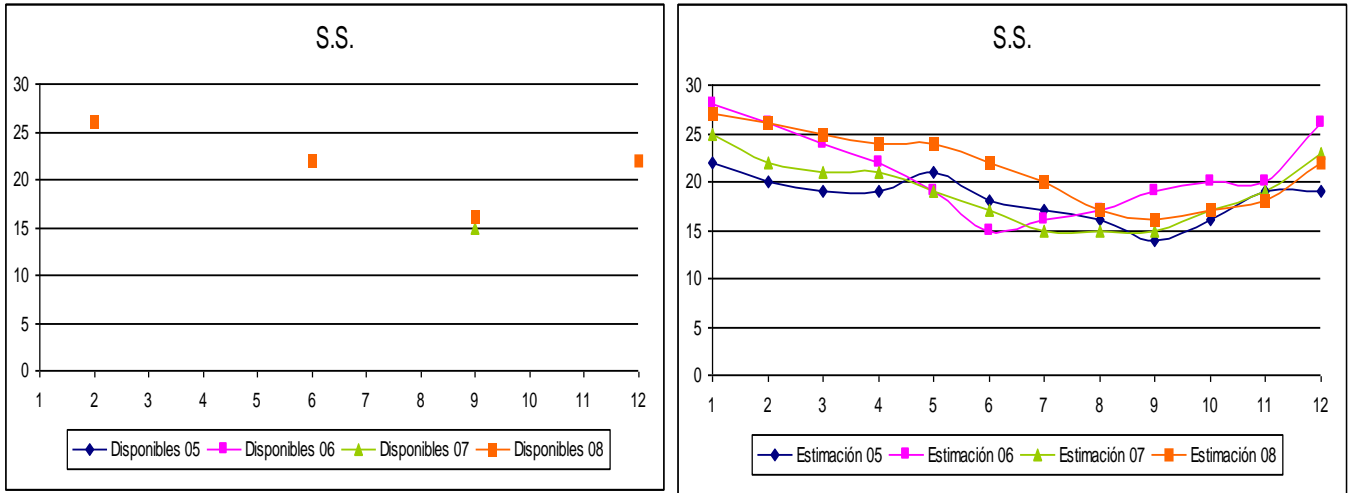


Figura 13. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de solidos suspendidos

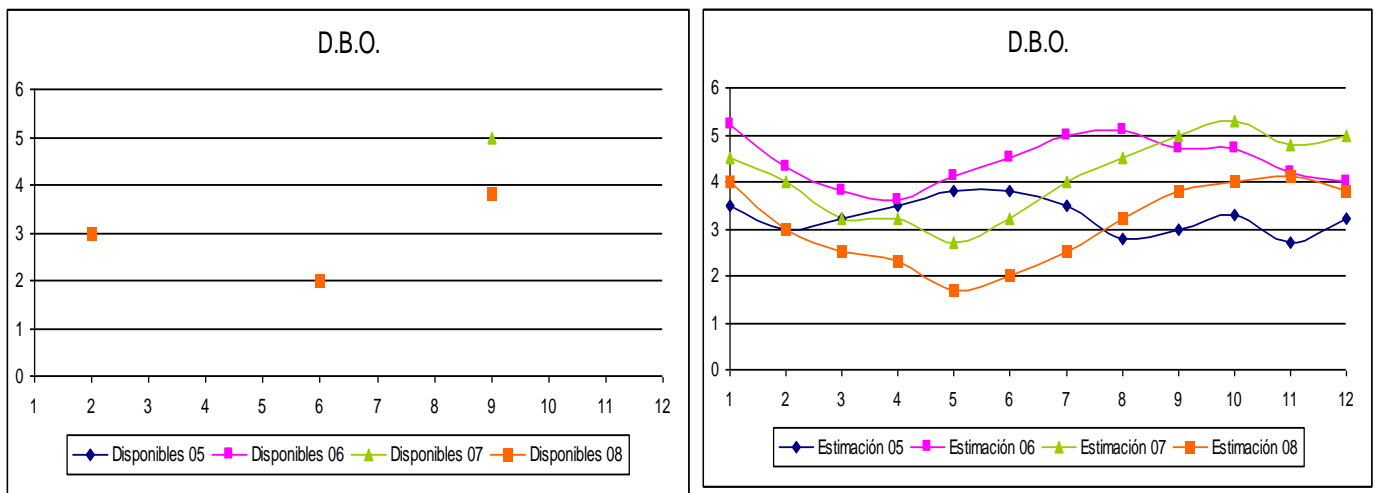


Figura 14. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de D.B.O.

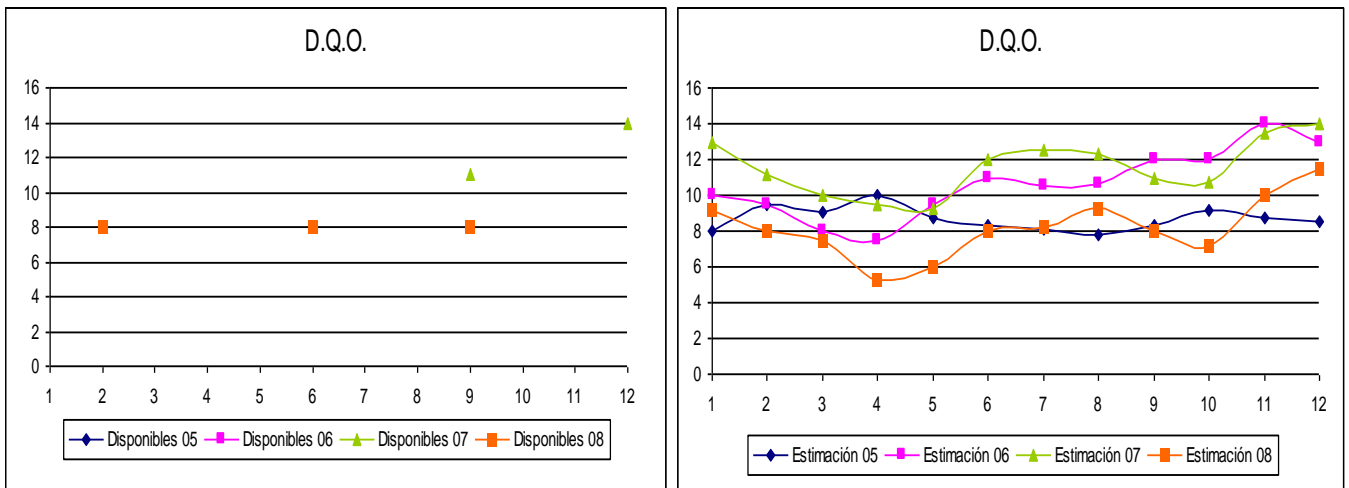


Figura 15. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de D.Q.O.

3. Descripción del estudio

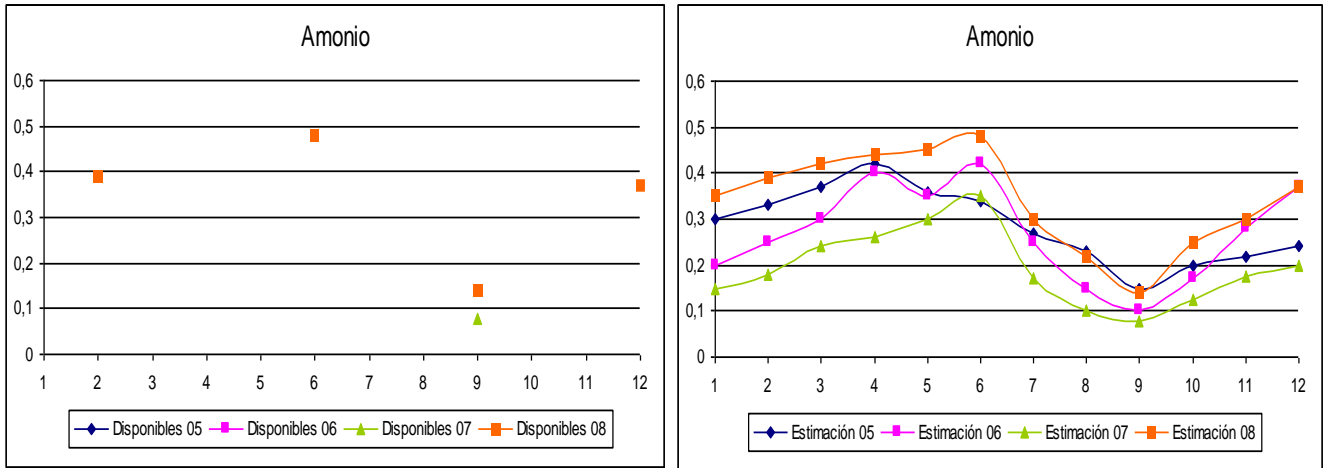


Figura 16. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de amonio

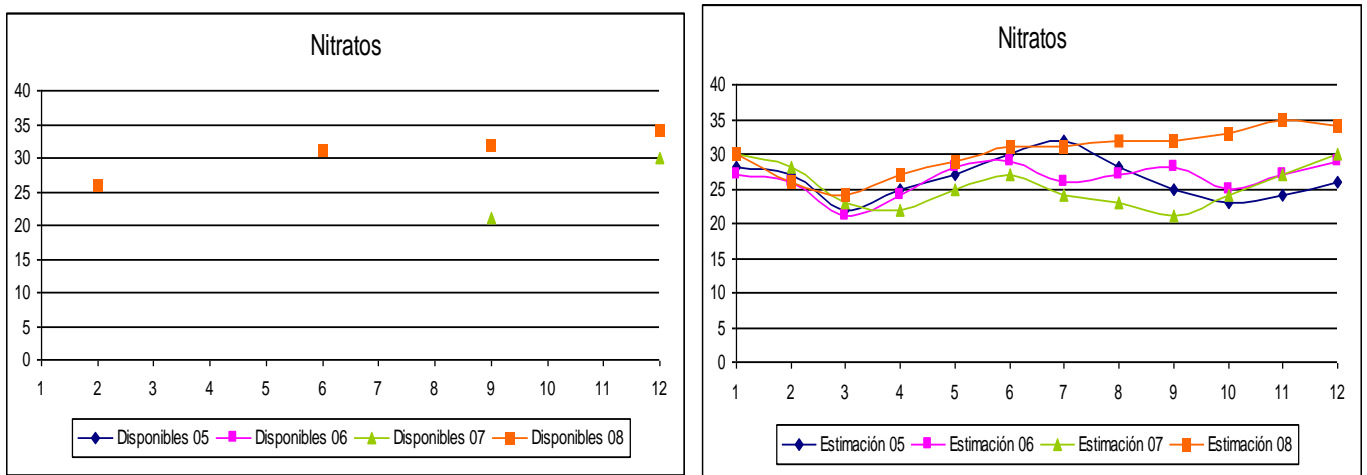


Figura 17. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de nitratos

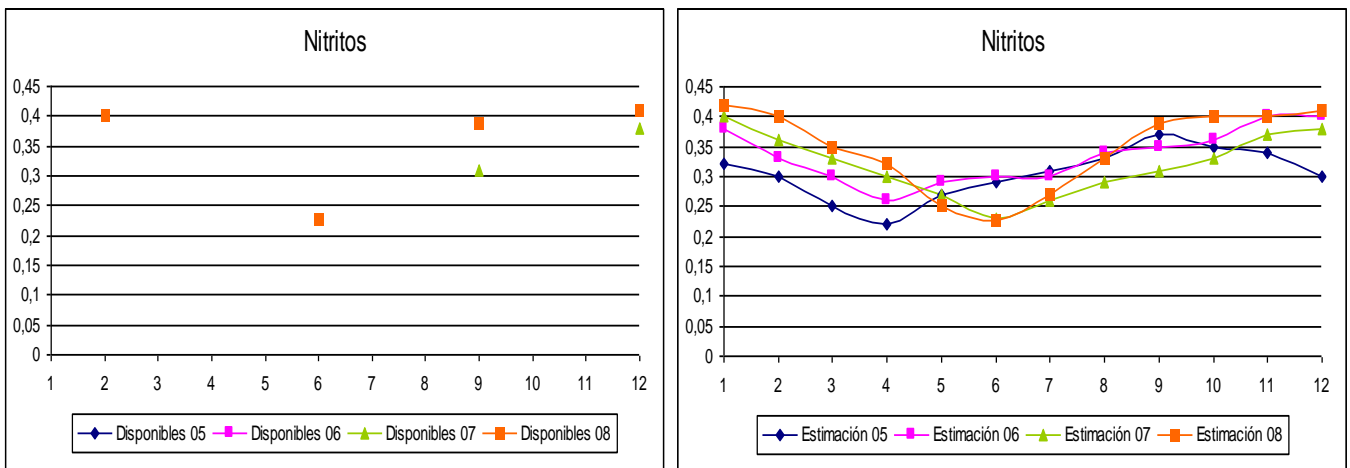


Figura 18. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de nitritos

3. Descripción del estudio

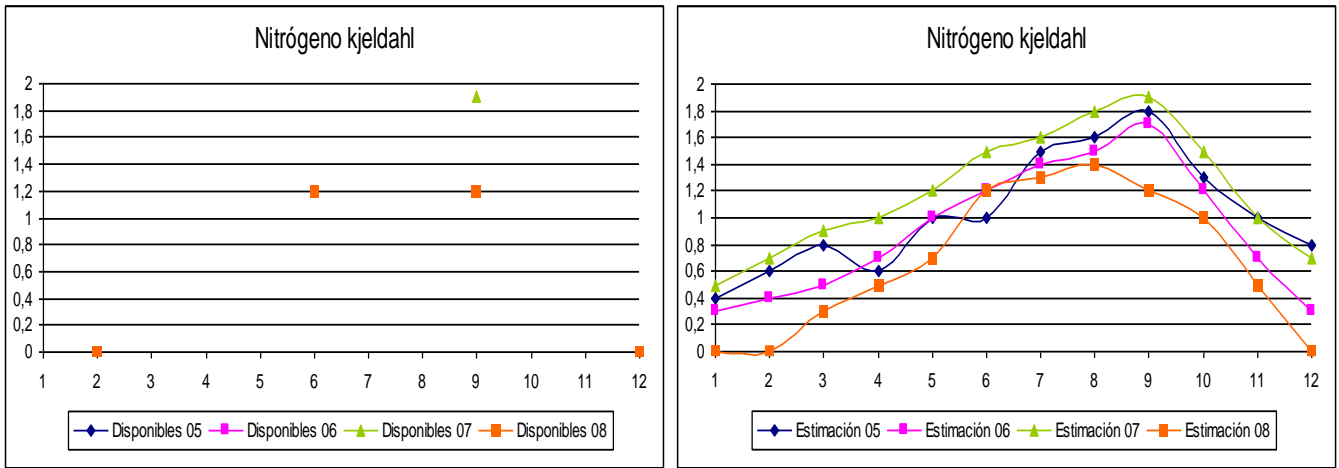


Figura 19. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de N kjeldahl

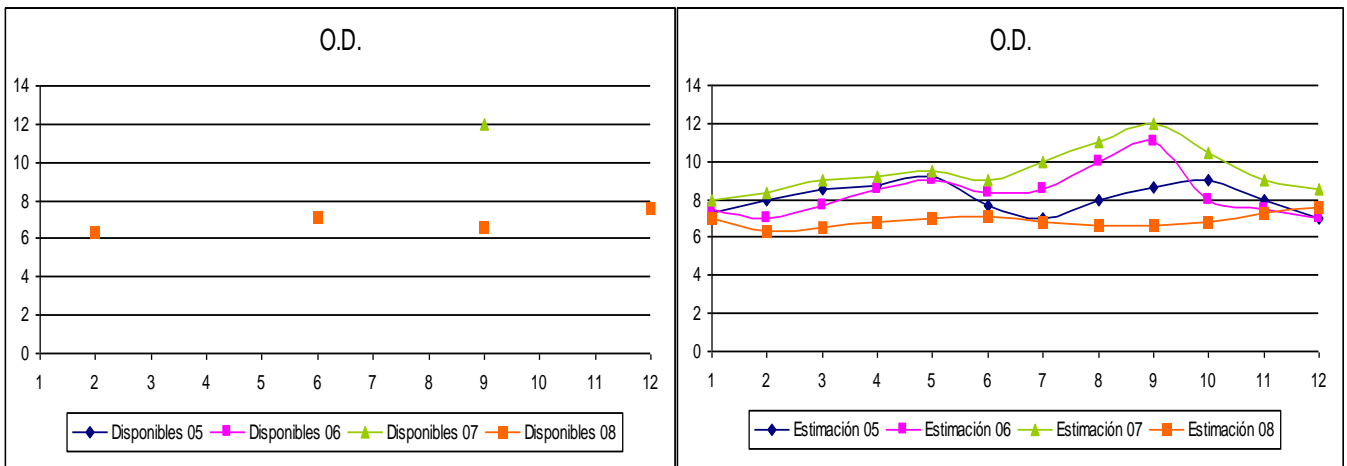


Figura 20. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de oxígeno disuelto

2. JUJ624 Azud de Sueca.

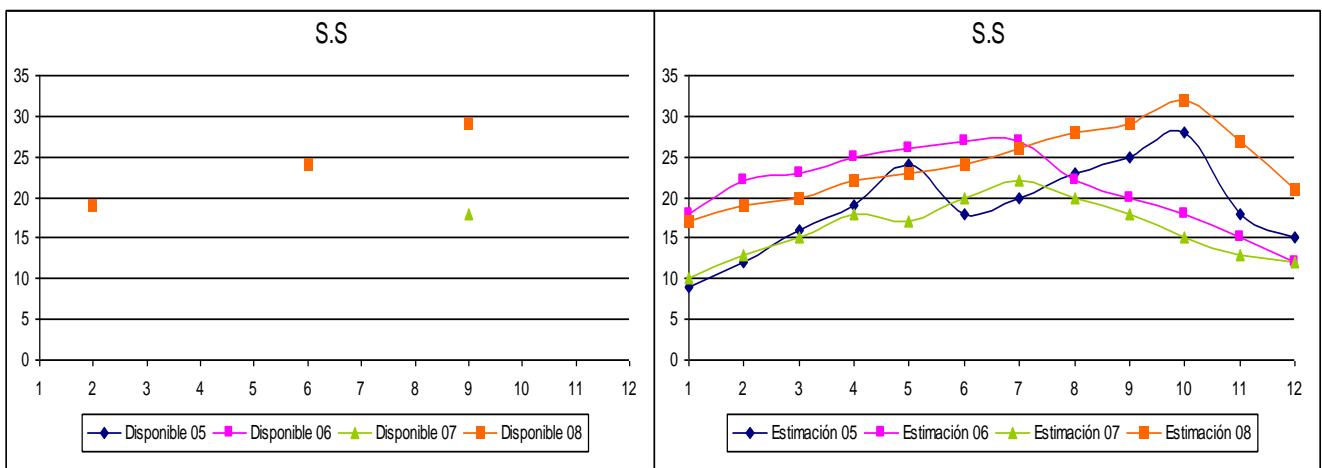


Figura 21. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de sólidos suspendidos

3. Descripción del estudio

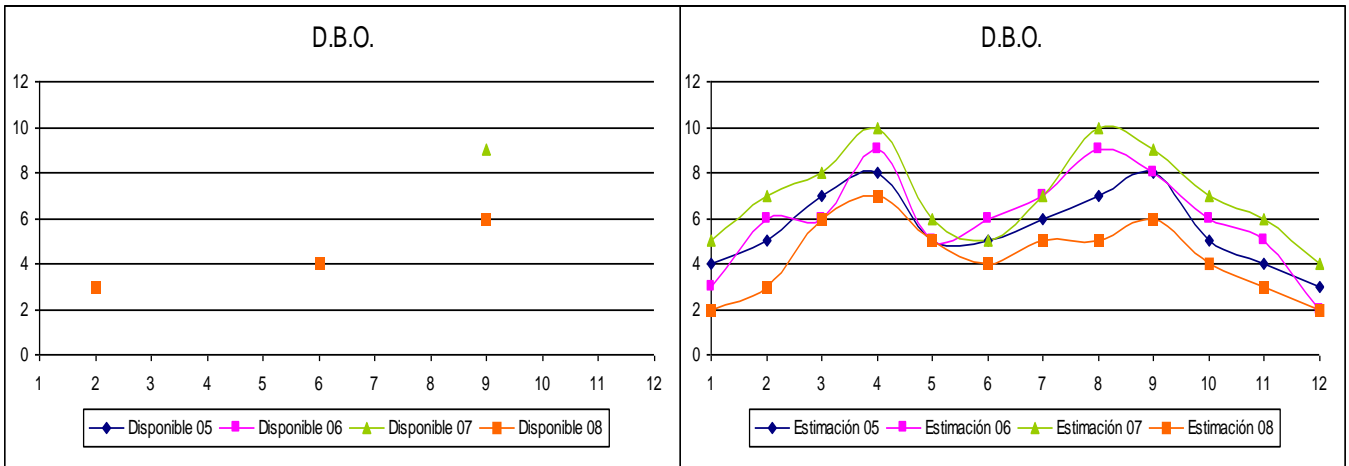


Figura 22. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de D.B.O.

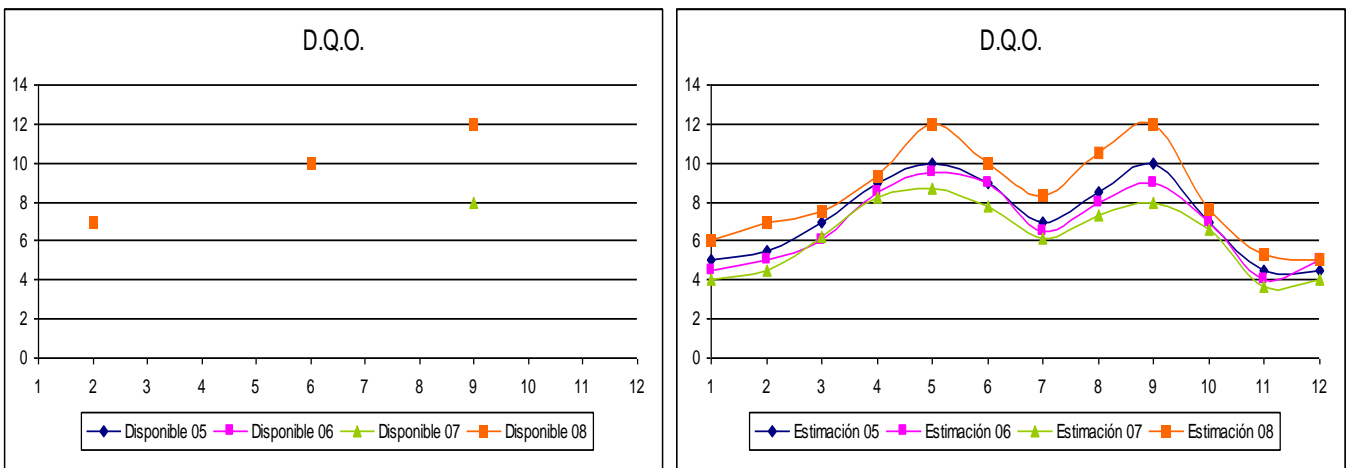


Figura 23. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de D.Q.O.

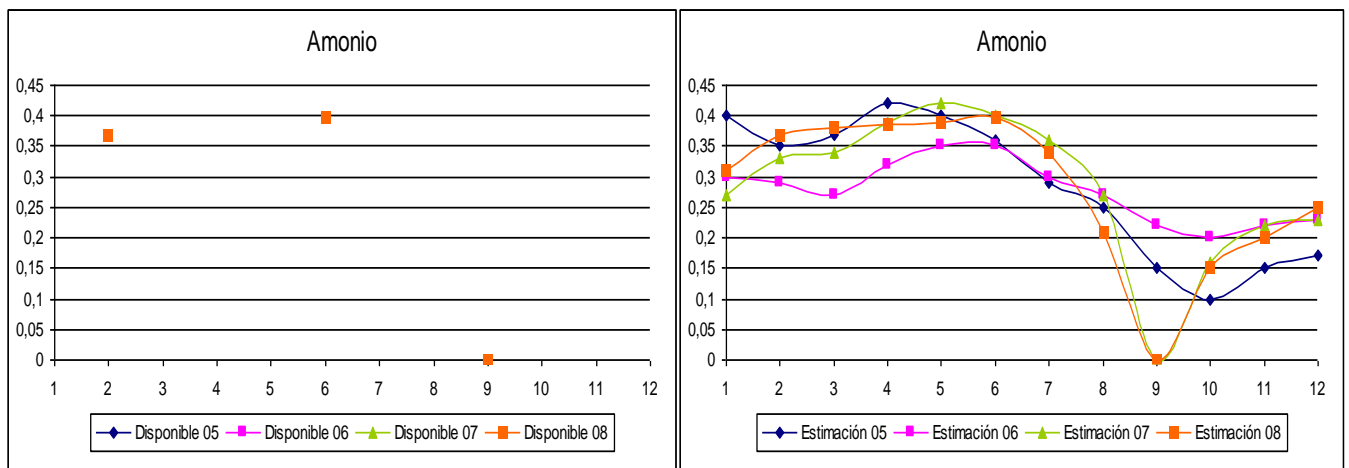


Figura 24. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de amonio

3. Descripción del estudio

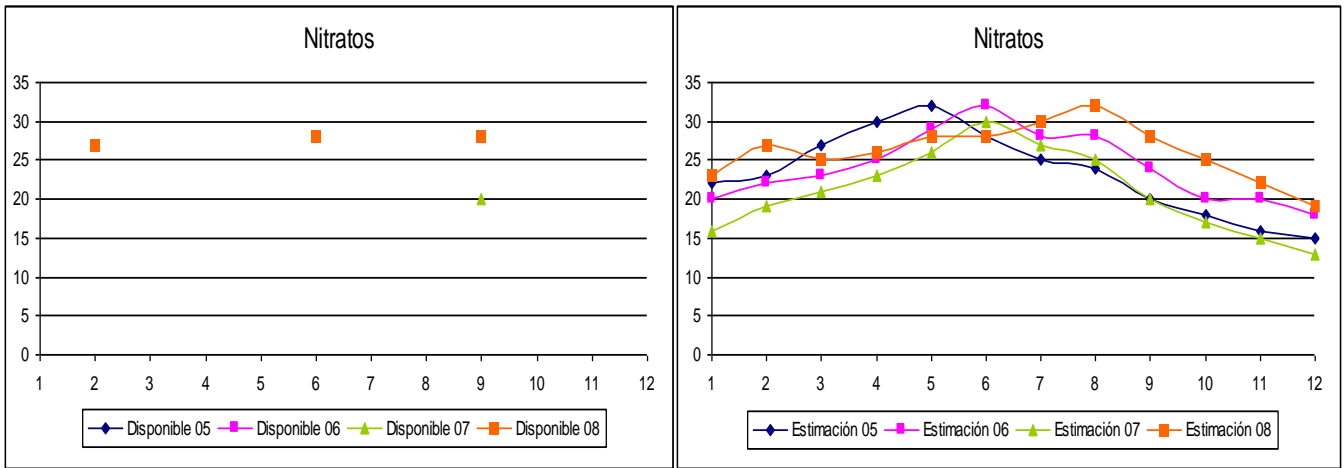


Figura 25. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de nitratos

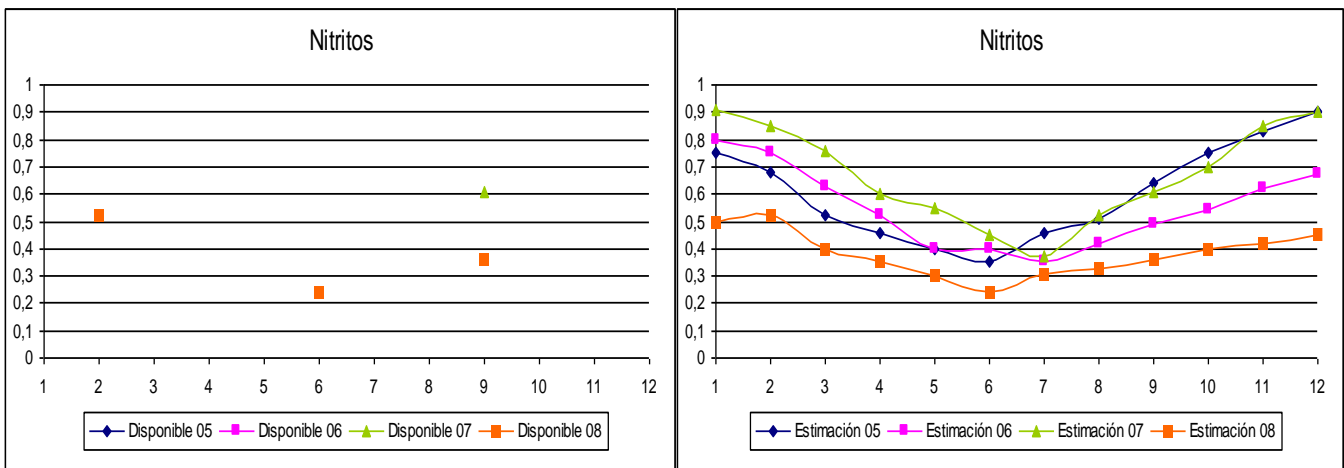


Figura 26. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de nitritos

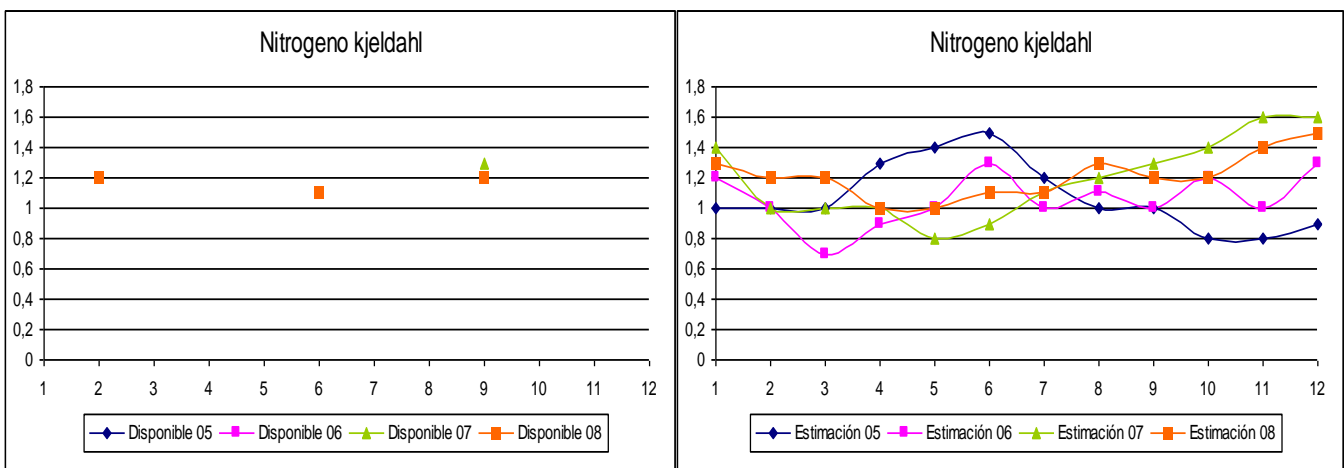


Figura 27. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de N kjeldahl

3. Descripción del estudio

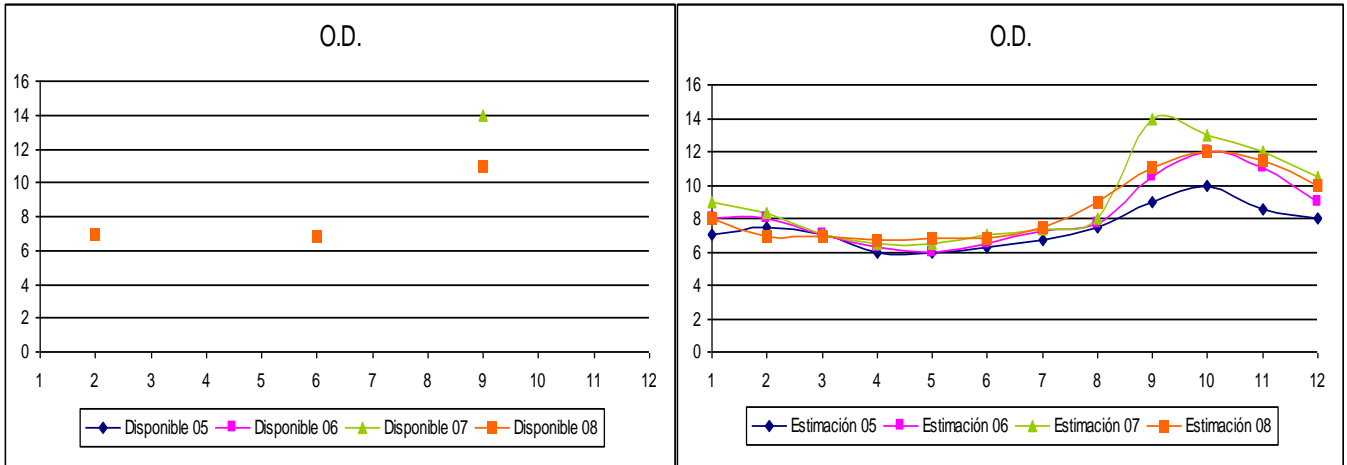


Figura 28. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de O.D.

3. JUJ626 Coto de Riola.

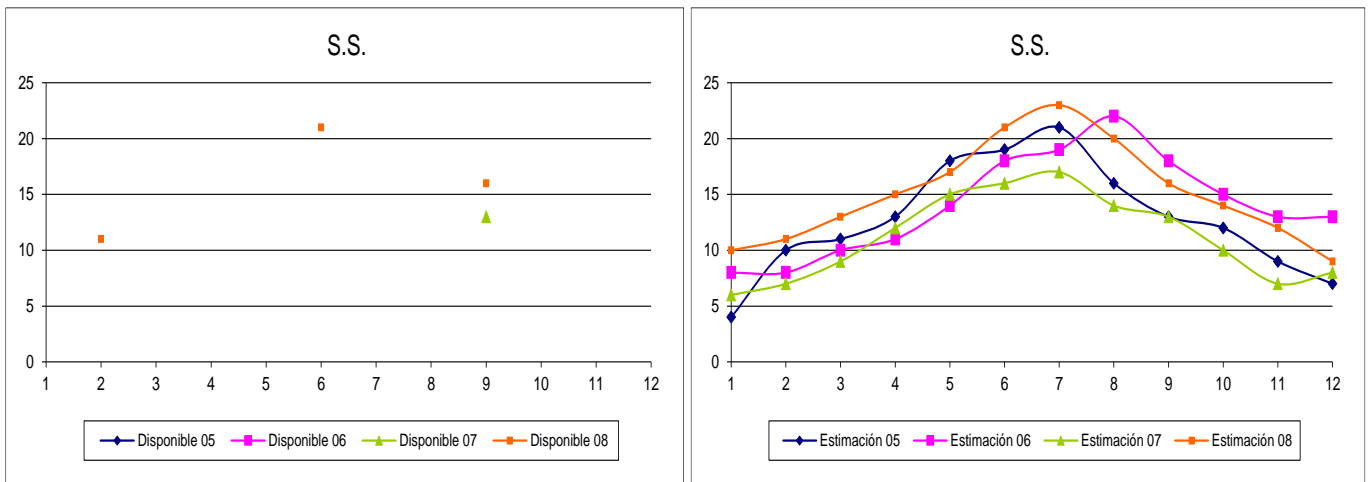


Figura 29. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de sólidos suspendidos

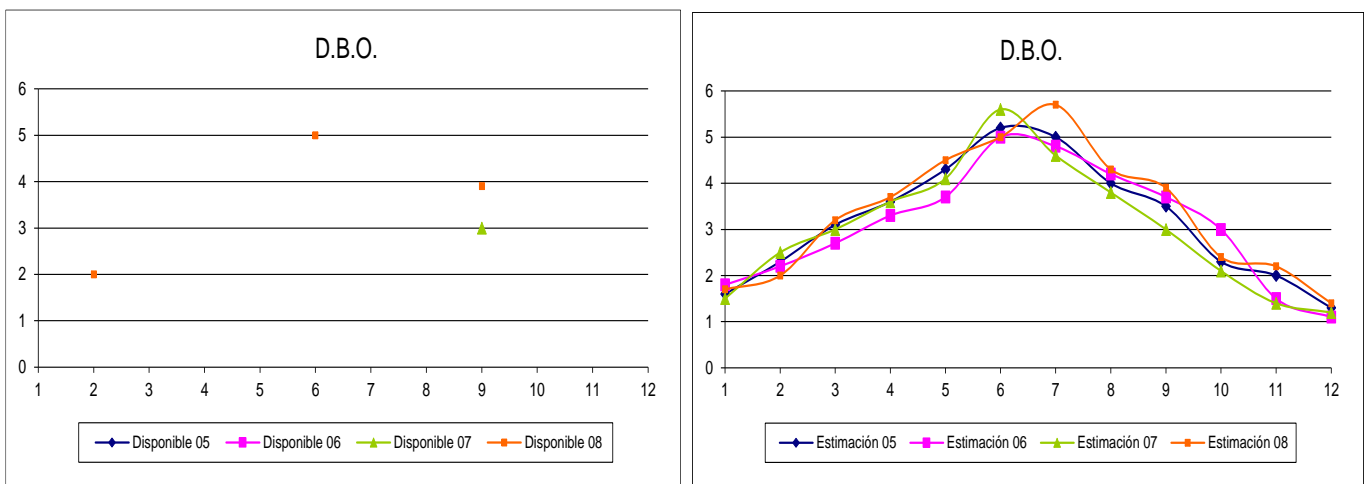


Figura 30. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de D.B.O.

3. Descripción del estudio

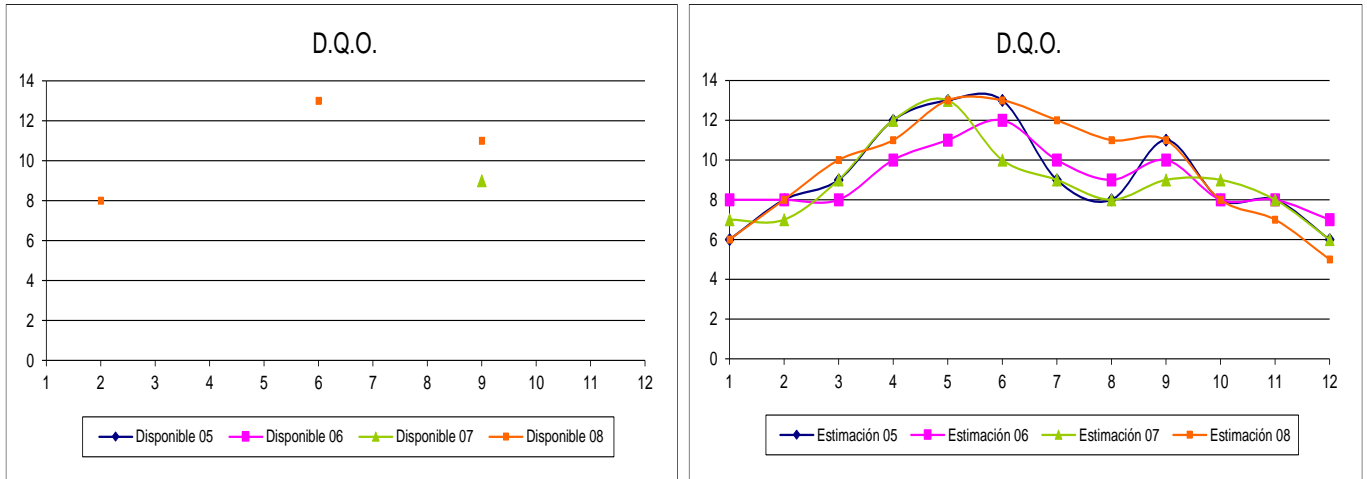


Figura 31. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de D.Q.O.

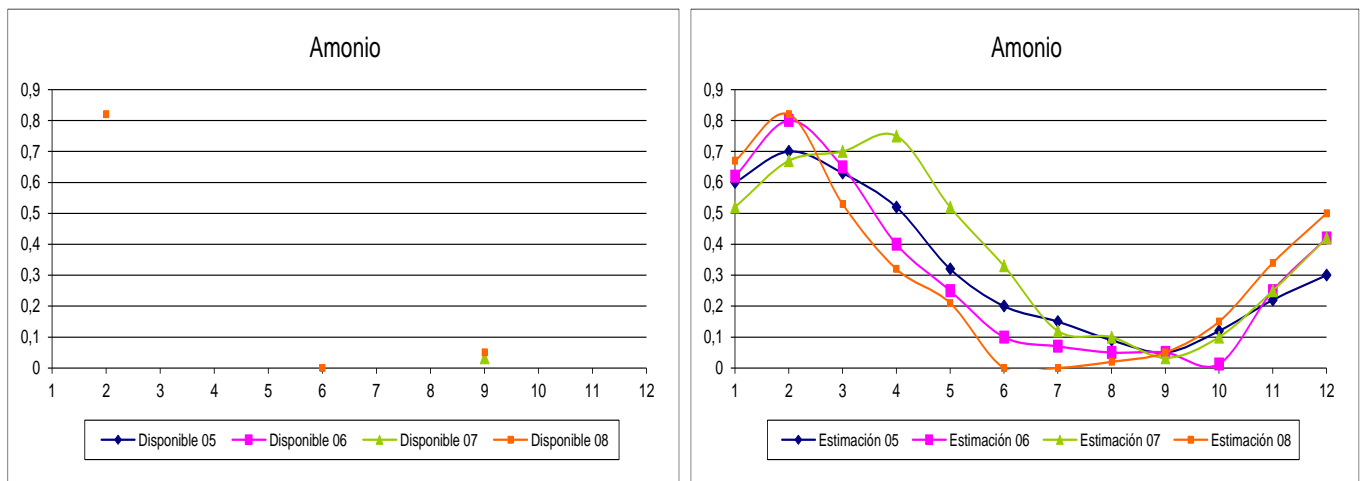


Figura 32. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de amonio

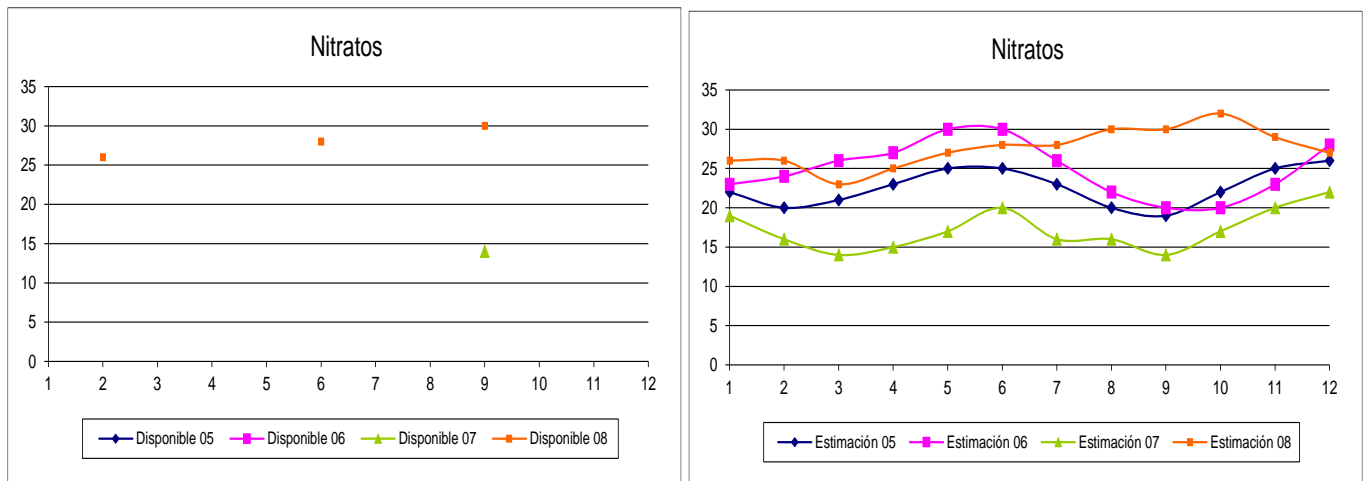


Figura 33. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de nitratos

3. Descripción del estudio

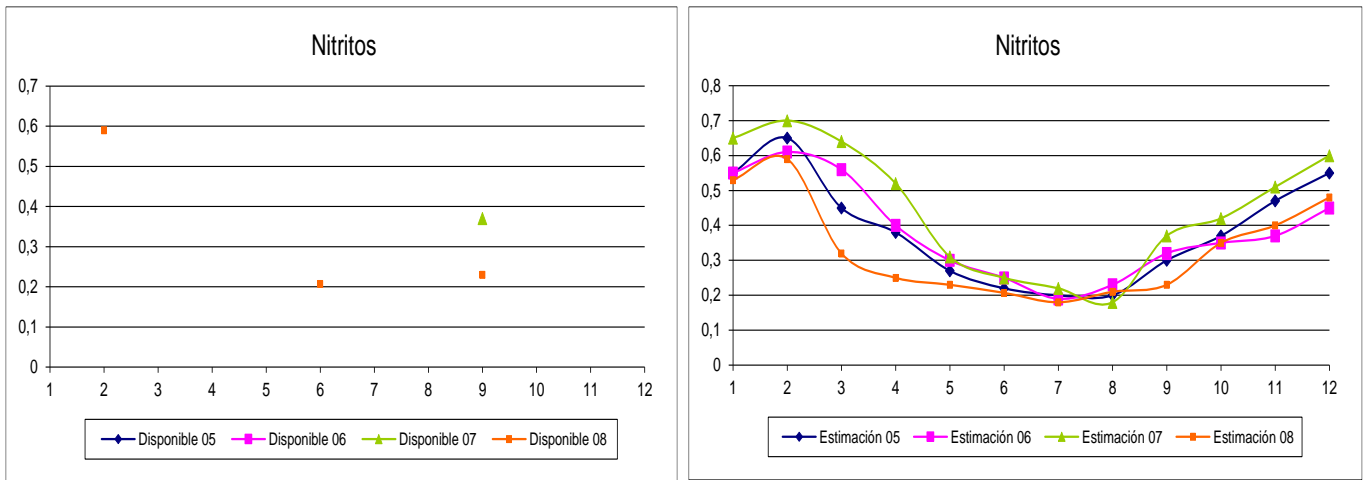


Figura 34. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de nitritos

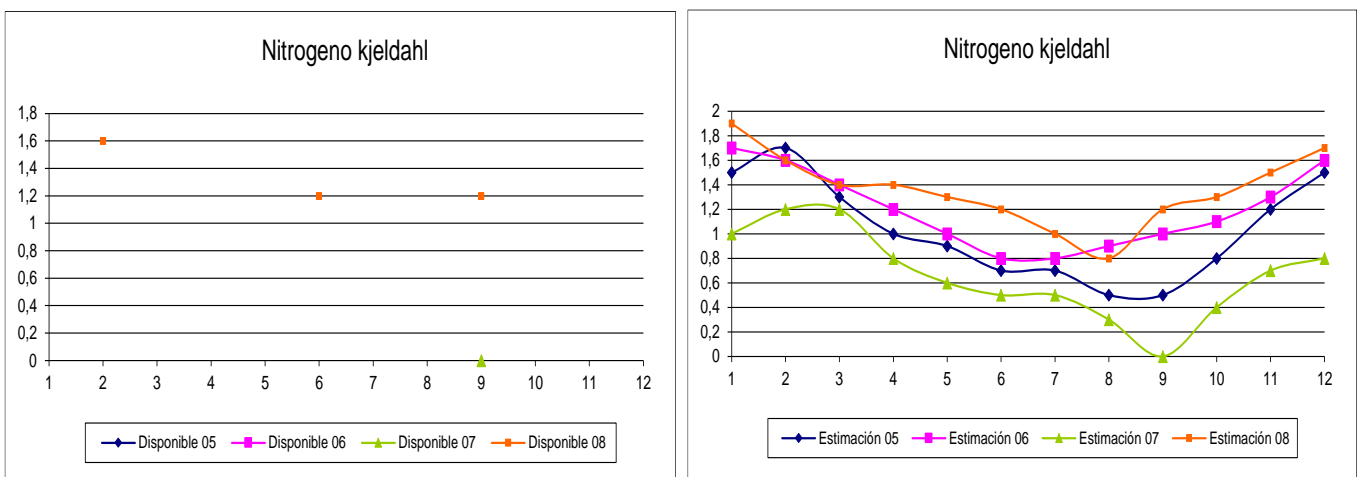


Figura 35. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de N kjeldahl

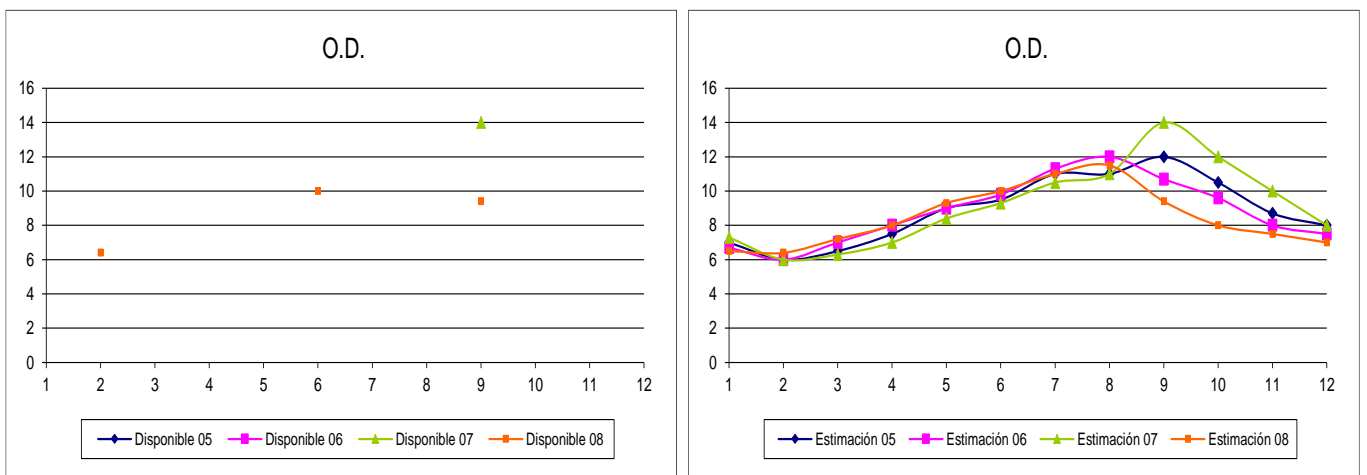


Figura 36. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de oxígeno disuelto

3. Descripción del estudio

4. JUJ625 Coto de Fortaleny.

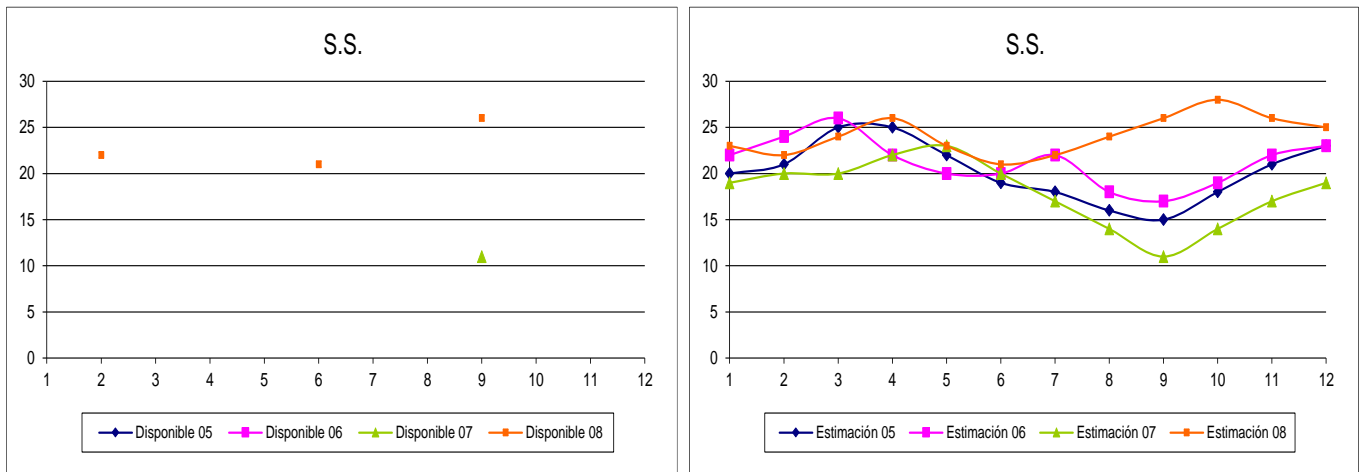


Figura 37. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de sólidos suspendidos

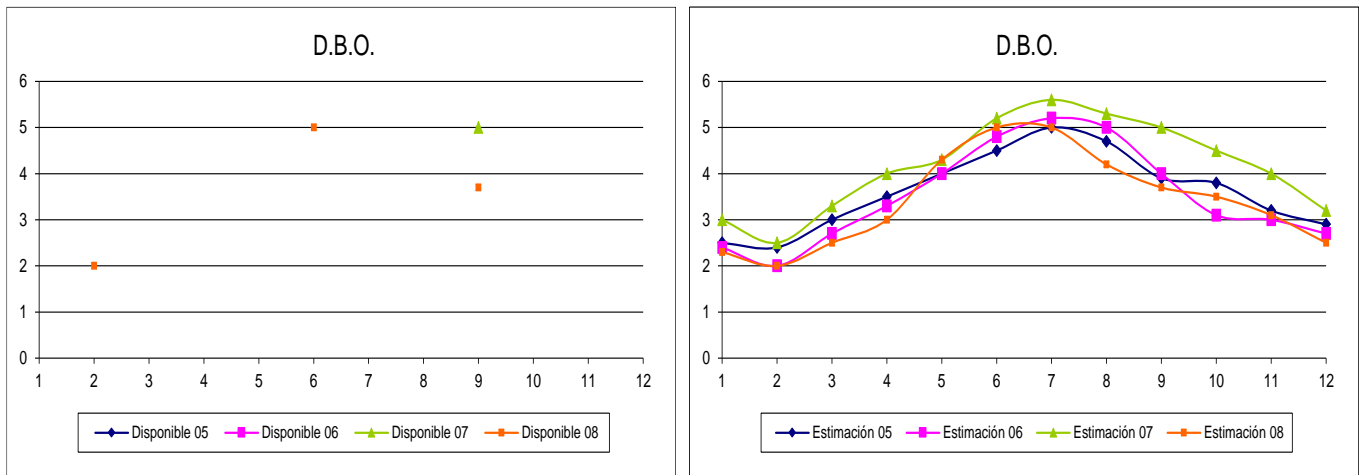


Figura 38. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de D.B.O.

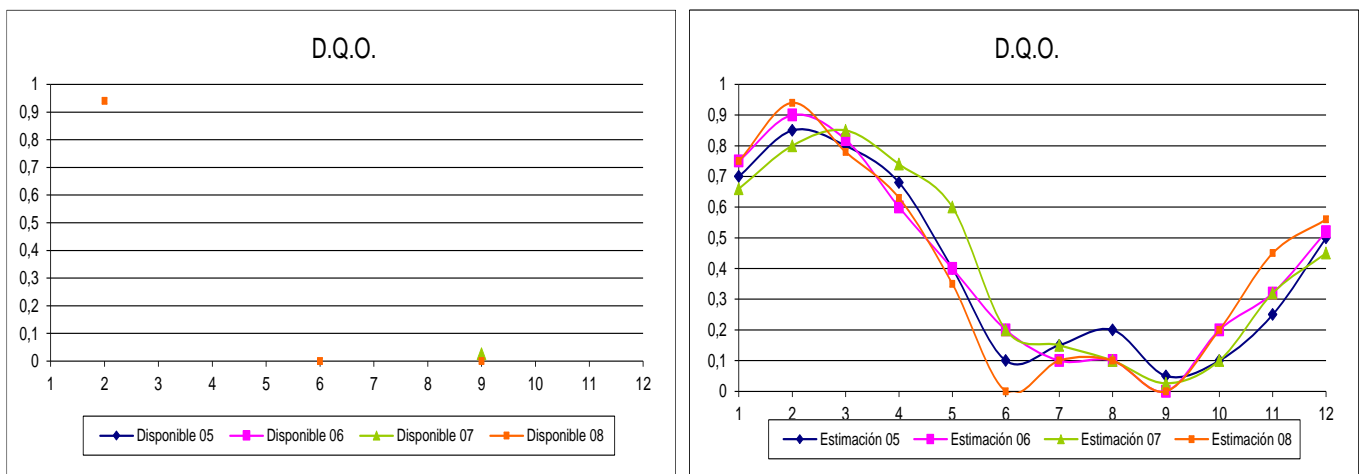


Figura 39. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de D.Q.O.

3. Descripción del estudio

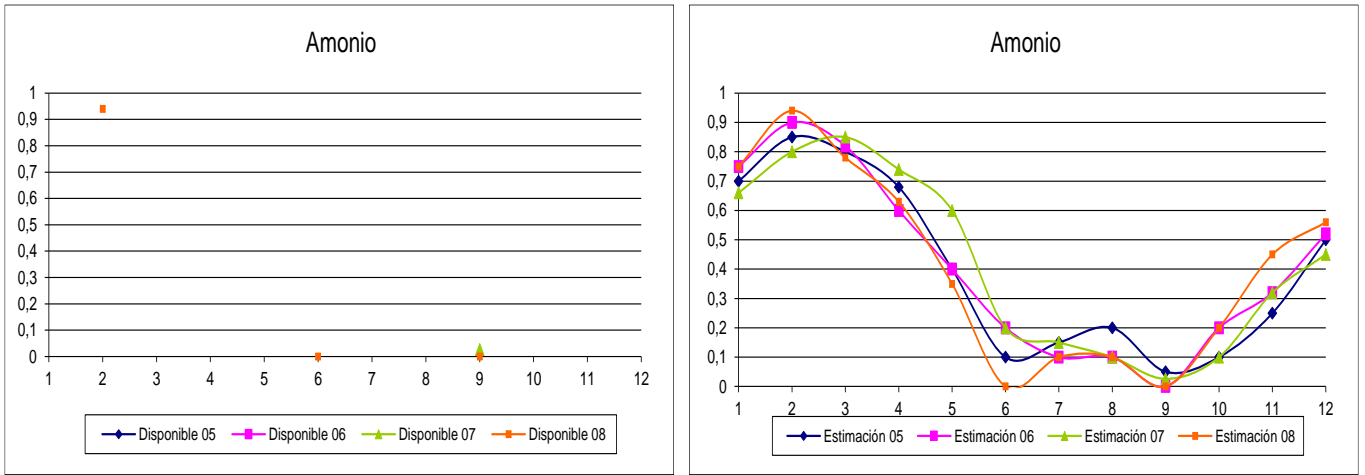


Figura 40. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de amonio

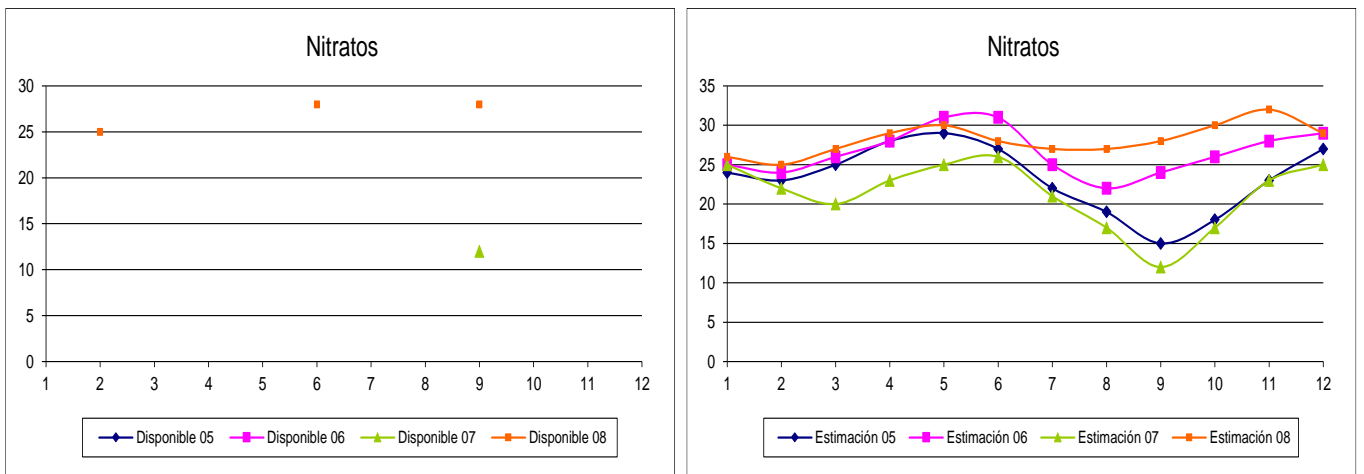


Figura 41. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de nitratos

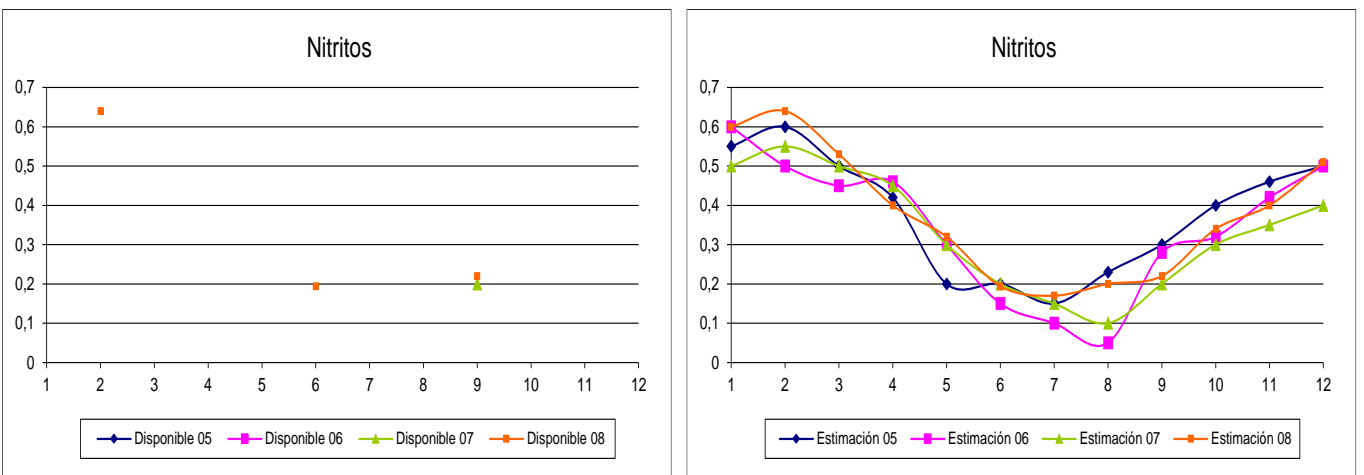


Figura 42. Gráficos de datos disponibles y datos estimados nitritos

3. Descripción del estudio

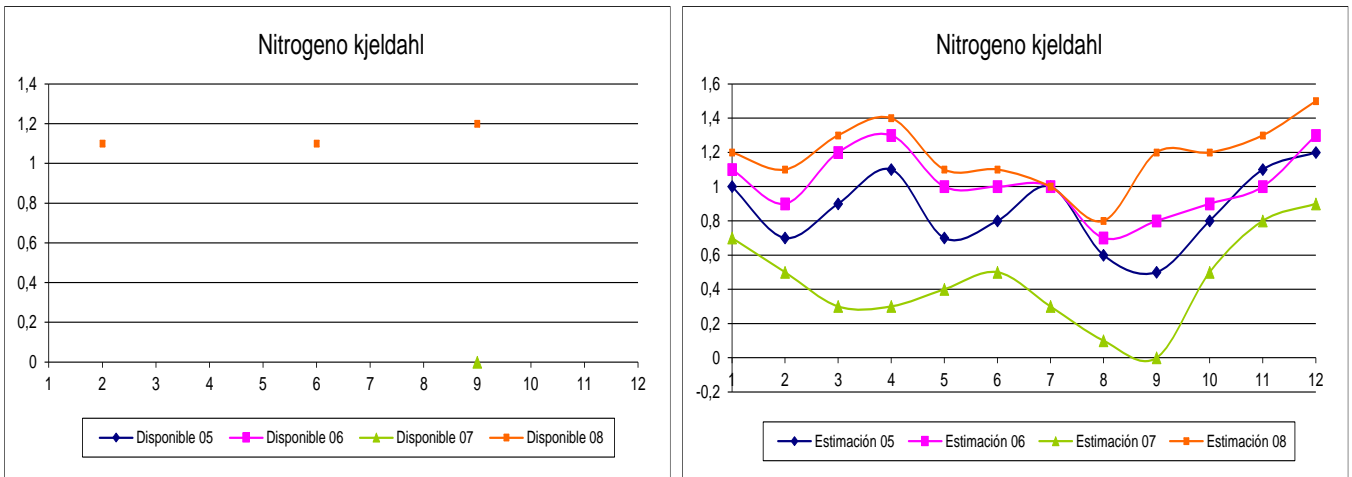


Figura 43. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de N kjeldahl

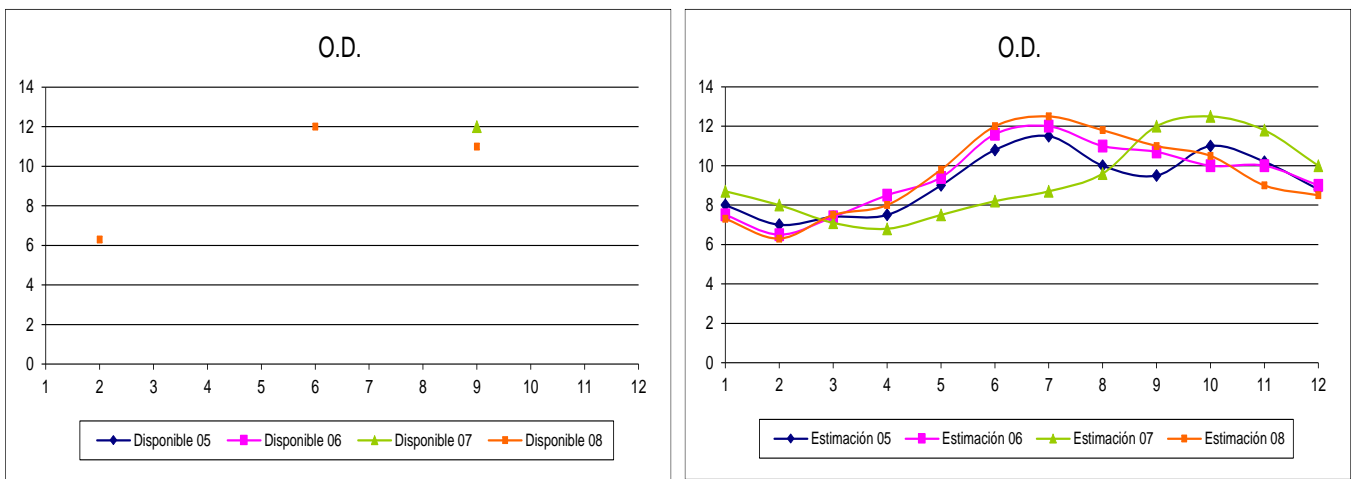


Figura 44. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de oxígeno disuelto

5. JUJ601 Azud de la Marquesa.

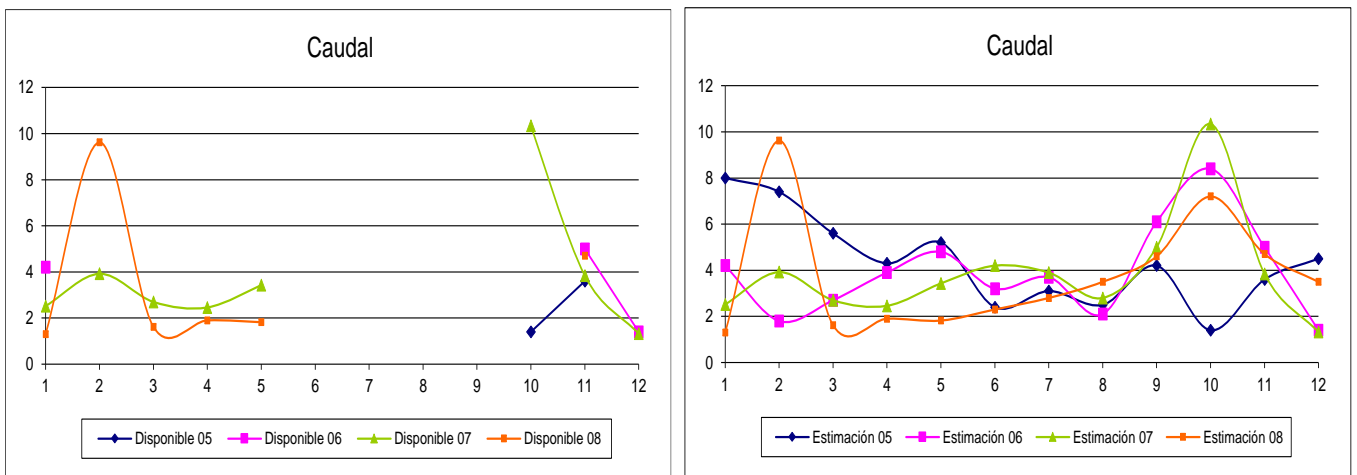


Figura 45. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de caudal

3. Descripción del estudio

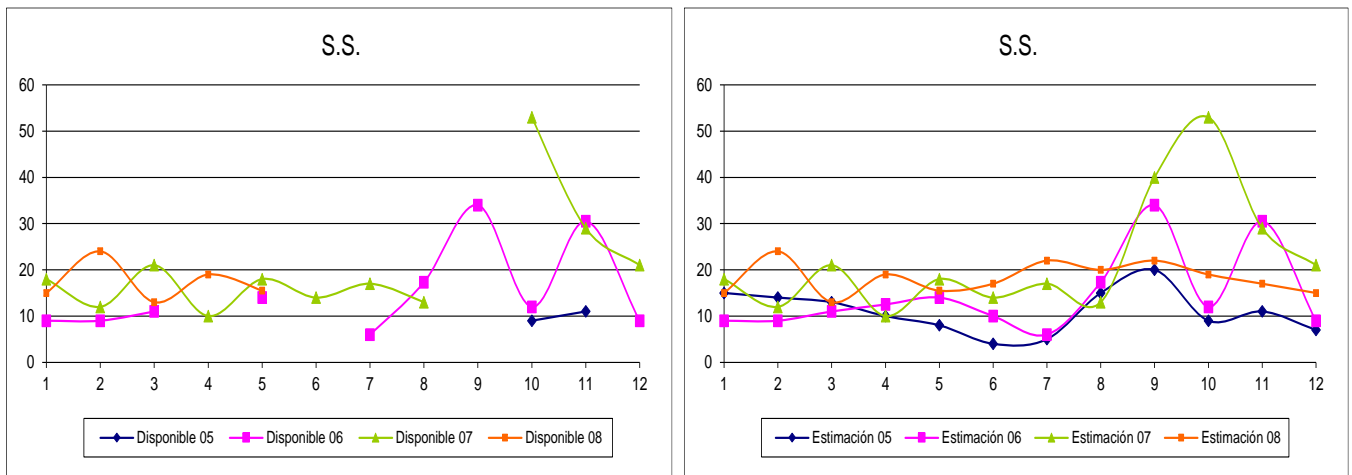


Figura 46. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de sólidos suspendidos

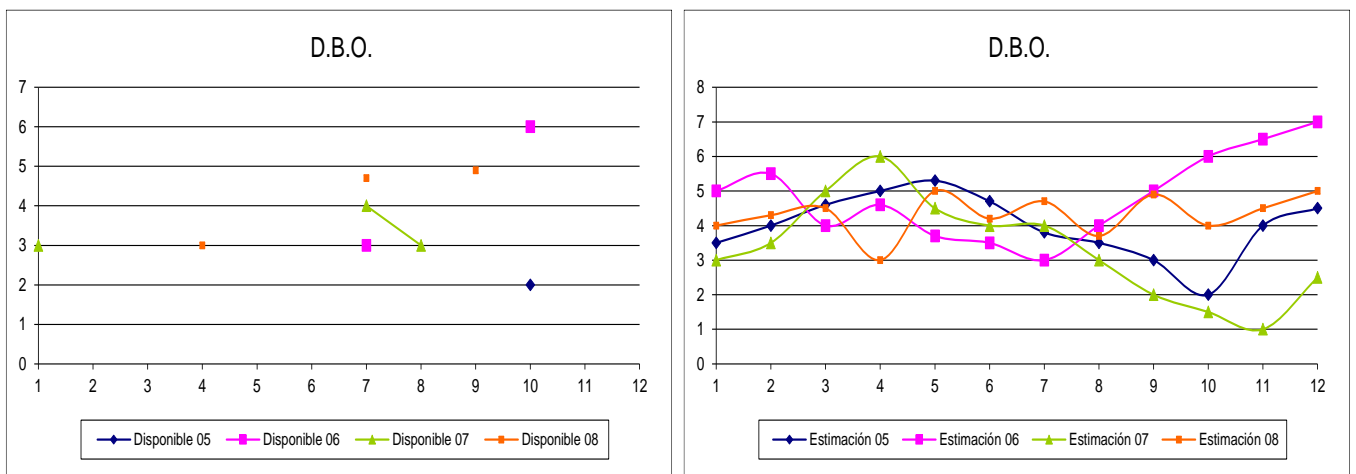


Figura 47. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de D.B.O.

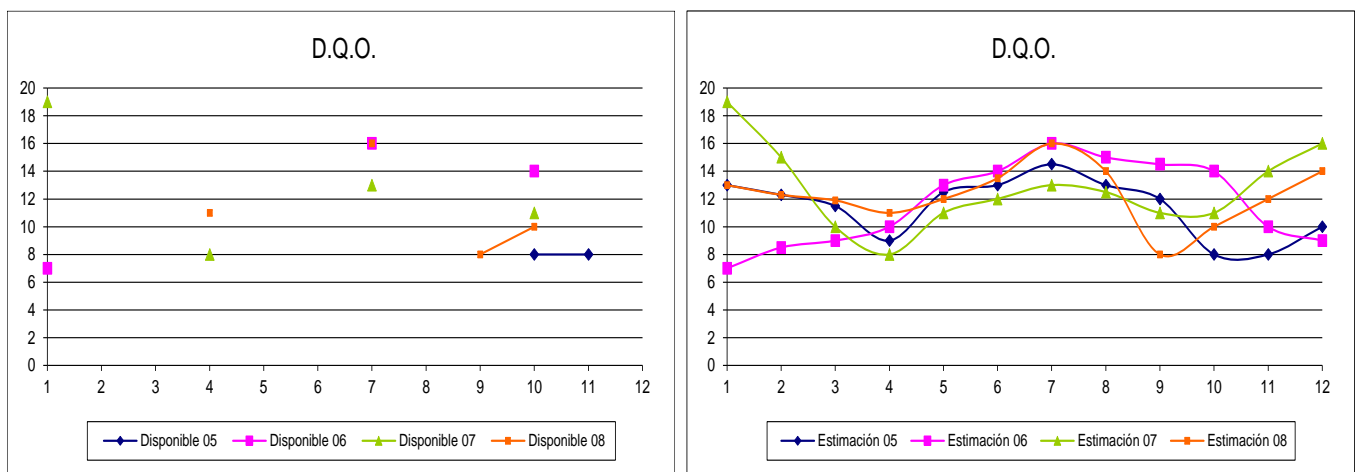


Figura 48. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de D.Q.O.

3. Descripción del estudio

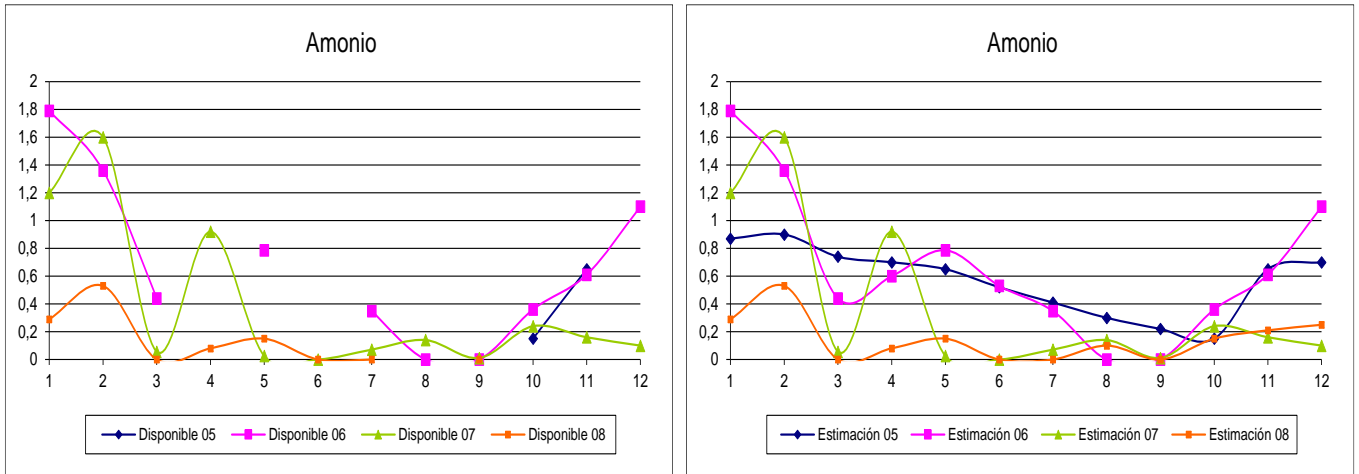


Figura 49. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de amonio

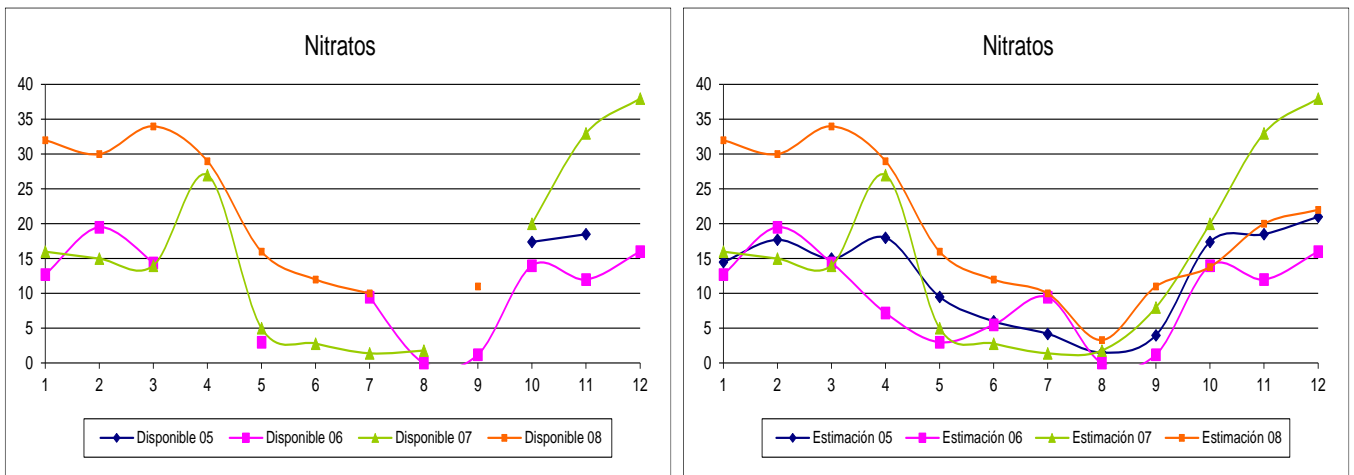


Figura 50. Gráficos de datos disponibles y datos estimados de nitratos

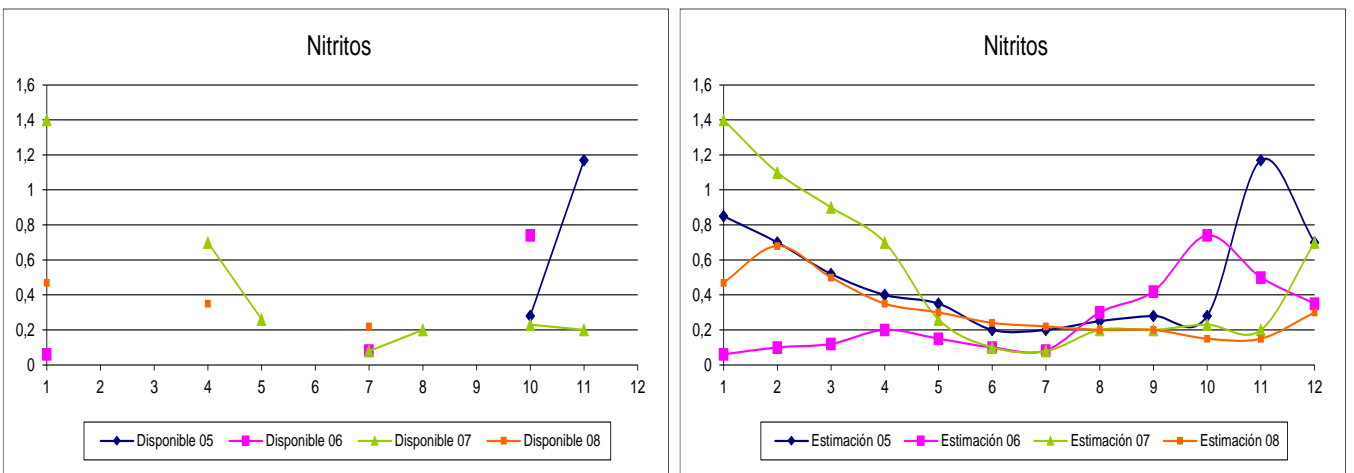


Figura 51. Gráficos de datos disponibles y datos estimados nitritos

3. Descripción del estudio

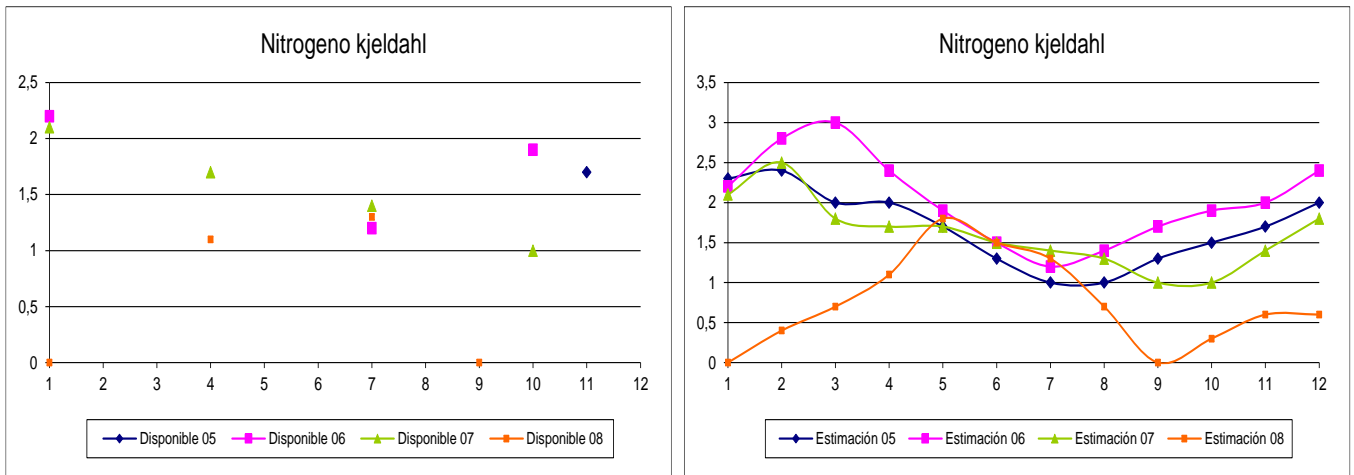


Figura 52. Gráficos de datos disponibles y datos estimados N kjeldahl

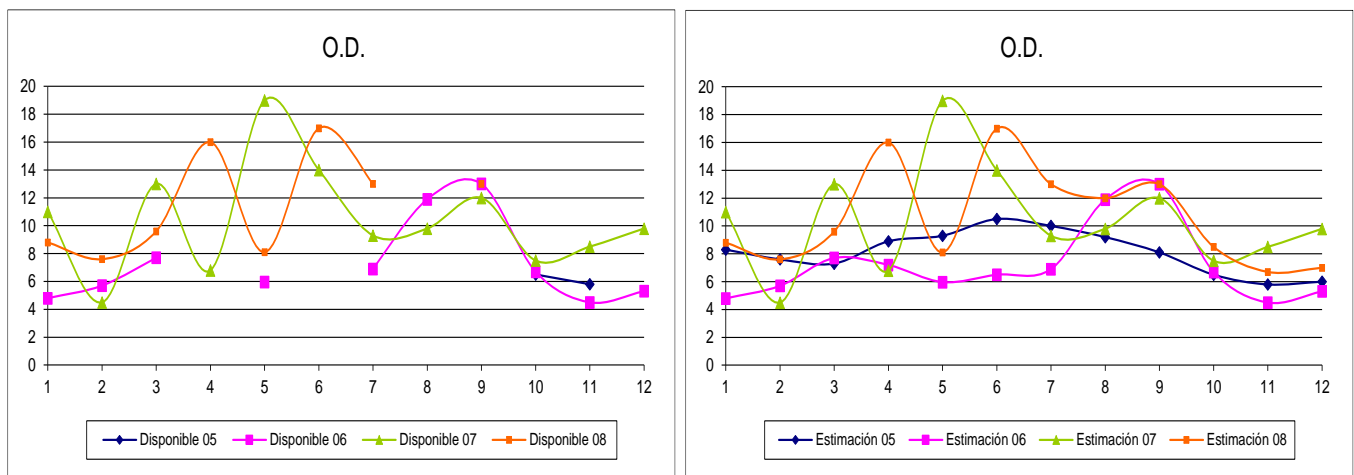


Figura 53. Gráficos de datos disponibles y datos estimados oxígeno disuelto

6. Estación depuradora EDAR.

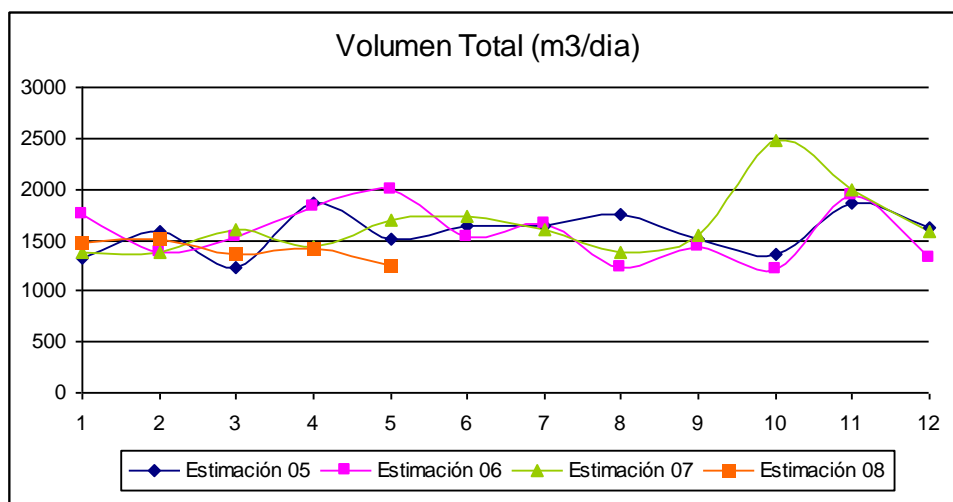


Figura 54. Gráfico de datos disponibles de volumen E.D.A.R.

3. Descripción del estudio

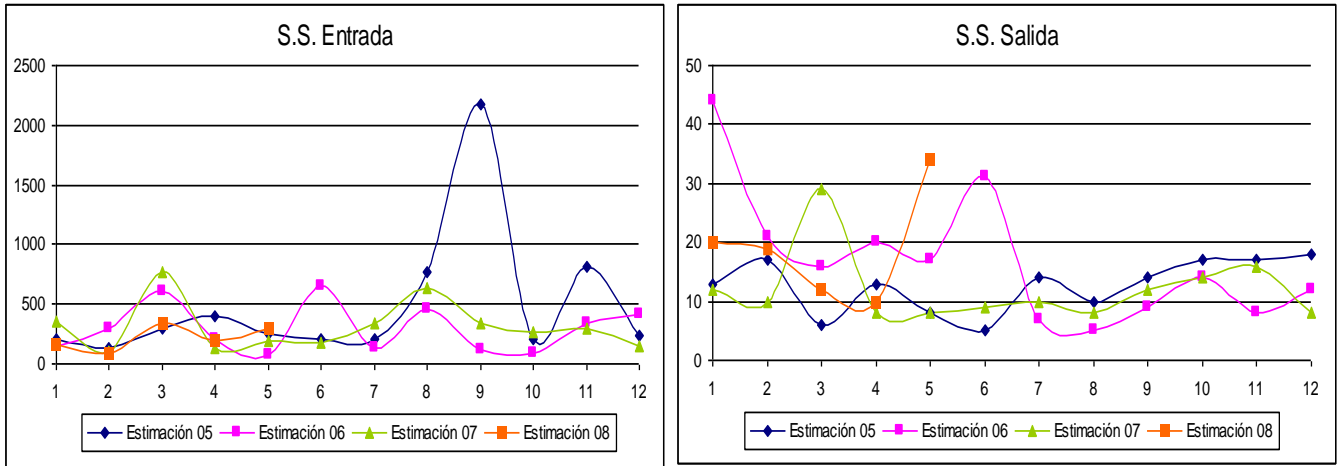


Figura 55. Gráfico de datos disponibles de sólidos suspendidos E.D.A.R.

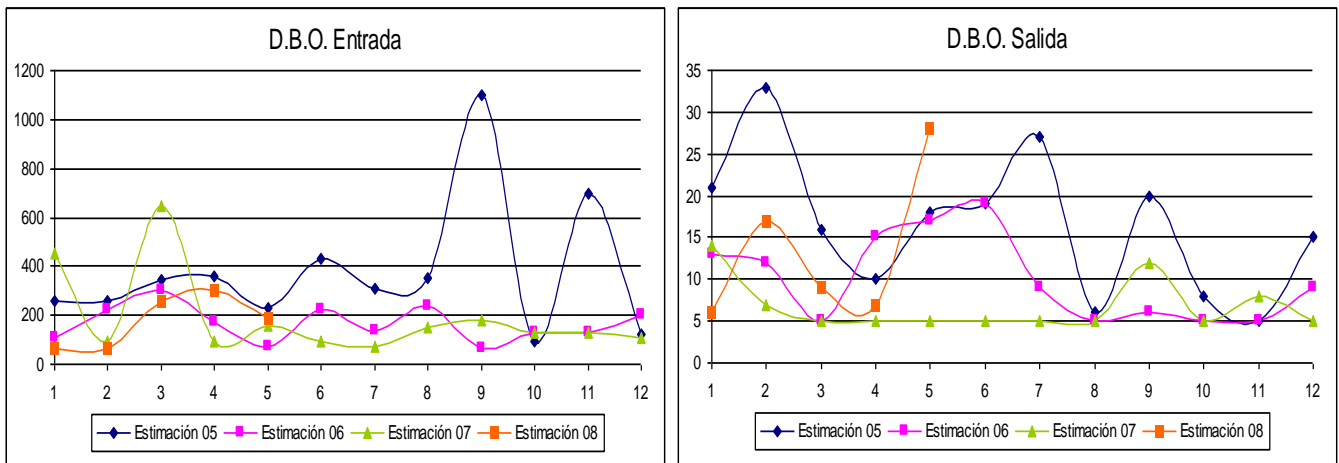


Figura 56. Gráfico de datos disponibles de D.B.O. E.D.A.R.

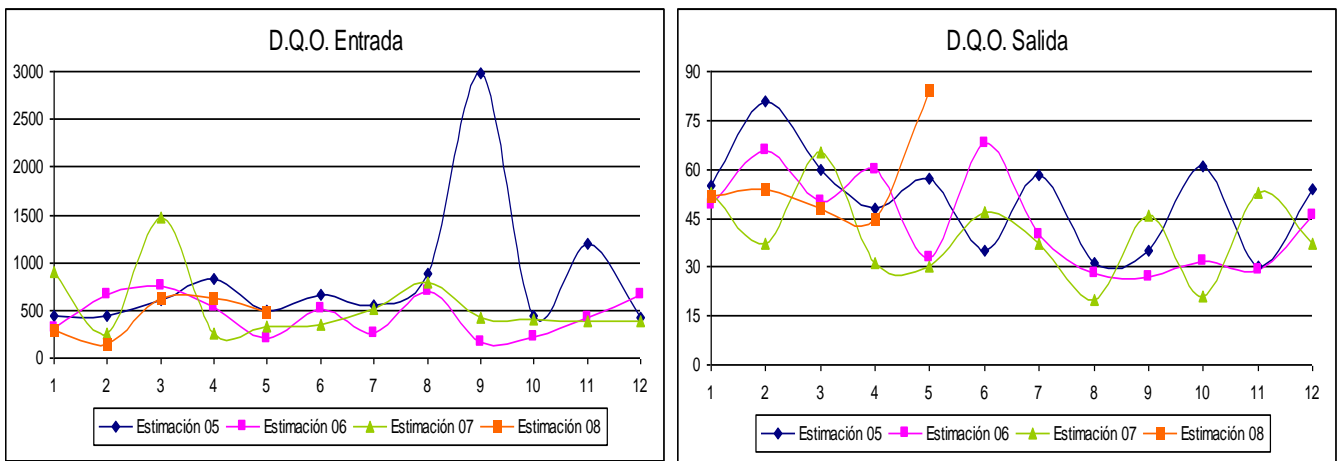


Figura 57. Gráfico de datos disponibles de D.B.O. E.D.A.R.

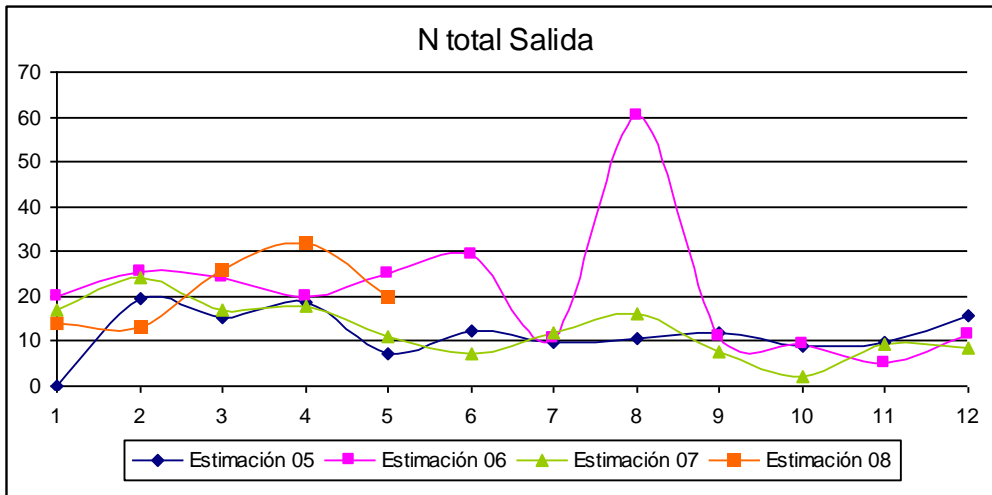


Figura 58. Gráfico de datos disponibles de N total E.D.A.R.

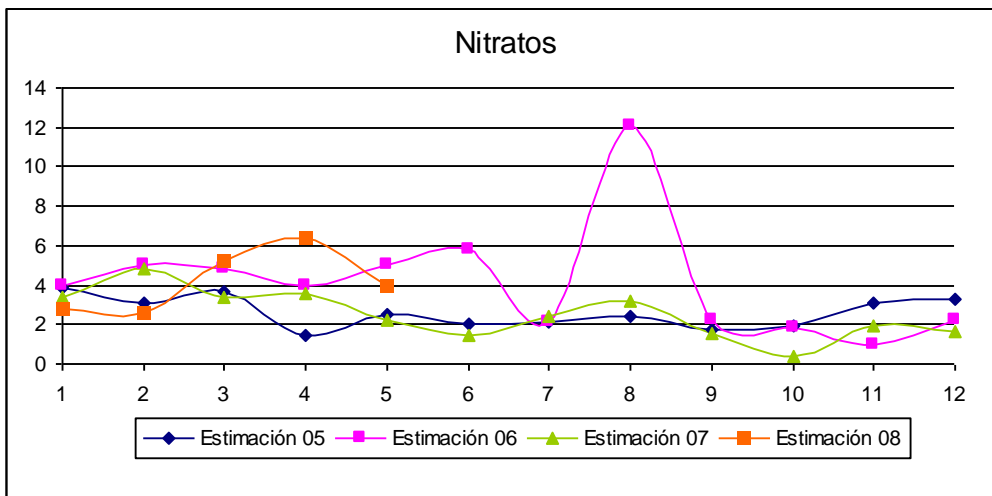


Figura 59. Gráfico de datos disponibles de Nitratos E.D.A.R.

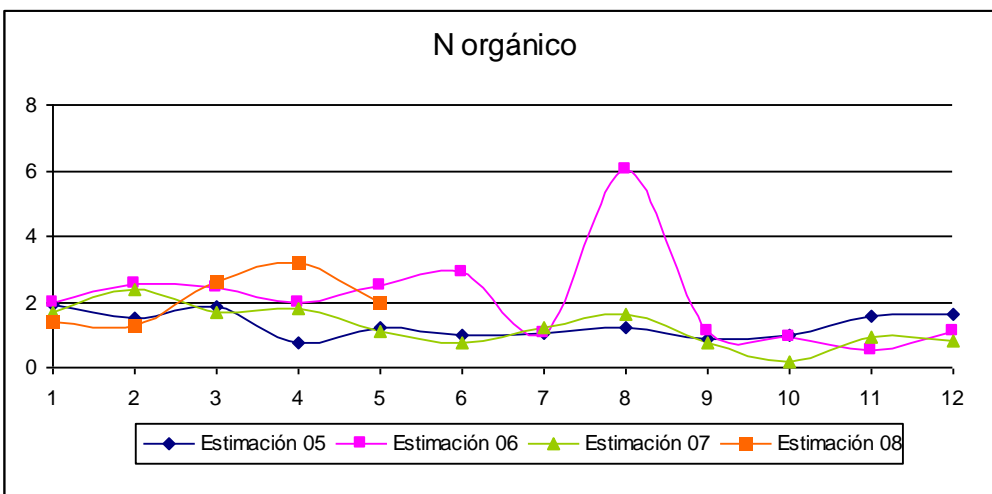


Figura 60. Gráfico de datos disponibles de N orgánico E.D.A.R.

3.3.3. Resumen del estudio.

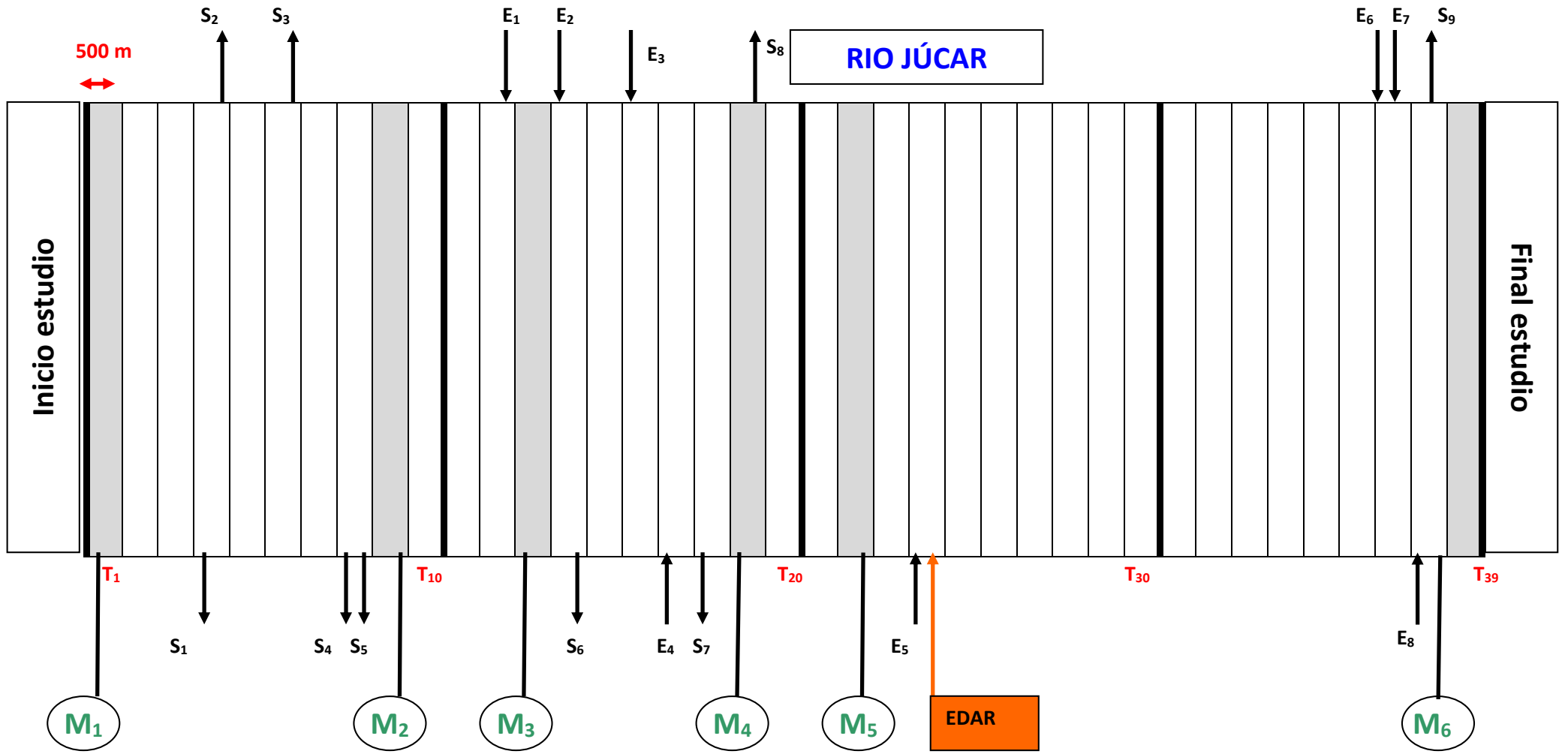
Una vez estandarizados y estimados los datos CHJ (caudales y parámetros) y datos Epsar (caudales y parámetros) con el fin de poder introducirlos en el programa de simulación, se va a describir, junto varios diseños y tablas, el recorrido del estudio a realizar.

Como se puede observar en la siguiente figura 61, el recorrido de estudio consta de 39 tramos (Ti) con una longitud de 500 metros cada tramo. Durante este recorrido se encuentran las distintas estaciones de medida y control de la calidad del agua de la CHJ y el tramo donde se encuentran, matizándose en color gris y el símbolo Mi para una mejor identificación. (Figura 61).

- **M₁: JUJ627 Zona recreativa de Polinyà de Xúquer.**
- **M₂: JUJ624 Azud de Sueca.**
- **M₃: JUJ626 Coto de Riola.**
- **M₄: JUJ609* Azud de Cullera.**
- **M₅: JUJ625 Coto de Fortaleny.**
- **M₆: JUJ601 Azud de la Marquesa.**

*Estación anulada. No representativa

Otros elementos destacados que se pueden observar en el siguiente en croquis son el punto de partida o inicio y el punto de llegada o final del estudio. El punto de inicio coincide con la estación de control y medida de Polinyà de Xúquer (JUJ627), mientras el punto de llegada corresponde con la estación de control y medida de la Azud de la Marquesa en el término municipal de Cullera (JUJ601). Además se observa la localización y el tramo en el estudio de la estación de depuración de aguas residuales urbanas (EDAR). (Figura 61).



Simbología:



Estación de medida y control

S_i

Salida de flujo del río

T_i

Número de tramo de río



Dirección y sentido del flujo de agua

M_1 : Estación de control y medida Zona Recreativa de Polinyà de Xúquer

M_2 : Estación de control y medida Azud de Sueca

M_3 : Estación de control y medida Coto de Pesca de Riola

M_4 : Estación de control y medida Azud de Cullera

M_5 : Estación de control y medida Coto de Pesca de Fortaleny

M_6 : Estación de control y medida Azud de la Marquesa

3. Descripción del estudio

Finalmente en el croquis anterior se observa las diferentes entradas y salidas de flujo del río mediante canales, acequias u otros conductos que van surgiendo en cada tramo de estudio durante su recorrido. Las entradas se distinguen con el símbolo Ei y las salidas con el símbolo Si, encontrándose a la parte superior del croquis las entradas y salidas provenientes del margen izquierdo del río y a la parte inferior las entradas y salidas provenientes del margen derecho de éste. (Figura 61). Para una mayor explicación a continuación se muestra una tabla-resumen de las diferentes entradas y salidas existentes del río según van manifestándose desde el punto inicio al punto final del estudio.

| Tramo | Símbolo | Entradas | Salidas |
|---|------------------|--------------------------|--------------------------|
| Tramo 1: Zona recreativa Polinyà - Azud Sueca | S1 | | Braçal Racó Nou |
| | S2 | | Acequia Campanar |
| | S3 | | Acequia Major de Sueca |
| | | | Acequia Nova |
| | | | Acequia Muzquiz |
| | S4 | | Braçal Racó Vell |
| | S5 | | Acequia Presa Major |
| | | | Acequia Presa Canal |
| | | Acequia Presa Angla | |
| Tramo 2: Azud Sueca - Coto de Fortaleny | E1 | Acequia del Angla | |
| | E2 | Acequia Racó de Riola | |
| | S6 | | Acequia de Liber |
| | E3 | Acequia de Muzquiz | |
| | E4 | Acequia de Liber | |
| | S7 | | Acequia Major de Cullera |
| | S8 | | Acequia de Cullera |
| Tramo 3: Coto de Fortaleny - Azud de la Marquesa | E5 | Acequia Major de Cullera | |
| | | Acequia del Rei | |
| | E6 | Acequia Raconada | |
| | E7 | Braçal de Galdufa | |
| | S9 | | Acequia Molins |
| E8 | Acequia Raconada | | |

Tabla 5. Tabla-resumen de entradas y salidas durante el recorrido de estudio

Una vez realizada la descripción del estudio mediante sus características físicas, sus puntos de control y sus entradas y salidas, así como la preparación de los datos disponibles mediante un pretratamiento de estandarización y estimación, se puede proceder a la creación de un modelo matemático.

4. DESARROLLO DEL MODELO DE SIMULACIÓN.

4.1. Introducción

Conforme se ha habido mencionado brevemente en el apartado 1.5., los modelos matemáticos son una herramienta de gran utilidad en la simulación de las aguas, ya que facilitan en gran medida el estudio del escenario real de los sistemas acuáticos, siendo fundamentales para gestionar la calidad de los movimientos de éstos. La elección correcta de un modelo u otro no es un hecho arbitrario sino que depende principalmente de cuatro factores.

El primero de ellos depende del sistema natural de estudio, ya sea un río, un lago, un estuario o cualquier otra masa de agua. El segundo factor depende de los componentes que se van a estudiar, ya que en función de éstos, se elegirán formulaciones y escalas de tiempo y espacio más adecuadas. El tercer factor es la disponibilidad de datos de estudio, pues cuando más numerosos sean éstos, más detallado podrá ser el modelo que se emplee y mayor número de aspectos podrán ser abordados en él. Finalmente, el último factor a tener en cuenta, será la capacidad y las herramientas informáticas de las que se dispone, siendo imprescindibles a la hora de obtener resultados.

Así que en resumen, la mayor o menor eficacia de un modelo vendrá determinada por la capacidad de éste para reflejar el comportamiento del sistema definido, siendo necesario conocer todos los fenómenos que puedan afectar al comportamiento de las distintas sustancias presentes en el sistema, con el fin de poder desarrollar las ecuaciones necesarias que describan dichos fenómenos.

La presencia, concentración y distribución de estas sustancias contaminantes en el sistema, los factores que influyen en la dinámica de éstos, influyendo en su comportamiento y variabilidad a lo largo del tiempo, los ciclos en los que intervienen y las posteriores consecuencias sobre el ecosistema, son algunas de las consultas que pueden ser representadas mediante una modelización matemática y posterior simulación.

Antes de empezar a desarrollar las fases del modelo de estudio, se debe tener claros una serie de conceptos como son los objetivos a alcanzar en la simulación, la máxima simplicidad posible de éste para que sea fácil de interpretar sus resultados y así poder tomar las decisiones oportunas y la descripción de los parámetros solamente característicos de estudio, mostrándose éstos coherentes con los datos disponibles. A continuación se nombran las diferentes fases que conforman un modelo estándar:

4. Desarrollo del modelo de simulación

- Adquisición de información y conocimientos previos sobre el sistema.
- Representación de las variables externas que afectan al sistema (condiciones ambientales) y delimitación del intervalo de valores.
- Especificación del objeto modelo. Formulación del problema e identificación de las variables internas que definen el estado del sistema a representar.
- Establecimiento de relaciones entre las diferentes variables del modelo, tanto internas como externas.
- Selección de la estructura matemática del modelo y estimación de parámetros.
- Verificación y ajuste de las mediciones preliminares de las que se dispone.
- Validación y estimación de la incertidumbre de las predicciones.

Finalmente, una vez ya elaborado y verificado todo, la mayoría de las veces se opta por hacer la simulación de datos mediante programas informáticos, ya que presentan una gran facilidad y simplicidad de introducción, procesado y posterior resultado de datos. Para realizar estas simulaciones, uno de los programas utilizados en calidad de aguas es el USEPA WASP (Wool y col. 2001).

WASP (Water Quality Analysis Simulation Program) es un programa informático capaz de predecir las respuestas de los cursos de agua en los ecosistemas fluviales, simplificando las ecuaciones de transporte reales en el entorno. El sistema representa fundamentalmente los procesos convectivos y dispersivos originados en las diferentes fuentes puntuales y difusas del medio, permitiendo así calcular sus variaciones espaciales y temporales. El modelo de simulación en WASP se construye a partir de una serie de fórmulas constituidas por celdas de una misma longitud, calculando también la progresión de los valores de los diferentes parámetros de estudio durante todo el tramo, basándose en el principio de la conservación de la masa.

Además, en la información de entrada en WASP, debe precisarse el tipo de transporte, condiciones de contorno (boundaries), concentraciones iniciales; vertido de aguas residuales puntuales y finalmente parámetros y variables representativas, permitiendo así la determinación de la evolución de éstos en diferentes escenarios a partir de diferentes condiciones o hipótesis propuestas. La simulación del modelo de la calidad de las aguas de estudio se ha realizará a partir del software WASP v.7.2.

4.2. Descripción de los componentes del modelo.

En este apartado se describen las variables que intervienen en el modelo de calidad de aguas, los parámetros que conforman y condicionan los procesos y su correspondiente formulación matemática:

4.2.1. Variables de estado o internas

Las variables de estado o variables internas representan las concentraciones de aquellos componentes considerados representativos de la calidad del sistema y que varían a lo largo del espacio y del tiempo. La selección de estos componentes se realiza dependiendo de la naturaleza del medio y de los objetivos del modelo. Sin embargo, otros factores como la información de datos disponibles o la capacidad del software utilizado, también pueden contribuir a la elección de éstos.

De ahí que en este estudio y teniendo en cuenta la falta de datos para simular fitoplancton, nutrientes representativos como el fósforo o las interacciones con los sedimentos, se ha considerado oportuno omitir estas variables. Sin embargo las variables a tener en cuenta en este estudio son:

- Oxígeno disuelto (OD o O_2): expresado en mgO_2/L .
- Materia orgánica (L o DBO_L): expresado en mgO_2/L .
- Nitrógeno orgánico (NO): expresado en mgN/L .
- Amonio (NH_4): expresado en mgN/L .
- Nitratos (NO_3): expresado en mgN/L .
- Sólidos suspendidos (SS): expresado en mg/L .

4.2.2. Variables externas

Las variables externas son aquellas que influyen en las internas, pero que no se ven influenciadas por éstas (las variables externas condicionan a las de estado pero no al revés), aunque presentan también variabilidad espacial y temporal. Las utilizadas en este modelo son las siguientes:

- Caudal (Q): expresado en m^3/s .
- Velocidad del agua (u o v): expresado en m/s .
- Calado del cauce (H): expresado en m.
- Anchura del cauce (B): expresado en m.

- Volumen (V): expresado en m³.
- Temperatura del agua (T): expresado en °C.

4.2.3. Ecuación general de transporte.

Para cualquier modelo de calidad de aguas todos los elementos que actúan giran en torno a los balances de masa. Por lo tanto la concentración de una determinada sustancia en cualquier punto y a lo largo del sistema, ha de cumplir la ecuación fundamental de conservación de la materia (Llavador, 2002).

Sin embargo, la no linealidad que presenta este tipo de sistema de ecuaciones imposibilita resolverlo de forma analítica, de ahí que se realice mediante la utilización de métodos numéricos. Estos métodos implican utilizar discretizaciones finitas, lo que obliga a segmentar nuestro sistema de estudio en celdas o tramos, aplicando la ecuación fundamental de conservación de la materia para cada componente en cada una de los tramos y considerando que cada uno de éstos es un sistema completamente mezclado y abierto.

Para la resolución del sistema hídrico del estudio tipo río, los modelos utilizados son los de tipo unidimensional, respondiendo a la ley de conservación general:

$$\text{Acumulación} = (\text{Entradas-Salidas}) \pm \text{Generación}$$

1. **Acumulación:** Este término representa la acumulación de materia en un elemento diferencial de volumen. Es decir, la variación de la concentración de un componente respecto al tiempo en una posición determinada.
2. **Entradas/salidas:** Este término incluye las entradas y salidas de materia a través de las fronteras de un elemento diferencial de volumen por convección y por dispersión.
3. **Generación:** Este término habitualmente recibe el nombre de fuente/sumidero (S_k) y representa los distintos procesos de entradas y salidas que pueden provocar acumulación.

4. Desarrollo del modelo de simulación

Por lo tanto, la totalidad del modelo matemático se manifiesta con una ecuación diferencial de balance de masa para cada componente y que cumple con la ecuación:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(u_x C) - \frac{\partial}{\partial y}(u_y C) - \frac{\partial}{\partial z}(u_z C) + \frac{\partial}{\partial x}\left(E_x \frac{\partial C}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(E_y \frac{\partial C}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(E_z \frac{\partial C}{\partial z}\right) + S_k$$

donde

C: concentración del componente o contaminante (mg/L).

t: tiempo (s).

U_x, U_y, U_z: componentes del vector velocidad real del agua. Velocidad longitudinal, transversal y vertical (m/s). Estos términos de velocidad representan el transporte convectivo, que se origina debido al movimiento del contaminante junto con la masa de agua.

E_x, E_y, E_z: componentes del tensor de dispersión longitudinal, transversal y vertical (m²/s) en el seno del fluido. Representan el transporte dispersivo o transporte que realizan las sustancias disueltas que no están directamente relacionados con el desplazamiento del fluido. En este estudio el transporte dispersivo será excluido debido a la complejidad que supondría definir el componente de dispersión correspondiente a cada tramo.

S_k: fuente o sumidero del contaminante (mg/L s). Este término representa todas las posibles entradas y/o salidas del componente no asociadas al transporte convectivo o dispersivo, que puedan producirse por unidad de tiempo y volumen para la masa de agua. Estos contaminantes se definen como contaminantes no conservativos, por lo que además de los términos de entradas y salidas, será necesario incluir todos los términos correspondientes a la generación y/o desaparición del contaminante originada por la relación cada uno de los procesos físicos, químicos o biológicos que se produzcan. La expresión matemática que representa cada uno de estos procesos es una ecuación cinética de primer orden:

$$S_k = \frac{dC}{dt} = k(T)C$$

donde:

C : Concentración del componente (mg/L).

k(T) : Constante de velocidad del primer orden (día⁻¹).

Esta constante de velocidad depende principalmente de la temperatura, que según la ecuación de Arrhenius-van't Hoff:

$$k(T) = k(20^{\circ}\text{C}) \theta^{(T-20)}$$

donde:

k : Constante de velocidad (día⁻¹).

T : Temperatura (°C).

k(20°C) : Constante de velocidad correspondiente a la temperatura de 20 °C.

θ : Valor específico para cada proceso.

4.2.4. Componentes y procesos del modelo.

A continuación se describen los componentes que conforman el modelo estudio, los procesos que se originan, así como la formulación del término S_k para cada uno de ellos.

4.2.4.1. Materia orgánica

La materia orgánica suele referirse al conjunto de compuestos orgánicos más que a un compuesto químico concreto. Estos compuestos pueden ser de origen natural (proteínas, carbohidratos y lípidos) o de origen sintético, aunque formados todos ellos por C, H, O, N y P, siendo el carbono el componente principal.

La presencia de materia orgánica en las aguas ocasiona ciertos problemas como la alteración de sus características organolépticas, sin embargo el principal problema que genera es su propia degradación por parte de los microorganismos, consumiendo gran parte del oxígeno existente en la columna de agua. La D.B.O. (Demanda Biológica de Oxígeno) es el término más utilizado para calcular la cantidad de oxígeno disuelto necesario para la degradación biológica de los compuestos orgánicos. Si la degradación se produce químicamente el término utilizado es la D.Q.O. (Demanda Química de Oxígeno). De ahí que, la materia orgánica se mida la mayoría de las veces en D.B.O. y D.Q.O., siendo los procesos de oxidación y desnitrificación los más importantes que tienen relación directa con ésta.

$$S_k(L) = \frac{dL}{dt} = -S_k(\text{oxidación}L) - S_k(\text{desnitrificación}L)$$

4. Desarrollo del modelo de simulación

$$S_k(\text{oxidación } O_2) = k'_1 \theta_{\text{oxi}}^{(T-20)} L X_{MO}$$

donde:

k'_1 : constante de degradación de la materia orgánica (día-1).

θ_{oxi} : coeficiente de corrección de la temperatura para la degradación (s.d.).

L : concentración de materia orgánica (mg O_2/L).

X_{MO} : factor de influencia de la concentración de oxígeno disuelto en la degradación.

$$S_k(\text{desnitrificación } L) = 2.86 k_{\text{dnit}} \theta_{\text{dnit}}^{(T-20)} X_{\text{dnit}} [NO_3^-]$$

donde:

k_{dnit} : constante de desnitrificación (día-1).

θ_{dnit} : factor de corrección de temperatura para la desnitrificación (s.d.).

X_{dnit} : factor de limitación a la desnitrificación de los nitratos por parte del oxígeno disuelto (mg O_2/L).

$[NO_3^-]$: concentración de nitratos (mg N/L).

4.2.4.2. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto (O.D.) es la cantidad de oxígeno que está disuelto en el agua esencial para cualquier sistema fluvial. El nivel de oxígeno es el principal indicador de la cantidad de contaminación existente en el agua e indica el valor mínimo para satisfacer las necesidades vitales de todo el ecosistema. Habitualmente a mayor cantidad de oxígeno disuelto mayor calidad del agua. Los procesos más importantes que tienen relación directa con el O.D. son la reaireación, la nitrificación y la oxidación.

$$S_k(OD) = \frac{dOD}{dt} = S_k(\text{reaireación } O_2) - S_k(\text{nitrificación } O_2) - S_k(\text{oxidación } O_2)$$

$$S_k(\text{reaireación } O_2) = k'_2 \theta_{\text{rea}}^{(T-20)} ([O_2]_{\text{sat}} - [O_2])$$

donde:

k'_2 : constante de velocidad de reaireación (día-1).

θ_{rea} : coeficiente de corrección de la temperatura para la reaireación (s.d.).

4. Desarrollo del modelo de simulación

[O₂]sat: concentración de oxígeno disuelto en saturación (mg O₂/L).

[O₂]: concentración de oxígeno disuelto (mg O₂/L).

$$S_k(\text{oxidación } O_2) = k'_1 \theta_{oxi}^{(T-20)} L X_{MO}$$

donde:

k'₁: constante de degradación de la materia orgánica (día⁻¹).

θ_{oxi}: coeficiente de corrección de la temperatura para la degradación.

L : concentración de materia orgánica (mg O₂/L).

X_{MO}: factor de influencia de la concentración de oxígeno disuelto en la degradación.

$$S_k(\text{nitrificación } O_2) = \frac{64}{14} k_{nitri} \theta_{nitri}^{(T-20)} X_{NIT} [NH_4^+]$$

donde:

K'_{nitri}: constante de nitrificación (día⁻¹).

θ_{nitri}: coeficiente de corrección de la temperatura para la nitrificación.

X_{NIT}: factor de influencia de la concentración de nitrógeno

[NH₄⁺]: concentración de amonio (mg O₂/L).

4.2.4.3. Compuestos nitrogenados

El nitrógeno, como cualquier nutriente, es esencial para el desarrollo de cualquier forma de vida en un ecosistema fluvial, ya que es uno de los responsables del crecimiento de los organismos animales y vegetales en el medio acuático. En condiciones normales, los compuestos nitrogenados del agua provienen fundamentalmente de la degradación de la materia orgánica muerta, que a su vez ha sido absorbida de la atmósfera para su metabolismo. En condiciones del medio alteradas, los aportes de nitrógeno proceden mayoritariamente de los vertidos urbanos y del creciente uso de fertilizantes y pesticidas en la agricultura. El nitrógeno presente en el medio acuático puede existir en cuatro formas diferentes, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitritos y nitratos:

- Nitrógeno orgánico (NO): Aparece a partir de la descomposición del fitoplancton muerto, mineralizándose y sedimentándose parte de él en su forma particulada. Además hay que tener en cuenta que parte del fitoplancton muerto no se transforma en nitrógeno orgánico, sino que se mineraliza directamente a amonio.

4. Desarrollo del modelo de simulación

- Amonio (NH_4^+): Se genera mediante el proceso de amonificación o mineralización del nitrógeno orgánico disuelto en el agua por parte de los microorganismos. Por el contrario, éste disminuye debido a su consumo como nutriente por parte del fitoplancton y por el proceso de nitrificación o paso a nitratos.
- Nitratos (NO_3^-): En presencia de oxígeno, el nitrógeno amoniacal se transforma en nitritos y posteriormente, en nitratos.

Los procesos más importantes que tienen relación directa con los compuestos nitrogenados son la nitrificación y la desnitrificación.

$$S_k(\text{NO}_3^-) = \frac{d\text{NO}_3^-}{dt} = S_k(\text{nitrificaciónNO}_3^-) - S_k(\text{desnitrificaciónNO}_3^-)$$

$$S_k(\text{nitrificaciónNO}_3^-) = k_{\text{nitri}} \theta_{\text{nitri}}^{(T-20)} X_{\text{NIT}} [\text{NH}_4^+]$$

donde:

k_{nitri} : constante de nitrificación del amonio (día⁻¹).

θ_{nitri} : factor de corrección de temperatura para la nitrificación del amonio.

X_{NIT} : factor de limitación a la nitrificación del amonio por parte del oxígeno disuelto. (mg O₂/L).

$[\text{NH}_4^+]$: concentración de amonio (mg N/L).

$$S_k(\text{desnitrificaciónNO}_3^-) = k_{\text{dnit}} \theta_{\text{dnit}}^{(T-20)} X_{\text{DENIT}} [\text{NO}_3^-]$$

donde:

k_{dnit} : constante de desnitrificación (día⁻¹).

θ_{dnit} : factor de corrección de temperatura para la desnitrificación.

X_{DNIT} : factor de limitación a la desnitrificación de los nitratos por parte del oxígeno disuelto.

$[\text{NO}_3^-]$: concentración de nitratos (mg N/L).

4.3. Procedimiento de simulación de los datos.

Una vez definida la estructura matemática del modelo de calidad y antes de la simulación de datos, se debe realizar varios procedimientos previos. Estas operaciones consisten principalmente y después de una segregación en celdas de igual longitud del recorrido de estudio, en un tratamiento para la entrada de datos y variables que, directa o indirectamente, tengan relación con los procesos del modelo utilizado, así como en los datos iniciales de simulación y condiciones de contorno o boundaries.

Las variables que escogidas para simular, después de la estandarización y estimación, son la D.B.O. y D.Q.O., configurando la materia orgánica, el Oxígeno Disuelto (O.D.) y los Compuestos Nitrogenados.

4.3.1. Discretización del modelo.

Conforme se ha mencionado en el apartado de introducción 4.1, la resolución del sistema de ecuaciones diferenciales del modelo debe realizarse mediante un método numérico a partir de un sistema organizado formado por celdas donde, en cada una de ellas, se calcula la concentración de la sustancia para un tiempo determinado.

Durante los 39 tramos en los que se ha dividido el estudio, hay que prestar atención a los distintos puntos representativos como son los puntos de muestreo, las entradas y salidas de caudal a lo largo del tramo de estudio y las aportaciones mediante vertidos controlados. Además se ha establecido una longitud constante de 500 metros para cada una de las celdas en las que se dividirá el estudio, con el fin de tener una mayor facilidad y aprovechamiento de la información disponible. Cada una de estas celdas tendrá un número representado en el modelo, de menor a mayor valor, dependiendo de la distancia a la que se encuentre del punto de inicio de simulación, estación de medida JUJ627, y la estación de medida JUJ601. (Figura 62).

4.3.1.1. Condiciones de inicio.

El modelo define la calidad del medio en cada momento mediante los valores de los variables de estado, representando las condiciones del medio en el que se encuentra el modelo antes de la simulación. Para poder empezar a simular es necesario tener descritas las condiciones iniciales para cada uno de los tramos de estudio.

A continuación se muestra una tabla con los valores disponibles para las condiciones de inicio de la simulación. (Tabla 6). Recordar que, debido a los escasos datos disponibles en las fuentes de información, se han estimado los datos no disponibles mediante interpolación

4. Desarrollo del modelo de simulación

aproximada, a partir de los otros periodos disponibles y mediante el análisis del criterio de experto, según éstos van desarrollándose habitualmente en el medio. (Ver Anexo 08).

| FECHA INICIO ene-05 | S.S. (mg/L) | D.B.O (mg/L) | D.Q.O (mg/L) | Amonio (mg/L) | Nitratos (mg/L) | Nitritos (mg/L) | Nitrógeno Kjeldahl (mg/L) | O.D. (mg/L) | Norgánico (mg/L) |
|---------------------|-------------|--------------|--------------|---------------|-----------------|-----------------|---------------------------|-------------|------------------|
| Tramo 1 | 22 | 3,5 | 8 | 0,3 | 28 | 0,32 | 0,4 | 7,3 | 0,1 |
| Tramo 2 | 20 | 3 | 8,5 | 0,2 | 30 | 0,25 | 0,45 | 7,5 | 0,25 |
| Tramo 3 | 18 | 2,7 | 9 | 0,2 | 33 | 0,22 | 0,5 | 7,8 | 0,3 |
| Tramo 4 | 16 | 1,8 | 7,8 | 0,15 | 29 | 0,2 | 0,5 | 7,9 | 0,35 |
| Tramo 5 | 17 | 2,3 | 6,9 | 0,23 | 26 | 0,31 | 0,65 | 7,5 | 0,42 |
| Tramo 6 | 15 | 3,3 | 6 | 0,28 | 24 | 0,4 | 0,7 | 7,3 | 0,42 |
| Tramo 7 | 12 | 3,7 | 5,6 | 0,32 | 24 | 0,45 | 0,7 | 7,2 | 0,38 |
| Tramo 8 | 10 | 4 | 5,3 | 0,37 | 22 | 0,62 | 0,9 | 7 | 0,53 |
| Tramo 9 | 9 | 4 | 5 | 0,4 | 22 | 0,75 | 1 | 7 | 0,6 |
| Tramo 10 | 7 | 3,5 | 5,1 | 0,45 | 21 | 0,63 | 1,2 | 6,8 | 0,75 |
| Tramo 11 | 7 | 2,3 | 5,6 | 0,52 | 20 | 0,6 | 1,3 | 6,6 | 0,78 |
| Tramo 12 | 6 | 2 | 5,8 | 0,65 | 20 | 0,58 | 1,3 | 7 | 0,65 |
| Tramo 13 | 4 | 1,6 | 6 | 0,6 | 22 | 0,55 | 1,5 | 7 | 0,9 |
| Tramo 14 | 5 | 2 | 6,7 | 0,54 | 20 | 0,52 | 1,1 | 7 | 0,56 |
| Tramo 15 | 7 | 2,8 | 7,5 | 0,38 | 19 | 0,5 | 1 | 7,2 | 0,62 |
| Tramo 16 | 6 | 3,4 | 7 | 0,5 | 21 | 0,5 | 1 | 7,4 | 0,5 |
| Tramo 17 | 6 | 3 | 6,3 | 0,6 | 21 | 0,47 | 1,3 | 7,5 | 0,7 |
| Tramo 18 | 4 | 2,1 | 6,2 | 0,6 | 23 | 0,43 | 1,4 | 7,5 | 0,8 |
| Tramo 19 | 6 | 2 | 6 | 0,65 | 23 | 0,4 | 1,2 | 7,6 | 0,55 |
| Tramo 20 | 7 | 1,8 | 5,7 | 0,65 | 23 | 0,46 | 1,2 | 7,8 | 0,55 |
| Tramo 21 | 11 | 1,9 | 5,8 | 0,68 | 24 | 0,52 | 1,1 | 8 | 0,42 |
| Tramo 22 | 20 | 2,5 | 6 | 0,7 | 24 | 0,55 | 1 | 8 | 0,3 |
| Tramo 23 | 14,5 | 2,3 | 5,8 | 0,63 | 26 | 0,6 | 1,2 | 8,5 | 0,57 |
| Tramo 24 | 15 | 2,4 | 5,5 | 0,58 | 27 | 0,61 | 1,4 | 8,8 | 0,82 |
| Tramo 25 | 15 | 2,7 | 5,3 | 0,52 | 29 | 0,65 | 1,4 | 8,8 | 0,88 |
| Tramo 26 | 15,3 | 3 | 5,9 | 0,48 | 30 | 0,65 | 1,6 | 9 | 1,12 |
| Tramo 27 | 14 | 3 | 6,3 | 0,45 | 26 | 0,7 | 1,7 | 8,7 | 1,25 |
| Tramo 28 | 13,2 | 3,5 | 6,4 | 0,45 | 25 | 0,7 | 1,9 | 8,4 | 1,45 |
| Tramo 29 | 13 | 3 | 7 | 0,4 | 22 | 0,72 | 2 | 8,2 | 1,6 |
| Tramo 30 | 12,7 | 2,7 | 7,5 | 0,3 | 22 | 0,73 | 2 | 8 | 1,7 |
| Tramo 31 | 13,5 | 2,5 | 8,1 | 0,32 | 25 | 0,78 | 2 | 8 | 1,68 |
| Tramo 32 | 13 | 2,2 | 8,3 | 0,46 | 26 | 0,8 | 2,1 | 7,7 | 1,64 |
| Tramo 33 | 13,3 | 2 | 8,9 | 0,51 | 22 | 0,8 | 2,1 | 7,5 | 1,59 |
| Tramo 34 | 13,6 | 2,3 | 10 | 0,54 | 20 | 0,82 | 2,4 | 7,7 | 1,86 |
| Tramo 35 | 14 | 2,4 | 10,3 | 0,7 | 20 | 0,85 | 2,4 | 7,9 | 1,7 |
| Tramo 36 | 14,2 | 2,7 | 11 | 0,75 | 16 | 0,9 | 2,3 | 7,9 | 1,55 |
| Tramo 37 | 14,7 | 3 | 12 | 0,8 | 15 | 0,92 | 2,2 | 8 | 1,4 |
| Tramo 38 | 15 | 3,5 | 13 | 0,87 | 14,5 | 0,85 | 2,3 | 8,3 | 1,43 |
| Tramo 39 | 14,5 | 3 | 12,5 | 0,82 | 14 | 0,8 | 2,1 | 8,1 | 1,28 |

Tabla 6. Datos-CHJ de inicio para la simulación

4. Desarrollo del modelo de simulación

- * **Tramo 1:** JUJ627 Zona recreativa de Polinyà de Xúquer.
- * **Tramo 9:** JUJ624 Azud de Sueca.
- * **Tramo 13:** JUJ626 Coto de Riola.
- * **Tramo 19:** JUJ609 Azud de Cullera.
- * **Tramo 22:** JUJ625 Coto de Fortaleny.
- * **Tramo 38:** JUJ601 Azud de la Marquesa.

Las unidades de medida que el simulador de WASP simula son las expresadas en la tabla, por lo que para el parámetro DBO, se ha tenido que adecuar las expresiones con el fin de estandarizar dichas unidades. La red de control de calidad de la CHJ realiza mediciones de la materia orgánica mediante la DBO5 o demanda biológica de oxígeno carbonosa para un periodo definido de 5 días mediante la expresión:

$$DBO_5 = DBO_L(1 - e^{-k'_1 t})$$

donde:

DBO₅: demanda biológica de oxígeno carbonosa para el tiempo de 5 días. (mgO₂/L).

DBO_L: demanda biológica de oxígeno carbonosa límite (materia orgánica carbonosa total en el instante inicial) (mgO₂/L).

K'₁: constante de velocidad de degradación de la materia orgánica o de desoxigenación (s⁻¹).

t: tiempo (s).

Además, para una mayor estandarización con los datos de salida WASP y así una mayor facilidad de introducción de éstos en el programa, se han calculado también los valores de inicio de los parámetros Nitrógeno Orgánico.

4.3.1.2. Condiciones de contorno (boundaries).

WASP necesita que los parámetros de contorno (boundaries) sean especificados para cada uno de los segmentos definidos en el modelo. Además tienen que especificar por donde se originarán las entradas o salidas de intercambio de flujo (caudales y parámetros) entre el sistema río y los subsistemas e incluso los vertidos de aguas que se manifiestan durante el recorrido. Todos éstos deben ser introducidos en el modelo con el fin de que WASP realice una simulación lo más cercana posible a la situación real.

Por ello y conforme se había detallado en la tabla del apartado 3.3.4, se han definido las diferentes entradas (E) y salidas (S) del tramo de estudio. Para una mayor aclaración se vuelve a incluir dicha tabla. (Tabla 7).

4. Desarrollo del modelo de simulación

| Tramo | Símbolo | Entradas | Salidas |
|--|------------------|--------------------------|--------------------------|
| Tramo 1: Zona recreativa Polinyà - Azud Sueca | S1 | | Braçal Racó Nou |
| | S2 | | Acequia Campanar |
| | S3 | | Acequia Major de Sueca |
| | | | Acequia Nova |
| | | Acequia Muzquiz | |
| | S4 | | Braçal Racó Vell |
| | S5 | | Acequia Presa Major |
| | | | Acequia Presa Canal |
| | | Acequia Presa Angla | |
| Tramo 2: Azud Sueca - Coto de Fortaleny | E1 | Acequia del Angla | |
| | E2 | Acequia Racó de Riola | |
| | S6 | | Acequia de Liber |
| | E3 | Acequia de Muzquiz | |
| | E4 | Acequia de Liber | |
| | S7 | | Acequia Major de Cullera |
| | S8 | | Acequia de Cullera |
| Tramo 3: Coto de Fortaleny - Azud de la Marquesa | E5 | Acequia Major de Cullera | |
| | | Acequia del Rei | |
| | E6 | Acequia Raconada | |
| | E7 | Braçal de Galdufa | |
| | S9 | | Acequia Molins |
| E8 | Acequia Raconada | | |

Tabla 7. Tabla-resumen de entradas y salidas durante el tramo de estudio

Como se puede observar algunos de los subsistemas se han agrupado en una misma entrada o en una misma salida, como por ejemplo en E5 o S3, ya que se incluyen en un mismo número de tramo, facilitando la construcción del esquema de contorno y la posterior entrada de datos en el programa.

Finalmente para terminar de definir las condiciones de contorno del modelo, se tiene que describir los valores en cada entrada o salida de flujo del sistema, ya sea de parámetros o caudales, en cada segmento donde se encuentren éstas. Sin embargo, debido a la no disponibilidad de datos ni de parámetros ni de caudales en los subsistemas mencionados anteriormente en la tabla 7, se ha optado por realizar la simulación sin datos de los parámetros de calidad de estos subsistemas, admitiendo que la variación que puedan aportar en el tramo recorrido no es significativo respecto a los datos obtenidos en las estaciones de medida del sistema general del río.

En cuanto a los valores de caudal de las diferentes entradas y salidas del recorrido de estudio y siendo el valor de éstos sí significativo en la posterior obtención de resultados de simulación, se ha elaborado un desglose de caudales, a partir de los datos que se posee en el sistema-río, con la finalidad de poder obtener caudales de entrada y salida de todas las derivaciones que se presentan en el recorrido. Este desglose de caudales se basa en el principio

4. Desarrollo del modelo de simulación

del balance de masas (Entradas = Salidas) y se determina a partir de un diagrama de flujo de los tramos interconectados existentes en el sistema. (Anexo 08).

4.3.1.3. Vertidos

Otro de los aspectos necesarios a tener en cuenta en la simulación y que también forma parte del diagrama de flujos, son los vertidos de aguas contaminadas o tratadas mediante sistemas de depuración. Todos estos valores, ya sean de caudal como de parámetros de calidad, también deben ser introducidos en el modelo por su valor significativo a la hora de generar resultados de simulación y con el fin de que WASP realice una simulación lo más cercana posible a la situación real.

Para una mayor estandarización de resultados con los datos-CHJ y una mayor facilidad de introducción de datos en el programa, se han realizado varias modificaciones y cálculos. A continuación se muestra una tabla con los datos de caudal y parámetros a simular.

| FECHA | Volumen (m ³ /día) | SS E (mg/L) | SS S (mg/L) | DBO E (mg/L) | DBO S (mg/L) | DQO E (mg/L) | DQO S (mg/L) | N total (mg/L) | Nitratos (mg/L) | Norgánic (mg/L) |
|--------|-------------------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|
| ene-05 | 1332,194 | 209 | 13 | 256 | 21 | 447 | 55 | 19,420 | 3,884 | 1,942 |
| feb-05 | 1578,536 | 137 | 17 | 261 | 33 | 447 | 81 | 15,270 | 3,054 | 1,527 |
| mar-05 | 1225,645 | 299 | 6 | 342 | 16 | 600 | 60 | 18,540 | 3,708 | 1,854 |
| abr-05 | 1857,133 | 393 | 13 | 360 | 10 | 834 | 48 | 7,250 | 1,450 | 0,725 |
| may-05 | 1507,323 | 247 | 8 | 228 | 18 | 489 | 57 | 12,440 | 2,488 | 1,244 |
| jun-05 | 1633,500 | 208 | 5 | 430 | 19 | 661 | 35 | 9,900 | 1,980 | 0,990 |
| jul-05 | 1640,742 | 211 | 14 | 309 | 27 | 554 | 58 | 10,640 | 2,128 | 1,064 |
| ago-05 | 1747,742 | 774 | 10 | 355 | 6 | 882 | 31 | 11,960 | 2,392 | 1,196 |
| sep-05 | 1510,267 | 2170 | 14 | 1100 | 20 | 2990 | 35 | 8,900 | 1,780 | 0,890 |
| oct-05 | 1357,323 | 212 | 17 | 90 | 8 | 445 | 61 | 9,600 | 1,920 | 0,960 |
| nov-05 | 1856,467 | 812 | 17 | 700 | 5 | 1205 | 30 | 15,600 | 3,120 | 1,560 |
| dic-05 | 1612,032 | 238 | 18 | 120 | 15 | 430 | 54 | 16,300 | 3,260 | 1,630 |
| ene-06 | 1742,839 | 142 | 44 | 110 | 13 | 320 | 49 | 20,000 | 4,000 | 2,000 |
| feb-06 | 1375,286 | 294 | 21 | 220 | 12 | 670 | 66 | 25,300 | 5,060 | 2,530 |
| mar-06 | 1527,742 | 602 | 16 | 300 | 5 | 758 | 50 | 24,100 | 4,820 | 2,410 |
| abr-06 | 1822,733 | 204 | 20 | 170 | 15 | 537 | 60 | 20,000 | 4,000 | 2,000 |
| may-06 | 1989,516 | 76 | 17 | 70 | 17 | 194 | 33 | 25,000 | 5,000 | 2,500 |
| jun-06 | 1527,333 | 656 | 31 | 220 | 19 | 512 | 68 | 29,100 | 5,820 | 2,910 |
| jul-06 | 1649,645 | 138 | 7 | 135 | 9 | 256 | 40 | 10,400 | 2,080 | 1,040 |
| ago-06 | 1225,839 | 462 | 5 | 240 | 5 | 694 | 28 | 60,400 | 12,080 | 6,040 |
| sep-06 | 1432,233 | 114 | 9 | 65 | 6 | 170 | 27 | 11,200 | 2,240 | 1,120 |

4. Desarrollo del modelo de simulación

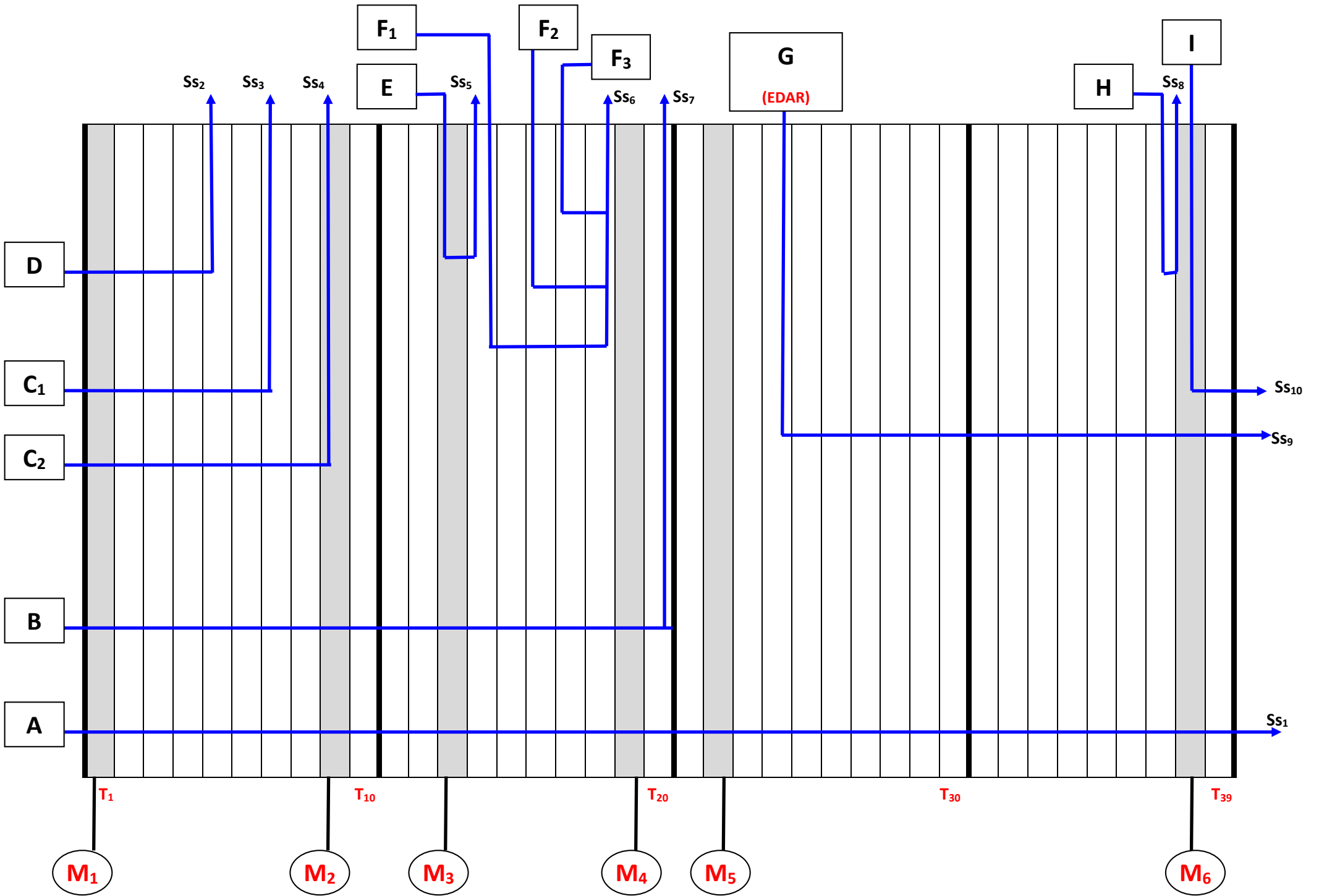
| FECHA | Volumen (m ³ /día) | SS E (mg/L) | SS S (mg/L) | DBO E (mg/L) | DBO S (mg/L) | DQO E (mg/L) | DQO S (mg/L) | N total (mg/L) | Nitratos (mg/L) | Norgánic (mg/L) |
|--------|-------------------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|
| oct-06 | 1212,323 | 82 | 14 | 130 | 5 | 218 | 32 | 9,400 | 1,880 | 0,940 |
| nov-06 | 1941,700 | 336 | 8 | 130 | 5 | 428 | 29 | 5,000 | 1,000 | 0,500 |
| dic-06 | 1324,839 | 410 | 12 | 200 | 9 | 666 | 46 | 11,300 | 2,260 | 1,130 |
| ene-07 | 1383,516 | 350 | 12 | 450 | 14 | 894 | 53 | 17,000 | 3,400 | 1,700 |
| feb-07 | 1375,533 | 102 | 10 | 95 | 7 | 262 | 37 | 24,000 | 4,800 | 2,400 |
| mar-07 | 1604,581 | 766 | 29 | 650 | 5 | 1476 | 65 | 17,000 | 3,400 | 1,700 |
| abr-07 | 1441,067 | 126 | 8 | 90 | 5 | 249 | 31 | 18,000 | 3,600 | 1,800 |
| may-07 | 1691,903 | 188 | 8 | 160 | 5 | 325 | 30 | 11,000 | 2,200 | 1,100 |
| jun-07 | 1726,100 | 174 | 9 | 90 | 5 | 344 | 47 | 7,300 | 1,460 | 0,730 |
| jul-07 | 1608,742 | 344 | 10 | 70 | 5 | 522 | 37 | 12,000 | 2,400 | 1,200 |
| ago-07 | 1371,806 | 637 | 8 | 150 | 5 | 785 | 20 | 16,000 | 3,200 | 1,600 |
| sep-07 | 1537,700 | 338 | 12 | 180 | 12 | 421 | 46 | 7,700 | 1,540 | 0,770 |
| oct-07 | 2475,613 | 268 | 14 | 130 | 5 | 410 | 21 | 2,000 | 0,400 | 0,200 |
| nov-07 | 2000,267 | 295 | 16 | 130 | 8 | 382 | 53 | 9,500 | 1,900 | 0,950 |
| dic-07 | 1586,516 | 155 | 8 | 110 | 5 | 390 | 37 | 8,300 | 1,660 | 0,830 |
| ene-08 | 1468,710 | 160 | 20 | 65 | 6 | 288 | 52 | 14,000 | 2,800 | 1,400 |
| feb-08 | 1513,833 | 84 | 19 | 65 | 17 | 151 | 54 | 13,000 | 2,600 | 1,300 |
| mar-08 | 1359,742 | 336 | 12 | 260 | 9 | 625 | 48 | 26,000 | 5,200 | 2,600 |
| abr-08 | 1408,467 | 190 | 10 | 300 | 7 | 626 | 45 | 32,000 | 6,400 | 3,200 |
| may-08 | 1244,000 | 300 | 34 | 190 | 28 | 473 | 84 | 20,000 | 4,000 | 2,000 |

Tabla 8. Datos-Epsar de inicio para la simulación



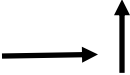
4.3.2. Diagrama de flujo.

Cualquier modelo ha de tener un balance de entradas y salidas a lo largo del sistema de estudio que determinará el flujo de agua y parámetros que circula a través de sus diferentes tramos interconectados. Estos valores se determinan a partir de un diagrama de flujo donde se define el sentido y dirección que toman los flujos a lo largo del sistema, en que tramos entran y salen de éste y la evolución de caudal y parámetros durante todo el recorrido de estudio.

A continuación se muestra un croquis del diagrama de flujos elaborado para este estudio donde se puede apreciar la segmentación de tramos (Ti), ubicación de cada una de las estaciones de medida (Mi), ubicación de la EDAR donde se produce el vertido y finalmente las diferentes entradas (A, B, C, etc.) y salidas de flujo (Ssi) de las que se compuesto el modelo.



Simbología:

| | |
|---|--------------------------------------|
|  | Estación de medida y control |
|  | Entrada de flujo al río |
| SS_i | Salida de flujo del río |
| T_i | Número de tramo de río |
|  | Dirección y sentido de flujo de agua |

M_1 : Estación de control y medida Zona Recreativa de Polinyà de Xúquer

M_2 : Estación de control y medida Azud de Sueca

M_3 : Estación de control y medida Coto de Pesca de Riola

M_4 : Estación de control y medida Azud de Cullera

M_5 : Estación de control y medida Coto de Pesca de Fortaleny

M_6 : Estación de control y medida Azud de la Marquesa

4. Desarrollo del modelo de simulación

Como se puede apreciar en la anterior figura 62, el diagrama de flujo se ha dividido en un total de 12 entradas de simulación (A, B, C_i, D, F_i, G, H, I) y 10 salidas de simulación (S_s) donde:

$$\begin{aligned} A &= Ss_1 \\ B &= Ss_7 \\ C_1 &= Ss_3 \\ C_2 &= Ss_4 \\ D &= Ss_2 \\ E &= Ss_5 \\ F_1; F_2; F_3 &= Ss_6 \\ G &= Ss_9 \\ H &= Ss_8 \\ I &= Ss_{10} \end{aligned}$$

4.3.3. Velocidad y calado

Para poder simular correctamente el sistema fluvial es necesario una buena descripción de las características hidráulicas de la cuenca. Las variables de velocidad y calado se obtienen a partir de datos medidos in situ durante las diferentes estaciones de medida y aplicando su correspondiente fórmula. Para la determinación de la velocidad:

$$U = a \cdot Q^b$$

donde:

U: velocidad media de la corriente (m/s).

Q: caudal (m³/s).

Para el coeficiente b se ha asigna un valor único para las celdas, mientras que el coeficiente a se determina en base a los valores experimentales físicos de cada celda.

Para la determinación del calado:

$$H = c \cdot Q^d$$

donde:

H: profundidad (m).

Q: caudal (m³/s).

Sin embargo, debido a la no disponibilidad de datos in situ de las variables velocidad y calado, se ha optado por adaptar éstos al conjunto del modelo y así poder continuar con la simulación. De ahí que para la variable velocidad se ha optado e introducido en WASP como un valor constante en toda la simulación, asumiendo también sus posibles consecuencias a la hora de los resultados. Asimismo, para la variable calado, se ha optado por la estimación de datos a partir de la información adquirida mediante administraciones, asociaciones locales y personal entendido natural de la zona, llegando a la conclusión que el recorrido de estudio tiene un calado entre 4-5 m de profundidad en sus puntos más representativos (estaciones de medida).

4.3.4. Temperatura

La temperatura es una de las variables externas más importantes, ya que participa en la mayoría de los procesos. La variación de la temperatura del agua del sistema es fundamental para parámetros como la cantidad de materia orgánica y oxígeno disuelto en el sistema o en la evolución de las reacciones implicadas en el sistema global. Conforme se ha mencionado en el apartado 4.2.2 y 4.2.3., el modo más habitual de representar la temperatura en este tipo de procesos es mediante la fórmula de Arrhenius-van't Hoff:

$$k(T) = k(20^{\circ}\text{C}) \theta^{(T-20)}$$

En cuanto a los valores disponibles en el estudio, se obtienen a partir de los valores mensuales existentes de la estación de medida JUJ601 (Anexo 06), siendo ésta la única estación de la que se poseen datos, aunque siendo la más representativa de cara a la obtención y conclusión de resultados, pues es donde se encuentran las aguas CHJ y Epsar ya mezcladas.

Sin embargo, la no disponibilidad del valor para todos los meses de simulación, se ha optado por estimar los valores de los meses que no se poseen datos. Dicha estimación se ha

4. Desarrollo del modelo de simulación

basado en una sencilla interpolación a partir de los datos disponibles de meses anteriores y/o posteriores y además con posibles valores a partir del criterio de experto según va variando este parámetro en su ciclo anual. A continuación se muestra un gráfico con la variación anual de la temperatura del agua para el intervalo de estudio.

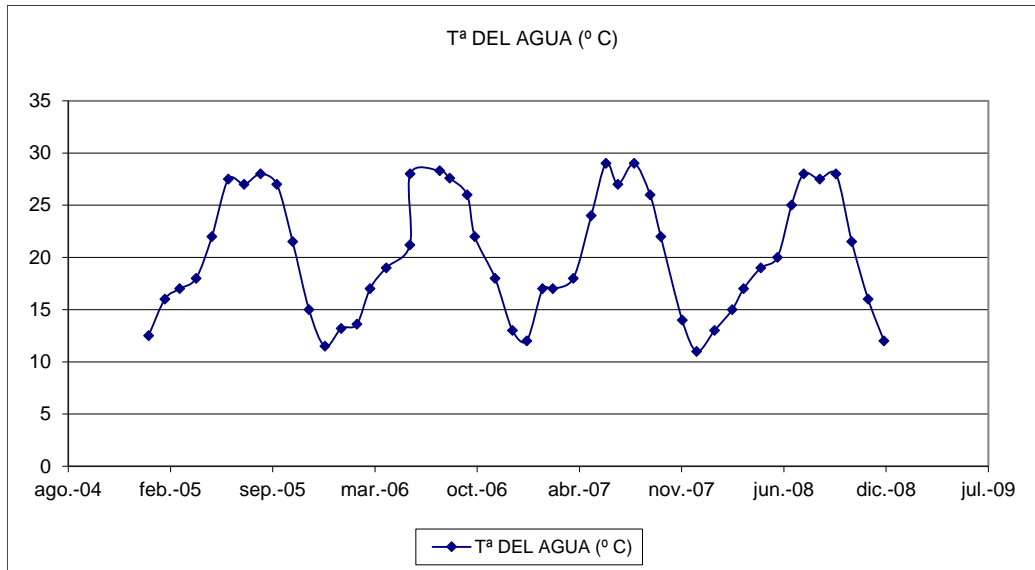


Figura 63. Gráfico de datos disponibles de temperatura del agua

Para una mayor facilidad de introducción de datos y cálculo de éstos, se ha considerado que la temperatura del agua se mantiene homogénea en todos sus tramos, simulando el programa una única función en todo el sistema.

4.4. Calibración y validación de los datos

El proceso de calibración de un modelo de calidad de aguas consiste en adecuar y ajustar lo máximo posible a la realidad, los valores de las constantes que lo forman a partir de los datos disponibles. Este proceso es uno de los puntos más importantes de toda la modelación, ya que de él depende la fiabilidad y utilidad del modelo. La metodología de calibración más utilizada en los modelos se basa en ajustar los valores de las constantes relativas mediante simulaciones sucesivas, hasta hallar un conjunto de valores de ajuste razonable.

Los valores de partida para cada una de las constantes y coeficientes necesarios para la calibración se establecen en base a los intervalos típicos citados en la bibliografía. En el caso donde no haya un valor concreto y si un intervalo se ha optado por realizar varias simulaciones de acoplamiento, escogiéndose finalmente un valor cercano a la media de dicho intervalo. A continuación se muestra una tabla con las distintas constantes y coeficientes introducidos en el programa de simulación.

| Constantes y coeficientes | Descripción | Valores |
|---------------------------|--|-----------|
| k'_1 | constante de degradación de la materia orgánica (día-1) | 0,1-0,7 |
| Θ_{oxi} | coeficiente de corrección de la temperatura para la degradación de la MO | 1,047 |
| k_{MO} | constante semisaturación para la limitación del O_2 en degradación de la MO(mg O_2 /L) | 0,5 |
| k'_2 | constante de velocidad de reaeración (día-1) | 0,1-2 |
| Θ_{rea} | coeficiente de corrección de la temperatura para la reaeración | 1,028 |
| k_{nitri} | constante de nitrificación del amonio (día-1) | 0,09-0.13 |
| Θ_{nitri} | factor de corrección de temperatura para la nitrificación del amonio | 1.08 |
| k_{NIT} | constante de semisaturación para la limitación del O_2 a la nitrificación (mg O_2 /L) | 2,0 |
| k_{dnit} | constante de desnitrificación (día-1) | 0,09 |
| Θ_{dnit} | factor de corrección de temperatura para la desnitrificación | 1,04 |
| k_{NO_3} | constante de Michaelis para la desnitrificación (mg O_2 /L) | 0,1 |

Tabla 9. Tabla-resumen de constantes y coeficientes del modelo

Una vez calibradas las constantes y coeficientes que intervienen en el modelo, se realiza la calibración de los caudales. Conforme se ha mencionado en apartados anteriores los modelos se basan en balances de materia, de ahí que el flujo de entrada debe ser igual al flujo de salida durante todo el recorrido de estudio. Para la calibración de caudales se ha establecido, mediante varios procedimientos y cálculos, un desglose de éstos mediante el diagrama de flujos antes descrito en el apartado 4.3.2, con el fin de que las entradas, ya sea mediante acequias o por el propio río (tramo de inicio), sean iguales a las salidas de flujo del propio río (tramo final).

4. Desarrollo del modelo de simulación

Después de varios intentos y fases de acoplamiento, en los siguientes gráficos se puede apreciar la coincidencia entre las dos series de datos. (Figura 64 y más ampliamente en Anexo 08).

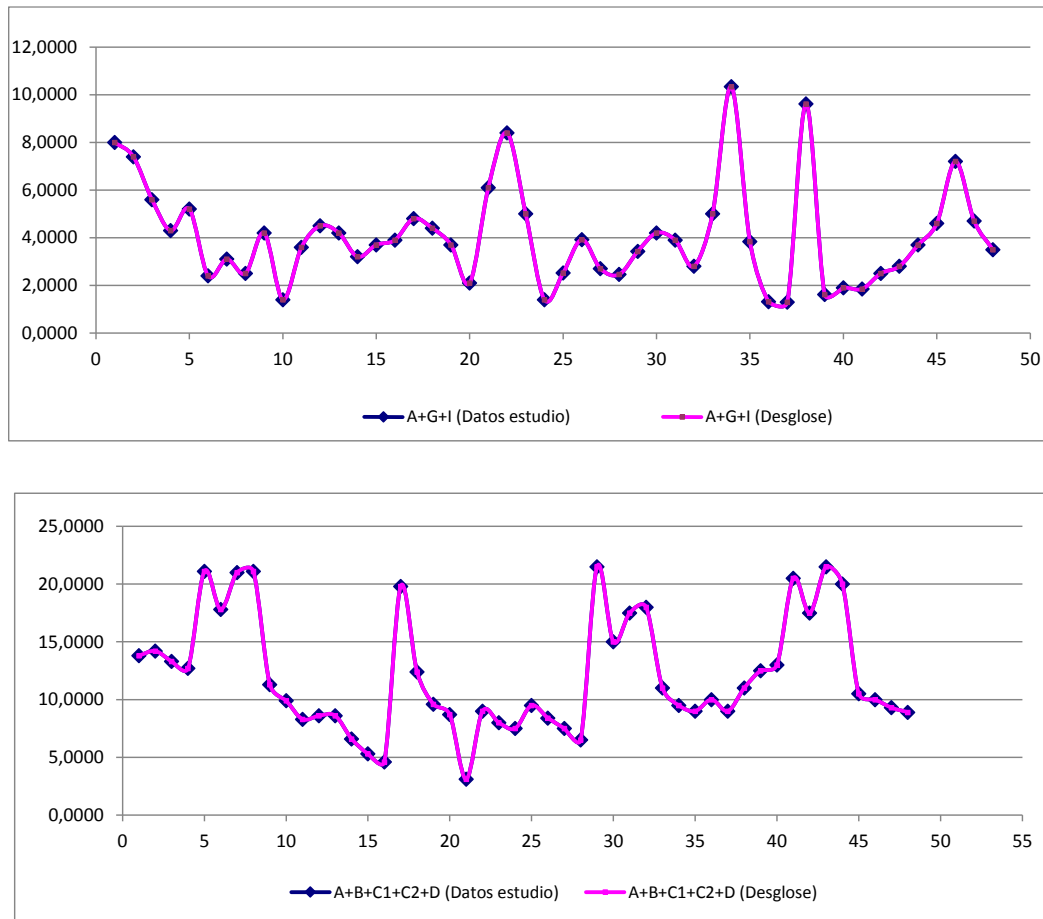


Figura 64. Gráfico de comparación de datos disponibles y datos desglose

Una vez realizados los ajustes necesarios en datos y variables, se realiza la ejecución de una simulación de calibración del modelo a partir del procesador de WASP con el fin de poder comparar los datos de salida WASP simulados con los datos disponibles de cada tramo y así poder validar el modelo. La información de salida podrá verse a través de un post-procesado mediante los diferentes archivos que el programa informático genera.

Finalmente y para terminar de completar el procedimiento de la simulación de datos se realiza las distintas simulaciones a partir de las hipótesis propuestos con el fin de poder comparar resultados y extraer las conclusiones oportunas. La simulación se basa en manifestar el comportamiento de cada uno de los componentes que conforman en el sistema observado experimentalmente con el objetivo final de dar una idea de la realidad para un periodo de tiempo. De ahí que, cuanto más precisos sean los resultados, mayor será la confianza que proporcione el modelo. En el siguiente apartado se describen las diferentes hipótesis planteadas en el estudio.

4.5. Simulación de los datos

Con el fin de poder ratificar mejor los resultados más desfavorables para el medio se ha optado por realizar varias simulaciones. (Ver Anexo 10)

Simulación 1. Simulación de las aguas del río sin aporte de aguas residuales. Se han simulado sólo los datos-CHJ. Situación - **desfavorable** para el medio. (Ver figura 65).

$$Q_{TOTAL} = Q_{RÍO}$$

Simulación 2. Simulación conjunta de las aguas del río con aporte incompleto de las aguas residuales. El volumen de aguas residuales derivado directamente a las aguas del río es parcial. En esta simulación las aguas residuales pasan por el tratamiento de la EDAR hasta llegar a su máxima capacidad. El exceso de flujo es derivado al medio. Situación desfavorable intermedia para el medio. (Ver figura 65).

$$Q_{TOTAL} = Q_{AR} + Q_{RÍO} = (Q_{AR''} + Q_{AR'}) + Q_{RÍO}$$

$$Q_{AR} = Q_{AR''} + Q_{AR'}$$

Simulación 3. Simulación conjunta de las aguas del río con aporte completo de las aguas residuales. El volumen de aguas residuales se deriva totalmente a las aguas del río. En esta simulación las aguas residuales no pasan por el tratamiento de la EDAR. Situación + **desfavorable** para el medio. (Ver figura 65).

$$Q_{TOTAL} = Q_{AR} + Q_{RÍO} = Q_{AR''} + Q_{RÍO}$$

$$Q_{AR} = Q_{AR''}$$

Q_{TOTAL} = Flujo final o definitivo (Caudal y parámetros de calidad)

$Q_{RÍO}$ = Flujo procedente del río (Caudal y parámetros de calidad)

Q_{AR} = Flujo procedente de las aguas residuales (Caudal y parámetros de calidad)

$Q_{AR'}$ = Flujo procedente de la E.D.A.R. (Caudal y parámetros de calidad)

$Q_{AR''}$ = Flujo procedente de las aguas residuales no tratadas (Caudal y parámetros de calidad)

4. Desarrollo del modelo de simulación

Para una mayor aclaración visual se muestra a continuación un croquis descriptivo:

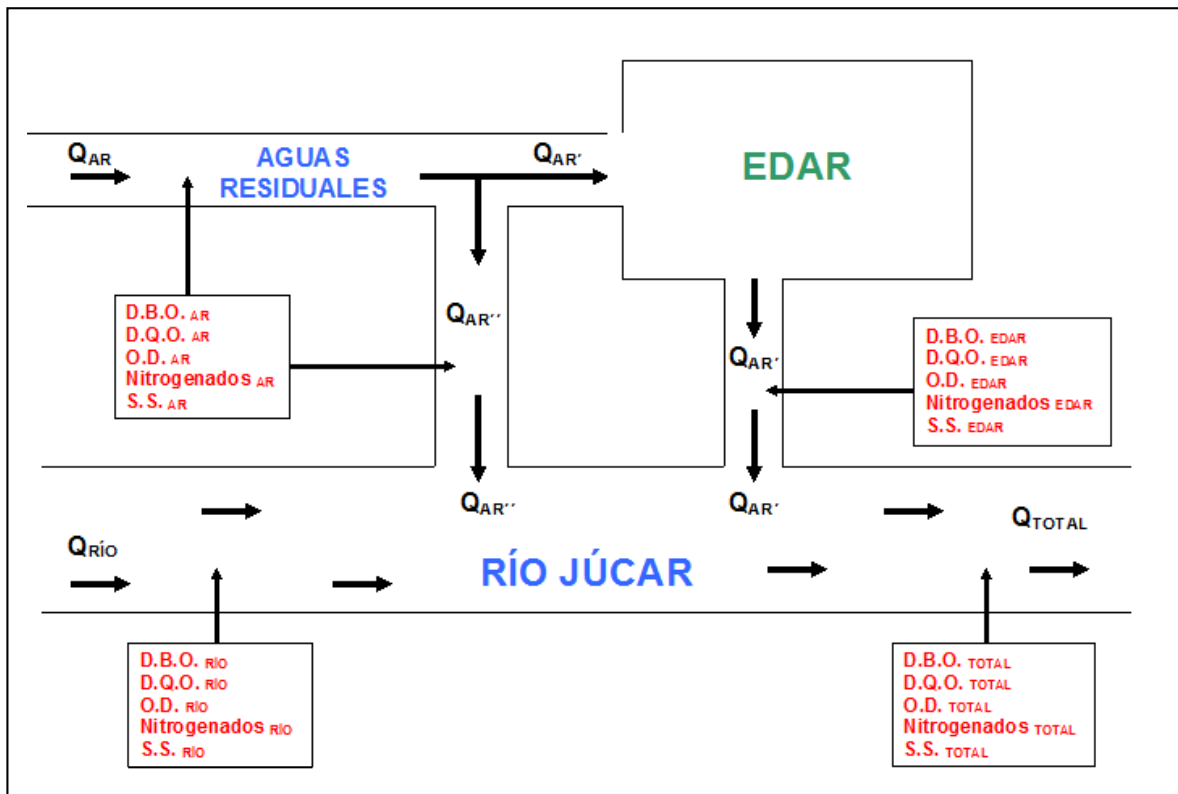


Figura 65. Esquema de hipótesis de tratamiento de caudales.

Una vez realizadas las tres simulaciones con el fin de poder comparar los resultados de los datos disponibles con los datos simulados, se ha ratificado que las hipótesis 1 y 3 son las que más diferencias proporcionan entre ellas, siendo así las que podrían generar más variación en el medio, más posibles impactos y posteriormente más efectos sobre éste. Aunque se ha visto que en la hipótesis 2, siendo ésta la oportuna para analizar y sacar conclusiones debido a los episodios de exceso de flujo tratado, la condición de la hipótesis 3 de ser más desfavorable para el medio, hace escoger ésta para poder comparar los resultados respecto a la hipótesis 1 y así poder analizar mejor los resultados y sacar conclusiones sobre los posibles impactos y posteriores efectos al medio.

5. RESULTADOS.

En este apartado se va a realizar la comparación de resultados obtenidos en la simulación WASP para las diferentes hipótesis planteadas. Después de un primer análisis y con el fin de poder comparar e interpretar los resultados, se ha optado por comparar la HIPOTESIS 1 (- desfavorable) con la HIPOTESIS 3 (+ desfavorable), aunque asumiendo que la comparación idónea para el objetivo del estudio hubiera sido la comparación de resultados entre la HIPOTESIS 1 y HIPOTESIS 2. (Ver apartado 4.5 y Anexo 10)

5.1. Interpretación de los datos.

1. Caudal

En el gráfico siguiente se aprecian los diferentes caudales que de una manera o de otra conforman el modelo de simulación.

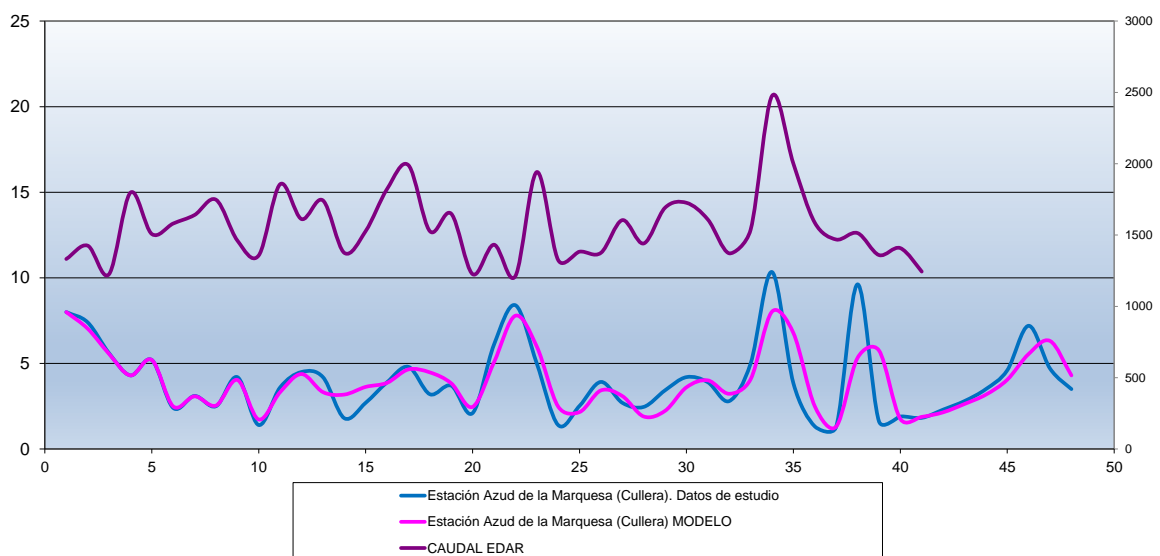


Figura 66. Gráfico-comparación de caudales disponibles y simulados.

. La primera línea de evolución (MORADA) que se observa es la que aporta el caudal-Epsar, caudal que llega a la estación depuradora de las aguas residuales urbanas y que se vierte a las aguas del río antes de llegar a la estación de medida JUJ601, Azud de la Marquesa. Esta línea abarca desde Enero-2005 (mes 1) hasta Mayo-2008 (mes 41). Durante esta evolución se puede ver que dependiendo del mes hay un mayor o menor aporte de caudal, siendo bastante cambiante durante su ciclo anual. Por último se puede observar que los valores medios de m³ diarios están comprendidos entre 1200 y 2500 aproximadamente.

La segunda línea de evolución (AZUL) que se observa, es la que aporta el caudal-CHJ mediante los datos disponibles, antes de realizar la simulación del modelo, a la altura de la estación de medida JUJ601, Azud de la Marquesa. Esta línea comprende desde Enero-2005 (mes 1) hasta Diciembre-2008 (mes 48). Como se puede observar existen algunas variaciones de aumentos y descensos de caudal durante todo el periodo, siendo éstas más pronunciadas durante los últimos meses del ciclo anual y principios del siguiente, factor que posibilita mejor la disolución y dispersión de parámetros contaminantes en el medio.

La tercera línea de evolución (ROSA) que se observa, es la que aporta el caudal-CHJ mediante los datos del modelo simulados en WASP a la altura de la estación de medida JUJ601, Azud de la Marquesa. Esta línea también va desde Enero-2005 (mes 1) hasta Diciembre-2008 (mes 48). Como se puede apreciar también existen crecidas y descensos de caudal durante todo el periodo, siendo más acentuadas en los meses de invierno, facilitando también mejor la disolución y dispersión en el medio.

Finalmente, lo que se puede deducir mediante la comparación de las tres líneas de evolución, es que la línea caudal-CHJ datos disponibles y la línea caudal-CHJ datos simulados siguen una evolución similar en cuanto crecidas y descensos de caudal durante la mayoría de los meses. Esto nos da una idea que la introducción de datos en el modelo y posterior simulación de éstos se acerca a los datos reales disponibles. Aunque cabe destacar que en algunos meses del periodo, los valores de caudal real tienen un valor mayor que los mismos meses en los valores simulados. Esta diferencia puede ser debida al ajuste y al suavizado que el programa de simulación realiza debido al valor de las constantes que intervienen en los procesos de cada parámetro.

2. D.B.O.

En el gráfico siguiente se muestran los datos del parámetro D.B.O. (mg/L) después de la simulación de las dos hipótesis (HIPOTESIS 1; HIPOTESIS 3) planteadas en la estación de medida JUJ601, Azud de la Marquesa. Se ha optado en este parámetro por comparar sólo los valores de esta estación, ya que es en la única donde llegan los datos-CHJ y datos-Epsar mezclados, siendo significativos a la hora de intuir posibles impactos al medio con sus posteriores efectos.

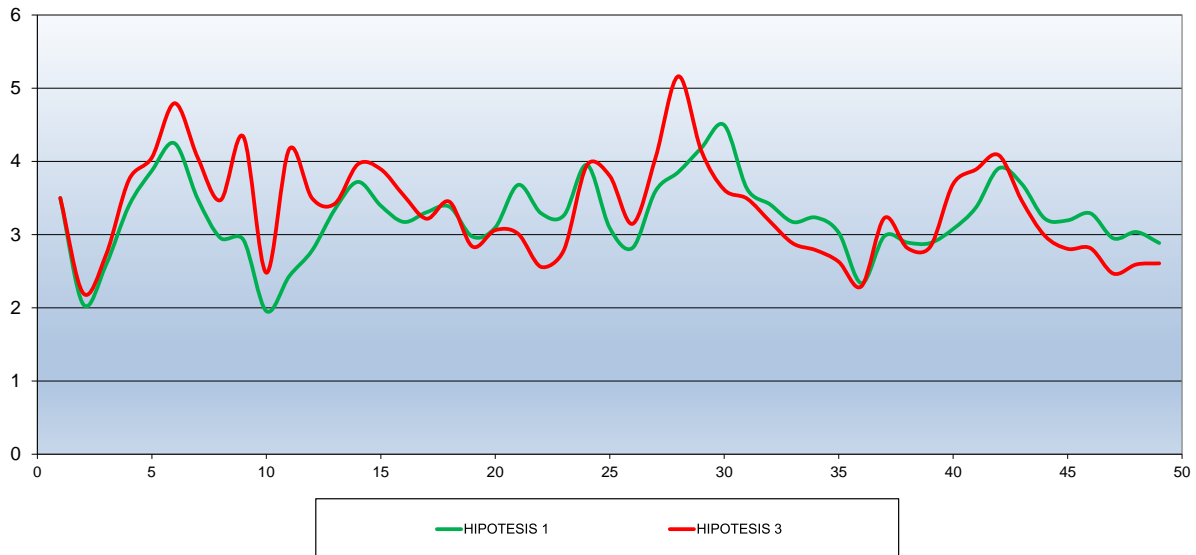


Figura 67. Gráfico-comparación de datos de D.B.O. disponibles y simulados.

La primera línea de evolución (VERDE) que se observa es la que aporta los valores de D.B.O.-HIPOTESIS 1 en la estación JUJ601, Azud de la Marquesa. Esta línea abarca desde Enero-2005 (mes 1) hasta Dic-2008 (mes 48). Durante esta evolución se puede ver que, dependiendo del mes, existe una fluctuación de crecidas y descensos del valor de la sustancia en el medio durante su ciclo anual, destacando una variación positiva más acentuada durante los meses coincidentes con las estaciones de primavera principios de verano, con su posterior descenso progresivo durante los meses coincidentes con las estaciones de otoño principios de invierno.

La segunda línea de evolución (ROJA) que se observa es la que aporta los valores de los D.B.O.- HIPOTESIS 3 en la estación JUJ601, Azud de la Marquesa. Esta línea comprende desde Enero-2005 (mes 1) hasta Dic-2008 (mes 48). Durante esta evolución se puede ver que, dependiendo del mes, hay una oscilación de aumento y descenso del valor del parámetro durante su ciclo anual, destacando valores máximos en los meses correspondientes a finales de primavera principios de verano.

En cuanto a la comparación de las dos líneas de evolución se puede deducir que, la línea D.B.O.-HIPOTESIS 1 y la línea D.B.O.-HIPOTESIS 3 siguen una evolución similar en cuanto a crecidas y descensos durante la mayoría de meses, quitando que el intervalo de crecida y bajada de los valores D.B.O.-HIPOTESIS 3 siguen un periodo más corto y más inestable. Finalmente se puede observar, que la diferencia más significativa en estas dos líneas de evolución, es que en algunos de los meses de la HIPOTESIS 3, los valores son mayores que los registrados en los mismos meses en la HIPOTESIS 1, siendo también que en la mayoría de ocasiones los máximos valores del ciclo. Estos desfases de valores entre las dos hipótesis nos

manifiestan una mayor aportación del parámetro D.B.O. al medio, pudiendo producir este aumento de sustancia impactos en el medio con sus posteriores efectos sobre él.

3. D.Q.O.

En el gráfico siguiente se muestran los datos después de la simulación de las dos hipótesis (HIPOTESIS 1; HIPOTESIS 3) planteadas para el parámetro D.Q.O. en la estación de medida JUJ601. Se ha optado también en este parámetro por comparar sólo los valores de esta estación porque es en la única donde llegan los datos-CHJ y los datos-Epsar mezclados, siendo significativos a la hora de pronosticar posibles impactos al medio con sus posteriores efectos sobre él.

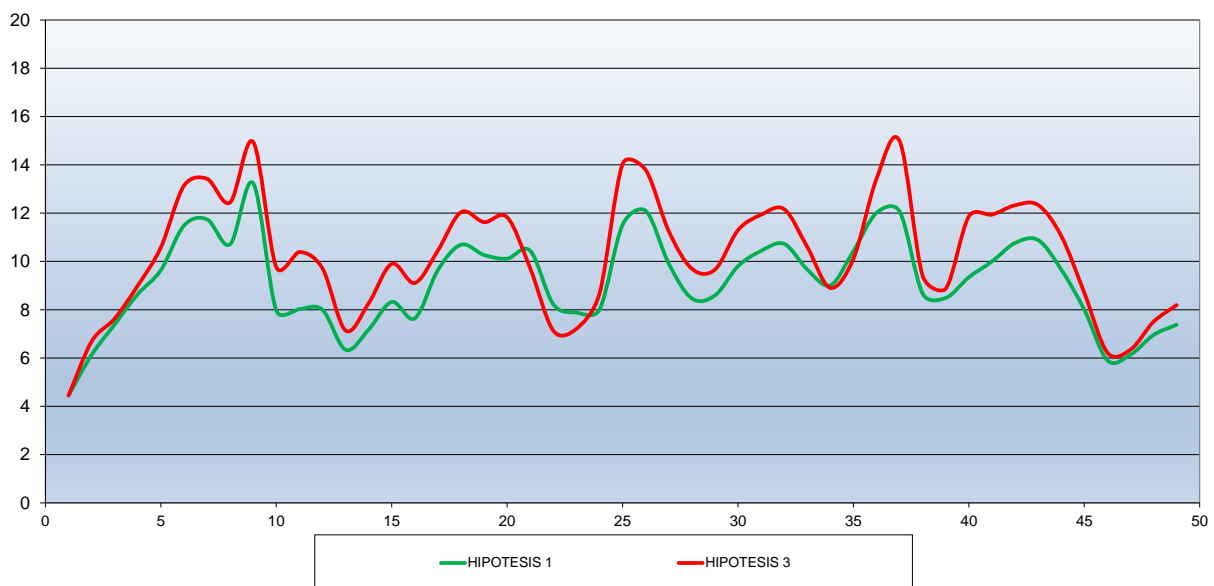


Figura 68. Gráfico-comparación de datos D.Q.O. disponibles y simulados.

Muy similar al parámetro D.B.O. se encuentra el parámetro D.Q.O. (mg/L), ya que estos dos parámetros van vinculados al valor final de la materia orgánica encontrada sobre el medio. La primera línea de evolución (VERDE) que se observa es la que aporta los valores de D.Q.O.-HIPOTESIS 1 en la estación JUJ601, Azud de la Marquesa. El periodo de esta serie de datos comprende desde Enero-2005 (mes 1) hasta Dic-2008 (mes 48). Durante esta evolución se puede ver que, dependiendo del mes, existe una fluctuación constante de crecidas y descensos de la sustancia en el medio durante su ciclo anual, destacando una crecida más acentuada durante los meses coincidentes con las estaciones de primavera y casi todo verano, con su posterior descenso durante los meses coincidentes con las estaciones de otoño y principios de invierno.

La segunda línea de evolución (ROJA) que se observa es la que aporta los valores de los D.Q.O.- HIPOTESIS 3 en la estación JUJ601. Esta línea comprende desde Enero-2005 (mes 1) hasta Dic-2008 (mes 48). Durante esta serie de datos se puede observar una evolución de crecidas y descensos bastante constantes, asemejándose bastante a lo descrito anteriormente en la HIPOTESIS 1, tanto en tiempo de periodo como en intervalo. Así que, en cuanto a la comparación de las dos líneas de evolución se puede deducir que, la línea D.Q.O.-HIPOTESIS 1 y la línea D.Q.O.-HIPOTESIS 3 siguen una evolución similar en cuanto a variaciones positivas y negativas durante los meses de estudio.

Para concluir con este parámetro y como no pasaba en el parámetro D.B.O., destacar que en el parámetro D.Q.O. sí se observa una diferencia notable entre los valores D.Q.O.-HIPOTESIS 1 y los D.Q.O.-HIPOTESIS 3, siendo estos últimos superiores en la mayoría de los meses del periodo de estudio, ya sean en variación positiva como en negativa. Estas diferencias a lo largo de todo el periodo nos da una idea que hay un aporte extra de sustancia al medio, pudiendo originar impactos y posteriores efectos sobre el medio.

4. O.D.

En el gráfico siguiente, se muestran los datos de las dos hipótesis (HIPOTESIS 1; HIPOTESIS 3) diseñadas del parámetro O.D. después de la simulación en la estación de medida JUJ601. Igualmente, en este parámetro se ha optado por comparar sólo los valores de esta estación, ya que es en la única donde llegan los datos-CHJ y datos-Epsar mezclados, siendo significativos a la hora de pronosticar posibles impactos al medio con sus posteriores efectos sobre él.

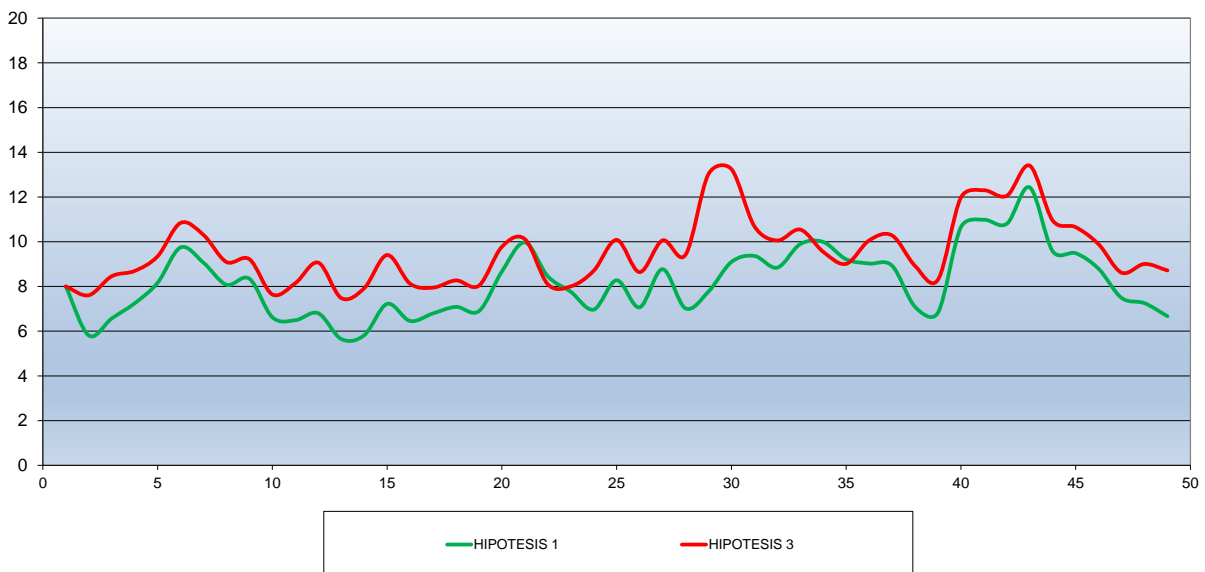


Figura 69. Gráfico-comparación de datos O.D disponibles y simulados.

La primera línea de evolución (VERDE) que se observa es la que aporta los valores de O.D.-HIPÖTESIS 1 en la estación JUJ601, Azud de la Marquesa. El periodo de esta línea abarca desde Enero-2005 (mes 1) hasta Dic-2008 (mes 48). Durante esta evolución se puede ver que, dependiendo del mes, existe una fluctuación bastante continua de subidas y bajadas del valor de la sustancia, aunque bastante constante en lo que se refiere a valores máximos anuales, sólo destacando algunos durante la mitad o final su periodo anual.

La segunda línea de evolución (ROJA) que se observa es la que aporta los valores de los O.D.- HIPOTESIS 3 en la estación JUJ601. Esta línea abarca desde Enero-2005 (mes 1) hasta Dic-2008 (mes 48). Durante esta serie de datos se puede observar tanto una variación positiva como negativa de los valores bastante constantes, coincidiendo prácticamente igual a lo descrito en la HIPOTESIS 1 en cuanto a variaciones de parámetro, tanto en tiempo de periodo como en intervalo.

Finalmente y ya mencionado anteriormente de la semejanza de las dos series, cabe resaltar que lo más significativo entre estas dos, es el mayor valor que adoptan los valores de la HIPOTESIS 3 respecto a los valores de la HIPOTESIS 1, siendo estos últimos superiores durante casi todo el periodo tanto en sus máximos como en sus mínimos. Estas diferencias nos dan una idea de que en todo el intervalo existe un aporte extra de O.D. a las aguas, pudiendo originar perturbaciones al medio, impactos y posteriores posibles efectos sobre él.

5. Compuestos nitrogenados: Nitratos, Amonio, N orgánico respectivamente

En los siguientes gráficos se representan los datos después de la simulación de las dos hipótesis (HIPOTESIS 1; HIPOTESIS 3) diseñadas para los parámetros Nitratos, Amonio, N Kjeldhal y N orgánico respectivamente en la estación de medida JUJ601. Estos compuestos nitrogenados son los más significativos de los que se disponían datos para poder analizar y posteriormente pronosticar, dependiendo de sus valores, posibles impactos y efectos sobre el medio. Como en los anteriores parámetros, se ha optado por comparar sólo los valores de esta estación, ya que es en la única donde llegan los datos-CHJ y los datos-Epsar mezclados, siendo significativos para la posterior discusión.

La primera línea de evolución (VERDE) que se observa es la que aporta los valores de Nitratos-HIPÖTESIS 1 en la estación JUJ601. El periodo de esta línea abarca desde Enero-2005 (mes 1) hasta Dic-2008 (mes 48). Durante esta serie de datos se puede ver que, dependiendo del mes, existe una variación bastante discontinua de subidas y bajadas del valor de la sustancia durante su ciclo anual, manifestando sus valores máximos en los meses de verano o cercanos, meses donde la temperatura es mayor, y sus valores mínimos en los meses de invierno o próximos. No olvidar la destacada amplitud existente entre dichos máximos y mínimos.

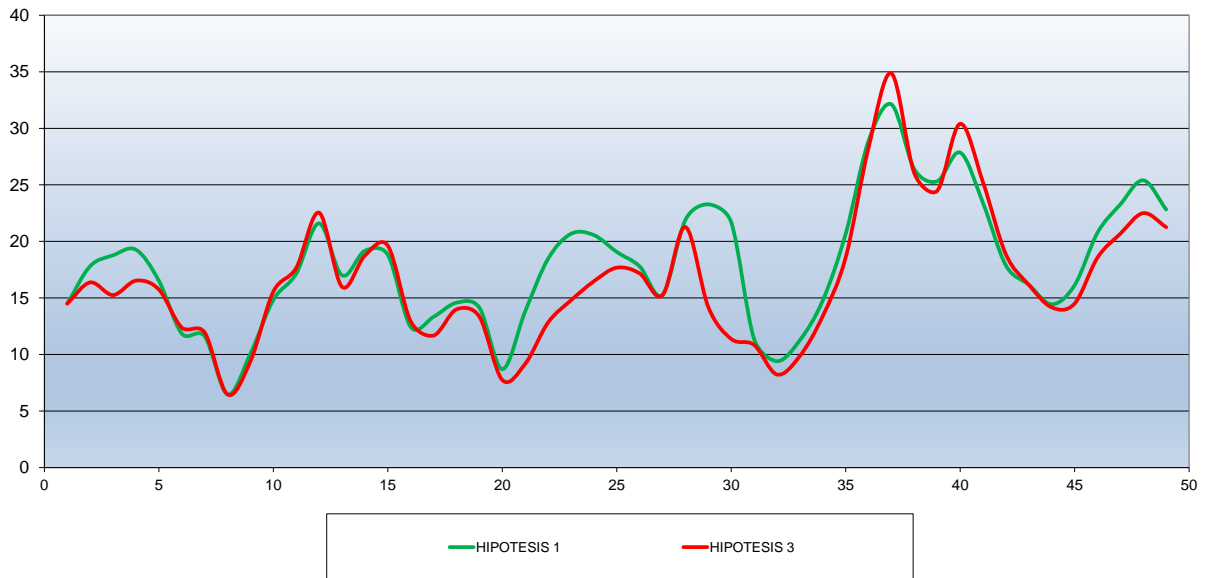


Figura 70. Gráfico-comparación de datos de Nitratos disponibles y simulados.

La segunda línea de evolución (ROJA) que se observa es la que aporta los valores de los Nitratos- HIPOTESIS 3 en la estación JUJ601. Esta línea abarca desde Enero-2005 (mes 1) hasta Dic-2008 (mes 48). Durante esta serie de datos se puede observar una variación positiva y negativa de los valores bastante discontinua durante el ciclo anual, existiendo también una gran amplitud de valores entre sus máximos y sus mínimos.

Finalmente, lo más significativo que se puede observar entre estas dos series, es la igualdad que discurre entre las dos líneas, principalmente durante el inicio del periodo, siendo en ocasiones mayores los valores de la HIPOTESIS 3 respecto a los de la HIPOTESIS 1 y en otras ocasiones inferiores. Estas diferencias durante todo el periodo de estudio nos puede indicar que existe alguna anomalía respecto a los resultados entre los resultados sin vertido y con vertido, ya que se supone que el agua con vertido debe presentar mayor cantidad de nitratos, produciendo más impactos y posibles efectos sobre el medio.

El siguiente parámetro a comparar los resultados de las hipótesis planteadas es el Amonio. La primera línea de evolución (VERDE) que se observa es la que aporta los valores de Amonio-HIPOTESIS 1 en la estación JUJ601, Azud de la Marquesa. El periodo de esta línea transcurre desde Enero-2005 (mes 1) hasta Dic-2008 (mes 48). Durante esta serie de datos se puede apreciar que existe una variación sin muchas fluctuaciones del valor de la sustancia durante el ciclo anual, observándose sus valores máximos en los meses de invierno o próximos y mínimos en los meses cercanos a verano. Además se puede observar una destacada amplitud de estos valores en alguno de los ciclos anuales.

La segunda línea de evolución (ROJA) que se observa es la que aporta los valores de Amonio- HIPOTESIS 3 en la estación JUJ601. Esta línea abarca desde Enero-2005 (mes 1) hasta Dic-2008 (mes 48). Durante esta serie de datos se puede observar una variación positiva y negativa bastante discontinua de los valores durante el ciclo anual, coincidiendo también con una gran amplitud de valores entre máximos y mínimos y asemejándose mucho a los valores de la HIPOTESIS 1.

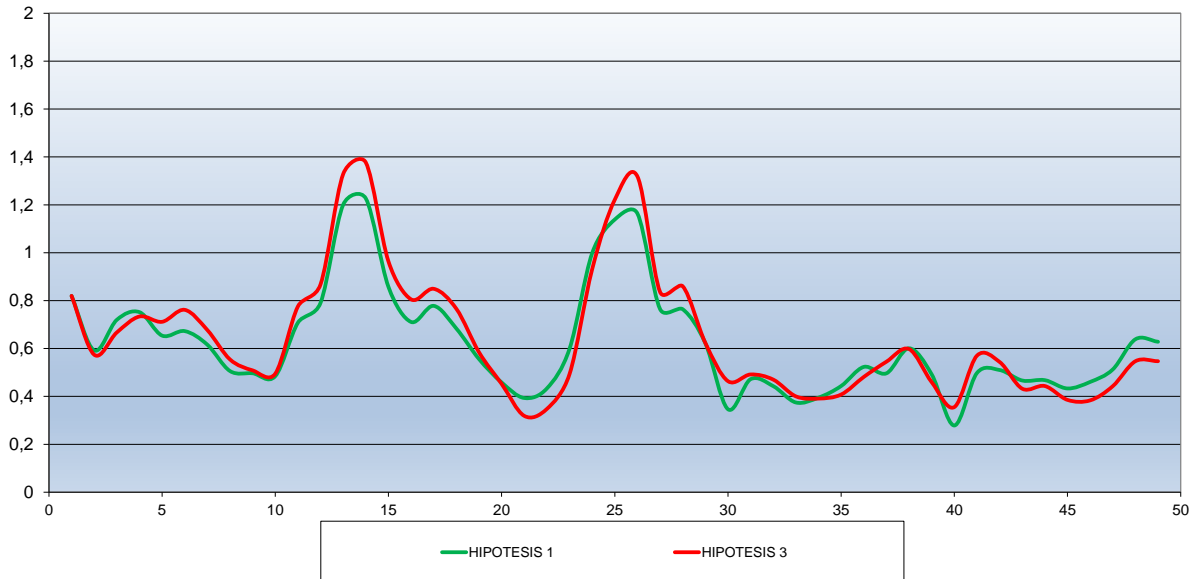


Figura 71. Gráfico-comparación de datos de Amonio disponibles y simulados.

Finalmente, lo más significativo entre estas dos series, es la igualdad respecto a la tendencia que discurre entre las dos líneas durante el periodo, siendo en ocasiones mayores los valor que adoptan los valores de la HIPOTESIS 3 respecto a los valores de la HIPOTESIS 1 y en otras ocasiones siendo inferiores.

El próximo parámetro a comparar los resultados de las hipótesis 1 y 3 es el N orgánico. La primera línea de evolución (VERDE) que se observa es la que aporta los valores de Norgánico-HIPOTESIS 1 en la estación JUJ601, Azud de la Marquesa. El periodo de esta línea transcurre desde Enero-2005 (mes 1) hasta Dic-2008 (mes 48). Durante esta serie de datos se puede observar un fuerte descenso del valor del parámetro al inicio del periodo hasta estabilizarse en valores cercanos a 0. A partir de los siguientes meses la tendencia de datos continua bastante inestable, realizando aumentos y descensos de valor durante todo el ciclo anual. Además también se puede observar varios picos de máximos y mínimos en meses cercanos a verano e invierno respectivamente.

La segunda línea de evolución (ROJA) que se observa es la que aporta los valores de Norgánico- HIPOTESIS 3 en la estación JUJ601. Esta línea abarca desde Enero-2005 (mes 1) hasta Dic-2008 (mes 48). Durante esta serie de datos se puede observar una tendencia bastante

similar a los valores de la HIPOTESIS 1 durante todo el periodo. Sólo destacar que no existen caídas pronunciadas de valores conforme sucedía en la HIPOTESIS 1, manteniéndose más constante y suavizados dichos valores.

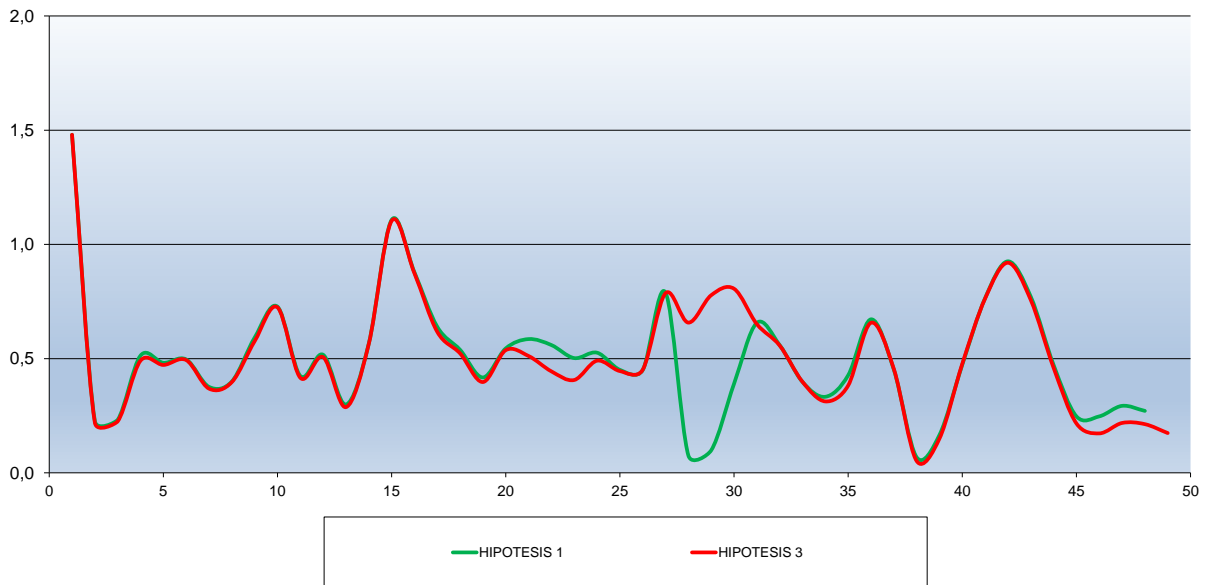


Figura 72. Gráfico-comparación de datos de N orgánico disponibles y simulados.

En conclusión y conforme se acaba de observar en el gráfico anterior, lo más significativo entre estas dos series es la igualdad que siguen las dos líneas de valores durante todo el periodo, quitando de la caída pronunciada de valores que existe en la HIPOTESIS 1. Debido a esta gran similitud, las diferencias entre los valores de las aguas sin vertido y con vertido son insignificantes, así que también se producirán alteraciones intrascendentes en el medio, pequeños impactos y no casi posibles efectos sobre éste.

6. Sólidos Suspendidos

Finalmente se ha optado por no simular este parámetro debido a la falta de cantidad y claridad de datos para representarlos en el modelo. Además se ha considerado que no es tan característico a la hora de los posibles impactos y posteriores efectos al medio como los demás parámetros que si se han simulado, ya que una vez sobrepasan el trámite de la EDAR sus valores quedan poco significativos. No obstante en el siguiente apartado se describirán algunas de las perturbaciones que éstos podrían provocar.

5.2. Principales impactos y efectos sobre el medio.

Conforme se ha representado en los gráficos de resultados en el apartado anterior entre la HIPOTESIS 1 y 3, se observa que hay mínimas aunque puntuales diferencias entre éstas. Estas diferencias podrían llegar a ocasionar algunas perturbaciones y efectos sobre el medio. Para una mejor certeza de dichos impactos y efectos sobre el medio se debería haber realizado un estudio más a fondo de las cantidades y calidades de cada parámetro para cuantificar cuál es el límite que el medio soporta antes de producirse un efecto sobre él.

De ahí que, para poder ultimar con el planning del trabajo, se va a señalar los posibles impactos y sus posteriores efectos que se podrían producir a partir de la descompensación de los resultados finales de los parámetros del estudio, asumiendo la hipotética situación pues los resultados obtenidos no son significativos.

Los principales impactos y posteriores efectos en el medio para los parámetros de estudio D.B.O. (Demanda Biológica de Oxígeno); D.Q.O. (Demanda Química de Oxígeno), englobando estos dos a la materia orgánica; O.D. (Oxígeno Disuelto) y Compuestos Nitrogenados son principalmente la desoxigenación del agua y su eutrofización con la consecuente pérdida de biodiversidad de especies, tanto animales como vegetales.

1. Desoxigenación del agua.

Reducción de la concentración de oxígeno disuelto en las aguas del tramo de estudio debido a la acumulación de materia orgánica procedente del vertido EDAR. Esta materia es degradada por bacterias anaerobias que consumen parte del oxígeno. A medida que el oxígeno va disminuyendo, aumenta el número de bacterias y la aparición de compuestos tóxicos para el medio como metano, amoníaco y sulfuro de hidrógeno.

El oxígeno disuelto es el indicador más representativo del estado de un ecosistema, ya que tiene relación directa entre la cantidad disuelta en el agua y la capacidad de ésta para alojar más o menos biodiversidad. Generalmente se encuentra que, concentraciones inferiores a 4 mg/l son perjudiciales, aunque se empieza a ver sus síntomas a partir de concentraciones de 6 mg/l. Los principales efectos que se pueden manifestar en el medio son la disminución de la diversidad específica de la zona, promoviendo además la sustitución de especies.

Finalmente hay que recordar que la desoxigenación del agua está muy relacionada con la anterior y/o posterior eutrofización del medio.

2. Eutrofización de la zona.

Aparición excesiva de nutrientes, principalmente por nitrógeno, procedente del vertido EDAR, produciendo la proliferación masiva de algas y la disminución del oxígeno disuelto en el agua. La problemática de la eutrofización de las aguas viene dada por la característica de ser un proceso cíclico, donde la existencia de un exceso de nutrientes desencadena la proliferación masiva de fitoplancton en el agua. Al morir este fitoplancton por falta de oxígeno en el medio, éste se descompone en el agua aportando grandes cantidades de materia orgánica. Si este consumo de oxígeno llegase a su totalidad se produciría la situación de anoxia, dejando de ser el agua apta para la mayor parte de los seres vivos, provocando la destrucción parcial o total del ecosistema fluvial.

Como ya se ha comentado anteriormente, la eutrofización consiste en la aparición de un crecimiento excesivo de algas que debido a que algún factor limitante deja de serlo. Es importante diferenciar entre la eutrofización natural y la que aparece de forma artificial. La eutrofización natural se puede producir en el medio ocasionalmente aunque de forma equilibrada, regulándose al cabo del tiempo por el mismo sistema fluvial. El problema de la eutrofización proviene si ésta es ocasionada de forma artificial (vertido), ya que por su magnitud, mucho más grande que la natural, produce un desequilibrio en el ecosistema. Los efectos más inmediatos de la posible eutrofización del medio serán:

- Disminución de la diversidad de especies tanto de flora como de fauna.
- -Aumento de la biomasa animal y vegetal en especies exclusivas.
- Incremento de la turbidez.
- Posibilidad de aparición de anoxia.
- Pérdida de recursos alimenticios y lugares de desove.
- Pérdida del hábitat para numerosas especies, especialmente peces e invertebrados.
- Sustitución de especies provocando un desequilibrio en el ecosistema.
- Alteración de la cadena trófica del ecosistema en conjunto.

La eutrofización no sólo presenta problemas desde el punto de vista ecológico, sino que además también afecta desde el punto de vista económico y social. Las floraciones de algas dotan de colores verdosos al agua, generando olores fuertes y presencia de mosquitos y moscas que se traducen en la pérdida del valor recreativo de la zona, pues en algunos tramos de estudio se desenvuelven actividades de pesca deportiva y circulaciones en barcas de ámbito local. Finalmente la eutrofización puede dificultar la potabilización del agua aumentando así su coste.

6. CONCLUSIONES.

Una vez realizados los procedimientos del estudio y viendo los resultados obtenidos, se pueden deducir las siguientes conclusiones en el tramo del río Júcar comprendido entre las estaciones de medida JUJ627 Zona Recreativa de Polinyà de Xúquer y la JUJ601 Azud de la Marquesa. Además se va a plantear algunas propuestas de mejora del estudio para futuros trabajos o extensiones del mismo.

- La primera e importante conclusión que se extrae del estudio es la falta de datos-CHJ y datos-Epsar disponibles para realizar el estudio. Si bien se ha intentado estandarizar primero la diferencia de intervalos y parámetros y luego reemplazar su inexistencia con una estimación, siempre existe una desviación de los mismos respecto a la realidad, pudiendo dar resultados menos significativos.
- Otra de las conclusiones importantes que se obtiene es la falta de datos para realizar la introducción en el programa de simulación, tanto en las condiciones de inicio como en las de contorno (boundaries). Aunque se ha intentado reemplazar mediante un desglose los caudales y asumiendo la inexistencia de concentración en los parámetros de estudio, se intuye que los resultados obtenidos no son tan significativos debido en parte a esta inexactitud.
- La discretización espacial considerada en un principio podría ser apropiada para definir la evolución espacial de la calidad del agua del río Júcar, asumiendo que la poca efectividad de los resultados obtenidos proviene de otros factores.
- Las variables externas del modelo velocidad, calado y temperatura no han sido introducidas adecuadamente por falta de datos, desviando significativamente los resultados finales de la realidad.
- Tras la fase de calibración como en la de validación y viendo los resultados obtenidos en las diferentes hipótesis puede observarse que, aunque los coeficientes y constantes introducidas en el modelo están dentro del intervalo establecido en las citas bibliográficas, no son lo suficientemente significativos.
- En resumen y según los resultados obtenidos tras la simulación no se observan resultados significativos para confirmar la posible existencia de impactos y posteriores efectos sobre el medio.

Con el fin de mejorar los resultados en futuros trabajos o en ampliaciones del mismo, a continuación se va a mencionar algunas propuestas para las conclusiones citadas anteriormente.

- Como propuesta para la falta de datos CHJ y Epsar. Se debería adquirir la máxima cantidad en los diferentes puntos de medida posibles mediante las máximas fuentes de información fiables. Contrastar, filtrar y ratificar éstos mediante un estudio previo y así poder estandarizar los máximos parámetros a estudiar.
- Como propuesta para la falta de datos introducidos en WASP. Se debería adquirir la máxima cantidad de datos en el mes de inicio del estudio como la máxima cantidad de datos de caudal y parámetros en las diferentes entradas y salidas de su recorrido, ya sea mediante fuentes de información o in situ.
- Como propuesta para la discretización espacial. Se podría acortar dicha distancia para concretar y afinar más los resultados.
- Como propuesta para las variables externas. Se debería conseguir datos reales, ya sea mediante fuentes de información o in situ, de las tres variables pues son valores muy significativos, tanto en la construcción del modelo como en la obtención de los resultados finales.
- Como propuesta a la fase de calibración y validación. Se podrían realizar diferentes simulaciones-ensayo con el fin de ajustar al máximo los coeficientes y constantes relacionadas en el estudio. Además se podría realizar un análisis de sensibilidad para los parámetros más significativos.

Por último y para finalizar con el estudio, una vez analizadas las conclusiones obtenidas y algunas de sus posibles propuestas de mejora, el modelo podría representar la variación de los parámetros representativos de la materia orgánica (D.B.O. y D.Q.O.), oxígeno disuelto y algunos compuestos nitrogenados en el medio y así poder pronosticar lo más cercano a la realidad los posibles impactos y posteriores efectos en él en futuros escenarios.

7. BIBLIOGRAFIA.

- Ambrose, R.B. et al. (1998). *WASP4, A Hydrodynamic and Water Quality Model. Model Theory, User's Manual and Programmer's Guide*. EPA/600/3-87/039.
- CEDEX. (Centro de estudios y Experimentación de Obras Públicas). (2002). XX Curso sobre Tratamiento de Aguas Residuales y Explotación de Estaciones Depuradoras. Ministerio de Medio Ambiente y Ministerio de Fomento. Madrid.
- Chapra, S.C. (1997). *Surface Water Quality Modelling*. Mc Graw-Hill Book Company. New York.
- Danés Castro, C. (COORDINADOR); Ruza Rodríguez, J. (2007). Manual para la gestión de vertidos. Autorización de vertido. Dirección general del Agua del Ministerio de Medio Ambiente. Edita Centro de Publicaciones Secretaria General Técnica Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. 270 p.
- Ferrer Polo, J. y Seco Torrecillas A. (1992). Tratamientos físicos y químicos de aguas residuales. Ed. Editorial de la UPV. Valencia. 171 p.
- Ferrer Polo, J. y Seco Torrecillas, A. (2007). Tratamientos Biológicos de Aguas Residuales. . Edita Servicio Publicaciones UPV. Valencia. 184 p.
- Hermosilla Pla, J. (2006). Dirección General de Patrimonio Cultural Valenciano. Las Riberas del Xúquer: Paisajes y Patrimonio Valencianos. Edita SPUV. (Servicio de Publicaciones de la Universitat de Valencia). Valencia. 445 p.
- Hernández Muñoz, A. (2001). Depuración y Desinfección de Aguas Residuales. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Ed. Thomson Learning Parainfo. Madrid.1151 p.
- Llavador, F. (2002). Modelos matemáticos de los sistemas acuáticos dinámicos. Ed. Publicaciones de la Universidad de Alicante. San Vicent del Raspeig. 220 p.
- Mackensie L. Davis y Susan J. Masten. (2004). Ingeniería y ciencias ambientales. Ed. Mc Graw-Hill. Santa Fe. México D.F. 750 p.
- Martín, M., Marzal, P. (2000). *Modelación de la Calidad del Agua*. Ed. Servicio Publicaciones UPV. Valencia. 215 p.

- Metcalf & Eddy. (1994). Ingeniería sanitaria. Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. 3ª edición. Ed. Labor s.a. Barcelona. 969 p.
- Metcalf & Eddy. (1995). Ingeniería de las Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. 3ª edición. Ed. Mc Graw-Hill. Aravaca. Madrid. 1485 p.
- Ministerio de Medio Ambiente. (2003). Confederación Hidrográfica del Júcar. Edita Ministerio de Medio Ambiente. 80 p.
- Wool, T.A., Ambrose, R.B., Martin, J.L., Comer, E.A., (2001). Water Quality Analysis Simulation Program (WASP) Version 6.0: User's Manual. U.S. Environmental Protection Agency, Athens, GA.

