



Universidad
Zaragoza



Escuela Politécnica
Superior - Huesca
Universidad Zaragoza



cita
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGÍA
AGROALIMENTARIA DE ARAGÓN

**Máster Universitario en Iniciación a la Investigación en Ciencias Agrarias
y del Medio Natural**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**“Análisis de las tendencias de sal y nitrato en la
cuenca del río Arba”**

ZARAGOZA 3 Octubre de 2012

Autor: M^a Ángeles Lorenzo González

Dirección de Proyecto: María Asunción Usón Murillo y Daniel Isidoro Ramírez



Universidad
Zaragoza



**Escuela Politécnica
Superior - Huesca**
Universidad Zaragoza



cita
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGÍA
AGROALIMENTARIA DE ARAGÓN



Análisis de las tendencias de sal y nitrato en la cuenca del río Arba.

Mª Ángeles Lorenzo González

Resumen

La agricultura de regadío es una de las principales fuentes difusas de contaminación de las masas de agua. Los retornos de riego con elevadas concentraciones en sales y nutrientes constituyen para algunos ríos uno de los principales aportes de agua para los meses de verano. Esto ha llevado a que muchos ríos, como es el caso Arba, superen en este periodo los límites de calidad establecidos por la normativa vigente y, sobre todo, a que las masas exportadas de contaminantes durante la estación de riego sean muy elevadas. Este punto es importante porque es la masa exportada la que determina el efecto de los retornos de riego sobre la calidad del cuerpo receptor. El establecimiento de medidas correctoras frente a este tipo de contaminación, requiere de un análisis causa-efecto que relacione las prácticas agrarias de las últimas décadas y su repercusión sobre la calidad de las aguas (en particular, las masas de contaminantes exportadas).

El objetivo principal de este trabajo es analizar la evolución de la calidad química del río Arba en cuanto a salinidad y nitrógeno se refiere a lo largo de los últimos 40 años. Para ello se han desarrollado cinco metodologías de cálculo de la masa mensual de sales y nitrógeno exportada a partir de los datos más antiguos de los que se dispone información en las redes de control de la Confederación Hidrográfica del Ebro (caudal medio diario y conductividad eléctrica y nitrato con muestreo mensual o semestral). Estas metodologías responden a dos tipos, las que emplean datos instantáneos de concentración de sales (TDS) y nitrato y las que utilizan métodos de regresión que relacionan el caudal con la composición química del agua.

Para seleccionar la metodología más adecuada para estimar las masas transportadas por el río Arba se realizó un análisis estadístico que contrasta los resultados de estas cinco metodologías con la masa de referencia, obtenida a partir de datos diarios registrados para el periodo 2004-2010 en una red específica creada para el control de los retornos de riego, la Red RecoREbro. Los estadísticos empleados fueron el Sesgo Medio (MB), el Error Cuadrático Medio (RMSE), el Error Medio Absoluto (MAE), la Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) y el coeficiente de determinación (R²).

Este análisis determinó que las metodologías de cálculo de la masa de sales mediante métodos de regresión son más representativas que las emplean datos instantáneos (se desvían menos de las masas de referencia). Por el contrario, para el cálculo de la masa de nitrógeno exportado algunas metodologías con datos puntuales (las que utilizan el caudal medio diario o mensual) dieron resultados iguales o mejores que los métodos de regresión.

Una vez evaluadas las metodologías de cálculo más favorables se procedió a la obtención de la serie mensual de aportes de sales y nitrógeno desde 1974. La masa total de sales exportada por el río Arba en el periodo 1974-2010 fue de 370.000 T/año siendo superior la masa exportada durante los meses del periodo de riego (abril-septiembre), unas 36.000 T/mes frente a unas 25.000 T/mes en la estación de no riego. Situación similar se pudo observar con la masa de N-NO₃ (1.600 T/año, en torno a 150 T/mes en la estación de riego y sobre 100 T/mes fuera de ella), resultado influido además de por el caudal, por los distintos periodos de abonado.



La tendencia de la masa exportada de estos contaminantes se evaluó mediante el test de Mann-Kendall. Se obtuvo una disminución significativa de la masa de sales a lo largo de este periodo de unas -3000 T/año, descenso centrado fundamentalmente en los meses de regadío (unas -400 T/año en cada mes). La disminución de la masa de nitrógeno (-1,2 T/año) no resultó significativa. La ausencia de datos mensuales de concentraciones de nitrógeno dificultó el análisis de las tendencias mensuales.



ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	7
2.- DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	9
2.1. Contexto geográfico.....	9
2.3. Climatología	10
2.2. Geología	12
2.4. Hidrología.....	12
3.- MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1. Recopilación de información.....	18
3.2. Análisis y depuración de las series de datos.....	22
3.3. Desarrollo de metodologías de cálculo.....	27
3.3.1. Cálculo de sólidos disueltos totales	28
3.3.2. Cálculo de la serie de referencia	29
3.3.3. Desarrollo de metodologías.....	30
3.4. Análisis estadístico	38
3.5. Análisis de tendencias.....	40
4.- RESULTADOS.....	43
4.1. Valoración de las metodologías de cálculo de masas de sal y nitrógeno	43
4.2. Aportaciones de sal y nitrógeno del río Arba	49
4.3. Análisis de tendencias.....	54
5.- CONCLUSIONES.....	58



ANEJO 1: Fichas descriptivas de las estaciones de aforo de la cuenca del Arba, empleadas para la obtención de las series de caudales.

ANEJO 2: Hidrogramas del caudal medio diario registrado en la estación 260 del Arba en Tauste, conductividad eléctrica diaria y nitratos registrados por RecoREbro y por la red de Calidad (CHE).

ANEJO 3: Resultados del ajuste de la ecuación de regresión que relaciona el caudal con la conductividad eléctrica y la conductividad eléctrica con los nitratos.

ANEJO 4: Masa mensual de sales y nitrógeno del río Arba (abril 2004 - septiembre 2010) calculados por las metodologías MSi, MSid, MSim, MSd y MSM, y de referencia.

ANEJO 5: Resultados del análisis estadístico de todas las series mensuales de aportes de sal y nitrógeno calculadas por las distintas metodologías (abril 2004 - septiembre 2010).

ANEJO 6: Masa mensual de sales y nitrógeno del río Arba (octubre 1973 - septiembre 2010) y caudal medio mensual (m^3/s).

1.- Introducción y objetivos

La Directiva Marco del Agua (DMA) establece la necesidad de prevenir el deterioro de las masas de agua, así como su protección y mejora, dentro de lo cual se incluye el control de la contaminación difusa y el establecimiento de mejores prácticas ambientales, todo ello destinado a alcanzar el buen estado de las masas de agua antes del 2015. En este contexto normativo, los nuevos Planes Hidrológicos de cuenca, incluyen un análisis de las presiones a las que se encuentran sometidas las masas de agua así como sus tendencias y cómo éstas responden a los cambios y medidas correctoras aplicadas.

La creciente ampliación de las superficies de riego en las zonas semiáridas del norte de España ha generado un incremento progresivo de los retornos de riego y con ello, también un incremento de los aportes de nitrógeno y sales a la red de drenaje superficial. Esto ha llevado a que algunos ríos posean un régimen hídrico alterado por el regadío y con una carga de nitrato por encima de los estipulados por las normas de calidad vigentes y con unos niveles de sal que limitan su explotación para otros usos.

Un claro ejemplo se encuentra en la cuenca del río Arba. Este río recibe buena parte de los retornos de riego de sistema Bardenas, que invierten su régimen hídrico con máximos caudales en verano e incrementando en cerca del 90 % sus recursos hídricos. Por otra parte, la litología que compone esta cuenca rica en sales, la amplia superficie de regadío que soporta y la alta evapotranspiración en los meses de verano, son algunos de los factores que determinan la calidad de los retornos de riego, ricos en sales y nutrientes.

El efecto negativo de la contaminación difusa del regadío sobre las masas de agua receptoras (en el caso de la cuenca del Arba o el propio río Ebro) viene definido por la masa de contaminantes aportada, que es la que determina el incremento en la concentración de contaminantes en el cauce receptor. El establecimiento de medidas correctoras frente a este tipo de contaminación, requiere de un análisis causa-efecto que relacione la evolución y modernización de los sistemas de riego a lo largo de las últimas décadas y cómo éstos se ven reflejados en la calidad de las aguas y en las masas exportadas. Es por tanto necesario establecer las series históricas de aportes de nitrato y salinidad para poder analizar el impacto histórico de los cambios en el regadío: evolución de las superficies regadas y del patrón de cultivos, y cambios en los sistemas de riego fundamentalmente.

La red de Calidad que opera la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) en el Arba, lleva activa desde los años 70. Se trata de una red con una frecuencia de muestreo mensual, lo que implica cierta incertidumbre en el cálculo de las masas de contaminantes exportadas.

En los últimos años, desde 2004, la CHE ha puesto en marcha una nueva red de monitoreo, RecoREbro, destinada a controlar los principales ejes colectores de los retornos de riego de la cuenca del Ebro. Esta red analiza la conductividad eléctrica y el contenido en nitrato del agua, con una frecuencia diaria. Los datos diarios de la red RecoREbro permiten disponer de una serie de estimaciones mensuales de masas exportadas basadas en medidas diarias, a priori mucho más fiables que las estimaciones basadas en un único dato al mes.

A partir de los datos registrados por estas dos redes de control se podrá estudiar la evolución de la calidad del río Arba, punto de partida para evaluar las afecciones debidas a los regadíos de la cuenca.

Los objetivos que se quieren perseguir con este trabajo fin de máster son:

- La elaboración y selección de una metodología para el cálculo de las masas de sales y nitrógeno mensuales exportadas por el río Arba a partir de datos de conductividad eléctrica, nitrato y caudal registrados en las redes de control de la Confederación Hidrográfica del Ebro.
- El cálculo de la serie mensual de aportes de sal y nitrógeno exportados por el río Arba en los últimos 40 años.
- Análisis de las tendencias de estos contaminantes. Estudio de la evolución de los aportes de sal y nitrógeno del río Arba.

2.- Descripción del área de estudio

2.1. CONTEXTO GEOGRÁFICO

La zona de estudio corresponde a la cuenca del Arba, afluente por la margen izquierda del río Ebro en su tramo medio. Este río posee una superficie de aportación de unos 2.200 km², que comprende la sierra de Santo Domingo en cabecera y la depresión del Ebro en el tramo medio y bajo.

Administrativamente abarca los municipios de Asín, Biel, Biota, Castejón de Valdejasa, Ejea de los Caballeros, Erla, El Frago, Layana, Luesia, Luna, Orés, Sádaba, Sierra de Luna, Tauste, Uncastillo y Valpalmas. Soporta una población de más de 31.000 habitantes (INE, 2010), donde destacan las localidades de Ejea de los Caballeros y Tauste que concentran el 80% de la población de la cuenca.

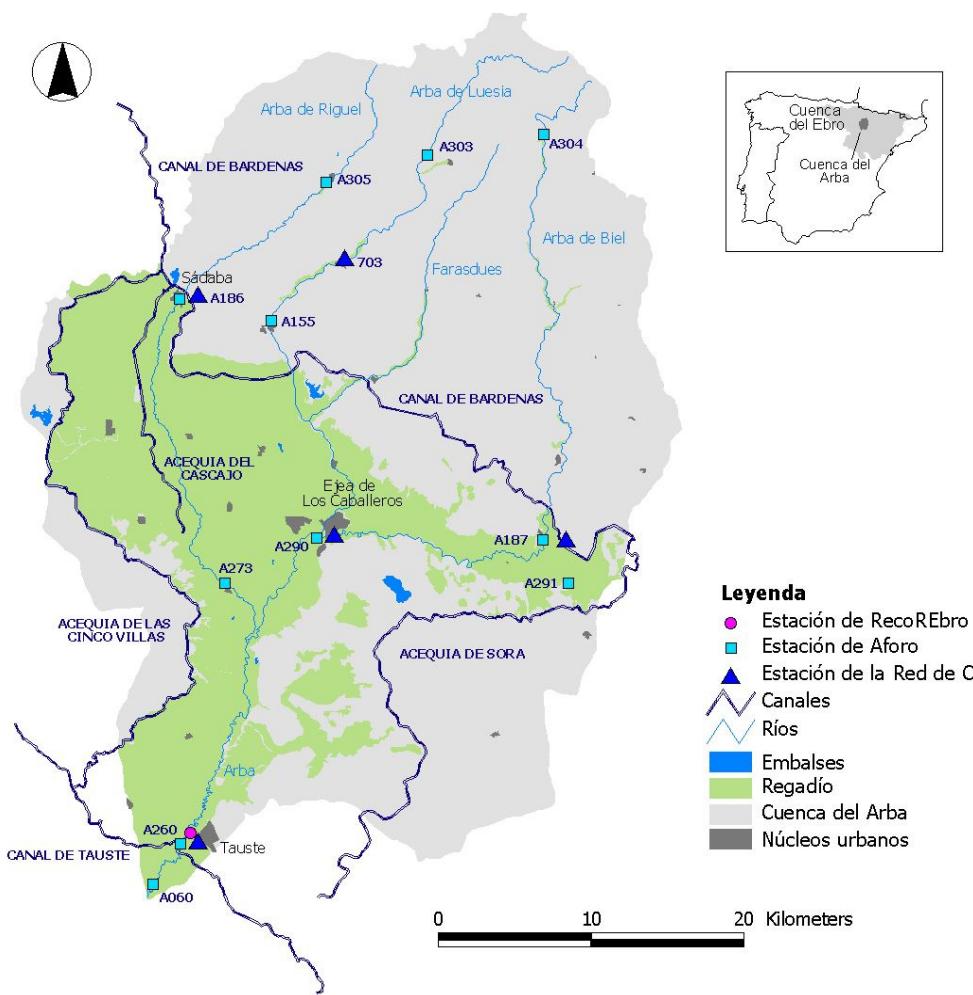


Figura 2.1. Mapa contextual de la cuenca del Arba

La mayor parte de su superficie está ocupada por cultivos de secano (38%) y regadío (28%), el resto se reparte entre zonas de matorral (16%) y bosque (15%) limitados fundamentalmente al tercio norte de la cuenca (Tabla 2.1., Figura 2.7., Corine, 2006).

Superficie			
Forestal	Bosque	325 km ²	15 %
	Matorral	355 km ²	16 %
Agrícola	Regadío	603 km ²	28 %
	Secano	835 km ²	38 %
Urbano	10 km ²	0,5 %	3 %
Otros	43 km ²	2 %	
Total	2172 km ²		

Tabla 2.1. Distribución de los usos del suelo en la cuenca del Arba, (Corine, 2006).

El regadío comprende más 60.000 ha, adscritas al Sistema de Riego de las Bardenas. Se abastece de agua de la cuenca del río Aragón a través del embalse de Yesa y de un importante sistema de canales: canal de Bardenas, canal de las Cinco Villas y canal de Sora. Son aguas de muy buena calidad procedentes del Pirineo, con una conductividad eléctrica media de 0,350 dS/m. Este sistema lleva en funcionamiento desde 1960 y a lo largo de su historia son numerosas las transformaciones que ha sufrido con la ampliación de las áreas regables, la mejora de la red de canales, concentración parcelaria y la progresiva sustitución de los antiguos sistemas de riego por gravedad a riegos por aspersión y pivotantes.

2.3. CLIMATOLOGÍA

La cuenca del Arba registra unas precipitaciones medias de 550 mm con máximos de unos 800 mm en cabecera y mínimos dentro de la región semiárida de la Depresión del Ebro, de 330 mm (Figura 2.2). Las precipitaciones se concentran en los meses de primavera y otoño, con máximos en abril y mayo, y mínimo en julio y agosto.

La temperatura media oscila entre 13 y 14º C con valores mínimos en cabecera de 9º C y máximos en la desembocadura, de más de 15º C. Los meses más calurosos corresponden a julio y agosto donde pueden superarse los 30º C en la parte baja de la cuenca y los más fríos a diciembre, enero y febrero, con valores por debajo de 0º C en los tramos altos de la cuenca.

La evapotranspiración media mínima se registra en el tercio norte (750 mm) y la máxima en el tramo medio y bajo (850 mm). Los valores mínimos corresponden a los meses de invierno y los máximos a los de verano, momento en el cual se registra déficit hídrico al sur de la cuenca (CHEa, 1996).

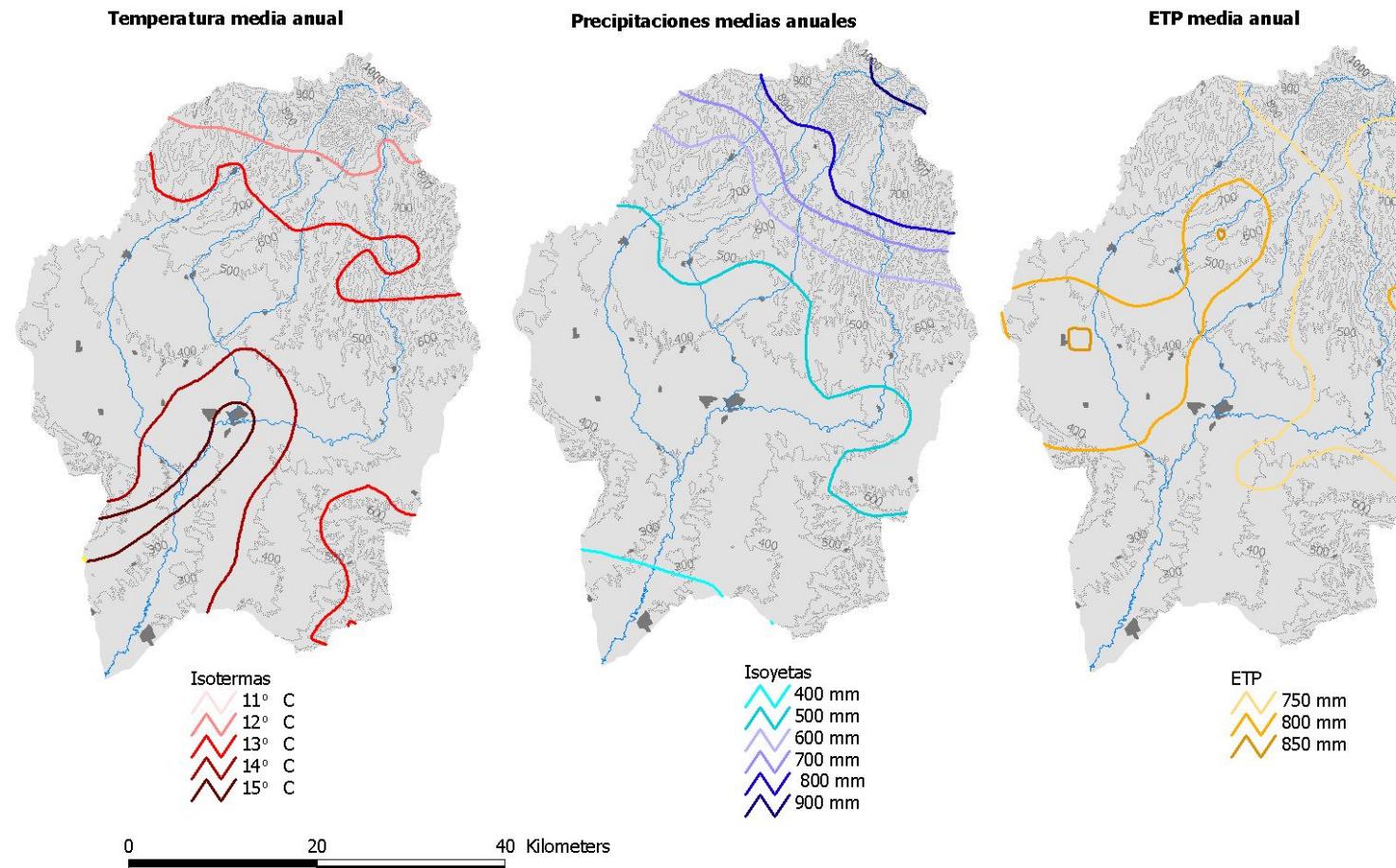


Figura 2.2. Mapa de isotermas, isoyetas y evapotranspiración potencial (método de Thornthwaite) de la cuenca del Arba, (CHEa, 1996)

2.2. GEOLOGÍA

La mayor parte de la cuenca del Arba pertenece al Dominio de la Depresión del Ebro, con materiales de edades comprendidas entre el Oligoceno y Mioceno (Figura 2.5.).

En la zona norte están presentes las areniscas, conglomerados y lutitas de origen molásico pertenecientes al Oligoceno que pasan hacia la zona centro de la cuenca a limos y arcillas rojas miocenas. Más al sur aparecen las series carbonatadas de origen lacustre, y al norte de Tauste, una alternancia de yesos, arcillas y limos, con intercalaciones ocasionales de finas capas de calizas de grano fino asociadas a yesos. Estos materiales son considerados como la principal fuente natural de sales disueltas en el drenaje de la cuenca (Causapé et al., 2003)

En el límite norte, en la Sierra de Santo Domingo, afloran materiales más viejos, calizas, areniscas y margas del Cretácico superior y Eoceno.

Finalmente sobre las series terciarias de baja permeabilidad se encuentra el cuaternario representado por gravas, arenas, limos y arcillas que componen los sistemas de glacis y aluviales. Se trata de depósitos de poco espesor que constituyen los principales acuíferos de la zona.

En cuanto a los suelos, su origen y formación responde fundamentalmente a dos factores; el clima y el sustrato litológico. A grades rasgos podemos encontrar cinco tipologías distintas: en la zona norte sobre materiales calcáreos se forman suelos tipo rendzina – litosol (Figura 2.6). Son suelos poco evolucionados y por lo general de pequeño espesor. En la zona central de la cuenca aparecen suelos más desarrollados, los cambisoles cárnicos. Al sur, donde las precipitaciones son muy limitadas, se forman suelos tipo solonchak órtico, suelos ricos en sales y los xerosoles cárnicos, propios de las arenas y arcillas rojas del terciario. Finalmente los depósitos aluviales dan lugar a los fluvisoles calcáreos (CDITA, 1993).

2.4. HIDROLOGÍA

El río Arba se forma por la confluencia a la altura de Ejea de los Caballeros de tres importantes ramales, el Arba de Riguel, el Arba de Luesia y el Arba de Biel. Son ríos clasificados como de montaña mediterránea calcárea al atravesar la sierra de Santo Domingo y ríos mineralizados de baja montaña mediterránea, en el resto de la cuenca.

A diferencia de la mayor parte de las cuencas de la margen izquierda del Ebro, el Arba es un río poco caudaloso pues tan solo drena una pequeña parte del prepirineo, y el resto se localiza sobre la depresión del Ebro, zona de muy bajas precipitaciones.

Se calcula una aportación en régimen natural de $5,6 \text{ m}^3/\text{s}$ ($173 \text{ hm}^3/\text{año}$) (CHE, 2008), con máximos entre enero y abril y mínimos de julio a septiembre. Sin embargo el régimen hídrico de esta cuenca está afectado por los retornos de riego del sistema de Bardenas, que aportan al cauce un total de $160 \text{ hm}^3/\text{año}$ ⁽¹⁾. Esto se ve reflejado en el hidrograma medio mensual

¹ Volumen calculado como la diferencia entre los aportes registrados por la estación de aforo del Arba en Tauste antes y después de la puesta en funcionamiento del Sistema de Bardenas (CITA, datos sin publicar). Si aplicamos la diferencia entre el volumen de agua calculado para toda la cuenca en régimen natural y los aportes que registra la estación del Arba en Gallur se obtienen un valor de $216 \text{ hm}^3/\text{año}$ (serie 1940-1986).

(Fig.2.3.) que presenta máximos en los meses de estiaje y mínimos en otoño e invierno (CHE, 2005b).

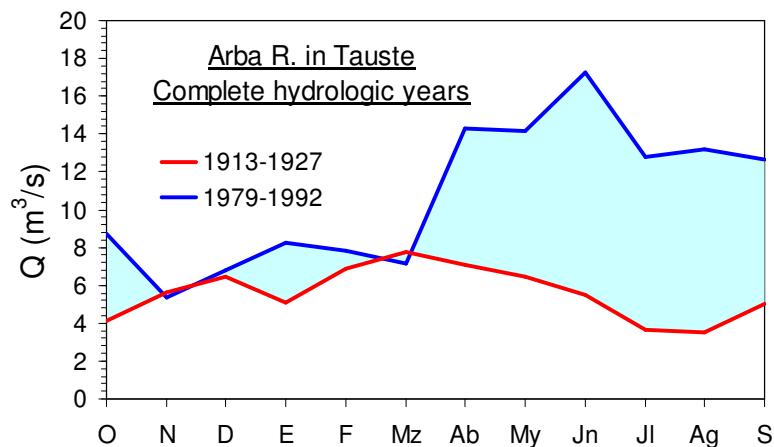


Figura 2.3. Hidrograma de los caudales medios anuales registrados en la estación de aforo 260 del Arba en Tauste, referente a la serie 1913-1927, anterior a la puesta en funcionamiento del sistema Bardenas y 1979-1992, con el sistema Bardenas en funcionamiento (CITA).

En cabecera la calidad de los distintos afluentes que conforman el Arba es buena. Son aguas de tipo bicarbonatado cálcico con una conductividad eléctrica entre 0,4 y 0,5 dS/m y un contenido en nitrato por debajo de 10 mg/l.

En el tramo medio de la cuenca, a medida que el río recibe retornos de riego, incrementa su mineralización hasta alcanzar valores de conductividad eléctrica de 2,6 dS/cm y contenidos en nitrato que rondan los 40 mg/l (CE y NO₃ registrados en la estación de RecoREbro en Tauste 2004-2010). En su desembocadura al Ebro son aguas mixtas sulfatadas clorurosódicas, ricas en nutrientes. Se calcula que el río Arba aporta al Ebro una media de cerca de 310.000 T de sal al año y unas 1.200 T de N-NO₃ (Estación de RecoREbro en Tauste, 2004-2010).

En trabajos llevados a cabo por el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón en colaboración con la Confederación Hidrográfica del Ebro se ha observado una variación de la calidad del Arba a lo largo de los últimos 30 años (CHE-CITA, 2007). Si bien de forma general para toda la cuenca del Ebro, la concentración tanto para las sales como los nitratos se ha incrementado, se observa una disminución de los aportes totales (Tabla 2.2.). Esto se debe entre otras cosas, a la disminución de los caudales condicionados por la bajada en las precipitaciones y a los cambios en las prácticas agrarias, con incremento de la superficie regada, la implantación de sistemas de riego más modernos y eficaces, etc. Esta información se desarrollará en detalle en el apartado de análisis de tendencias.

Tabla 2.2.: Porcentaje anual de la variación de salinidad y nitrato del río Arba en Tauste y del Ebro en Zaragoza expresada como concentración media anual y aportes anuales totales (CHE-CITA, 2011b).

	Variación anual de sales (1975-2008)	Variación anual de nitratos (1980-2008)		
	Concentración de TDS	Masa total de TDS	Concentración de NO ₃	Masa total de NO ₃
Arba en Tauste	1,1 %	-1,4 %	0,1 %	0 %
Ebro en Zaragoza	1,4 %	-0,4 %	-0,01 %	-0,01 %

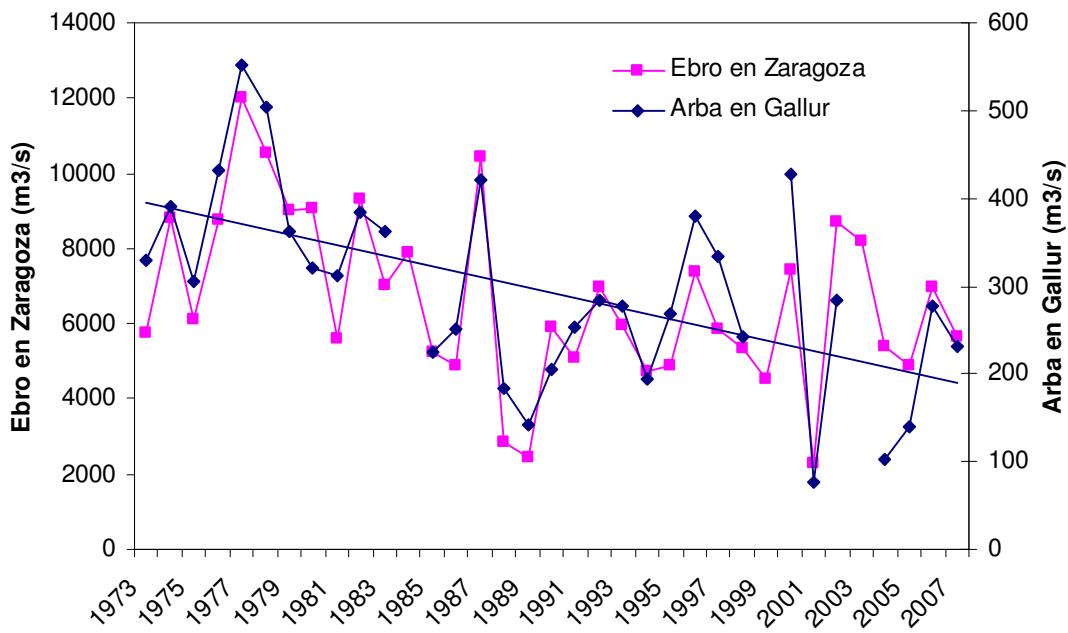


Figura 2.4. Aportaciones anuales medias registradas en la estación de aforo 11 del Ebro en Zaragoza y 260 del Arba en Gallur (CEDEX, 2012- Serie 1973-2008).

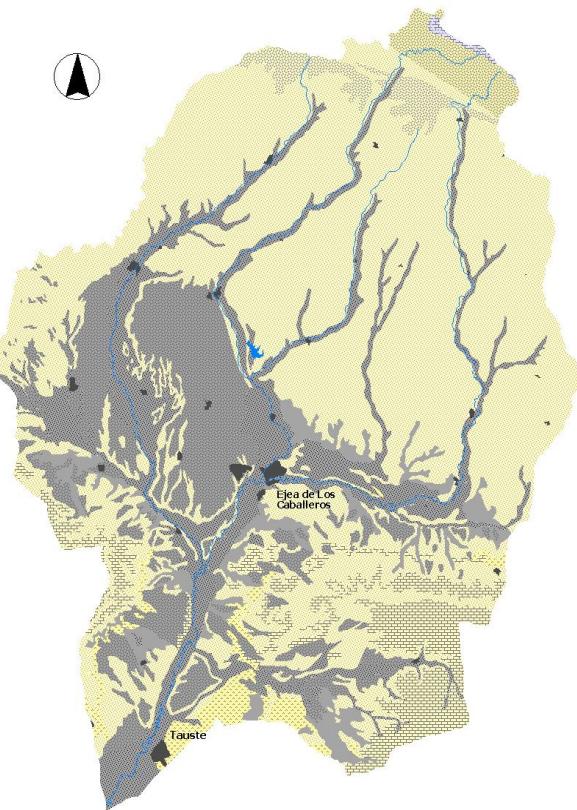


Figura 2.5. Mapa geológico de la cuenca del Arba. Fuente: Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE, 1996b).

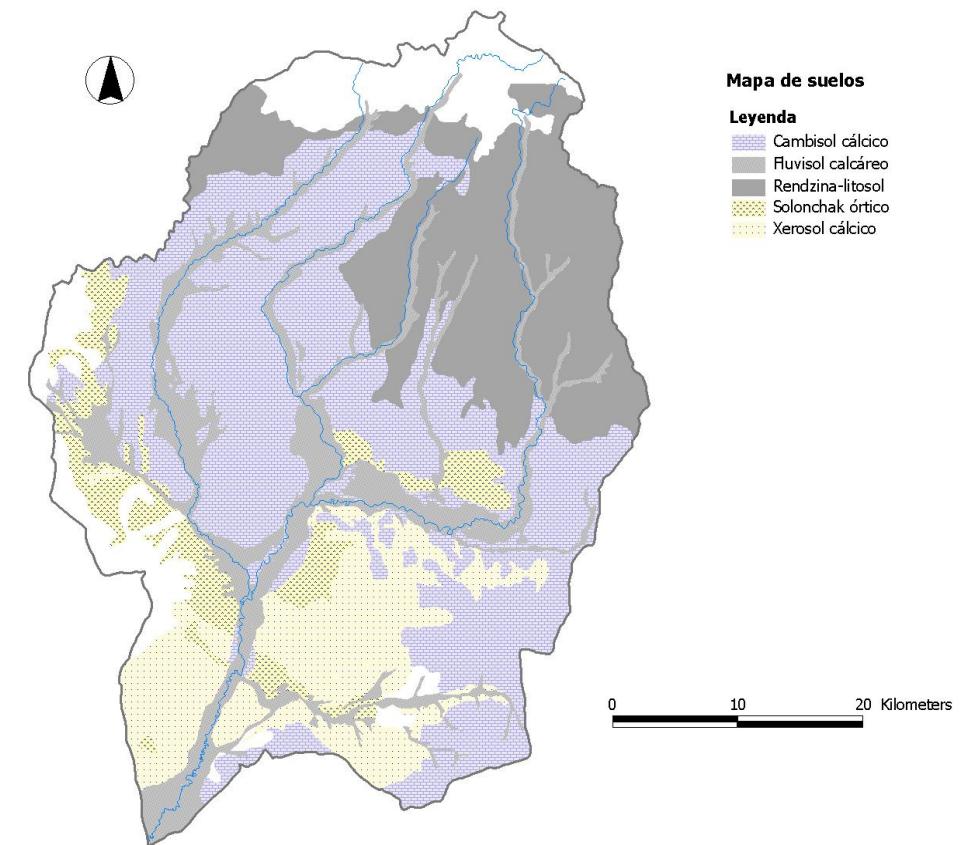


Figura 2.6. Mapa de suelos del tercio central de Aragón. Centro de Documentación e Información Territorial de Aragón (CDITA, 1993).

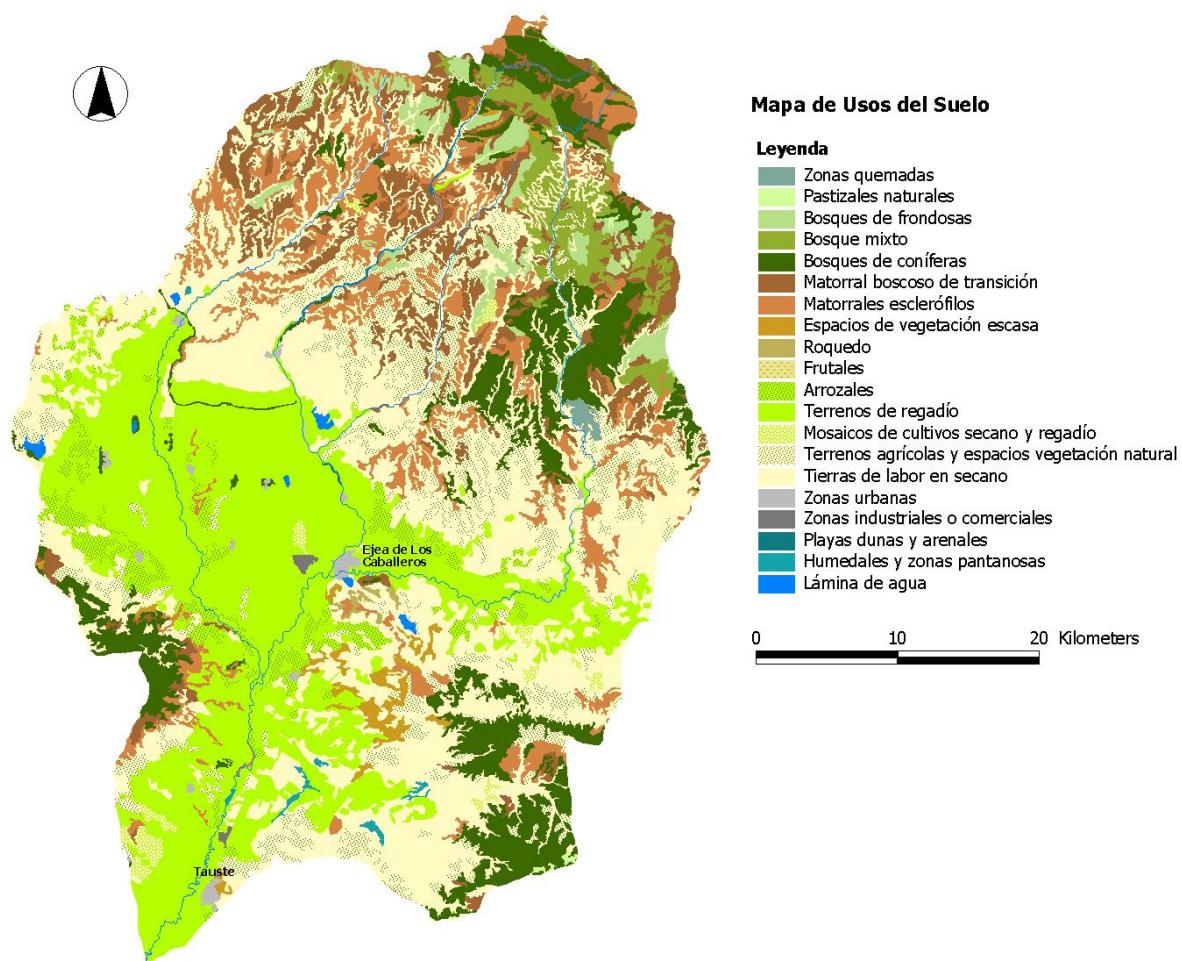


Figura 2.7. Mapa de los usos del suelo (Corine, 2006).

3.- Materiales y Métodos

El trabajo se ha desarrollado en tres fases. Una fase inicial de documentación y recogida de información, otra de desarrollo y evaluación de metodologías de cálculo de las masas exportadas por el río Arba y finalmente otra de análisis de tendencias (Figura 3.1.).

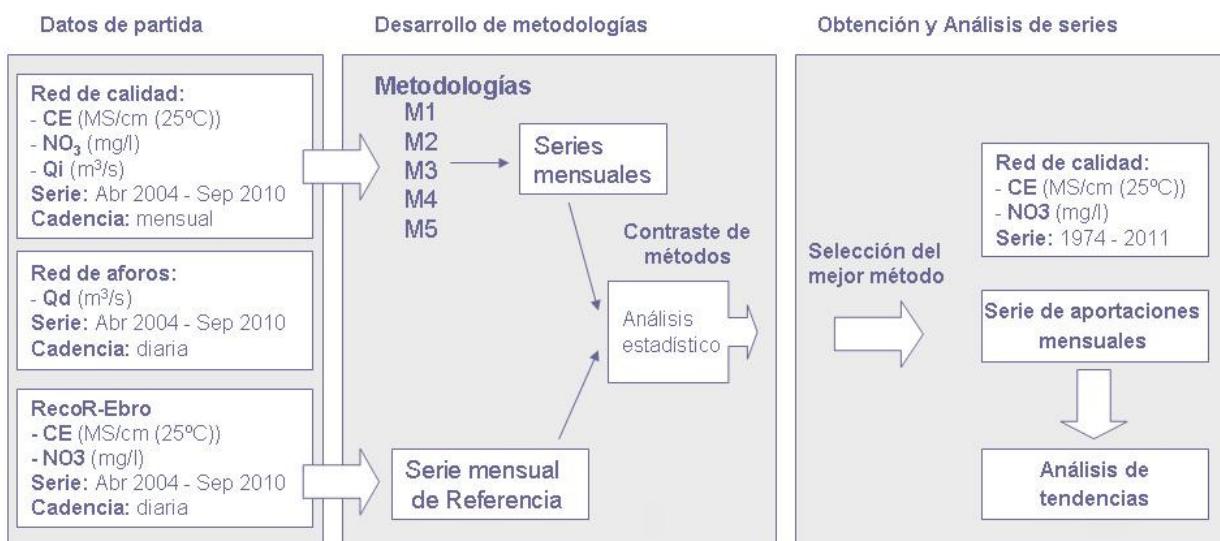


Figura 3.1. Esquema de las distintas fases y trabajos realizados

1. Localización y recopilación de documentación y bases de datos. Se localizó información referente a metodologías de cálculo de carga contaminante en ríos y se obtuvieron a partir de las bases de datos de los Organismos Oficiales, caudales, conductividad eléctrica, nitratos e iones disueltos.

2. Desarrollo de metodologías de cálculo:

- Análisis y depuración de datos. Las series de caudal, conductividad eléctrica, contenido en nitrato y principales constituyentes del agua fueron revisadas y contrastadas. Se comprobó si existía coherencia en la información, rellenando las series incompletas y eliminando los datos anómalos.
- Desarrollo de metodologías. Para la serie de información disponible procedente de RecoREbro, (datos diarios de nitrato y conductividad eléctrica) se calculó la masa de sal y nitrato mensual exportada como la suma de las masas diarias calculadas, generando así la serie de referencia.

A su vez, para la misma serie de años, se desarrollaron distintas metodologías de cálculo mensual de sal y nitratos exportados a partir de los datos de las redes de la CHE (datos de conductividad eléctrica y nitrato por mes y caudales medios diarios).

- Análisis estadístico de resultados. Mediante distintos estadísticos se analizó cuál de las metodologías desarrolladas obtuvo resultados más cercanos a la serie de referencia.

3. Cálculo de la serie mensual de aportes de sal y nitrógeno del río Arba: Se aplicó la metodología con mejores resultados estadísticos y se calculó la serie mensual de masas de sal y nitrógeno del río Arba en los últimos 40 años.

Finalmente se llevó a cabo un análisis de tendencias de las masas de sal y nitrato exportadas por el río Arba.

3.1. RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN

Se han recopilado datos de caudal, conductividad eléctrica, concentración de nitrato y principales constituyentes del agua, facilitados por la Confederación Hidrográfica del Ebro. Estos datos han sido obtenidos de la red de Aforos, RecoREbro, Red SAIH y Red de calidad (Tabla 3.1.) en las estaciones del Arba en Gallur y del Arba en Tauste situadas en el último tramo del Arba antes de su desembocadura en el Ebro (Figura 2.1.).

- La red Oficial de Aforos (ROEA) gestionada por la Confederación Hidrográfica del Ebro, se encarga de controlar los caudales circulantes por los principales ríos de la cuenca. La primera estación en el Arba, la estación nº 260 del Arba en Tauste (260-Tauste), data de 1912. Posee una serie de caudales medios diarios incompleta desde diciembre de 1928 hasta julio de 1990. Por otro lado la estación nº 60 del Arba en Gallur (60-Gallur) posee un registro completo de caudales medios diarios desde octubre de 1973. Esta última estación presenta problemas de sobreestimación en épocas de avenidas (Fichas descriptivas de las estaciones de aforo en Anejo 1).
- La red SAIH (Sistema Automático de Información Hidrológica), también operada por la Confederación Hidrográfica del Ebro, realiza una lectura automática en tiempo real de caudales instantáneos cada 15 minutos. Se encuentra activa en la estación 260-Tauste desde septiembre de 2003 y en la estación 60-Gallur desde septiembre de 2009.
- La red de Control de Vigilancia, antigua red ICA (Red Integral de Calidad de las Aguas), está operada por la Confederación Hidrográfica del Ebro. Su funcionalidad es la de controlar la calidad de los ríos que conforman la cuenca del Ebro. Esta red analiza periódicamente los principales parámetros fisicoquímicos del agua con una cadencia entre mensual y anual en función del parámetro de control. La estación 60 del Arba de Luesia en Tauste (60-Cdad.Tauste) posee registros desde octubre de 1974. Esta estación inicialmente se situaba en Gallur, pero a partir del 2004 pasó a Tauste.
- La red RecoREbro comienza su actividad en 2004 y está gestionada por la Confederación Hidrográfica del Ebro en colaboración con el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón. Tiene como finalidad controlar la calidad y cantidad de los retornos de riego de los principales tramos afectados de la cuenca del Ebro. Registra diariamente datos de conductividad eléctrica y nitrato. En el río Arba posee una estación a la altura de Tauste con registros diarios desde abril de 2004.

Tabla 3.1. Relaciones de estaciones de control que opera la Confederación Hidrográfica del Ebro en el tramo bajo de la cuenca del Arba.

Red	Estación	Datos	Serie
ROEA	260-Tauste	Caudal medio diario	02/12 - 12/28; 07/90 - 09/08
ROEA	60-Gallur	Caudal medio diario	10/73 - 09/08
SAIH	260-Tauste	Caudal quinceminal	09/03 - Actualidad
SAIH	60-Gallur	Caudal quinceminal	09/09 - Actualidad
CALIDAD	60-Cdad.Tauste	Fisicoquímicos	10/74 - Actualidad
RecoREbro	Tauste	Conductividad eléctrica, Nitratos	04/04 - Actualidad

Las series de datos utilizadas son las siguientes:

- PARA EL DESARROLLO DE METODOLOGÍAS DE CÁLCULO

Se tomaron series desde el 1 de abril de 2004 al 30 de septiembre de 2010 (Anejo 2).

De la **Estación del Arba en Tauste** se extrajeron los siguientes datos (Tabla 3.2.):

- Caudales medios diarios registrados en la red Oficial de Aforos (Q_d). Estos datos están revisados y depurados por el CEDEX (CEDEX, 2012), serie incompleta. Se aplicaron para el cálculo de la masa exportada tanto para la serie de referencia (ver apartado 3.3.2.) como para las distintas metodologías desarrolladas (ver apartado 3.3.3.). A su vez, este dato se utilizó para obtener la ecuación de regresión que relaciona el caudal con la conductividad eléctrica, aplicada en el relleno de las series (ver apartado 3.2.1.) y en el desarrollo de las metodologías de cálculo (ver apartado 3.3.3.2.).
- Caudales instantáneos (Q_i) obtenidos por la red de Calidad en el momento de la toma de muestra. Serie incompleta con un dato único al mes (CHE, 2012). Se aplica para el cálculo de masas exportadas de sal y nitrógeno en las metodologías MSi y MNi (ver apartado 3.3.3.1.).
- Caudal instantáneo quinceninal (Q_q) obtenido de la red SAIH, serie sin depurar (SAIH, 2012). Se utilizó para completar los caudales instantáneos de la red de Calidad y para completar los últimos años de la serie de caudales medios diarios extraída de la red Oficial de Aforos (ver apartado 3.2.1.).
- Conductividad eléctrica ($25^\circ C$) aportada por la red de Calidad (CE_i). Dato unitario mensual con serie incompleta (CHE, 2012). Se aplicó para el cálculo de masas exportadas de sal en las metodologías MSi, MSid, y MSim (ver apartado 3.3.3.1.) y para el cálculo de la ecuación que relaciona los sólidos disueltos totales con la conductividad eléctrica (serie 03/1975-02/2003) (ver apartado 3.3.1.)
- Contenido en nitrato del agua aportado por la red de Calidad (NO_3), dato unitario mensual con serie incompleta (CHE, 2012). Se aplicó para el cálculo de masas exportadas de nitrógeno en las metodologías MNi, MNid y MNim (ver apartado 3.3.3.1.).
- Principales constituyentes químicos del agua registrados por la red de Calidad para la serie del 03/1975 al 02/2003 (CHE, 2012). Se utilizaron para obtener los sólidos disueltos totales (TDS), necesarios para establecer la regresión entre los TDS y la CE que permite convertir las medidas de CE en salinidad (TDS) (Ver apartado 3.3.1.).

De la estación de **RecoREbro** del Arba en Tauste se extrajeron los siguientes datos:

- Conductividad eléctrica medida a $25^\circ C$ (CE), con un dato diario. Se utilizó para el cálculo de la masa exportada de sales de la serie de referencia (ver apartado 3.3.2). También se aplicó en el completado de los meses en los que la red de Calidad no tomó muestra o no analizó la conductividad eléctrica del agua (ver apartado 3.2.2.) y para ajustar las ecuaciones de los modelos de regresión (relación Q-CE) (ver apartado 3.3.3.2.).
- Contenido en nitrato del agua (NO_3), con un dato diario. Se utilizó para el cálculo de la masa exportada de nitrógeno de la serie de referencia (ver apartado 3.3.2) y para completar los meses en los que la red de Calidad no tomó muestra o no analizó el contenido en nitrógeno del agua (ver apartado 3.2.2.). También para ajustar las ecuaciones de los modelos de regresión (relación CE- NO_3) (ver apartado 3.3.3.2.).

De la **Estación del Arba en Gallur** se extrajeron los siguientes datos:

- Caudales medios diarios de la red Oficial de Aforos (CEDEX, 2012). Sirvieron para completar la serie de caudales medios diarios aportada por la estación 260 del Arba en Tauste (ver apartado 3.2.1).

Tabla 3.2. Relación de las principales series de datos utilizados para la elaboración de las metodologías de cálculo de tendencias de sal y nitrógeno en la cuenca del Arba. Serie de abril de 2004 hasta septiembre de 2010.

	Dato	Red	Estación	Serie	Datos	Med	Max	Min	Udes	Muestreo
Caudal	Q _d	ROEA	260-Tauste	04/04 – 9/08	2237	6,3	111	0,8	m ³ /s	Diario
	Q _d	ROEA	60-Gallur	04/04 – 9/08	1644	7,1	158	1,0	m ³ /s	Diario
	Q _i	Calidad	60-Cdad.Tauste	04/04 – 9/10	31	9,2	28,6	2,6	m ³ /s	Mensual
	Q _q	SAIH	260-Tauste	04/04 – 9/10	170686	7,8	248	0,1	m ³ /s	15 min
Conduc eléctr	CE	RE	Tauste	04/04 – 9/10	2147	2,8	7,5	0,7	dS/m	Diario
	CE _i	Calidad	60-Cdad.Tauste	04/04 – 9/10	66	2,6	5,2	0,9	dS/m	Mensual
Nitrág.	NO ₃	RE	Tauste	04/04 – 9/10	2146	38,6	94,0	1,0	mg/l	Diario
	NO _{3i}	Calidad	60-Cdad.Tauste	9/04 – 9/10	52	35,9	65,1	10,3	mg/l	Mensual

Tabla 3.3. Resumen de las distintas aplicaciones para el cálculo de metodologías dadas a las series de caudal y calidad del agua de la CHE. Serie de abril de 2004 hasta septiembre de 2010.

	Dato	Descripción	Red	Estación	Uso	Aplicación
Q _d	Media diaria	ROEA	260-Tauste	Cálculo	Series de referencia (sal y nitrógeno); Métodos de regresión e instantáneos	
	Media diaria	ROEA	60-Gallur	Relleno	Serie de caudales medios diarios	
Q _i	Instantáneo	Calidad	60-Cdad.Tauste	Cálculo	Métodos instantáneos	
Q _q	Quincemin.	SAIH	260-Tauste	Relleno	Serie caudales medios diarios e instantáneos	
CE	Dato diario	RecoREbro	Tauste	Cálculo	Serie de referencia de aportes de sal	
	Dato diario	RecoREbro	Tauste	Relleno	Serie conductividad eléctrica instantánea	
	Dato diario	RecoREbro	Tauste	Ajuste	Ecuación modelos de regresión	
CE _i	Instantánea	Calidad	60-Cdad.Tauste	Cálculo	Métodos instantáneos	
	Instantánea	Calidad	60-Cdad.Tauste	Cálculo	Relación TDS-CE	
NO ₃	Dato diario	RecoREbro	Tauste	Cálculo	Serie de referencia de aportes de nitrógeno	
	Dato diario	RecoREbro	Tauste	Relleno	Serie conductividad eléctrica instantánea	
	Dato diario	RecoREbro	Tauste	Ajuste	Ecuación modelos de regresión	
NO _{3i}	Instantánea	Calidad	60-Cdad.Tauste	Cálculo	Métodos instantáneos	

- PARA LA ELABORACIÓN Y ANÁLISIS DE TENDENCIAS

Se han utilizado las series de caudal medio diario y medio mensual de la estación del Arba en Gallur (10/1973-09/2008) y la del Arba en Tauste (10/1990-09/2008), así como el contenido en nitrato y la conductividad eléctrica obtenido por la red de Calidad de la CHE (03/1975-09/2010).

Tabla 3.4. Tabla resumen de los principales datos utilizados para el cálculo de tendencias de sal y nitrógeno exportados en la cuenca del Arba.

Dato	Red	Estación	Serie	Datos	Media	Max	Min	Udes.	Muestreo
Qd	ROEA	60-Gallur	10/73 - 09/08	12618	10,6	281,0	0,6	m ³ /s	Diario
Qd	ROEA	260-Tauste	06/90 - 09/08	6327	8,5	214,5	0,1	m ³ /s	Diario
CE _i	Calidad	60-Cdad.Tauste	10/74 - 09/10	400	2,89	5,21	0,52	dS/m	Mensual
NO ₃ ⁻	Calidad	60-Cdad.Tauste	03/75 - 09/10	108	35,5	65,1	2,5	mg/l	Men/ Sem

Tabla 3.5. Resumen de las distintas aplicaciones dadas a las series de datos para el análisis de tendencias. Serie de octubre de 1973 septiembre de 2010.

Dato	Descripción	Red	Estación	Aplicación
Qd	Medio diario	ROEA	260-Tauste	Relleno de la serie de caudales medios diarios
	Medio diario	ROEA	60-Gallur	Cálculo de la masa de sal y nitrógeno exportada
CE _i	Instantánea	Calidad	60-Cdad.Tauste	Cálculo de la masa de sal exportada
NO ₃ ⁻	Instantáneo	Calidad	60-Cdad.Tauste	Cálculo de la masa de nitrógeno exportada

De la **red de Oficial de Aforos** se extrajeron los siguientes datos (Tabla 3.4.):

- Caudales medios diarios de la estación 60-Gallur para la serie del 1/10/1973 al 30/09/2008 (MAGRAMA, 2012). Se han empleado para obtener la serie mensual de aportes de sal y nitrógeno del Arba (ver apartado 4.2.).
- Caudales medios diarios de la estación 260 del Arba en Tauste (MMA, 2012). Se han utilizado para completar y corregir la serie de caudales de la estación del Arba en Gallur (ver apartado 3.2.1.).

A diferencia del desarrollo de las distintas metodologías de cálculo que emplea los caudales registrados en Tauste, para el análisis de tendencias se emplea la serie de Gallur debido a la falta de registros en la estación de Tauste (1928-1990) y a la ubicación inicial del punto de control de la red de Calidad a la altura de Gallur.

De la **red de Calidad de la CHE** se utilizaron los siguientes datos (Tabla 3.4.):

- Conductividad eléctrica con un dato mensual para la serie de octubre del 1974 al septiembre de 2010 (CHE, 2012). Se emplea para el cálculo de la masa mensual de sales exportadas mediante método MSim (ver apartado 4.2.).

- Contenido en nitrato del agua, dato unitario mensual o semestral para la serie del 1/03/1975 al 30/09/2008 (CHE, 2012). Inicialmente y hasta el 2004 la estación se situaba a la altura de Gallur, actualmente se encuentra en Tauste. Se emplea para el cálculo de los aportes mensuales de nitrógeno a partir de la metodología MNim (ver apartado 4.2.).

3.2. ANÁLISIS Y DEPURACIÓN DE LAS SERIES DE DATOS

El análisis y depuración de datos consistió en la evaluación pormenorizada de la información registrada en las redes de control, su depuración con la eliminación de los datos erróneos, y la sustitución por datos más precisos, y completos calculados mediante técnicas de regresión o por asociación con otros puntos de control. Este análisis se realizó tanto para las series de datos aplicadas en el desarrollo de metodologías como para la elaboración de las series de masas exportadas en los últimos 37 años.

3.2.1 Caudales

El caudal es el dato más sensible que introduce mayores errores en el cálculo de las masas exportadas.

➤ Para el desarrollo de las metodologías de cálculo se tomó como referente la serie de **caudal medio diario (Qd) de la estación de aforo 260- Tauste** (serie 4/2004-9/2010). En esta serie se identificaron varias incertidumbres que se detallan a continuación:

- Serie incompleta o sin depurar. Los datos oficiales de caudal medio diario en la estación 260-Tauste tan solo poseen 24 meses completos de un total de 78 (serie completa de referencia 04/2004 – 9/2010).

Se completó utilizando registros de la estación 60 del Arba en Gallur desde el 1/10/2007 al 30/09/2008. Esta estación se sitúa 7 km aguas abajo, y no constituye grandes cambios en cuanto a superficie de drenaje y retornos de riego.

La serie de caudal medio diario aportado por el anuario de aforos (datos oficiales del CEDEX) finaliza el 30/09/2008. Para completar la serie hasta el 30/09/2010 se utilizaron los caudales registrados por el SAIH en la estación 260-Tauste. Estos caudales tan solo corresponden a la lectura de la altura de la lámina de agua y a su correspondiente cálculo del caudal a través de la curva de gasto, revisada periódicamente. Son datos provisionales y pendientes de revisión por parte del Organismo Oficial.

- Posible sobreestimación del caudal. En época de avenida, a pesar de que la concentración de sales y nitrato en la cuenca del Arba disminuye, la masa total exportada es muy elevada. De este modo, a partir de caudales sobreestimados, se puede llegar a obtener datos mensuales de masa de sal y nitrógeno muy elevados.

Estos posibles datos anómalos fueron localizados mediante un análisis detallado de la serie de caudal contrastada con el dato de conductividad eléctrica de RecoREbro. Se comprobó si los cambios bruscos de caudal estaban asociados a una variación en la conductividad eléctrica. Para todos aquellos caudales considerados anómalos, se comprobó la repercusión de la crecida en las estaciones de control cercanas, (misma cuenca o cuencas cercanas de iguales características) y una vez contrastados, se procedió a su eliminación o sustitución

por valores obtenidos en la estación situada aguas abajo (60-Gallur). Se realizaron los siguientes cambios:

- A finales de marzo y principios de abril de 2007 se registró la máxima avenida extraordinaria de la serie. Para estos días no se observó variación en el dato de conductividad eléctrica ni de nitrato. Todo indica a que la avenida debió afectar al sistema de medida y recogida de muestras. Se procedió a eliminación de toda la serie desde el 11/03/07 al 3/04/07.
- Se observaron casos donde la avenida se encontraba desplazada varios días en relación a la variación de conductividad eléctrica (11-17/03/2006). Se corrigió el desfase corriendo varios días el dato de caudal.

➤ Para el desarrollo de las metodologías de cálculo basadas en datos instantáneos se utilizó la serie de **caudal instantáneo (Q_i) de la estación de la red de Calidad 60-Cdad.Tauste** (serie 4/2004-9/2010). En esta serie se identificaron varias incertidumbres que se detallan a continuación:

- Tan solo existe dato de caudal instantáneo en 31 meses. En la medida que la serie del SAIH poseía registros, la serie de caudales instantáneos de la red de Calidad se completó a partir de los datos quinceminales de la red SAIH (misma fecha y hora de muestreo). Para todos aquellos días con dato de altura de lámina de agua sin conversión a caudal, se calculó el caudal instantáneo a partir de las curvas de gasto desarrolladas por el SAIH (Figura 3.2. Tabla 3.6. y 3.7).

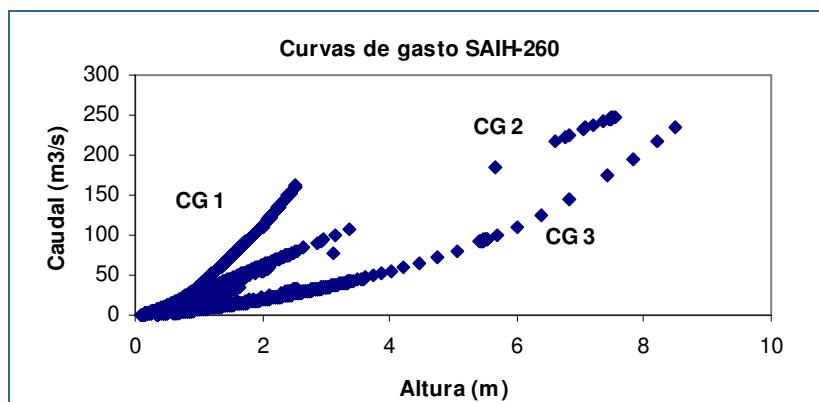


Figura 3.2. Relación caudal-altura de lámina de agua de la estación de aforo 260-Tauste del SAIH. Curva de gasto calculada por la Confederación Hidrográfica del Ebro para la serie del 04/2004 al 30/09/2010.

Tabla 3.6. Cálculo de la ecuación de la curva de gasto de la estación de aforo 260-Tauste del SAIH para los períodos utilizados en el relleno de las series.

Curva de gasto caudal SAIH-260	
$Q=a+bh+ch^2$	
CG1	CG2
4/07/2006 -2/04/2007 a= -2,24503 b= 17,3368 c=20,3734	2/04/2007-22/09/2008 a= -4,80087 b= 32,9877 c= 0,111193

Tabla 3.7. Relación de caudales instantáneos obtenidos de la estación 260-Tauste del SAIH utilizados para completar la serie de caudales instantáneos de la red de Calidad. CG es la curva de gasto de la tabla 3.6.

Fecha/hora	CG	Q (m³/s)	Fecha/hora	CG	Q (m³/s)
15-07-04 9:45		5,00	21-2-07 14:15		8,2
30-11-04 13:30		5,45	26-3-07 12:50		9,7
13-2-06 9:40	1	2,82	19-4-07 14:15		13,37
15-3-06 15:30	1	3,36	29-5-07 10:10		5,3
18-4-06 10:00	1	7,62	26-6-07 15:25		4,8
16-5-06 9:50	1	3,92	25-7-07 13:45		3,44
6-6-06 16:40	1	3,36	18-10-07 16:40		3,96
6-7-06 9:30		2,7	13-2-08 9:20		9,26
3-8-06 18:22		2,7	11-6-08 12:10	2	21,0
6-9-06 13:00		3,6	8-7-08 10:10	2	13,7
10-10-06 14:55		4,88	22-9-08 12:35	2	19,0
16-11-06 15:30		2,7	4-2-09 9:45		17,08
23-1-07 12:35		3,15	20-7-09 9:35		5,29

- En el primer año de la serie (04-11/2004), los datos de caudal instantáneo de la red de Calidad están sobreestimados, no coinciden con los registros quincenariales del SAIH y se alejan considerablemente del caudal medio diario registrado por la estación de aforo 260-Tauste (ROEA) (Tabla 3.8). Esto se debe al cambio de ubicación de la red de Calidad. Inicialmente las muestras se tomaban en la estación de Gallur y a partir de 2004 se pasa a utilizar la de Tauste. La serie que se utiliza como referencia para el desarrollo de metodologías de cálculo es la registrada en Tauste de modo que en la medida que se pueda, todos los datos deben ajustarse a las estaciones situadas en ese tramo del río.

Para evitar diferencias con la serie de referencia (muestreos en Tauste) los caudales instantáneos anómalos de los primeros muestreo (2004), fueron sustituidos por los datos del SAIH de la estación 260 de Tauste para la misma fecha y hora de muestreo (Tabla 3.8.).

Tabla 3.8. Caudales registrados por las distintas redes de control (m^3/s) Qi: caudal instantáneo de la red de Calidad obtenida a partir lectura de escala en el momento de muestreo; Qd: caudal medio diario obtenida de la red de Aforos; Qq: caudal instantáneo medido cada quince minutos en la red SAIH. Los datos resaltados corresponden a los sustituidos en la serie de caudales instantáneos.

Fecha/hora	Qi 60-Tauste Red calidad	Qd 60-Gallur ROEA	Qq 260-Tauste ROEA	Qd 260-Tauste SAIH
9-9-03 14:30	22,71	20,41	13,55	14,05
12-2-04 10:15	4,05	1,85	3,35	-
14-3-04 16:00	32,69	23,69	12,8	-
15-4-04 15:00	18,3	14,27	4,12	4,62
10-5-04 18:00	28,56	24,47	11,08	12,54
8-6-04 17:00	19	13,88	4,45	4,5
22-8-04 10:00	12,08	8,17	5,52	6,83
5-9-04 14:30	16,55	11,53	7,22	8,64
3-10-04 9:45	19,54	10,74	12,42	12,65
14-11-04 10:15	7,23	4,45	7,71	7,73
16-1-05 10:45	7,52	3,995	7,21	6,87

➤ Para la elaboración y análisis de tendencias se tomó el **caudal medio diario de la estación 60-Gallur** (serie 4/2004-9/2010). Entre los principales problemas que se observaron se encuentran:

- Serie incompleta o datos sobreestimados que no coinciden con la relación de caudales de la estación de Tauste. Parece ser que la estación de Gallur está afectada por las avenidas del Ebro, de modo que en épocas de crecida parte del caudal que registra la estación procede del Ebro y no del Arba. La serie se completó y algunos datos anómalos se modificaron mediante ecuaciones de regresión que relacionan el caudal medio diario de la estación de Tauste con la de Gallur:

Tabla 3.9. Serie de caudales medios diarios de la estación 60-Gallur que han sido completados a partir del caudal medio diario registrado en Tauste. Serie: datos de calibración de la ecuación de regresión; Modificados: número de caudales medios diarios que han sido completados o modificados dentro de la serie; Ecuación: ajuste de la ecuación de regresión; Ajuste: coeficiente de determinación de la ecuación de regresión (R^2).

Serie	Modificados	Ecuación	Ajuste
23/09/09-16/01/10	193	$QdGallur = 1,1388 * QdTauste + 1,4436$	$R^2 = 0,957$
15/05/00-26/06/00	6	$QdGallur = 1,1055 * QdTauste - 0,7754$	$R^2 = 0,942$
1/08/03-18/02/04	114	$QdGallur = 1,2832 * QdTauste - 1,4119$	$R^2 = 0,983$
1/04/08-30/09/08	12	$QdGallur = 1,2 * QdTauste^{0,9886}$	$R^2 = 0,980$

- Caudales constantes a lo largo de periodos prolongados de tiempo. Están asociados a caudales de estiaje y son consecuencia de la baja sensibilidad de algunas estaciones de aforo a los regímenes de bajo caudal. Las estación de Gallur posee una sección rectangular con un canal de aguas bajas muy amplio (ver Anejo 1), para cuantificar un incremento o disminución de caudal, la altura de la lámina de agua debe variar considerablemente. Esta situación puede incorporar errores en el cálculo de los aportes de sal y nitrógeno a bajo caudal.

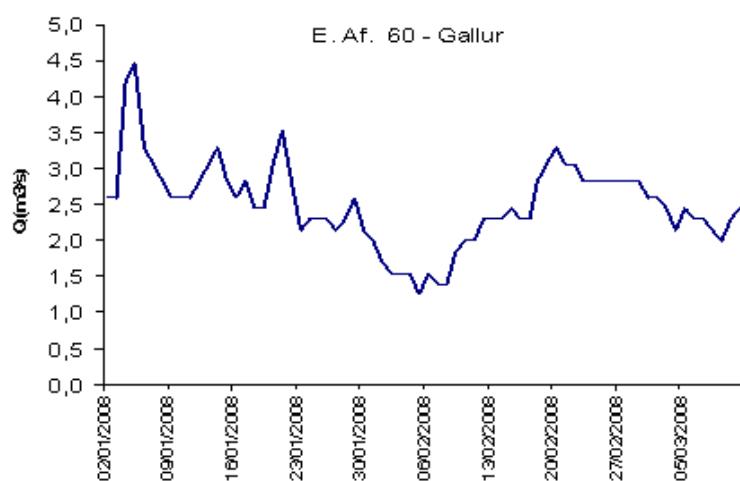


Figura 3.3. Hidrograma de la estación de aforo 60 del Arba en Gallur (2/01/2008-11/03/2008).

3.2.2. Conductividad eléctrica y nitrato

➤ El cálculo de la carga mensual de sal y nitrógeno de referencia se realizó a partir de los registros de **nitrato y conductividad eléctrica diaria (CE, NO₃) de RecoREbro** (serie 4/2004-9/2010).

- Estas series presentan importantes lagunas, 227 días que suponen un 9,6 % del total de datos y una pérdida de 22 meses.

Se realizó un completado de las series de conductividad eléctrica y nitrato mediante métodos de regresión que relacionan el caudal con la conductividad eléctrica y ésta a su vez, con el nitrato (las ecuaciones de regresión utilizadas son las mismas que se aplican para el desarrollo de los métodos de cálculo mediante metodologías de regresión detalladas en el apartado 3.3.3.2). A partir del caudal medio diario registrado en la estación del Arba en Tauste, se obtuvo el valor de conductividad eléctrica para ese día, y a partir del dato de conductividad eléctrica, el de nitrato. Gracias a este relleno se consiguió incrementar en 17 meses más las series de referencia (Tabla 3.10).

➤ Las series de conductividad **eléctrica y nitratos instantáneos (CE_i, NO_{3i}) de la red de Calidad** empleadas para el desarrollo de las metodologías de cálculo basadas en datos instantáneos también poseen varios meses sin registro. Para aquellas metodologías que emplean caudales y conductividad eléctrica instantánea, se pierden 27 meses sobre un total de 78 meses (35%), y para caudales y nitratos instantáneos 39 meses (50% de la serie).

Se realizó una nueva serie completa de datos instantáneos a partir de los registros de conductividad eléctrica y nitratos de RecoREbro. Se procuró utilizar el mismo día de muestreo de la red de Calidad o en su defecto o por ausencia de dato de caudal instantáneo o caudal medio diario, el día más cercano a la fecha de muestreo para ese mes. La nueva serie incrementó en 8 meses la serie de TDS (métodos MSid y MSim) y en 22 meses la de nitrato (métodos MNid y MNim).

Tabla 3.10. Relación de días de relleno de las series de conductividad eléctrica y nitrato de la red de RecoREbro y media de los caudales medios diarios registrados por la Red de Aforos (CHE) para esas fechas.

Fechas	Datos completados	Promedio Q (m ³ /s)	Fechas	Datos completados	Promedio Q (m ³ /s)
14/05/04-16/05/04	3	10,9	16/05/06-28/05/06	13	3,5
3/06/04-6/06/04	4	4,9	11/05/07-19/05/07	8	4
31/07/04-3/08/04	4	4,9	27/05/07-29/05/07	3	5,6
7/09/04-12/09/04	6	56,4	11/05/08-25/05/08	14	9,9
1/04/05-5/05/05	32	2,3	24/07/08-12/08/08	20	6
7/06/05-3/07/05	26	2	14/11/09-22/11/09	9	3,6
22/12/05-28/12/05	7	1,1	14/05/10-18/05/10	5	10,8
		Total	154 (6,5% del total)		

3.3. DESARROLLO DE METODOLOGÍAS DE CÁLCULO

La carga total de sales y nitrógeno que aporta el Arba al Ebro viene definida por los sólidos disueltos totales (TSD) y la concentración de nitrógeno del agua para un periodo de tiempo definido, así como por el caudal que circula por el río en dicho periodo de tiempo.

Son numerosas las metodologías de cálculo de aportes de masas desarrolladas desde que existen registros de calidad de agua en los ríos (Hall, F.R., 1970; Cohn T. A., 1992; Smart T.S., 1999; Verma, S, 2012). Estas metodologías responden fundamentalmente a dos grupos, las fundamentadas en datos de lectura reales y los modelos empíricos, basados en la relación existente entre el caudal y la composición química del agua.

Las primeras son metodologías sencillas de cálculo y requieren del desarrollo de redes de control con series muy completas; cuanto mayor sea la frecuencia de muestreo menor es la incertidumbre del resultado. Asumen que el dato observado es representativo de todo el intervalo de tiempo entre muestreos.

Por otro lado los modelos empíricos o metodologías de regresión, no pueden aplicarse a todos los ríos, pues requieren de la existencia de una relación constante entre la concentración y el caudal; la relación entre los datos observados establece el valor de los calculados. Para un buen ajuste del modelo los datos observados deben registrar una amplia variación que minimicen los errores de los valores extremos. Además, hay que tener en cuenta que la relación entre el caudal y la concentración de forma natural no es constante, varía a lo largo del tiempo, pues son muchos factores los que la determinan: los ciclos de riego, el sustrato, el régimen de vertidos, precipitaciones, cambios en los usos del suelo con la ampliación de zonas regables, sistemas de riego, etc.

Para determinar cual es la metodología que mejor cuantifica los aportes mensuales de sal y nitrógeno del Arba en este trabajo se han desarrollado cinco metodologías, tres a partir de datos reales registrados por la red de Calidad y otros dos, basados en la relación del caudal medio diario del río Arba con la conductividad eléctrica y el nitrato. Su valoración se realizó mediante análisis estadístico a partir de las diferencias entre los valores mensuales calculados según cada metodología y los valores mensuales de la serie de referencia (suma de los datos diarios de RecoREbro para cada mes).

En los siguientes apartados se desarrolla las distintas metodologías empleadas.

3.3.1. CÁLCULO DE SÓLIDOS DISUELtos TOTALES

La obtención en laboratorio de la cantidad de sólidos disueltos en el agua resulta muy costosa por lo que se utiliza como medida la conductividad eléctrica o capacidad del agua de transmitir la corriente eléctrica.

Dado que la conductividad eléctrica del agua está condicionada por la cantidad de sales y el tipo de iones disueltos que posee, se puede establecer una correlación directa entre los sólidos disueltos totales (TDS, concentración de sales) y la conductividad eléctrica, expresada mediante una ecuación del tipo (regresión lineal forzada por el origen):

$$\text{TDS} = K \cdot \text{CE}$$

Donde *TDS* son los sólidos disueltos totales; *CE* corresponde a la conductividad eléctrica; y *K* es un coeficiente de regresión entre ambos parámetros, relacionado con la composición del agua (proporción y tipo de iones mayoritarios).

Para obtener el valor del coeficiente *K* en el tramo bajo del Arba se tomaron los resultados de los análisis químicos de la red de Calidad desde marzo de 1975 a febrero 2003. Los TDS se calcularon como el sumatorio de las concentraciones en mg/l de todos los iones mayoritarios, siempre y cuando se presentaran al menos Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, Ca²⁺, Mg²⁺ y Na⁺ en los resultados. A partir de la correlación lineal entre el sumatorio de iones y el valor de la conductividad eléctrica de esa muestra se obtuvo el coeficiente *K* como se detalla a continuación:

Cálculo de TDS a partir de CE	
	$TDS = K \bullet CE$
[Eq. CE-TDS]	TDS: mg/l
	CE: dS/m, 25°C
	K=733,562
	R ² =0,9581, p<0,05
	S=107,624

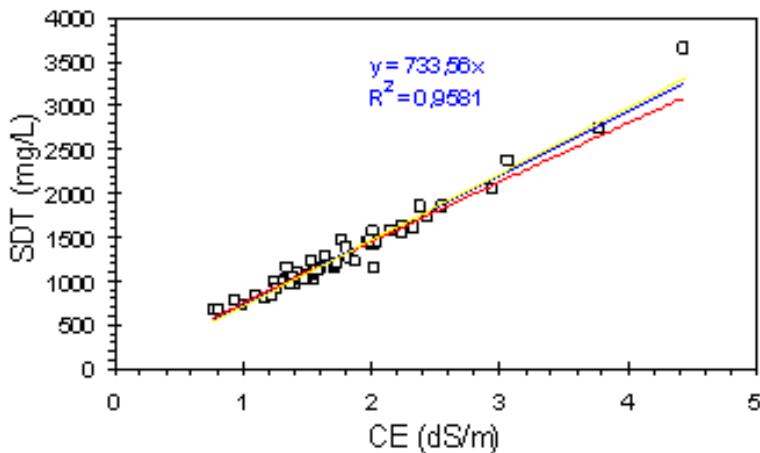


Figura 3.4. Cálculo de los sólidos disueltos totales (TDS) a partir de la conductividad eléctrica. Datos de iones mayoritarios correspondientes a la red de Calidad (03/1975-02/2003).

Una vez calculado el coeficiente K todos los datos de conductividad eléctrica (dS/m) fueron pasados a sólidos disueltos totales (mg/l).

3.3.2. CÁLCULO DE LA SERIE DE REFERENCIA

La serie de referencia se define como aquella que mejor representa la realidad del río en cada momento y se calcula a partir de los datos más detallados de los que se dispone: registros diarios de CE y NO₃ de RecoREbro (1/03/2004-30/09/2010), y el caudal medio diario.

La carga mensual de referencia se calcula como el sumatorio de todos los días del mes, del producto de los TDS (obtenidos a partir de la CE) o el N-NO₃ por el caudal medio diario, tal y como se expresa en las siguientes ecuaciones:

[Eq. Ref. a]

$$SLo = \sum_{mes} Q_d \bullet TDS$$

SLo: Carga mensual de sales (T/mes)

TDS: Sólidos disueltos totales calculados a partir del dato diario de CE (mg/l)

Q_d: caudal medio diario (m³/s)

Factor de conversión de unidades de 0,0864

[Eq. Ref. b]

$$NLo = \sum_{mes} Q_d \bullet N - NO_3$$

NLo: Carga mensual de nitrógeno (N-NO₃ T/mes)

N-NO₃: Concentración de N nítrico (mg/l)

Q_d: caudal medio diario (m³/s)

Factor de conversión de NO₃ a N-NO₃ de 0.2259

Factor de conversión de unidades de 0,0864

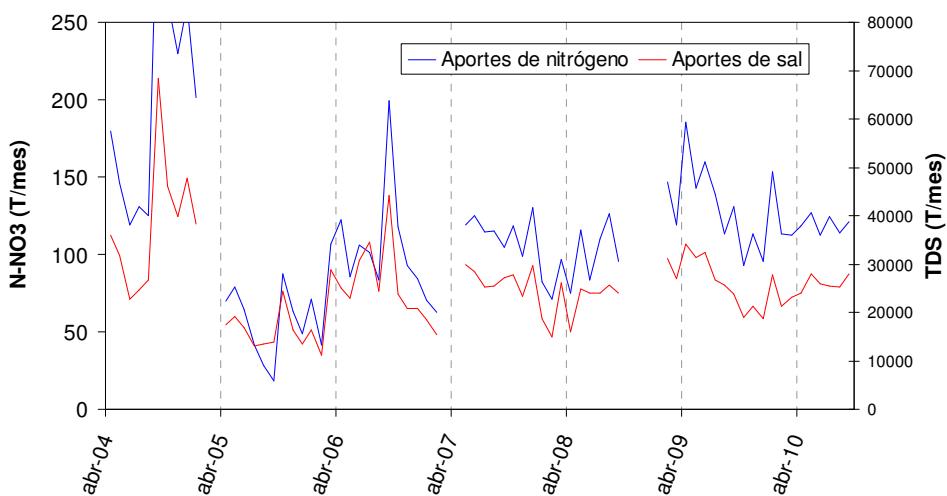


Figura 3.5. Aportes mensuales de sal (TDS T/mes) y aportes mensuales de nitrógeno (N- NO₃ T/mes) de referencia (1/03/2004-30/09/2010).

3.3.3. DESARROLLO DE METODOLOGÍAS

Se han desarrollado cinco metodologías para el cálculo de los aportes de sal y otras cinco de iguales características para el cálculo de los aportes de nitrógeno. Las tres primeras corresponden a aquellas que aplican datos instantáneos de concentración y/o caudal y las dos últimas están basadas en la relación entre el caudal y la composición química del agua. En la siguiente tabla se resume cada una de ellas:

Tabla 3.11. Relación de metodologías desarrolladas para el cálculo de los aportes de sal y nitrógeno. Qi: caudal instantáneo en el momento de muestreo; Qd; caudal medio diario; Qm caudal medio mensual. TDSi: sólidos disueltos totales instantáneos; NO₃i: nitratos instantáneos; TDSd: sólidos disueltos totales obtenidos de caudal medio diario NO₃d: Nitratos obtenidos de la conductividad eléctrica calculada para ese día; TDSm: sólidos disueltos totales obtenidos de caudal medio mensual; NO₃m: Nitratos obtenidos de la conductividad eléctrica calculada para ese mes.

	Métodos basados en datos instantáneos						Métodos de regresión			
	MSi [Eq. 1a]	MNi [Eq. 1b]	MSid [Eq. 2a]	MNid [Eq. 2b]	MSim [Eq. 3a]	MNid [Eq. 3b]	MSd [Eq 4a]	MNd [Eq 4b]	MSm [Eq 5a]	MNm [Eq 5b]
Caudal	Qi		Qd		Qm		Qd		Qm	
	Caudal instantáneo del muestreo		Caudal del día de muestreo		Caudal medio mensual		Caudal medio diario		Caudal medio mensual	
Concentración	TDSi y NO ₃ i		TDSi y NO ₃ i		TDSi y NO ₃ i		TDSd y NO ₃ d		TDSm y NO ₃ m	
	Dato instantáneo		Dato instantáneo		Dato instantáneo		Obtenido a partir del caudal medio diario		Obtenido a partir del caudal medio mensual	
	1 dato/mes		1 dato/mes		1dato/mes		Sumatorio del mes		Media del mes	

3.3.3.1 Métodos basados en datos instantáneos

Se desarrollaron a partir de la información disponible de las redes de control de calidad y de aforo de la CHE: datos de conductividad eléctrica y nitratos unitarios por mes (instantáneos) y caudal medio diario (1/03/2004-30/09/2010). Se definen los siguientes métodos:

- 1.a Concentración instantánea por caudal instantáneo, **MSi** (sal) y **MNi** (nitrógeno). Se calcula como el caudal en el momento de muestreo por los TDS y N-NO₃ instantáneos obtenidos en la campaña del mes. Con este método, se asume que la masa instantánea en el momento de muestreo es representativa de todo el mes.

[Eq. 1a]

$$MSi = Q_i \bullet TDS_i (CE_i)$$

[Eq. 1b]

$$MNi = Q_i \bullet N - NO_{3i}$$

Q_i: Caudal instantáneo en el momento de muestreo (m³/s).

TDS_i: Sólidos disueltos totales instantáneos obtenidos a partir de la conductividad eléctrica (mg/l).

CE_i: Conductividad eléctrica instantánea, un dato por mes (dS/m-25º C)

N-NO_{3i}: Concentración de N nítrico, un dato por mes (mg/l).

Factor de conversión de NO₃ a N-NO₃ de 0.2259

Factor de conversión de unidades de 0,0864

- 2.a Concentración instantánea por caudal medio diario, **MSid** (sal) y **MNid** (nitrógeno). Se calcula como el caudal medio diario del día de muestreo por los TDS y N-NO₃ instantáneos obtenidos en la campaña del mes. Este método asume que la masa exportada en el día de muestreo es representativa de todo el mes.

[Eq. 2a]

$$MSid = Q_d \bullet TDS_i (CE_i)$$

[Eq. 2b]

$$MNid = Q_d \bullet N - NO_{3i}$$

Q_d: Caudal medio diario del día de muestreo (m³/s).

TDS_i: Sólidos disueltos totales instantáneos obtenidos a partir de la conductividad eléctrica (mg/l).

CE_i: Conductividad eléctrica instantánea, un dato por mes (dS/m-25º C)

N-NO_{3i}: Concentración de N nítrico, un dato por mes (mg/l)

Factor de conversión de NO₃ a N-NO₃ de 0.2259

Factor de conversión de unidades de 0,0864

3.a Concentración instantánea por caudal medio mensual **MSim** (sal) y **MNim** (nitrato): Se calcula como el caudal medio mensual por los TDS y N-NO₃ instantáneos obtenidos en la campaña del mes. Este método pondera el valor del caudal con datos más representativos del mes y asume la concentración instantánea como la representativa de los días sin valor observado.

[Eq. 3a]

$$MSim = Q_m \bullet TDS_i(CE_i)$$

[Eq. 3b]

$$MNim = Q_m \bullet N - NO_3$$

Qm: Caudal medio mensual (m³/s).

TDS_i: Sólidos disueltos totales instantáneos obtenidos a partir de la conductividad eléctrica (mg/l).

CE_i: Conductividad eléctrica instantánea, un dato por mes (dS/m-25º C)

N-NO₃: Concentración de N nítrico, un dato por mes (mg/l)

Factor de conversión de NO₃ a N-NO₃ de 0.2259

Factor de conversión de unidades de 0,0864

3.3.3.2 Métodos de regresión

Se basan en la relación existente entre la composición química del agua y el caudal.

En el río Arba se observa una estrecha relación entre la conductividad eléctrica y el caudal, tal y como muestra la Figura 3.6; en la medida que el río incrementa su caudal, la conductividad disminuye.

Esto se debe a las características litológicas de la cuenca de drenaje, rica en sales, y al régimen hidrológico del río. En caudales de estiaje el agua que lleva el Arba procede fundamentalmente de los drenajes subterráneos, aguas ricas en sales y de composición química más o menos estable. En épocas de lluvias y riego (aguas de baja mineralización) el caudal aumenta y se produce un efecto de dilución en el río, lo que produce que la concentración de sales disminuya.

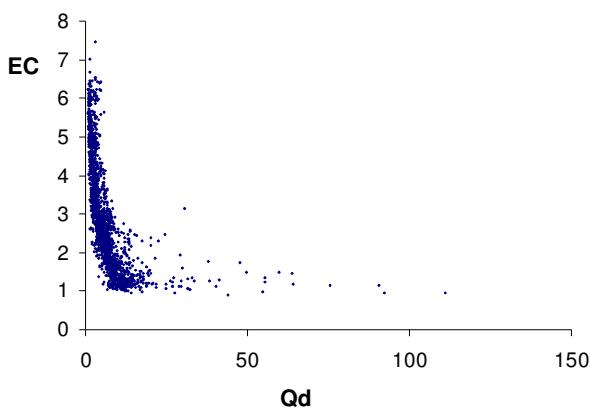


Figura 3.6. Relación entre el caudal medio diario y la conductividad eléctrica del Arba en Tauste (RecoRebro 1/04/2004 - 30/09/2010).

Por otro lado, también se observa una correlación entre el nitrato y la conductividad eléctrica. Esta correlación no es tan buena pues son muchos los factores externos que intervienen en el movimiento del nitrógeno en el sistema como son las épocas de abonado, el precio del abono, tipos de cultivos, espesor y almacenamiento de nitrógeno en la zona no saturada o el contenido en nitrato de las aguas subterráneas entre otros. Aún así, existe un patrón de comportamiento en el Arba que se ve reflejado con el incremento del nitrato en la medida que aumenta la conductividad eléctrica, tal y como se muestra en la siguiente figura:

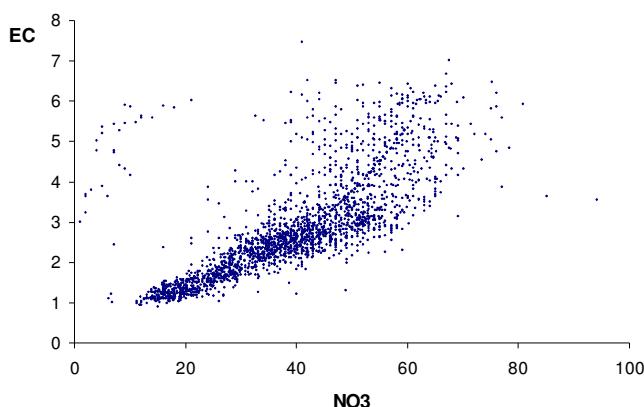


Figura 3.7. Relación entre la conductividad eléctrica y el contenido en nitrato del Arba en Tauste (RecoRebro 1/04/2004 - 30/09/2010).

Los valores bajos de conductividad eléctrica muestran un mejor ajuste. Esto puede ser explicado por la composición química del agua, a menor número de iones, mayor es la representatividad del nitrato en la mineralización del agua, y por ello mejor es su ajuste.

- Cálculo de los aportes de sal

De todas las ecuaciones contrastadas que relacionan el caudal con la conductividad eléctrica (Hall, F.R., 1970; Cohn T. A., 1992; Smart T.S., 1999; Verma, S, 2012), la que mejor representa el modelo del Arba es la desarrollada por Hall en 1970:

Cálculo de la conductividad eléctrica a partir del caudal	
	$CE = \frac{(S - Co)}{1 + B \cdot Qd^{1/n}} + Co$
	CE: Conductividad eléctrica (dS/m-25º C)
	Qd: Caudal medio diario (m^3/s)
[Eq. Q-CE]	S: Constante. Valor de la CE máxima en el cauce correspondiente a la del agua subterránea (componente subterránea, más mineralizada del hidrograma en el caudal de base)
	B: Constante de regresión
	Co: Constante, valor mínimo de la CE correspondiente a la CE de la componente superficial del hidrograma.
	n: Constante de regresión

Hall incorpora un valor mínimo de conductividad eléctrica (Co) que permite corregir la tendencia a cero que se obtiene a partir de caudales elevados. La naturaleza litológica de esta cuenca hace difícil de asumir que en su tramo más bajo pueda alcanzar valores de conductividad eléctrica cercanos a cero. Este valor viene a corresponder con la CE media o representativa del flujo superficial en la cuenca.

El ajuste de la ecuación de Hall a partir de las series de caudal y conductividad eléctrica fue el siguiente (datos detallados en Anejo 3):

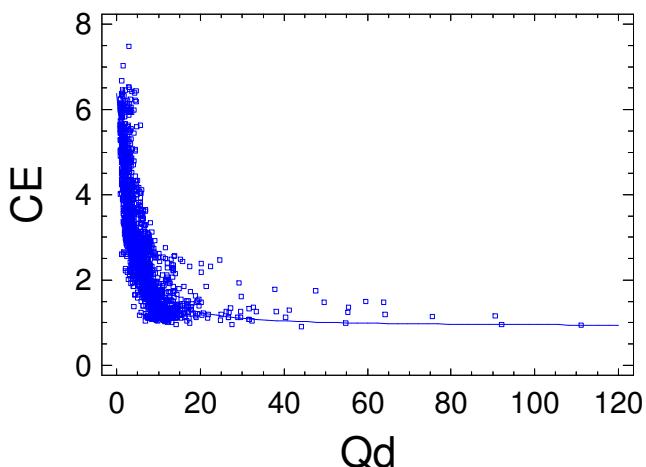


Figura 3.8. Ajuste de la ecuación de regresión de Hall a los datos de caudal medio diario y conductividad eléctrica diaria registrada en RecoREbro (1/03/2004-30/09/2010).

[Eq. Q-CE]

$$CE = \frac{(6.37 - 0.92)}{1 + 0.22 \cdot Qd^{1/0.69}} + 0.92$$

$R^2 = 72,7341\%$

R^2 (ajustado) = 72,6974 %

Error Estándar = 0,66146

Error absoluto de la Media = 0,460062

Estadístico Durbin-Watson = 0,405444

Autocorrelación residual Lag 1 = 0,797238

Se empleó el caudal medio diario (Qd) y la conductividad eléctrica registrada diariamente por RecoREbro (1/03/2004-30/09/2010). Se prefirió la regresión de la CE sobre Qd en lugar de Qi (caudales instantáneos en el momento del muestreo). A priori esta última debería haber sido mejor, sin embargo la regresión sobre Qd dio mejores resultados con un mayor R^2 y menor error estándar de las estimaciones. Puede deberse a que los datos instantáneos se obtuvieron de la red SAIH, datos quinceminales incompletos y sin depurar.

Finalmente, los métodos de regresión para el cálculo de los aportes mensuales de sal desarrollados a partir de esta ecuación fueron dos:

- 4.a Aporte diario de sal, **MSd**. Se calcula como el sumatorio mensual de los aportes diarios de sal producto del caudal medio diario (Q_d) multiplicado por la CE (en forma de TDS) obtenida de la ecuación de regresión (Eq. Q-CE) aplicada sobre el Q_d . Este método asume que los aportes mensuales de sal en el Arba son función directa del caudal medio diario del río. No tiene en cuenta los valores observados de conductividad eléctrica.

[Eq 4a]

$$MSd = \sum_{month} Q_d \bullet TDS(CE(Q_d))$$

Q_d : Caudal medio diario (m^3/s).

TDS: Sólidos disueltos totales obtenidos a partir de la conductividad eléctrica (mg/l)

$CE(Q_d)$: Conductividad eléctrica obtenida a partir del caudal medio diario aplicando la ecuación Eq. Q-CE (dS/m-25º C)

Factor de conversión de unidades de 0,0864

- 5.a Aporte mensual de sal **MSm**. Se calcula como el producto del caudal medio mensual (Q_m) multiplicado por la CE (en forma de TDS) obtenida a partir de la ecuación de regresión (Eq. Q-CE) aplicando el Q_m . Este método asume que los aportes mensuales de sal en el Arba son función directa del caudal medio mensual del río. Al igual que el método anterior, no tiene en cuenta los valores observados de conductividad eléctrica.

[Eq 5a]

$$MSm = Q_m \bullet TDS(CE(Q_m))$$

Q_m : Caudal medio mensual (m^3/s).

TDS: Sólidos disueltos totales obtenidos a partir de la conductividad eléctrica (mg/l)

CE : Conductividad eléctrica obtenida a partir del caudal medio mensual aplicando la ecuación Eq. Q-CE (dS/m-25º C)

Factor de conversión de unidades de 0,0864

- Cálculo del contenido en nitrógeno

También fueron comprobadas numerosas ecuaciones de correlación entre la conductividad eléctrica y el nitrato, y la que mejores resultados obtuvo fue de tipo logarítmico:

Cálculo del NO ₃ a partir de la CE	
	$NO_3 = a + b \cdot \ln(CE)$
[Eq. CE-NO ₃]	a=13,2299
	b=27,7038
	CE: Conductividad eléctrica (dS/m-25º C)
	NO ₃ : Contenido en nitrato (mg/l)

El ajuste se realizó con los registros de conductividad eléctrica y nitrato diarios de RecoREbro (1/03/2004-30/09/2010) (datos detallados en el Anejo 3).

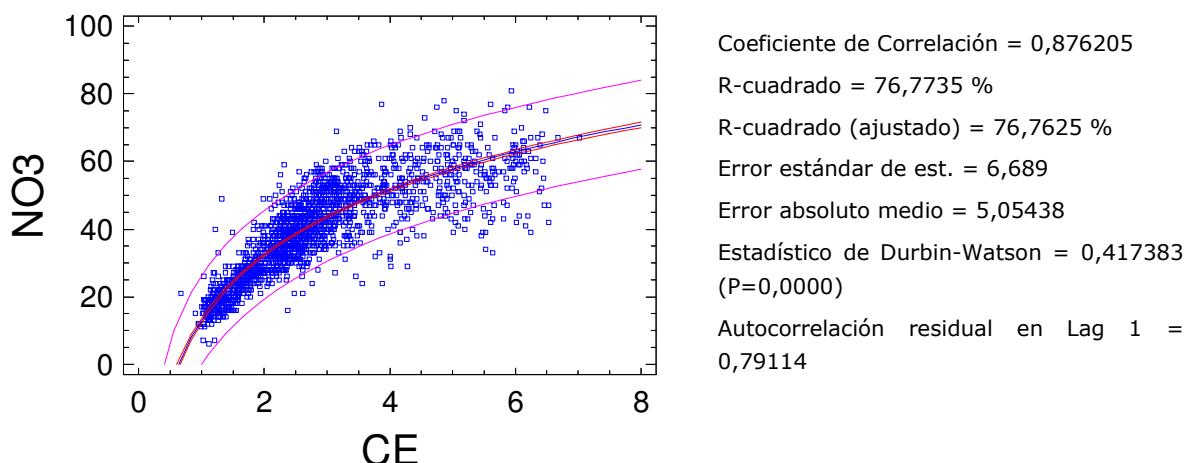


Figura 3.10. Ajuste de la ecuación logarítmica que relaciona la conductividad eléctrica con el contenido en nitratos del agua. Datos obtenidos de RecoREbro (1/03/2004-30/09/2010).

Los métodos de regresión para el cálculo de los aportes mensuales de nitrógeno son similares a los desarrollados para el cálculo de los aportes de sal. Para estos últimos, el dato de conductividad eléctrica se obtuvo a partir del caudal, aplicando la ecuación Eq. Q-CE.

4.b Aporte diario de nitrógeno, **MNd**. Se calcula como el sumatorio mensual de los aportes diarios de nitrógeno producto del caudal medio diario (Q_d) multiplicado por la concentración de N-NO₃ obtenida a partir de la CE mediante la ecuación de regresión Eq CE-NO₃. Este método asume también que los aportes mensuales de nitrógeno en el Arba son función directa del caudal medio diario del río, puesto que la conductividad eléctrica de la que se obtiene el nitrato se determina a partir del caudal. Esta metodología no tiene en cuenta las concentraciones de nitratos observadas.



[Eq 4b]

$$MNd = \sum_{month} Q_d \bullet N - NO_3(CE(Q_d))$$

Q_d : Caudal medio diario (m^3/s).

CE : Conductividad eléctrica obtenida a partir del caudal medio diario aplicando la ecuación Eq. Q-CE ($dS/m-25^\circ C$).

NO_3 : concentración de nitrógeno nítrico obtenido a partir del valor de la conductividad eléctrica aplicando la ecuación Eq. CE- NO_3^3 (mg/l).

Factor de conversión de NO_3 a $N-NO_3$ de 0.2259

Factor de conversión de unidades de 0,0864

- 5.b Aporte mensual de nitrógeno **MNm**. Se calcula como el producto del caudal medio mensual multiplicado por la concentración $N-NO_3$ obtenida a partir de la CE mediante la ecuación de regresión Eq CE- NO_3 . Este método asume que los aportes mensuales de nitrógeno en el Arba son función directa del caudal medio mensual del río, puesto que la conductividad eléctrica se obtiene a partir del caudal. Al igual que el método anterior, no tiene en cuenta directamente los valores observados de CE ni de NO_3 , sino su relación con el caudal establecida en Eq $Qd-CE$ y Eq $CE-NO_3$.

[Eq 5b]

$$MNm = Q_m \bullet N - NO_3(CE(Q_m))$$

Q_m : Caudal medio mensual (m^3/s).

CE : Conductividad eléctrica obtenida a partir del caudal medio mensual aplicando la ecuación Eq. Q-CE ($dS/m-25^\circ C$).

NO_3 : Nitratos obtenidos a partir del valor de la conductividad eléctrica aplicando la ecuación Eq. CE- NO_3 (mg/l).

Factor de conversión de NO_3 a $N-NO_3$ de 0.2259

Factor de conversión de unidades de 0,0864

3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La evaluación de las distintas metodologías de cálculo se realizó mediante un análisis estadístico de las diferencias entre la carga de referencia y la carga obtenida por los distintos métodos. Se calculó el Sesgo Medio (MB) (Eq. 6), el Error Cuadrático Medio (RMSE) (Eq. 7), el Error Medio Absoluto (MAE) (Eq. 8), y la Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) (Eq. 9). También se realizó un análisis de la regresión lineal entre los datos de referencia y los calculados con el fin de obtener el coeficiente de determinación de la regresión lineal (R^2). En total se dispone de un máximo de 78 observaciones (78 valores mensuales de las masas de referencia o calculadas por cada una de las metodologías para el periodo abril-2004 a septiembre-2010) con las que evaluar el comportamiento de cada metodología.

1. El **Sesgo Medio** (MB) de un método de estimación es el promedio de la diferencia entre las masas de referencia y las masas calculadas por ese método [Eq. 6]. Mide la desviación de la masa media obtenida por cada método de estimación respecto a la masa media de referencia (Moriasi, 2007). Su valor óptimo es 0, cuanto menor sea el sesgo mejor es el ajuste del método calculado. Tiene las mismas unidades que el parámetro estimado, en este caso T/mes (de sales o de N-NO₃).

	Sesgo Medio
	$MB = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i^{ref} - Y_i^{est})}{N}$
[Eq. 6]	
	Y_i^{ref} : Masa mensual de sales o nitrógeno de referencia Y_i^{est} : valor calculado por los distintos métodos N: número de datos

2. El **Error Cuadrático Medio** (RMSE) y el **Error Medio Absoluto** (MAE) son algunos de los estadísticos que mejor estiman el funcionamiento de cada método de estimación. La principal diferencia entre ambos es que el Error Medio Absoluto (MAE) es menos sensible a los valores extremos (Willmott, 1982). Ambos cuantifican los errores en las mismas unidades que los parámetros de valoración (T/mes), lo que facilita el análisis de resultados (Moriasi, 2007).

El RMSE [Eq. 7] de un método de estimación se calcula como la desviación estándar de las diferencias entre los valores de referencia y los calculados por ese método y puede utilizarse para establecer la significación del sesgo (MB). El MAE [Eq. 8], se calcula como la suma de las diferencias en valor absoluto entre los valores de referencia y los calculados:

Error cuadrático medio	Error medio absoluto
[Eq. 7]	[Eq. 8]
$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i^{ref} - Y_i^{est})^2}{N} \right]^{0,5}$	$MAE = \left[\frac{\sum_{i=1}^N Y_i^{ref} - Y_i^{est} }{N} \right]$

Y_i^{ref} : Masa mensual de sales o nitrógeno de referencia

Y_i^{est} : valor calculado por los distintos métodos

N: número de datos

3. La **Eficiencia de Nash-Sutcliffe** (NSE) es un estadístico normalizado que determina la magnitud de la varianza residual (ruido) comparada con la varianza media (Nash and Sutcliffe, 1970). Cuantifica cómo se ajustan los valores estimados por un determinado método a los correspondientes valores de referencia, es decir, cómo ajusta el gráfico de valores de referencia frente a los valores estimados por ese método respecto a la línea 1:1 (Moriasi, 2007).

	Nash-Sutcliffe Efficiency
[Eq. 9]	$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i^{ref} - Y_i^{est})^2}{\sum_{i=1}^N (Y_i^{ref} - \bar{Y}^{ref})^2} \right]$

\bar{Y}^{ref} : media de los valores de referencia

Y_i^{ref} : valor de referencia

Y_i^{est} : valor calculado por los distintos métodos

Este estadístico varía entre $-\infty$ y 1. Valores iguales a 1 indican que los resultados son óptimos. Valores entre 0 y 1 son aceptables (aunque generalmente solo se aceptan como buenos valores superiores a 0,5) de modo que los métodos pueden ser aplicados. Sin embargo, valores negativos indican resultados inaceptables, pues los valores calculados difieren sustancialmente de los valores de referencia (Moriasi, 2007). En este último caso, la media de los valores a estimar (la serie de referencia) es un estimador mejor que el método evaluado.

4. El **coeficiente de determinación** (R^2) de la regresión lineal determina el grado de correlación entre los valores de referencia y los calculados por las distintas metodologías. Este estadístico describe la proporción de la varianza de las masas de referencia con respecto a las calculadas.

El R^2 varía entre 0 y 1, cuanto mayor es el resultado menor es el error. De forma general, valores por encima de 0,5 se consideran aceptables (Santhi et all, 2001).

Este estadístico es muy sensible a los valores extremos y poco sensible a las diferencias aditivas o proporcionales entre los valores calculados y los de referencia (Legates and Mc. Cabe, 1999).

3.5. ANÁLISIS DE TENDENCIAS

Para el análisis de tendencias se ha empleado el test de Mann-Kendall (Mann 1945; Kendall, 1975), método no paramétrico, que emplea magnitudes relativas a los datos y no los valores medidos. Este procedimiento es especialmente útil para analizar series incompletas, no requiere que los datos se dispongan conforme a una distribución determinada y analiza la probabilidad de que exista o no tendencia, en función de un valor relativo obtenido a partir de la relación de cada dato con respecto a los posteriores en el tiempo.

Para una serie x_1, x_2, \dots, x_n , donde x_i es el dato en el tiempo i , se determina el signo que le corresponde a cada posible incremento de x a partir del valor K -ésimo como la diferencia $x_j - x_k$ donde $j > k$.

Se asigna un valor de $\text{sgn}(x_j - x_k) = 1$ si $x_j - x_k > 1$
 $\text{sgn}(x_j - x_k) = 0$ si $x_j - x_k = 0$
 $\text{sgn}(x_j - x_k) = -1$ si $x_j - x_k < 1$

El estadístico de Mann-Kendall se calcula como el número de diferencias positivas menos el número de diferencias negativas, tal y como se describe en la siguiente ecuación:

$$\boxed{\begin{array}{l} [Eq. 10] \\ S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{i=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \end{array}}$$

Si el valor de S es un número positivo muy elevado en valor absoluto, indicará que existe una tendencia al incremento de las medidas con el tiempo y si S es un número negativo muy elevado, indicará una tendencia a la disminución de las medidas con el tiempo.

Para series de más de 40 datos como es este caso, la varianza del estadístico S se calcula a partir de la Eq. 11 que tiene en cuenta el número total de datos n y los grupos de datos empachados, es decir, grupos de datos con el mismo valor.

$$[Eq. 11] \quad VAR(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right]$$

g Corresponde al número de grupos empataos y t_p el de datos que hay en cada grupo empatao.
A partir de la varianza ($VAR(S)$) y del valor de S se calcula el estadístico Z como:

$$\begin{aligned} [Eq. 12] \quad Z &= \frac{S-1}{[VAR(S)]^{1/2}} && \text{Si } S>1 \\ &Z = 0 && \text{Si } S=0 \\ &Z = \frac{S+1}{[VAR(S)]^{1/2}} && \text{Si } S<0 \end{aligned}$$

Si el valor de Z es positivo indica que existe tendencia ascendente y si es negativo, indica tendencia descendente.

Si suponemos que la hipótesis nula H_0 , es aquella en la que no existe tendencia, frente a la hipótesis alternativa H_A , en la que si existe tendencia, se puede rechazar H_0 a favor de H_A cuando el resultado de Z es positivo y la probabilidad de obtener ese valor es mayor que 97,5% para el nivel de significación establecido para el test (95%). Lo mismo ocurre para analizar la tendencia negativa, en la cual se rechaza la hipótesis nula cuando el valor de Z es negativo y la probabilidad de obtener ese valor es menor que 2,5%.

Para analizar la tendencia de los aportes de sal y nitrógeno del río Arba, se ha aplicado el test de Mann-Kendall mensualmente, es decir se ha analizado si existe o no tendencia para cada mes del año con respecto al mismo mes de los años siguientes.

Además también se ha analizado la tendencia anual (mediante el estadístico S obtenido como suma de los estadísticos S calculados en cada mes, con una varianza igual a la suma de las varianzas mensuales), estadístico de utilidad cuando la serie muestra homogeneidad entre las tendencias mensuales.

La homogeneidad de las tendencias mensuales se determinó a partir de un procedimiento derivado del propuesto por Van Belle and Hughes (Van Belle and Hughes 1984) que aplica el estadístico *chi-cuadrado*, (X_{hom}^2) donde

$$[Eq. 13] \quad X_{\text{hom}}^2 = X_{\text{total}}^2 - X_{\text{trend}}^2 = \sum_{i=j}^M Z_j^2 - M \bar{Z}^2$$

$$[Eq. 14] \quad Z_j = \frac{S_j}{\sqrt{VAR(S_j)}}$$

S_j corresponde al estadístico de Mann-Kendall [Eq. 10] para la estación j (en este caso, para el mes j , variando de 1 a $M = 12$) y \bar{Z}_j es la media de los estadísticos Z mensuales.

$$[Eq. 15] \quad \bar{Z}_j = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M Z_j$$

Si las tendencias de todas las series creadas para cada mes del año muestran la misma dirección, es decir, son homogéneas, X_{hom}^2 tendrá una distribución *chi-cuadrado* con $M-1$ grados de libertad. De nuevo se establece que la hipótesis nula H_0 es aquella en la cual las series no son homogéneas y sería rechazada si la probabilidad de obtener X_{hom}^2 está por debajo del 2.5% o por encima del 97.5% en una distribución chi-cuadrado con $M-1$ grados de libertad, para el nivel de significación establecido del 95%.

Finalmente, la pendiente se calculó mediante el estimador estacional de Kendall:

$$[Eq. 16] \quad \text{Mediana} \left(\frac{x_{ij} - x_{ik}}{j - k} \right) \quad \forall j > k$$

Que da la pendiente de la tendencia en un mes i como la mediana de las pendientes calculadas para todos los pares de valores en ese mes x_{ij} y x_{ik} , con $k < j$.

4.- Resultados

4.1. VALORACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DE CÁLCULO DE MASAS DE SAL Y NITRÓGENO

Para la valoración de las metodologías se obtuvieron las masas mensuales de sal y nitrógeno para cada método (04/2004-09/2010) (Anejo 4) y se contrastaron con las masas de referencia. Para todas aquellas metodologías que aplican datos instantáneos de la red de Calidad, debido a la escasez de información y número completo de meses, se configuró una nueva serie con los registros de RecoREbro (ver apartado 3.2). El análisis estadístico se aplicó a ambos resultados (CHE y RE).

Resultado del análisis estadístico

Los métodos que mejor se ajustan a los resultados de la serie de referencia son aquellos que utilizan para obtener la concentración ecuaciones de regresión a partir del caudal medio diario o el caudal medio mensual (MSd, MSm, MNd y MNm). Estas metodologías obtuvieron el RMSE y el MAE (Tabla 4.1. y 4.2.) inferior al obtenido por los métodos que aplican datos de concentración instantánea. Estos resultados son esperables en todos aquellos ríos como el del Arba, donde existe una buena relación entre el caudal y la concentración. Se debe a que tiene mucha más influencia en la estimación de la carga el caudal que la concentración, pues su rango de variación es mucho más elevado. Esto explicaría que los valores obtenidos de las metodologías de regresión que aplican caudales medios diarios (MSd y MNd) sean mejores que los obtenidos aplicando caudales medios mensuales (MSm y MNm) y a su vez, el que los valores para el cálculo de sal superen a los obtenidos para el cálculo del nitrógeno, pues la relación caudal -conductividad eléctrica es mejor que la de caudal -nitrato (Tabla 4.1. y 4.2.).

No se ha obtenido un sesgo significativamente elevado en ninguna de las metodologías. Esto indica que se puede aplicar cualquiera de las cinco metodologías en el cálculo de la media total de los aportes de toda la serie de sal y nitrógeno. Para el cálculo de aportes de sal el %-Bias fue menor del 10 % (Tabla 4.1) y para el nitrógeno del 11 % (Tabla 4.2).

Sin embargo los resultados de los errores de estimación (MAE y RMSE) fueron muy dispares. Si nos centramos en los aportes de sal, el método MSi (caudal instantáneo por concentración instantánea) obtuvo valores de RMSE mayores ($RMSE \sim 13.000 \text{ T/mes}$) que los métodos MSid ($RMSE \sim 7.000$) y MSim ($RMSE \sim 8.000$) y algo más del doble que los métodos de regresión NSd y MSm ($RMSE \sim 5.000 \text{ T/mes}$). La misma respuesta se observa en los resultados del MAE y en los valores máximos y mínimos de las diferencias (Tabla 4.1). Por lo tanto, los métodos que presentan menores errores de cálculo son aquellos que aplican las ecuaciones de regresión (MSd y MSm), y dentro del grupo de los métodos de concentraciones instantáneas, responden mejor los que utilizan valores de caudales medios (MSid y MSim) y no caudales instantáneos del momento de muestreo (MSi).

Por otro lado, el NSE es el estadístico que muestra mayores diferencias en los resultados y a su vez, el que mejor valora la funcionalidad de las metodologías; como la variación mensual de los aportes calculados se ajusta a la variación mensual de la serie de referencia. Los resultados de este estadístico señalan de nuevo que para el cálculo de aportes de sal las mejores metodologías son las que aplican las ecuaciones de regresión (MSd y MSm), valores de $NSD > 0,5$ (0,68 y 0,66). Y en el otro extremo, con $NSD < 0$, está el método MSi de caudal y concentración instantánea, resultado

valorado como inaceptable (Tabla 4.1.). El coeficiente de determinación (R^2) corrobora esta afirmación con valores por encima de 0,5 solo para las metodologías de regresión (Anejo 5).

Tabla 4.1. Parámetros estadísticos para la estimación de los métodos de cálculo de aportes mensuales de sal: número de datos (N), Sesgo (Mean Bias), porcentaje del sesgo por encima de la media de la carga de referencia (% Bias), Error Cuadrático Medio (RMSE); Error Medio Absoluto (MAE); Máximos (Max) y Mínimos (Min) diferencias; Nash-Sutcliff Efficiency (NSE); coeficiente de determinación de la ecuación de regresión lineal entre la carga estimada y la de referencia (R^2). Se muestran los resultados para los métodos basados en datos instantáneos con series procedentes de la red de Calidad (CHE) y de RecoREbro (RE).

	SAL									
	MSi		MSid		MSim		MSd	MSm		
	CHE	RE	CHE	RE	CHE	RE				
Mg/mes										
N	51	50	62	70	62	70	70	70		
Mean Bias	-220	-286	-2501	-1617	1425	2050	-394	-18		
RMSE	12715	13752	7566	6742	8463	8343	5183	5347		
MAE	7983	7528	4666	3967	5229	5344	3598	3739		
MAX	39889	60850	18702	14533	35970	38237	7603	7592		
MIN	-43130	-41420	-38148	-36588	-9919	-9534	-17080	-18265		
No - dimensional										
%-Bias	-0,9%	-1%	-9,6%	-6,3%	5,5%	8%	-1,5%	-0,1%		
NSE	-0,942	-1,272	0,312	0,454	0,140	0,164	0,677	0,657		
R²	0,03 ^{NS}	0,029 ^{NS}	0,424***	0,480***	0,689***	0,678***	0,685***	0,668***		

^{NS} No significativo ($P>0,05$). ***Significativo ($P<0,001$).

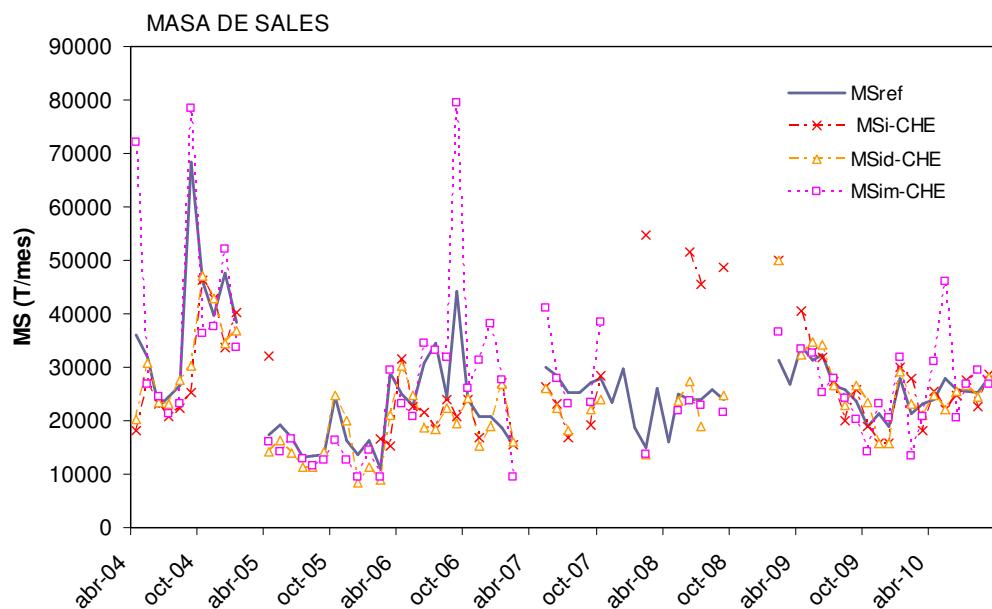


Figura 4.1. Evolución de las series de aportes mensuales de sal al río Arba (T/mes) calculados aplicando los distintos métodos basados en datos instantáneos de la red de Calidad (MSi, MSid, MSim) y los de referencia (MSref). Datos instantáneos obtenidos de la red de Calidad (CHE) para la serie del 1/03/2004 al 30/09/2010.

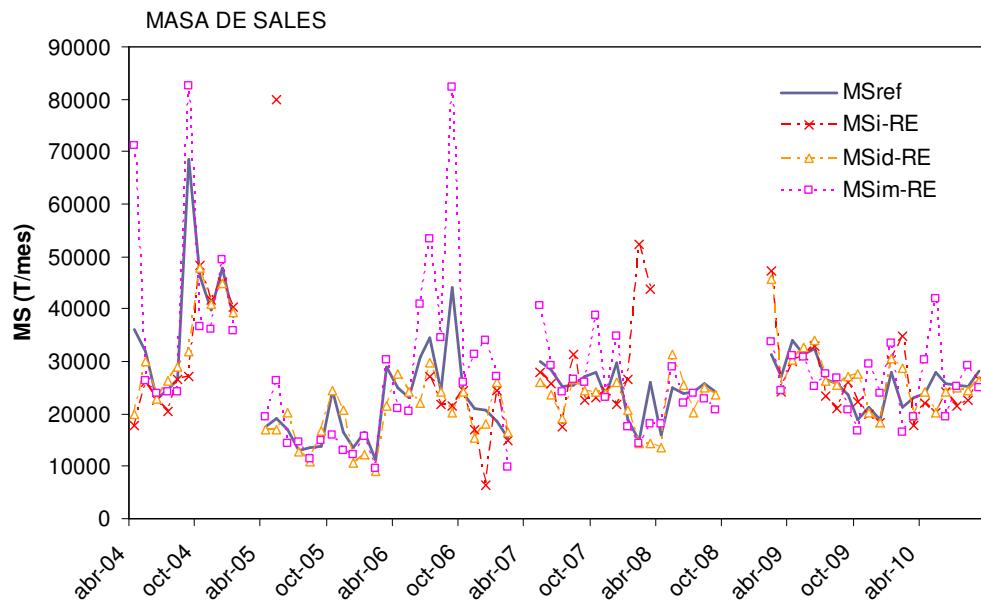


Figura 4.2. Evolución de las series de aportes mensuales de sal al río Arba (T/mes) calculados aplicando los distintos métodos basados en datos instantáneos (MSi, MSid, MSim) y de referencia (MSref). Series obtenidas a partir de los registros de RecoREbro (RE) (1/03/2004 al 30/09/2010), dato unitario por mes de conductividad eléctrica.

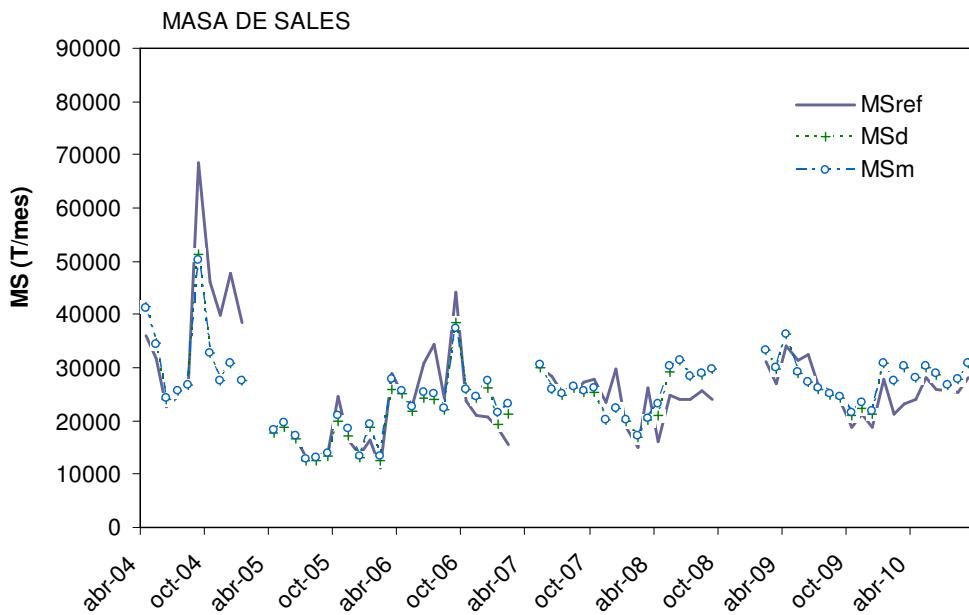


Figura 4.3. Evolución de las series de aportes mensuales de sal al río Arba (T/mes) calculados aplicando métodos de regresión (MNd y MNm) y la serie de referencia (MNref). Serie del 1/03/2004 al 30/09/2010.

En cuanto al cálculo de los aportes de nitrógeno, se observa que el incremento de meses con dato (diferencia entre series mensuales obtenidas de la red de Calidad (CHE) y de los registros de RecoREbro (RE)) mejora sustancialmente los resultados. El análisis de errores obtiene valores muy similares para los métodos instantáneos con caudales medios MNid (RMSE~35 T/mes y MAE~22 T/mes) y MNim, (RMSE~32 T/mes; MAE~21 T/mes) que para los métodos de regresión, MNd (RMSE~34 T/mes; MAE~21 T/mes) y MNm (RMSE~35 T/mes; MAE~23 T/mes), siempre y cuando se utilice la serie mensual más completa (RE). Por otro lado, el método de cálculo de aportes con concentraciones y caudal instantáneo (MNi) vuelve a mostrar lo peores resultados de RMSE y MAE (RMSE~64 T/mes; MAE~39 T/mes) (Tabla 4.2.).

Los métodos de regresión para el cálculo de nitrógeno (MNd y MNm) obtienen de nuevo valores de NSE>0,5 (0,62 y 0,60), y son por tanto métodos aceptables. Sin embargo este estadístico para los métodos instantáneas varía mucho entre las series cortas (CHE) y las series largas (RE). Las series cortas (CHE) muestran un NSE<0,5 y en la medida que se incrementa el número de datos (RE), el NSE alcanza valores superiores a 0,5, incluso se llega obtener el máximo resultado para el método que aplica caudales medios mensuales, el MNim (NSE=0,67). Esto indica que estos métodos basados en concentraciones instantáneas de nitrato son, al igual que los métodos de regresión, aceptables. En base a este estadístico, la única metodología no aceptable correspondería a la que emplea la concentración y el caudal instantáneo (MNi), NSE<0.

Estos resultados también quedan reflejados en el análisis del coeficiente de determinación (Anejo 5) donde el R² supera valores de 0,5 para todos los casos a excepción del método MNim (R²~0,1). Y de nuevo el máximo valor lo alcanza el método MNim (R²>0,8).

Tabla 4.2. Parámetros estadísticos para la estimación de los métodos de cálculo de aportes mensuales de nitrógeno: número de datos (N), Sesgo (Mean Bias), porcentaje del sesgo por encima de la media de la carga de referencia (% Bias), Error Cuadrático Medio (RMSE); Error Medio Absoluto (MAE); Máximos (Max) y Mínimos (Min) diferencias; Nash-Sutcliff Efficiency (NSE); coeficiente de determinación de la ecuación de regresión lineal entre la carga estimada y la de referencia (R²). Se muestran los resultados para los métodos basados en datos instantáneos con series procedentes de la red de Calidad (CHE) y de RecoREbro (RE).

NITRÓGENO									
	MNi		MNid		MNim		MNd	MNm	
	CHE	RE	CHE	RE	CHE	RE			
			Mg N-NO ₃ /mes						
N	39	50	48	70	48	70	70	70	
Mean Bias	-7,3	-2,2	-12,8	-7,1	1,3	6,7	0,6	4,5	
RMSE	72,2	64,2	51,7	35,5	44,0	31,6	33,6	34,8	
MAE	38,4	38,7	26	22,5	26,6	20,8	21,0	23,0	
MAX	196,2	234,3	53,9	63,9	86,4	127,2	67,4	75,5	
MIN	-315,3	-204,3	-306,7	-176,7	-224,0	-59,1	-124,7	-125,4	
No - dimensional									
%-Bias	-6,2%	-1,7%	-11%	-6,1%	1,1%	5,7%	0,5%	3,8%	
NSE	-0,732	-0,370	0,110	0,581	0,356	0,668	0,625	0,598	
R²	0,033 ^{NS}	0,152 ^{**}	0,135 [*]	0,607 ^{***}	0,377 ^{***}	0,806 ^{***}	0,634 ^{***}	0,605 ^{***}	

^{NS} No significativo (P>0,05), *, **, *** Significativo: P<0,05, P<0,01 y P<0,001,

De forma general, para el cálculo de los aportes de nitrógeno, los métodos basados en concentraciones instantáneas son más sensibles al tamaño de las series y muestran valores más extremos (valores absolutos) como se puede ver en las Figuras 4.4 y 4.5 que los métodos de regresión (Figura 4.6). Esto es debido a que el contenido en nitrato tiene menos relación con el caudal que la conductividad eléctrica, de modo que se requiere de una serie más completa de muestreo para reflejar mejor la variabilidad de la calidad del río como respuesta a aspectos climatológicos o agronómicos. Los mayores errores se obtendrían cuando el muestreo se realiza en un día poco representativo del mes, como pueden ser episodios de avenidas con caudales altos y concentraciones muy bajas. Sin embargo para el cálculo de aportes de sal, el incremento de las series mensuales no incorpora mejoras en los resultados, tan solo lo métodos de regresión (MSd y MSm) son los únicos que muestran resultados aceptables.

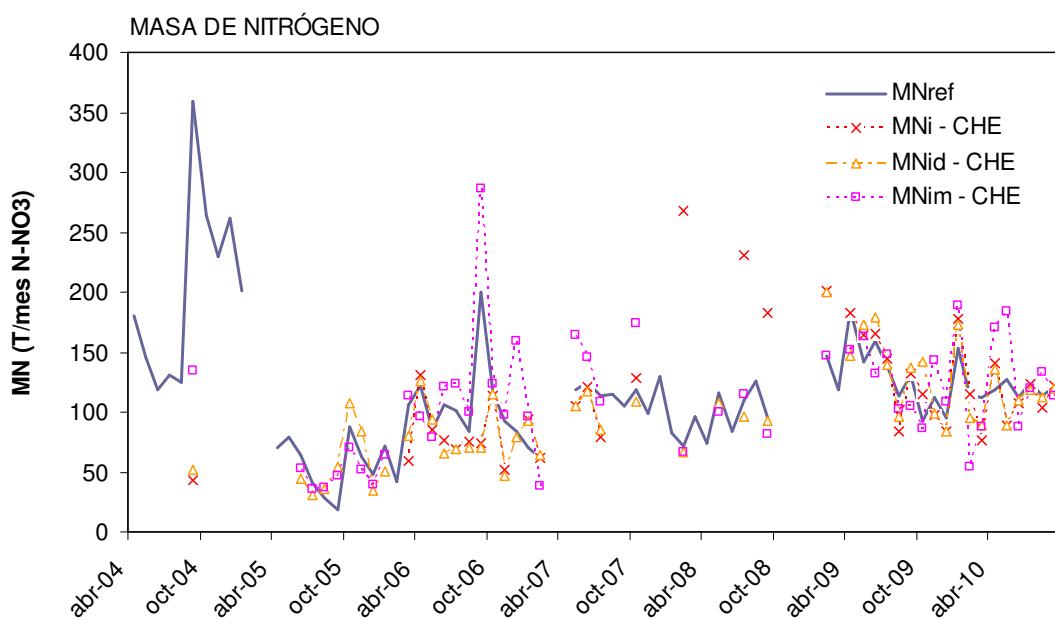


Figura 4.4. Evolución de las series de aportes mensuales de nitrógeno al río Arba (N-NO_3 T/mes) calculados aplicando los distintos métodos basados en datos instantáneos (MN_i, MN_{id}, MN_{im}) y de referencia (MN_{ref}). Datos instantáneos obtenidos de la red de Calidad (CHE) para la serie del 1/03/2004 al 30/09/2010.

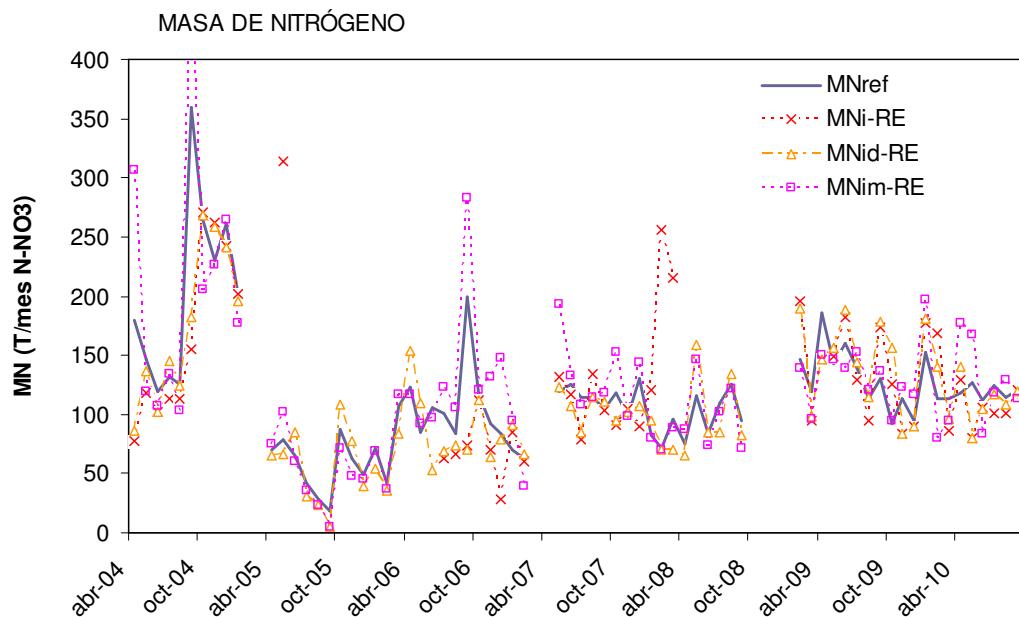


Figura 4.5. Evolución de las series de aportes mensuales de nitrógeno al río Arba ($N\text{-NO}_3$ T/mes) calculados aplicando los distintos métodos basados en datos instantáneos (MN_i, MN_{id}, MN_{im}) y de referencia (MN_{ref}). Series obtenidas a partir de los registros de RecoREbro (RE) (1/03/2004 al 30/09/2010).

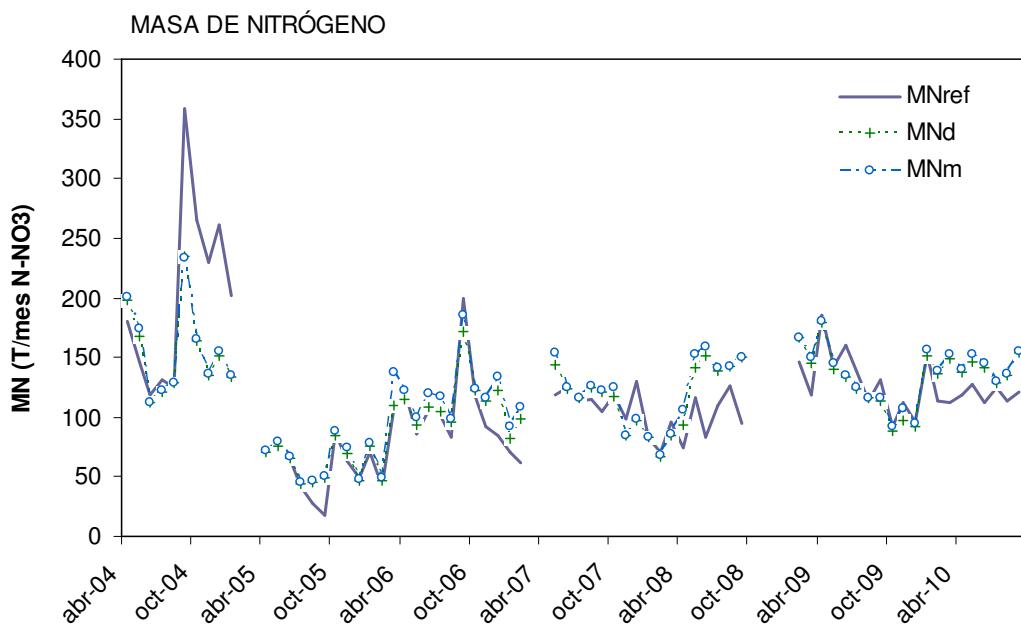


Figura 4.6. Evolución de las series de aportes mensuales de nitrógeno al río Arba ($N\text{-NO}_3$ T/mes) calculados aplicando métodos de regresión (MN_d y MN_m) y la serie de referencia (MN_{ref}). Serie del 1/03/2004 al 30/09/2010.

Como conclusión y en base a los objetivos de este trabajo, podemos establecer que los métodos que menor dispersión muestran entre las series de referencia y las calculadas son los métodos de regresión.

Para este análisis se requiere de metodologías que aporten series que reflejen de forma detallada la variación mensual de la calidad del Arba para poder así analizar si existe o no relación con las prácticas agrarias de la cuenca, es decir, métodos que posean menores errores en términos absolutos (MAE y RMSE) o mejores resultados para el estadístico NSE, independiente del valor del sesgo. En este caso, y para el cálculo de aportes de sal, solamente los métodos de regresión son válidos (MSd y MSm). Sin embargo hay que tener en cuenta que estas metodologías responden a dos factores importantes, la estrecha relación entre Q-TDS y su estabilidad en el tiempo; No pueden ser aplicadas en ríos donde no exista dicha relación y los cambios en algunas variables como la ampliación de las zonas regadas, los sistemas de riego o el tipo de cultivo pueden afectar o variar la respuesta de la conductividad eléctrica al incremento o disminución del caudal.

Por otro lado el resultado del análisis estadístico para las metodologías de cálculo de aportes de nitrógeno indican que además de los métodos de regresión, también pueden aplicarse los métodos basados en concentraciones instantáneas (MNId y MNim) siempre y cuando se posee una serie completa de registros (en este caso solo se ha comprobado con series de 6 años).

4.2. APORTACIONES DE SAL Y NITRÓGENO DEL RÍO ARBA

El cálculo de las aportaciones de sal y nitrógeno del río Arba se llevó a cabo a partir de las series de caudal medio diario registrado en Gallur desde 1973 y de la conductividad eléctrica y contenido en nitrato registrados ambos por la red de Calidad desde 1974 (series en Anexo 6).

Para la masa de sales se eligieron como las metodologías más idóneas de estimación de la masa exportada, la MSd (suma para el mes del producto del caudal medio diario por la conductividad eléctrica estimada por regresión diariamente) y la MSim (producto del caudal medio mensual por los sólidos disueltos totales registrados para ese mes). Los resultados del análisis estadístico para esta última metodología no fueron del todo satisfactorios, a pesar de tratarse de la metodología instantánea que mejor coeficiente de determinación obtuvo.

Sin embargo hay que tener en cuenta que el resultado de las metodologías de regresión está fuertemente ligado al caudal, lo que hace que los aportes de sal sean un fiel reflejo de la evolución de los caudales a lo largo de los últimos 40 años. Esto implica que la cantidad de sal que lleva el Arba está muy influenciada por el régimen de precipitaciones y de riego y encubre otros posibles factores como son el cambio en los usos del suelo. Por esta razón y para analizar posibles diferencias, se desarrollaron ambas metodologías, las que aplican datos observados y las empíricas (de regresión) que tan solo requieren del caudal medio diario.

En las siguientes gráficas se muestran los resultados:

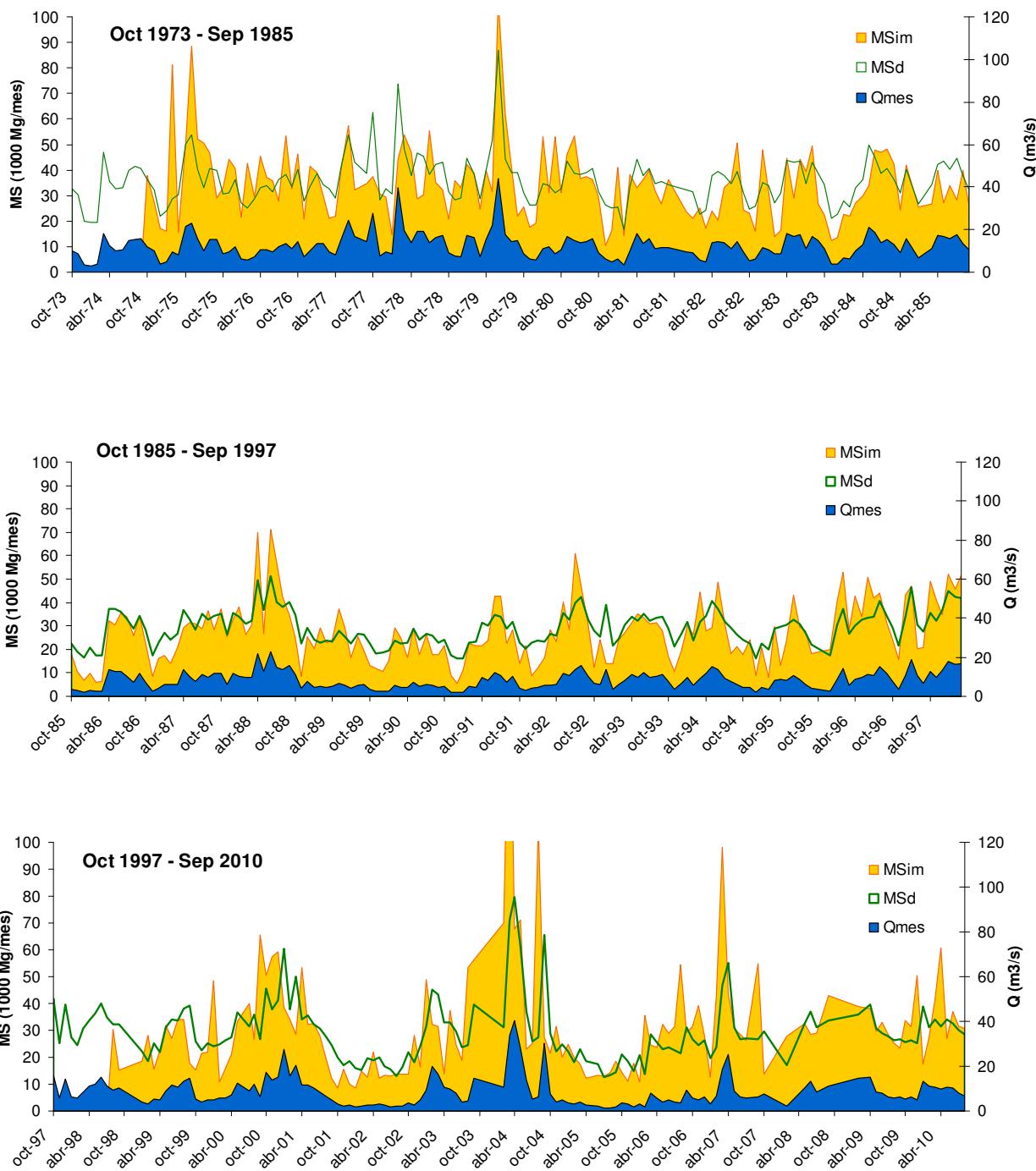


Figura 4.7. Masa mensual exportada de sales por el río Arba calculado por las metodologías MSim y MSd, y el caudal medio mensual del río Arba (Qmes). Serie de octubre 1973 a septiembre de 2010. Los meses sin dato para cualquiera de las tres series se han eliminado (28 meses)

La principal diferencia entre ambas series es que la MSim acusa más los valores máximos y mínimos, pero para el sumatorio de la masa de sal exportada, la metodología MSd arroja un volumen algo superior que la MSim (1,6%).

A lo largo de estos últimos 40 años la cuenca del Arba ha aportado al río Ebro una media de unas 370.000 T/año de sal (Tabla 4.6.) que suponen un total de más de 12,5 millones de toneladas. Estos aportes varían mucho entre los años con registro de caudales altos y registros de caudales bajos. El año en el que se registraron los caudales medios mensuales más bajos (2001/02) se exportaron unas 200.000 T/año frente a las más de 500.000 T/año de sal que se obtuvieron el año de caudales medios mensuales más altos (1977/78).

A lo largo del año (Figura 4.8), los meses que reciben mayor aporte de sal corresponden a los de la época de riego, mayo y junio especialmente, donde se exporta una media de 36.000 T/mes frente a los meses de otoño e invierno donde se alcanzan unas 25.000 T/mes (mínimo de noviembre).

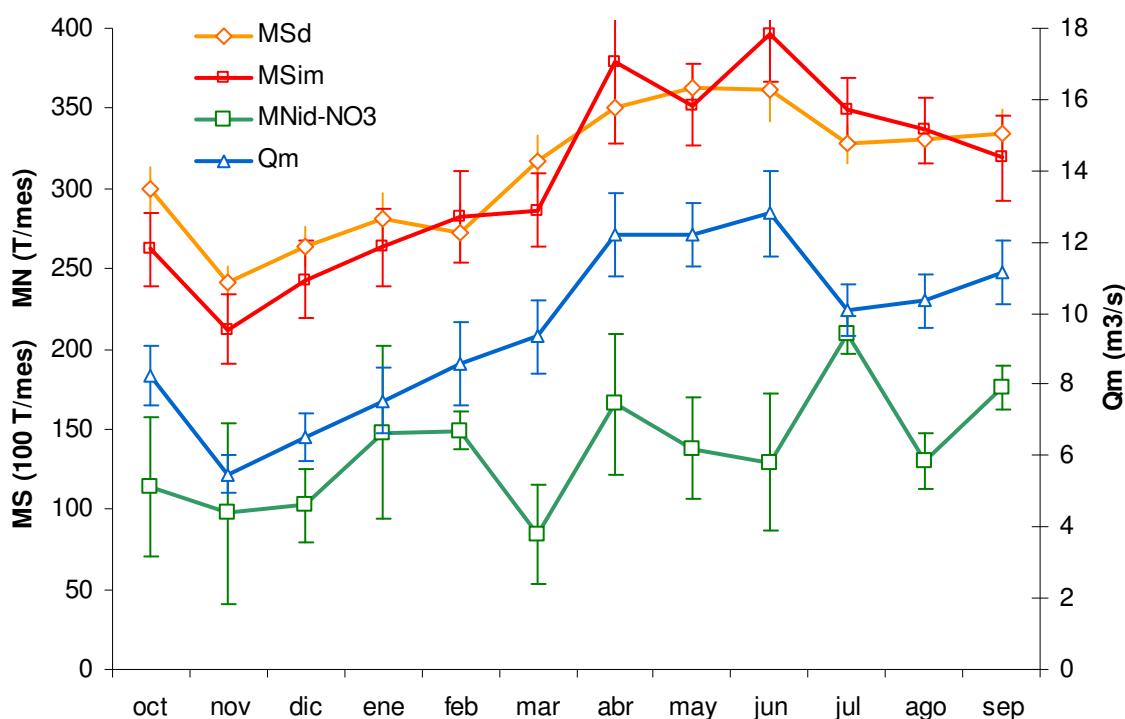


Figura 4.8. Aportes medios mensuales de sales (MS) y nitrógeno (MN-NO₃) calculados por la metodología MSd, MSim y MNid. Serie desde octubre de 1973 a septiembre de 2010. Las barras representan el error estándar de los valores mensuales.

	Qm (m³/s)	MSd (T/mes)	MSim (T/mes)	MN-NO₃ (T/mes)
oct	8,24	29966	26199	113,6
nov	5,48	24204	21235	97,6
dic	6,53	26406	24332	102,4
ene	7,55	28170	26356	147,9
feb	8,57	27305	28224	149,1
mar	9,34	31655	28653	84,4
abr	12,20	34999	37928	165,4
may	12,22	36229	35176	137,8
jun	12,79	36136	39621	129,2
jul	10,09	32768	34881	208,7
ago	10,34	33102	33628	129,8
sep	11,14	33437	31932	176,1
Total	374.376	368.166	1.642	

Tabla 4.3. Valores medios mensuales de sal y nitrógeno exportado por el Arba y caudales medios mensuales. La masa de sal (MS) está calculada mediante el método MSd y MSim y la de nitrógeno (MN) mediante el MNim. Qm corresponde al caudal medio mensual de toda la serie (10/1973-09/2010).

Para el cálculo de la masa de nitrógeno, se aplicó la metodología que mejores resultados obtuvo para el estadístico NSE y R², el método MNim que se calcula como el caudal medio mensual por el dato de nitrato registrado en la red de Calidad en ese mes. No se aplicaron métodos regresivos puesto que la relación entre la conductividad eléctrica y el nitrato no es tan buena como la del la conductividad eléctrica y el caudal, responde a muchos más factores.

El principal problema de esta serie es que es muy corta, tan solo posee 108 meses de los 444 que componen la serie (en la red de Calidad el análisis del contenido en nitrato del agua se realizaba con una periodicidad superior a los 6 meses). Sólo los últimos años están completos, lo que se traduce en un mayor peso de estos años sobre los resultados finales (entre junio de 2005 a septiembre de 2010 se recogen el 45% de todas las entradas de la serie).

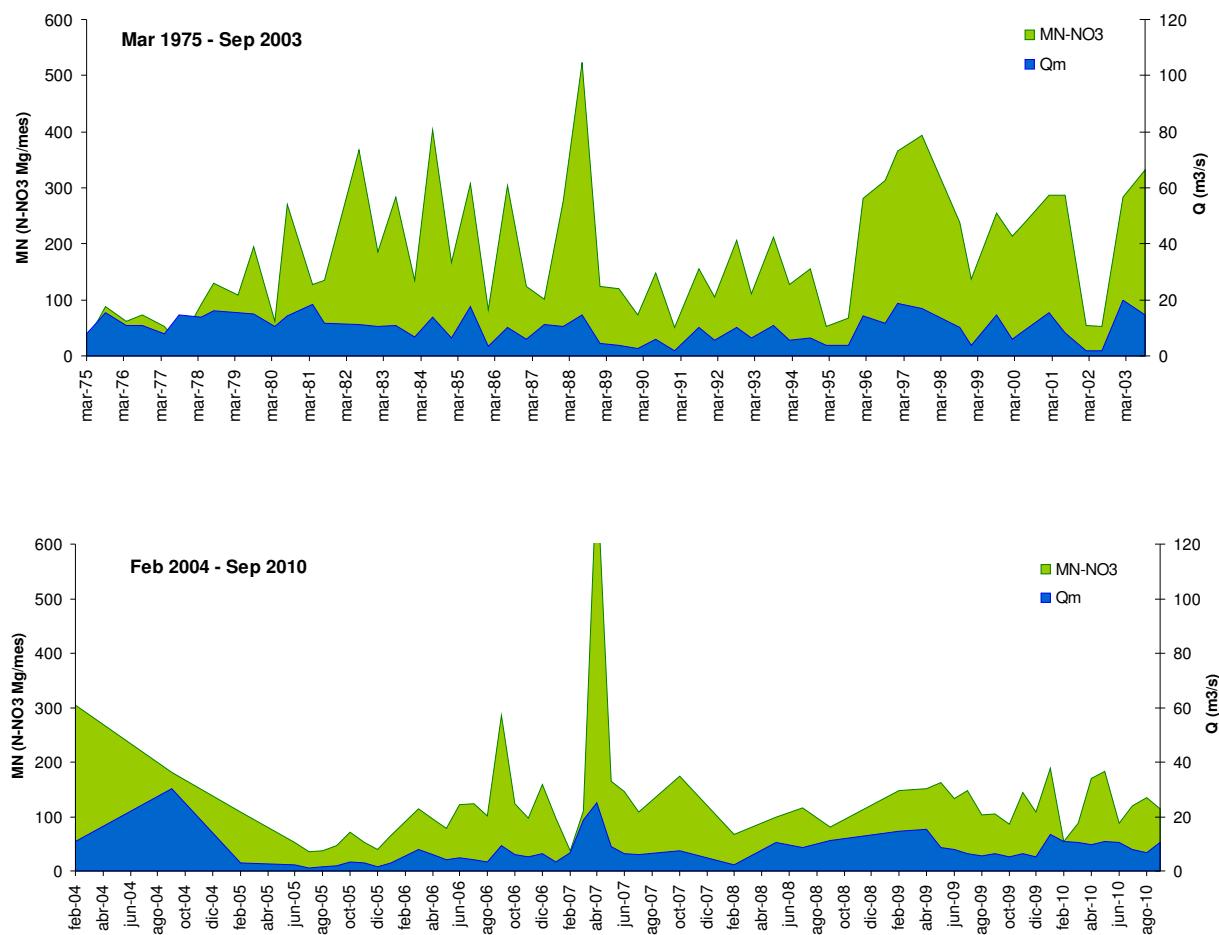


Figura 4.9. Masa mensual exportada de nitrógeno (MN-NO₃) y caudal medio mensual del río Arba (Qm). Serie desde marzo de 1975 a septiembre de 2010.

La masa media de nitrógeno exportada por el Arba es de más de 1600 T/año (Tabla 4.3). Los máximos coinciden con el mes de julio, época de riego y por tanto de lavado de nitrógeno e incremento de caudal, donde se alcanzan las 200 T/mes y los mínimos en otoño-invierno, con valores por debajo de 100 T/mes para los meses de noviembre y marzo.

Su evolución a lo largo del año (Figura 4.8.) es similar a la de la masa de sales salvo para los meses de verano (abril-septiembre), donde la carga de nitrógeno se ve afectada además de por los retornos de riego, muy posiblemente por los ciclos de abonado: julio alcanza el máximo al coincidir caudales altos con el periodo de abonado de la cobertura del maíz. Otros meses que acusan subida son enero y febrero coincidiendo con la cobertura de cereal de secano y regadío, y abril, mes del abonado de presiembra del maíz.

4.3. ANÁLISIS DE TENDENCIAS

Se realizó un análisis de tendencias por mes y por año de los caudales medios mensuales, los aportes de sal obtenidos con las metodologías MSid y MSim y los aportes de nitrógeno aplicando la metodología MNim. Los resultados se resumen en la Tabla 4.6.

El resultado del análisis de homogeneidad de tendencias fue significativo para todas las series (Tabla 4.5.). Esto viene a indicar que las tendencias estimadas para cada mes (de todas las series) no son significativamente diferentes entre sí y que la tendencia anual, estimada por el estadístico S como la suma de los mensuales, puede utilizarse para definir la tendencia global anual de las series.

Los resultados anuales en todas ellas, a excepción de los aportes de nitrógeno, obtuvieron valores de $P(z < Z) = 0$. Esto muestra que de forma anual tanto los caudales como las sales presentan tendencia descendente. En el caso del nitrógeno, el gran número de meses perdidos y la acumulación de datos disponibles en los últimos años, reducen la disponibilidad de información para el contraste de las tendencias y restan fiabilidad a los resultados.

Tabla 4.5. Resultados del cálculo de homogeneidad de la serie mensual de caudales medios diarios (Q), aportes de sal calculados con la metodología MSid y MSim y aportes de nitrógeno (MNIm). X_{2homog} corresponde al valor del estadístico de homogeneidad chi^2 y P es la probabilidad de que la serie sea homogénea con un valor de significación del 95%.

	X_{2homog}	P
Q	17,3	9,86%
MSd	14,7	19.65%
MSim	14,1	22.78%
MNim	12,8	30.68%

La pendiente anual de las tendencias indica un descenso anual medio de sal del -0,9% o lo que es lo mismo, cada año el río Arba aporta unas 3000 T menos de sales al río Ebro (unas 250 T/año menos en cada mes de media). Esto viene influenciado por la bajada generalizada del caudal en -1,6% (Tabla 4.6.).

Si contrastamos estos datos con los obtenidos en el trabajo realizado por la Confederación Hidrográfica del Ebro en colaboración con el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CHE-CITA, 2011b) los resultados fueron algo mayores. Este organismo obtuvo para la serie 1975-2008 un descenso anual de sales para el río Arba del -1,4% (Tabla 2.2.). Las diferencias pueden residir en que estos datos fueron calculados a partir de caudales instantáneos en el momento de muestreo y concentración instantánea (TDS_i), con todas las dificultades que esta metodología supone como ya hemos indicado en apartados anteriores (método MSi).

Para el cálculo de la tendencia de la masa de nitrógeno, debido a la falta de información y los problemas de análisis que esto conlleva se hace muy arriesgado contrastar los resultados obtenidos en este trabajo con los obtenidos por la CHE-CITA (CHE-CITA, 2011b). No obstante este organismo

no obtuvo tendencia, la pendiente fue del 0,0% frente al -0,1% (no significativa) que se ha obtenido en este trabajo, resultados muy similares.

En cuanto al análisis pormenorizado por meses, la aplicación del test estacional de Mann-Kendall obtuvo valores muy dispares en función del mes de análisis y de la serie (Qm, MSd, MSim o MNim):

El caudal medio mensual presentó una tendencia decreciente significativa para la mayor parte de los meses, y en especial los de la estación de regadío. Como era previsible, la serie de aportes de sales calculados con la metodología de regresión (MSd) obtuvo un comportamiento similar, pero con una pendiente menor. El valor de $P(z < Z)$ de todos estos meses fue inferior a 0,05 (Tabla 4.6.), lo que viene a indicar que existe una tendencia decreciente que se muestra de forma más acusada para los caudales medios mensuales (Figura 4.10).

La serie de sales exportadas obtenida mediante la aplicación de metodologías con datos instantáneos (MSim) también dio resultados significativos descendientes pero en este caso, solo para los meses de la estación de riego (junio-sep) (Tabla 4.6 y Figura 4.11).

De forma general se observa que los meses que acusan un mayor descenso en los aportes de sales son junio, julio y agosto con una pendiente media del -1,2%. Esto supone que para cada uno de estos meses el río Arba ha dejado de aportar al Ebro a lo largo de los 40 años que dura la serie, unas 400 T menos de sal cada año.

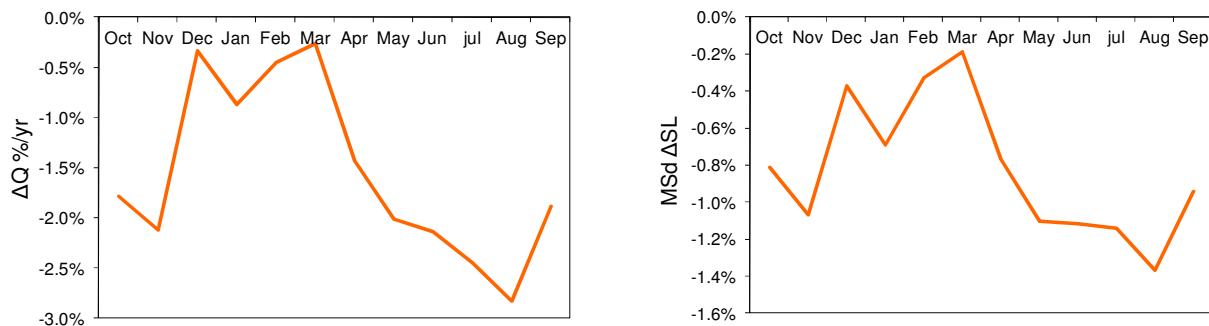


Figura 4.10. Valores de las pendientes obtenidas en el análisis de tendencias para el caudal medio mensual (ΔQ) y para la sal calculada con métodos de regresión ($MSd \Delta SL$)

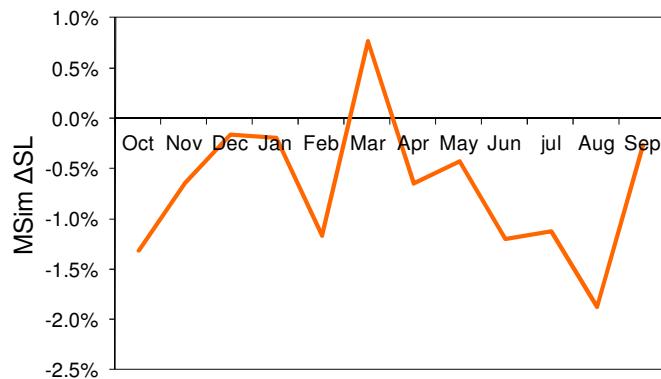


Figura 4.11. Valores de las pendientes obtenidas en el análisis de tendencias para la sal calculada a partir de métodos que emplean datos instantáneos ($MSim \Delta SL$)

Por otro lado, los resultados de los aportes de nitrógeno son muy difíciles de interpretar, pues poseen una serie muy incompleta y mal distribuida. La mayor parte de los registros pertenecen a los últimos 5 años y para el resto la cadencia es semestral, con datos que se centran en los meses de julio (17 meses), septiembre (20 meses), enero (14 meses) o febrero (15 meses) (Anejo 6). De este modo solo son claramente fiables los valores obtenidos para estos cuatro meses.

El mes de julio, mes de mayores aportes medios de nitrógeno al año, es el único que muestra una tendencia decreciente significativa: $P(z < Z) = 0,0178$ (Tabla 4.6.). Para este mes se calcula que a lo largo de estos 40 años, el río Arba ha dejado de exportar al río Ebro unas 7 T/año de nitrógeno, un descenso del -3,6%. Al igual que el resto de las series esto puede responder a una disminución en los retornos de riego y por tanto de lavado de nitrógeno y caudal en el río Arba.

A modo de conclusión de todos los resultados, el hecho de que la estación de riego sea la que acuse el mayor descenso puede interpretarse como que fuera de este periodo del año la calidad del río, en cuanto a caudal, nitrógeno y sal se refiere, se ha mantenido más o menos constante a lo largo de estos últimos 40 años. Sin embargo en los meses de riego tanto los aportes de sal y nitrógeno, como el caudal han disminuido, y esto puede deberse a muchos factores como puede ser el cambio de sistemas de riego de gravedad por aspersión, la disminución de las dotaciones de riego, los cambios en los usos del suelo, el incremento en el precio de los fertilizantes o la introducción de medidas de control para la fertilización nitrogenada entre otros.

	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Anual
Q	P(z<Z)	0,0079	0,0083	0,2301	0,0823	0,1771	0,4120	0,0273	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001	0,00
	Num. meses	35	36	35	36	36	37	37	37	37	37	37	-
	Pendiente (T/año)	0,15	0,12	0,02	0,06	0,04	0,02	0,17	0,24	0,27	0,25	0,23	0,21 -1,89
MSd	Pendiente (%)	-1,8%	-2,1%	-0,3%	-0,9%	-0,5%	-0,3%	-1,4%	-2,0%	-2,1%	-2,4%	-2,8%	-1,9% -1,6%
	P(z<Z)	0,0092	0,0115	0,1532	0,0345	0,1633	0,3718	0,0176	0,0003	0,0002	0,0001	0,0001	0,0118 0,00
	Num. meses	35	35	34	35	36	37	37	36	37	37	37	-
MSim	Pendiente (T/año)	243,4	259,0	98,1	194,1	89,3	60,1	269,4	400,0	403,4	373,1	452,4	314,4 -3318,5
	Pendiente (%)	-0,8%	-1,1%	-0,4%	-0,7%	-0,3%	-0,2%	-0,8%	-1,1%	-1,1%	-1,1%	-1,4%	-0,9% -0,9%
	P(z<Z)	0,0402	0,2742	0,4362	0,3667	0,1038	0,8504	0,1331	0,2717	0,0043	0,0111	0,0021	0,2745 0,00
MNim	Num. meses	30	29	30	32	34	33	34	34	35	35	32	36 -
	Pendiente (T/año)	344,3	138,0	40,8	52,5	330,1	220,8	248,3	150,2	473,6	393,2	631,3	84,9 -2617,6
	Pendiente (%)	-1,3%	-0,6%	-0,2%	-0,2%	-1,2%	0,8%	-0,7%	-0,4%	-1,2%	-1,1%	-1,9%	-0,3% -0,7%
	P(z<Z)	0,5000	0,6992	0,5000	0,2735	0,3461	0,5000	0,9921	0,7688	0,2865	0,0178	0,3262	0,8005 0,36
	Num. meses	4	3	3	14	15	4	10	5	6	17	7	20 -
	Pendiente (T/año)	27,2	22,9	17,4	-2,2	-1,3	-0,6	3,5	23,7	-8,4	-7,5	-0,9	2,5 -0,101
	Pendiente (%)	23,9%	23,4%	17,0%	-1,5%	-0,8%	-0,7%	2,1%	17,2%	-6,5%	-3,6%	-0,7%	1,4% -1,2%

Tabla 4.6. Resultados del análisis de tendencias mediante el test de Mann-Kendall para las series de caudal medio diario (Q), los aportes mensuales de sales calculados mediante las metodologías MSd y MSim y los aportes mensuales de nitrógeno calculados por la metodología MNim. P(z<Z) es la probabilidad asociada al valor obtenido del estadístico Z para un nivel de significación del 95%. Se resaltan en azul los valores decrecientes significativos al 95%, en amarillo los ascendentes, y en verde, los resultados decrecientes significativos al 90% (test de dos colas). Se presenta también la pendiente de las tendencias mensuales y del total anual (en T/año) y como porcentaje del valor medio mensual o anual.

5.- Conclusiones

Masas de sales:

- Los métodos de cálculo basados en la restitución de la concentración de sal a partir de caudal medio diario o mensual, (los métodos de regresión MSd y MSm), son los que mejor estiman la variabilidad de la carga de sal a lo largo del tiempo. Son los que mejor resultado han obtenido en el análisis estadístico de metodologías.
- Para su aplicación hay que tener en cuenta dos factores importantes, la estrecha relación entre Q-TDS y su estabilidad en el tiempo:
 - Estos métodos solo pueden ser aplicados en ríos donde se dé esta relación, como es el caso del río Arba.
 - Y los cambios en algunas variables como la ampliación de las zonas regadas, los sistemas de riego o el tipo de cultivo pueden afectar o variar la respuesta de la conductividad eléctrica (y por ende del TDS) al incremento o disminución del caudal.
- El río Arba exporta una media de 370.000 T/año de sal. Los meses de mayor masa exportada corresponden a los de riego (abril-septiembre). En esta época se produce un incremento de los retornos de riego que incrementa el caudal del río, el lavado de las sales y consecuentemente, la masa exportada.
- A lo largo de los últimos 40 años se ha producido un descenso en el volumen anual de sales exportadas. Se debe fundamentalmente a la progresiva disminución de los caudales en los meses de riego. Este descenso puede ser debido a muchos factores como el puede ser el cambio en los sistemas de riego, la variación en las dotaciones o la modificación de los usos del suelo entre otros.

Masa de nitrógeno:

- El uso de métodos con datos instantáneos, en especial si se aplica el caudal medio mensual (MNim), parecen adaptarse bastante bien a los resultados de las masas de referencia. Solo son aceptables cuando aplicamos datos instantáneos derivados de RecoR-Ebro, es decir con series suficientemente completas. Esto indica que cadencias mensuales en la medida de nitrato son suficientemente representativas.
- Los métodos de estimación de la carga de nitrato aplicando el caudal medio diario (MNid) del día de muestreo también son aceptables. Al igual que en el caso anterior tan solo cuando se utilizan series obtenidas de Recor-Ebro. La aplicación de este método no requiere de mucha instrumentación en campo, tan solo la medida del caudal durante todo el día y la toma de una muestra de agua.
- Los métodos de restitución a partir del caudal, (MNd y MNm) también muestran buenos resultados. Al igual que las sales, estos métodos requieren de una buena relación entre el caudal, la concentración de sales y los nitratos. Pero, al contrario que con las sales, estos métodos no son manifiestamente mejores que los métodos MNim o MNid cuando utilizan series de datos suficientemente completas debido a la relación entre Q y N-NO₃ es menos estrecha que entre Q y CE.

- El río Arba exporta una media de unas 1600 T/año de nitrógeno ($N-NO_3$). El mes que registra el mayor volumen corresponde al de julio, mes en el que coinciden caudales elevados por retornos de riego y el abonado para la cobertura de maíz (el que recibe mayores dosis de fertilización entre los cultivos más usuales en la cuenca). Otros meses que acusan subida de la masa exportada de nitrógeno corresponden a enero y febrero, época de abonado para la cobertura de cereal de secano y regadío y abril (presiembra del maíz).
- El análisis de tendencias para la serie de nitrógeno no es concluyente, son pocos los meses con suficientes datos para cada año de la serie. Tan solo el mes de julio, es el único que muestra una tendencia descendente, atribuida fundamentalmente al descenso de los caudales en el periodo de regadío (mes con suficientes datos para el cálculo de la tendencia).



Universidad
Zaragoza



Escuela Politécnica
Superior - Huesca
Universidad Zaragoza



cita
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGÍA
AGROALIMENTARIA DE ARAGÓN

Conclusiones

ACRONIMOS Y ABREVIATURAS

CE: conductividad eléctrica (dS/m - 25º C)

CE_i: conductividad eléctrica instantánea (dS/m - 25º C), lectura unitaria por mes.

CHE: Confederación Hidrográfica del Ebro

CEDEX: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas

CITA: Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón

DMA: Directiva Marco del Agua (60/2000/CE)

MAE: Error Medio Absoluto

MB: Mean Bias (sesgo medio)

NSE: Nash-Sutcliff Efficiency

Qd: caudal medio diario (m³/s)

Qm: caudal medio mensual (m³/s)

Qi: caudal instantáneo (m³/s) en el momento de muestreo.

Qq: Caudal quincenital (m³/s) registrado en la estación del SAIH-260 a las 12:00 horas (hora de la toma de muestra de agua)

RE: Registros obtenidos de RecoREbro

RMSE: Error cuadrático medio

ROEA: Red Oficial de Estaciones de Aforo

SAIH: Sistema Automático de Información Hidrológica

TDS: Sólidos disueltos totales (mg/l)



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Causapé, J., D. Quílez and R. Aragüés (2004), Salt and nitrate concentrations in the surface waters of the CR-V irrigation district (Bardenas I, Spain): diagnosis and prescriptions for reducing off-site contamination. *Journal of Hydrology* 295: 87-100.
- Causapé, J., L. Auqué, Mª J. Gimeno, J. Mandado, D. Quílez and R. Aragüés. (2003), Irrigation effects on the salinity of the Arba and Riguel rivers (Spain): Present diagnosis and expected evolution using geochemical models. *Environmental Geology* 45 (5): 703-715.
- Causapé, J., D. Quílez and R. Aragüés (2004), Irrigation efficiency and quality of irrigation return flows in the ebro river basin: an overview. *Environmental Monitoring and Assessment* 117: 451-461.
- CDITA (1993), Mapa de suelos del tercio central de Aragón escala 1:200.000. Centro de Documentación e Información Territorial de Aragón. Disponible en:
<http://sitar.aragon.es/descargas-aragon.htm>
- CEDEX (2012), Anuario de aforos. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Disponible en:
<http://hercules.cedex.es/anuarioaforos/default.asp>.
- CHE (2012), Resultados analíticos (físico-químicos) de las aguas superficiales. Confederación Hidrográfica del Ebro. Disponible en:
http://195.55.247.234/webcalidad/resultados_fq_sup.asp
- CHE-CITA (2011a), Análisis de tendencias de masas exportadas en la Cuenca del Ebro, informe final de la asistencia técnica del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA-DGA) para la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) en 2009, 89 p.
- CHE-CITA (2011b), Evaluación del impacto medioambiental de las actividades agrarias en cinco sistemas de riego de la Cuenca del Ebro, informe final del convenio de colaboración entre la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) y el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA-DGA) para los años 2009-2010, 252 p.
- CHE-CITA (2009), Evaluación del impacto medioambiental de las actividades agrarias en tres sistemas de riego de la Cuenca del Ebro, informe final del convenio de colaboración entre la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) y el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA-DGA) de los años 2007-08, 125 p.
- CHE-CITA (2007), Control de los retornos de las actividades agrarias de la Cuenca del Ebro: evaluación de las tendencias de la calidad del agua, control experimental de los retornos y propuesta de red de control, informe final del convenio de colaboración entre la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) y el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA-DGA) del año 2006, 285 p.
- CHE (2008), Plan Hidrológico del Río Arba, documentación previa para su análisis. Trabajos para la elaboración del Plan Hidrológico del Ebro 2010-2015, proceso de participación pública. Versión mayo de 2008, 173 p. Disponible en:
<http://www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=2053&idMenu=2022>

CHE-CITA (2006), Caracterización de la calidad de las aguas superficiales y control de los retornos del riego en la Cuenca del Ebro, informe final del convenio de colaboración entre la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) y el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA-DGA) del año 2005, 194 p.

CHE (2005a), Caracterización de la calidad de las aguas superficiales y control de los retornos del riego en la cuenca del Ebro. Convenio de Colaboración CITA-CHE. Verificado el 12 marzo 2012.

CHE (2005b), Informe 2005 sobre la aplicación de la Directiva Marco del Agua en la Cuenca del Ebro.

CHE (1996a), Cartografía escala 1:1.000.000 de las Isoyetas medias anuales, Isotermas medias anuales e Isolíneas de ETP de Thornthwaite (C.H.E.,1995). Elaborados para los trabajos del Plan Hidrológico del Ebro de 1996. Disponible en:

<http://www.oph.chebro.es/ContenidoCartoClimatologia.htm>

CHE (1996b), Mapa geológico de la Cuenca del Ebro, escala 1:200.000. Hojas: Dominio de la Depresión del Ebro y Jaca-Pamplona.

Cohn, T.A., D. L. Caulder, E.j. Gilroy, L.D. Zynjuk and R.M. Summers (1992), The Validity of a simple statistical model for estimating fluvial constituent loads: An empirical study involving nutrient loads entering Chesapeake Bay. Water Resources Research 28, No 9: 2353-2363.

Cochran, W.G. (1977), Técnicas de Muestreo. Compañía Editorial Continental S.A. de Mexico.

CORINE (2006), Cartografía de los usos del suelo escala 1:100.000. Agencia Europea de Medio Ambiente. Disponible en:

<http://centrededescargas.cnig.es/CentroDescargas/buscar.do>

Gilbert R. o. (1987), Statistical methods for environmental pollution monitoring. ED. Van Nostrand Reinhold, New York, 320 p.

Hall, F. R. (1970), Dissolved Solids-Discharge Relationships. 1 Mixing Models. Water Resource Research Vol. 6. No3.

Hall, F. R. (1971), Dissolved Solids-Discharge Relationships. 2 Applications to Field Data. Water Resource Research Vol. 7. No3.

INE (2010), Instituto Nacional de Estadística. Cifras oficiales de población resultantes de la revisión del Padrón municipal a 1 de enero de 2010. Disponible en:

<http://www.ine.es/jaxi/tabla.do?path=/t20/e260/a2010/l0/&file=mun50.px&type=pcaxis&L=0>

Isidoro, D. (2010) River salt loads as influenced by irrigation development in the Bardenas Irrigation Scheme (Spain). Global Forum on Salinization and Climate Change. Valencia, October 2010.

Kendall, M.G., (1975) Rank Correlation Methods. 4th Edition Charles Griffing, London.

Legates, D. R., and G. J. Mc Cabe (1999) Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. Water Resources Res. 35(1): 233-241.

Mann, H. B., (1945), No n-Parametric test against trend, Econometrica 13:245-259.

MAGRAMA (2012), Sistema de Información del Anuario de Aforos. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible en: <http://sig.magrama.es/aforos/>

- Moriasi, D.N., J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Binger, R.D. Harmel and T. L. Veith (2007), Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. American Society of Agricultural and Biological Engineers ISSN 0001-2351: 885-900.
- Nash, J. E., and J. V. Sutcliffe (1970). River flow forecasting through conceptual models: Part 1. A discussion of principles. *J. Hydrology* 10(3): 282-290.
- Santhi, C., J. G. Arnold, J. R. Williams, W.A. Dugas, R. Srinivasan and L. M. Hauck (2001), Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources. *American Water Resources Assoc.* 37(5): 1169-118.
- Short, M.B. (1999), Baseline loading of nitrogen, phosphorus and sediments from Illinois Watersheds. Illinois Environmental Protection Agency. IEPA/BOW/99-020, Springfield, IL.
- Smart, T.S., D. J Hirst and D. A. Elston (1999), Methods for estimating loads transported by Rivers. *Hydrology and Earth System Sciences*, 3(2): 295-303.
- Van Belle, G. and J.P. Hughes (1984), Nonparametric test for trend in water quality. *Water Resources Research* 20: 127-136.
- Van Liew, M. W., J. G. Arnold, and J. D. Garbrecht (2003), Hydrologic simulation on agricultural watersheds: Choosing between two models. *Trans, ASAE* 46(6): 1539-1551.
- Verma, S., M Markus, R.A. Cooke (2012), Development of error correction techniques for nitrate-N load estimation methods. *Journal of Hydrology* 432-433: 12-25.
- Willmott, C.J. (1982), Some comments on the evaluation of model performance. *B. Am Meteorol. Soc.* 63:1309-1313.
- Walling, D.E., Webb, B.W. (1982), The design of sampling programs for studying catchment nutrient dynamics. Proceeding of an International Symposium on Hydrological Research and their Use in the Water Resources Planning. 21-23 September 1982. Berne 3: 747-738.





ANEJO 1

- Fichas descriptivas de las estaciones de aforo de la cuenca del Arba, empleadas para la obtención de las series de caudales.



C.H. Ebro

9060 Gallur

Identificación

Estado	Alta	Inicio	1973	Cota (m)	230
Cód. ROEA	9060	Cód. SAIH	A060	Cód. SAICA	

UTM X	640.687	Y	4.638.693	Huso	30	Datum	ED50
UTM X	640.579	Y	4.638.484	Huso	30	Datum	ETRS89

Río	Arba de Luesia
Cuenca receptor (km ²)	2249
Sistema de explotación	Arba
T. Municipal	Gallur
Provincia	Zaragoza
Hoja 1:50.000	Tauste (321)

Fotografía



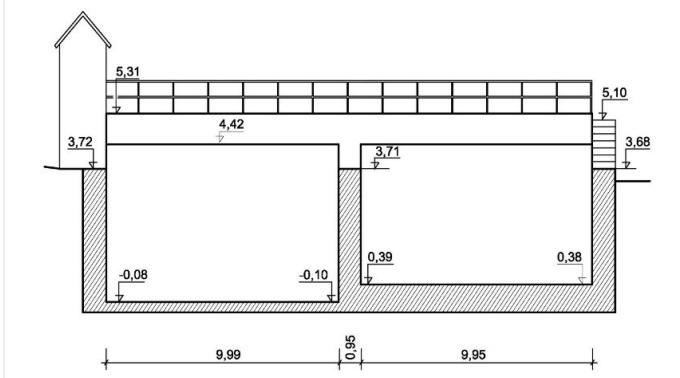
Tipología

Propietario	Estado	Longitud (m)		Ancho (m)	20,9
Tipo de Estación	Encauzamiento con Canal de Aguas Bajas	Casetta	Sí (Prefabricada)	Pasarela	Sí
Régimen de caudales	Natural	Escala	Sí (Exterior)	Vertedero	Sí

Plano de situación



Sección Tipo





C.H. Ebro

9260 Tauste

Identificación

Estado	Alta	Inicio	1913	Cota (m)	243
Cód. ROEA	9260	Cód. SAIH	A260	Cód. SAICA	

UTM X	642.743	Y	4.641.752	Huso	30	Datum	ED50
UTM X	642.635	Y	4.641.543	Huso	30	Datum	ETRS89

Río	Arba de Luesia
Cuenca receptor(a) (km ²)	2193
Sistema de explotación	Arba
T. Municipal	Tauste
Provincia	Zaragoza
Hoja 1:50.000	Tauste (321)

Fotografía



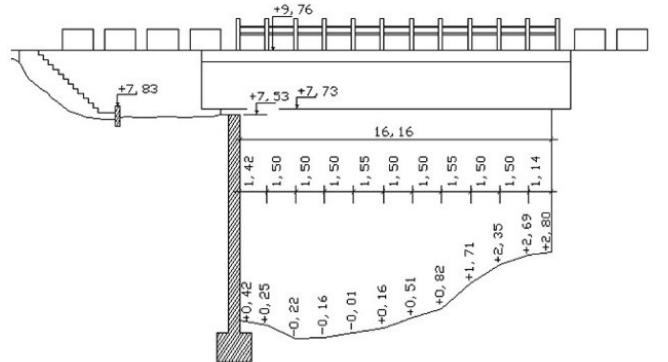
Tipología

Propietario	Estado	Longitud (m)		Ancho (m)	16,2
Tipo de Estación	Encauzamiento sin Canal de Aguas Bajas	Casetas	Sí (Prefabricada)	Pasarela	No
Régimen de caudales	Natural	Escala	Sí (Exterior)	Vertedero	-

Plano de situación



Sección Tipo





Universidad
Zaragoza



Escuela Politécnica
Superior - Huesca
Universidad Zaragoza



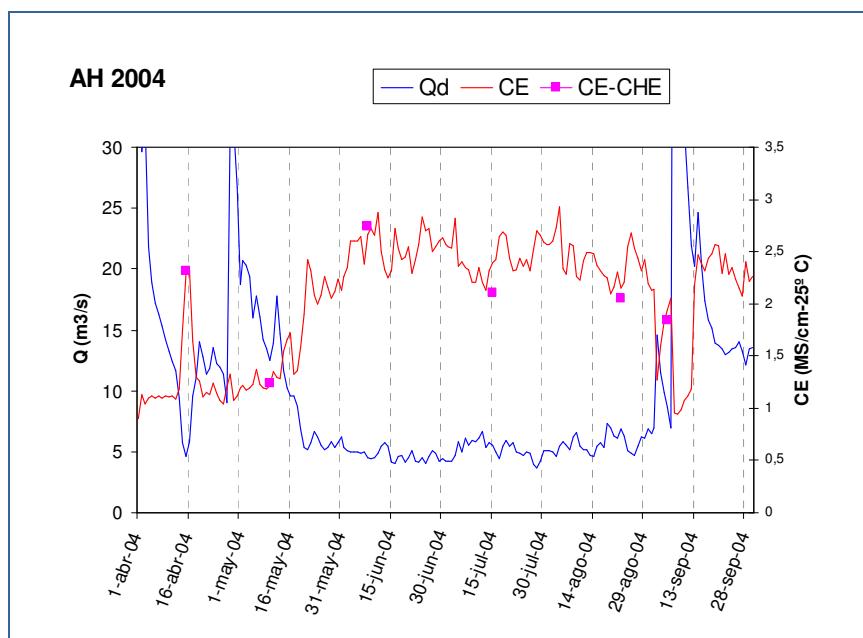
cita
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGÍA
AGROALIMENTARIA DE ARAGÓN

ANEJO 1

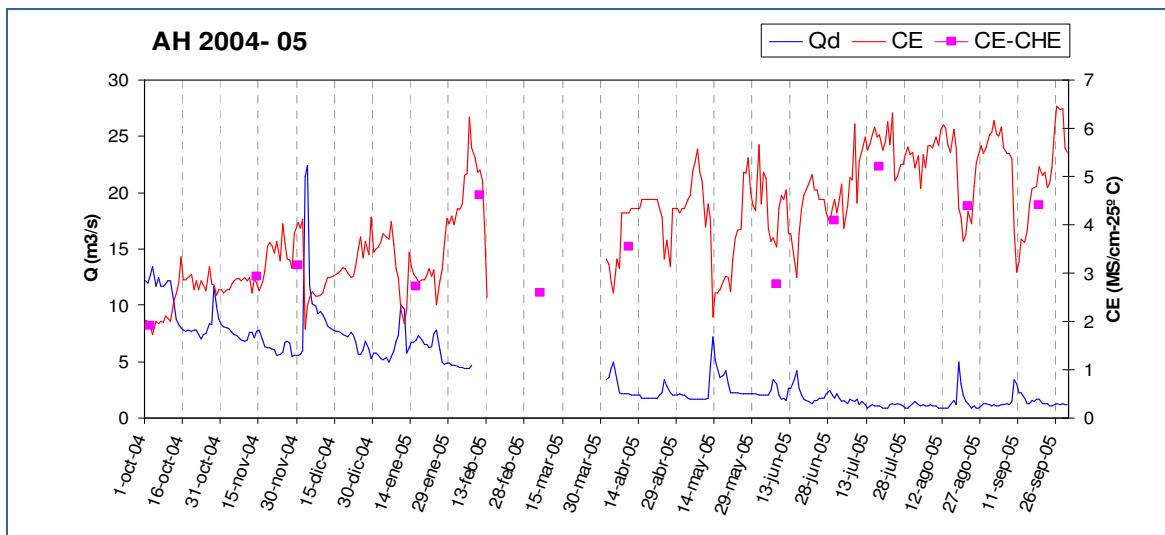


ANEJO 2

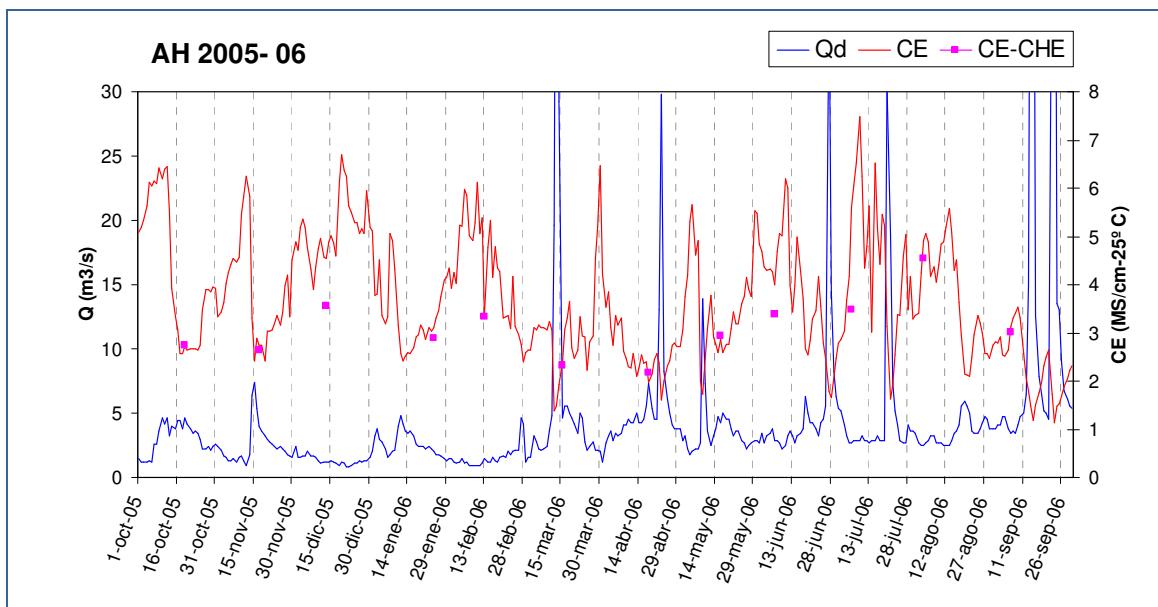
- Hidrogramas del caudal medio diario registrado en la estación 260 del Arba en Tauste y conductividad eléctrica diaria registrada en RecoREbro y en la red de Calidad.
- Hidrograma del caudal medio diario registrado en la estación 260 del Arba en Tauste y el contenido en nitratos diario registrado en RecoREbro y en la red de Calidad.



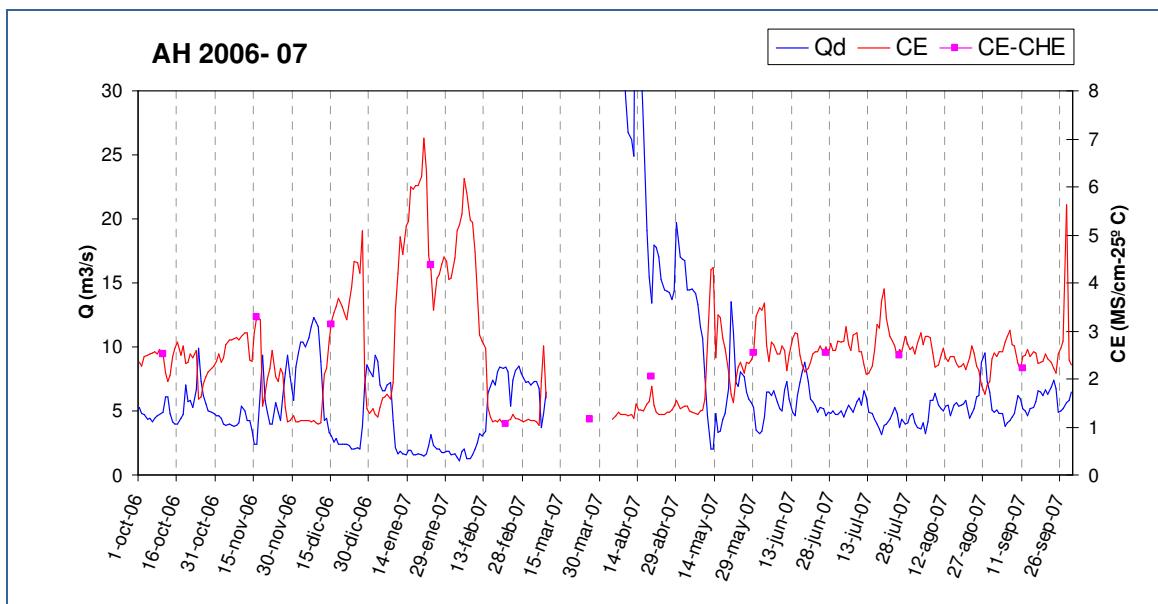
Hidrograma del caudal medio diario registrado en la estación 260 del Arba en Tauste (Qd) junto con la conductividad eléctrica registrada por RecoREbro (CE) y por la red de Calidad (CE-CHE). Año hidrológico 2004.



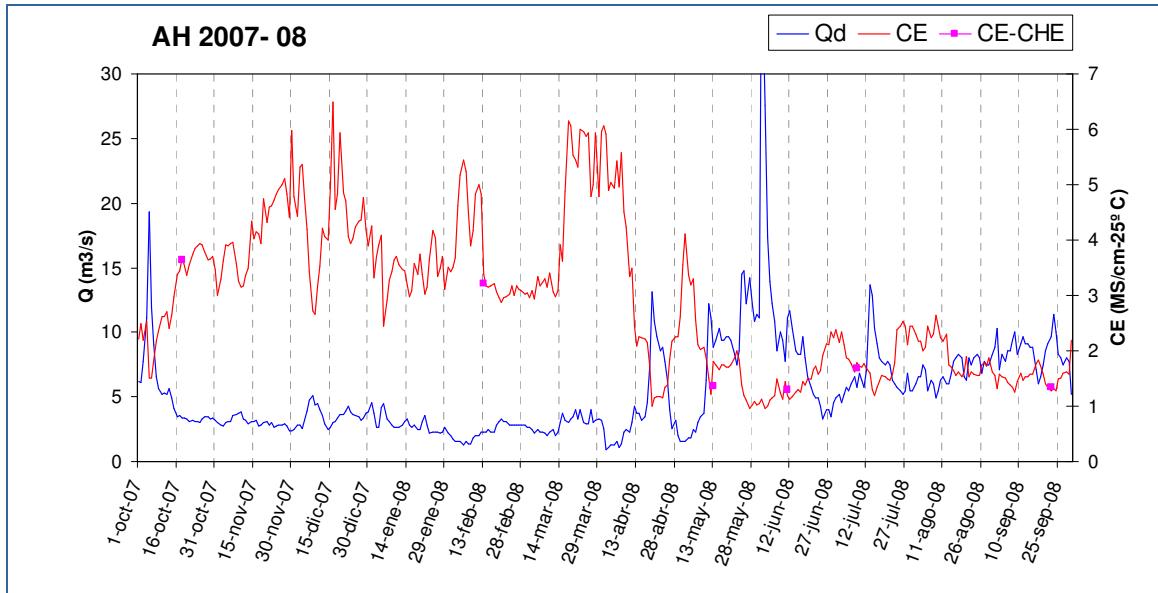
Hidrograma del caudal medio diario registrado en la estación 260 del Arba en Tauste (Qd) junto con la conductividad eléctrica registrada por RecoREbro (CE) y por la red de Calidad (CE-CHE). Año hidrológico 2004-2005.



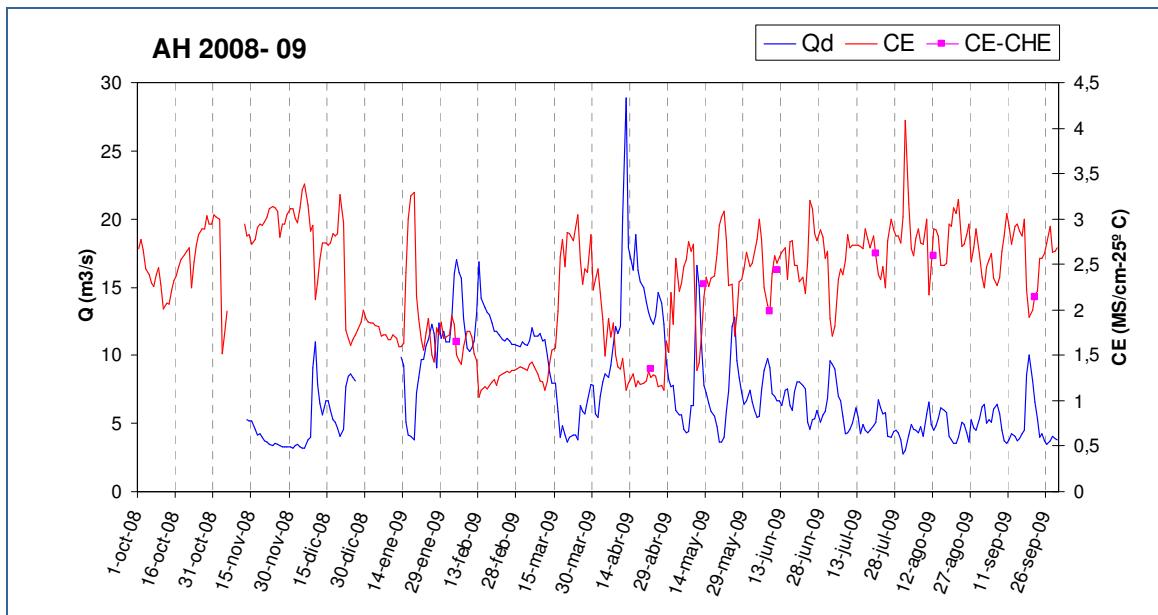
Hidrograma del caudal medio diario registrado en la estación 260 del Arba en Tauste (Qd) junto con la conductividad eléctrica registrada por RecoREbro (CE) y por la red de Calidad (CE-CHE), Año hidrológico 2005-2006,



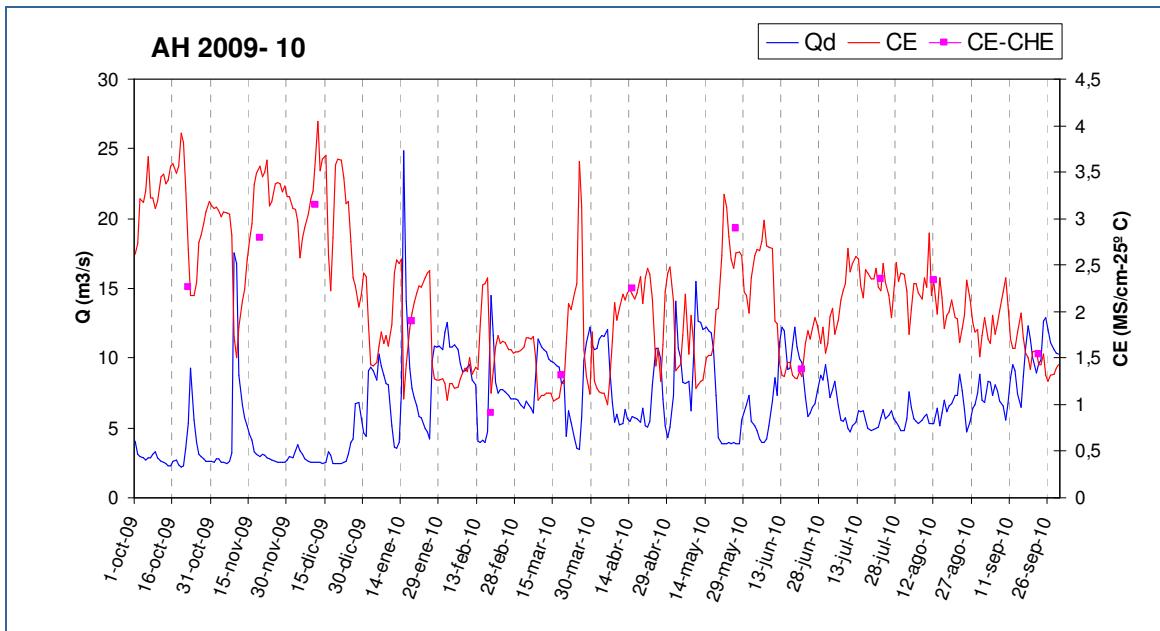
Hidrograma del caudal medio diario registrado en la estación 260 del Arba en Tauste (Qd) junto con la conductividad eléctrica registrada por RecoREbro (CE) y por la red de Calidad (CE-CHE). Año hidrológico 2006-2007.



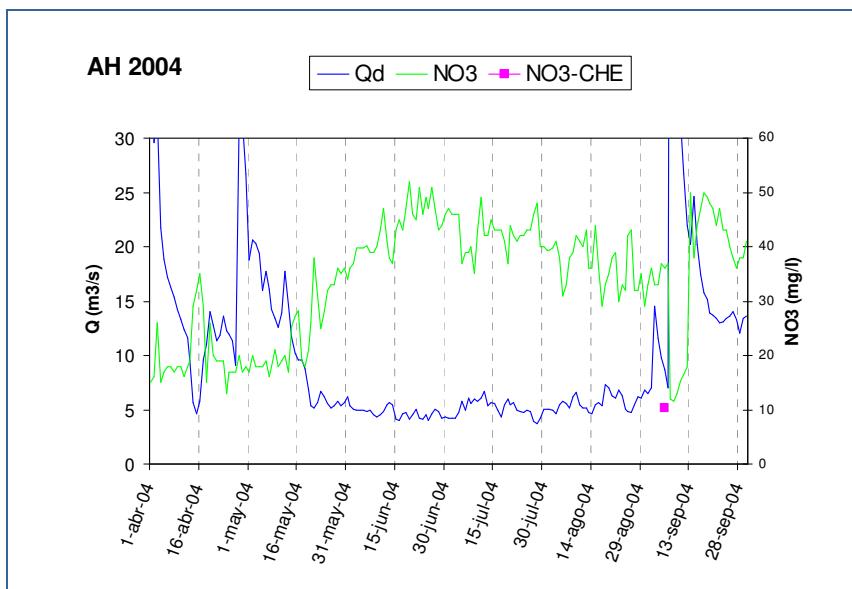
Hidrograma del caudal medio diario registrado en la estación 260 del Arba en Tauste (Qd) junto con la conductividad eléctrica registrada por RecoREbro (CE) y por la red de Calidad (CE-CHE). Año hidrológico 2007-2008.



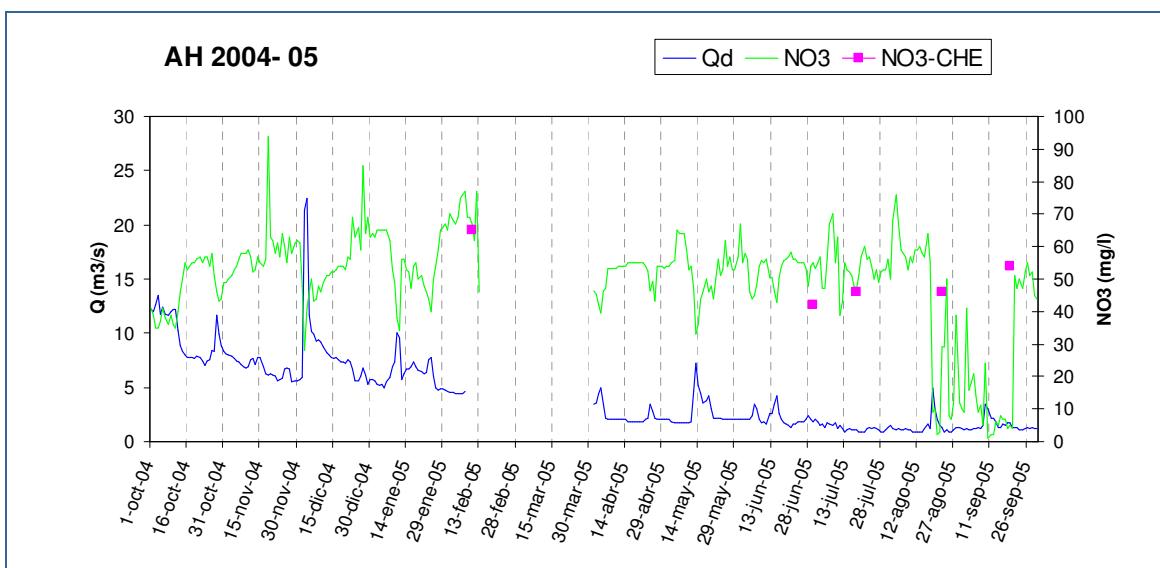
Hidrograma del caudal medio diario registrado en la estación 260 del Arba en Tauste (Qd) junto con la conductividad eléctrica registrada por RecoREbro (CE) y por la red de Calidad (CE-CHE). Año hidrológico 2008-2009.



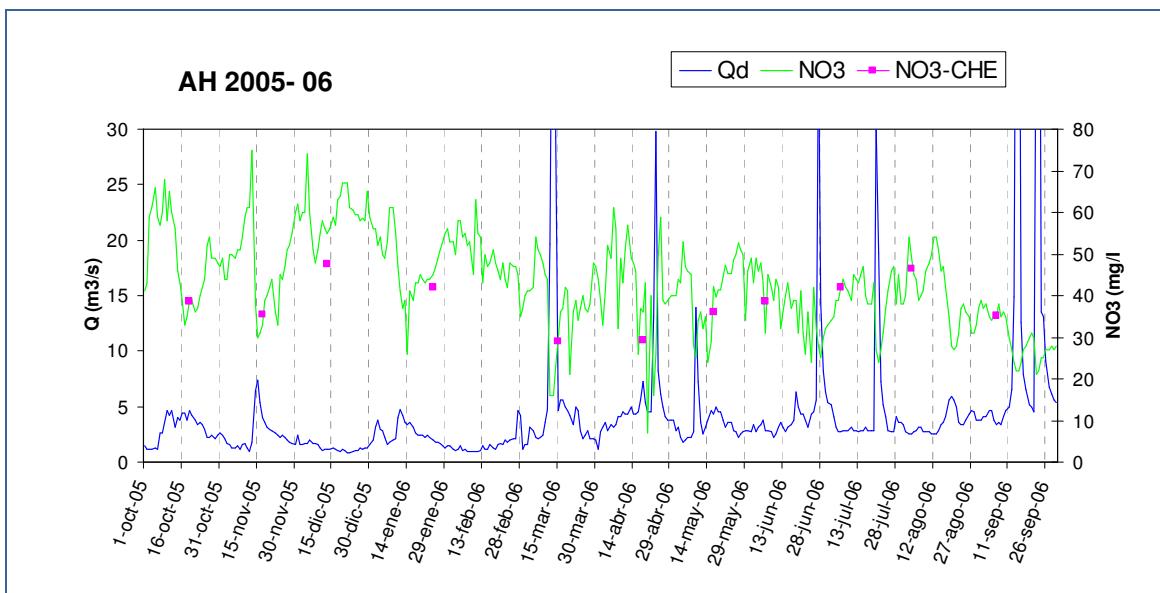
Hidrograma del caudal medio diario registrado en la estación 260 del Arba en Tauste (Q_d) junto con la conductividad eléctrica registrada por RecoREbro (CE) y por la red de Calidad ($CE\text{-CHE}$). Año hidrológico 2009-2010.



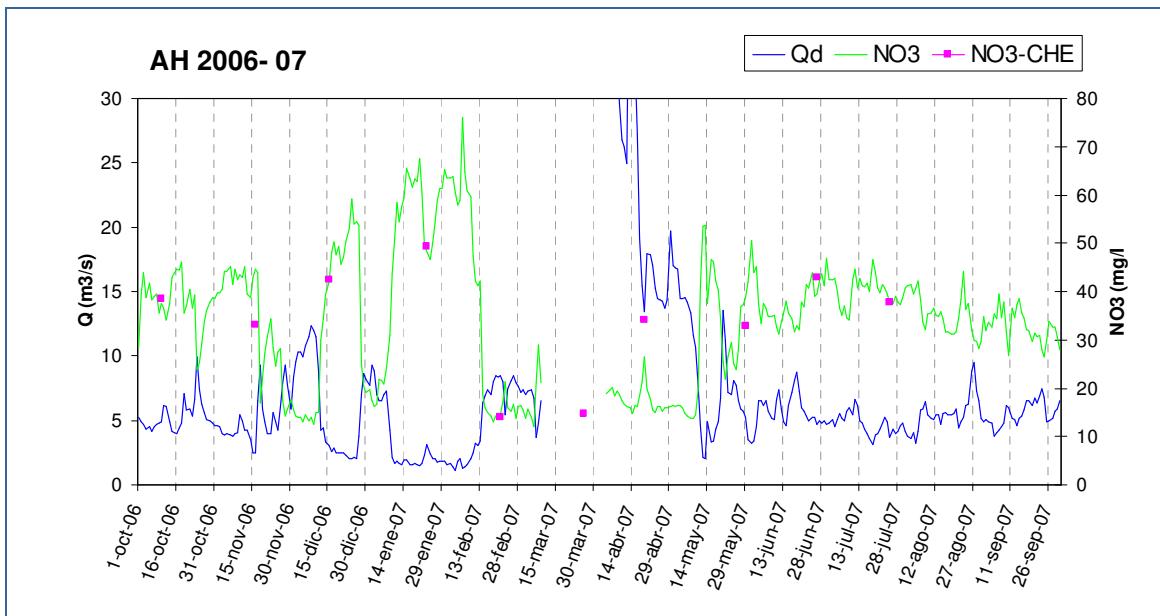
Hidrograma del caudal medio diario registrado en la estación 260 del Arba en Tauste (Qd), junto con el contenido en nitrato registrado por RecoREbro (NO₃) y en la red de Calidad (NO₃-CHE). Año hidrológico 2004.



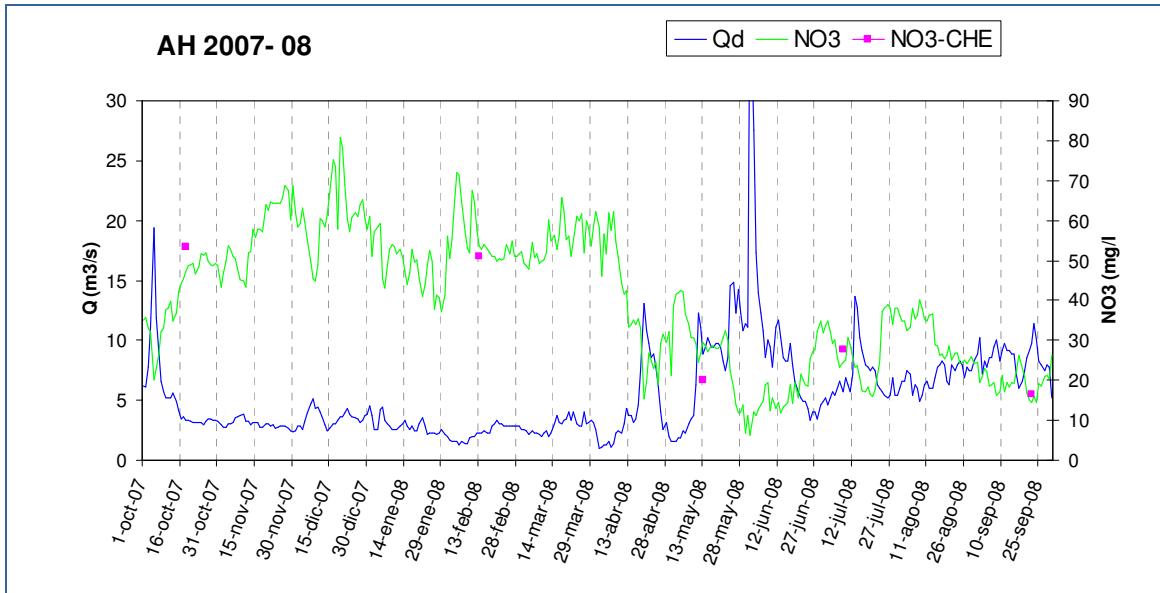
Hidrograma del caudal medio diario registrado en la estación 260 del Arba en Tauste (Qd), junto con el contenido en nitrato registrado por RecoREbro (NO₃) y en la red de Calidad (NO₃-CHE). Año hidrológico 2004-2005.



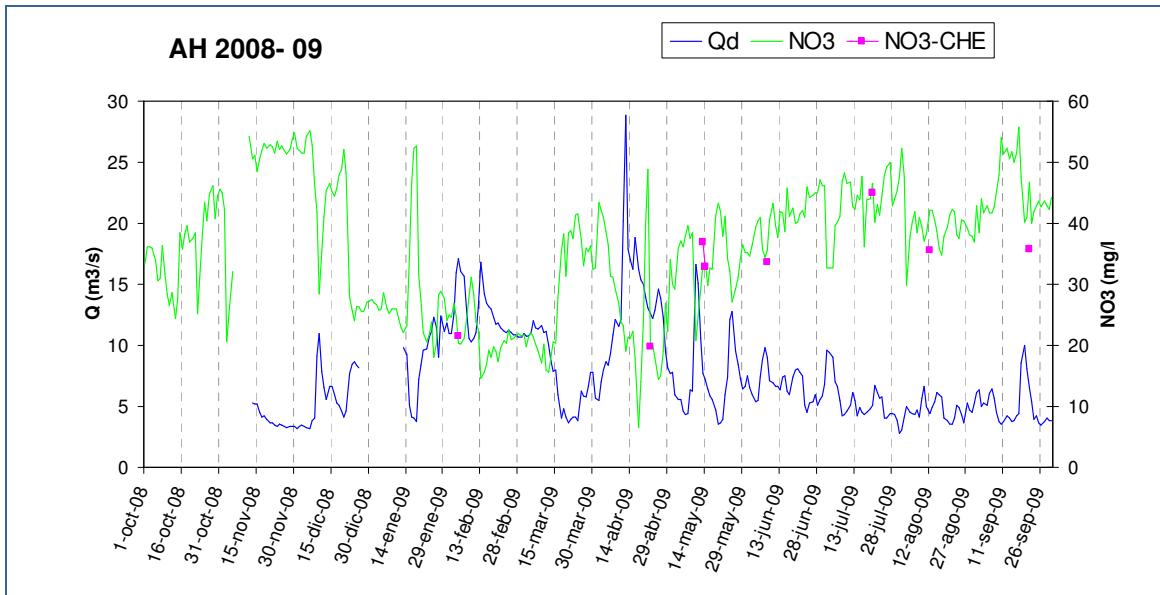
Hidrograma del caudal medio diario registrado en la estación 260 del Arba en Tauste (Qd), junto con el contenido en nitrato registrado por RecoREbro (NO₃) y en la red de Calidad (NO₃-CHE). Año hidrológico 2005-2006.



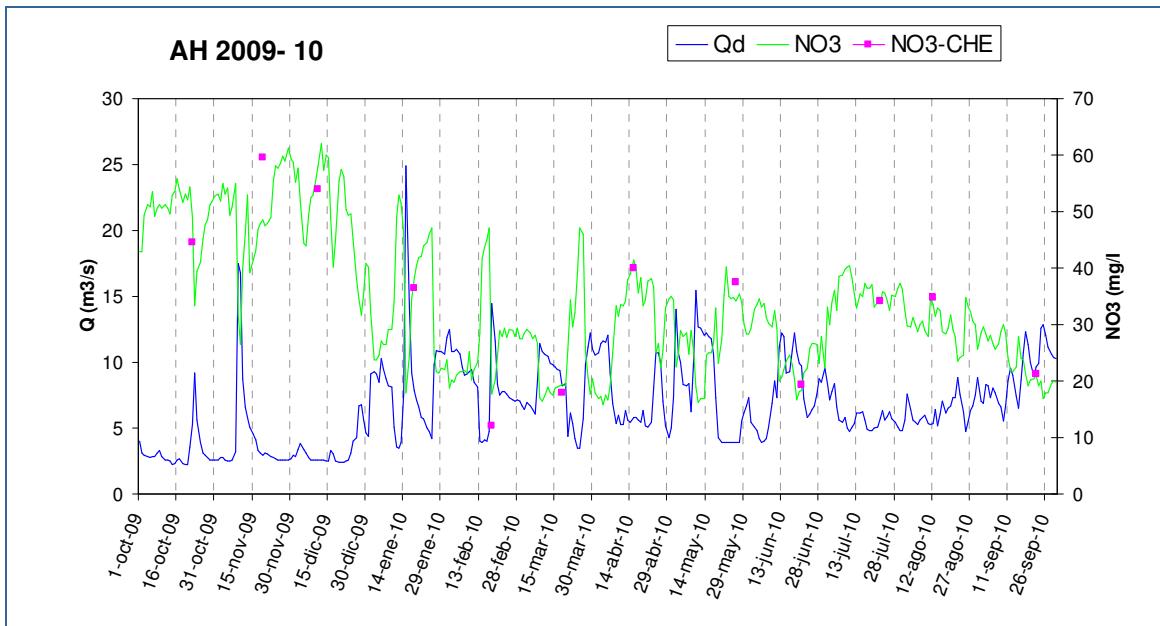
Hidrograma del caudal medio diario registrado en la estación 260 del Arba en Tauste (Qd), junto con el contenido en nitrato registrado por RecoREbro (NO₃) y en la red de Calidad (NO₃-CHE). Año hidrológico 2006-2007.



Hidrograma del caudal medio diario registrado en la estación 260 del Arba en Tauste (Q_d), junto con el contenido en nitrato registrado por RecoREbro (NO_3) y en la red de Calidad ($\text{NO}_3\text{-CHE}$). Año hidrológico 2007-2008.



Hidrograma del caudal medio diario registrado en la estación 260 del Arba en Tauste (Q_d), junto con el contenido en nitrato registrado por RecoREbro (NO_3) y en la red de Calidad ($\text{NO}_3\text{-CHE}$). Año hidrológico 2008-2009.



Hidrograma del caudal medio diario registrado en la estación 260 del Arba en Tauste (Qd), junto con el contenido en nitrato registrado por RecoREbro (NO₃) y en la red de Calidad (NO₃-CHE). Año hidrológico 2009-2010.



Universidad
Zaragoza



Escuela Politécnica
Superior - Huesca
Universidad Zaragoza



ANEJO 2



ANEJO 3

- Resultados del ajuste de la ecuación de regresión del caudal-conductividad eléctrica mediante el programa Statgraphics
- Resultados del ajuste de la ecuación de regresión de la conductividad eléctrica-nitratos mediante el programa Statgraphics.

Regresión No lineal

Variable dependiente: CE

Variables independientes: Qarb

Función a estimar: $((S-Co)/(1+B*(Qarb^{(1/n)})))+Co$

Estimaciones del parámetro inicial:

S = 8,0

Co = 1,0

B = 0,5

n = 1,0

Método de estimación: Marquardt

La estimación se detuvo debido a la convergencia de la suma de cuadrados de residuos.

Número de iteracciones: 7

Número de llamadas de funciones: 39

Número de filas excluidas: 1

Resultados de la Estimación

Asintótica 95,0%

Parámetro	Estimado	Error Estándar	Asintótica		Intervalos de Confianza
			Inferior	Superior	
<hr/>					
S	6,37703	0,262326	5,86288	6,89118	
Co	0,915717	0,10888	0,702316	1,12912	
B	0,219811	0,0412379	0,138986	0,300636	
n	0,699666	0,0532353	0,595326	0,804005	
<hr/>					

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gra. Cuadrado	Medio
--------	-------------------	---------------	-------

Modelo	20826,3	4	5206,58
--------	---------	---	---------

Residuos	976,566	2232	0,43753
----------	---------	------	---------

Total	21802,9	2236	
-------	---------	------	--

Total (Corr.)	3581,64	2235	
---------------	---------	------	--

R-Cuadrado = 72,7341 porcentaje

R-Cuadrado (ajustado para g.l.) = 72,6974 porcentaje

Error Estándar de la Est. = 0,66146

Error absoluto de la Media = 0,460062

Estadístico Durbin-Watson = 0,405444

Autocorrelación residual Lag 1 = 0,797238

Análisis de Residuos

Estimación Validación

n 2237

MSE 0,439379

MAE 0,460062

MAPE 17,2818

ME 0,000891639

MPE -5,01558

El StatAdvisor

La salida muestra los resultados del ajuste a un modelo de regresión no lineal para describir la relación entre las variables independientes CE y 1. La ecuación del modelo ajustado es

$$((6,37703-0,915717)/(1+0,219811*(Qarb^{(1/0,699666)})))+0,915717$$

En la realización del ajuste, el proceso de estimación terminó satisfactoriamente después de 7 repeticiones a que punto aparecen los coeficientes estimados para coincidir con las estimaciones actuales.

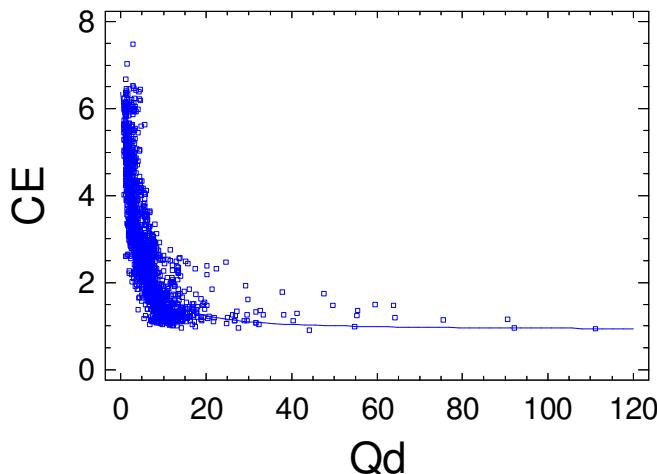
El estadístico R-cuadrado indica que el modelo así ajustado explica 72,7341% de la variabilidad en CE. El estadístico R-cuadrado ajustado más conveniente para comparar modelos con números diferentes de variables independientes es 72,6974%.

El error estándar de la estimación muestra la desviación normal de los residuos para ser 0,66146. Este valor puede utilizarse para construir los límites de predicción para las nuevas observaciones seleccionando la opción Previsiones del menú de texto.

El error absoluto de la media (MAE) de 0,460062 es el valor promedio de los residuos.

El estadístico Durbin-Watson (DW) revisa los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se suceden los datos en su fichero.

La salida también muestra asymptotic 95,0% intervalos de confianza para cada uno de los parámetros desconocidos. Estos intervalos son aproximados y más precisos para tamaños de muestra grandes. Puede determinar si una estimación es o no estadísticamente significativa examinando cada intervalo y observando si contiene el valor 0.0. Los intervalos que contienen el valor 0.0 corresponden a coeficientes que pueden eliminarse del modelo sin afectar substancialmente el ajuste.



Análisis de Regresión - Modelo Logarítmico-X: $Y = a + b * \ln(X)$

Variable dependiente: NO3

Variable independiente: Ce

Error Estadístico

Parámetro	Estimación	estándar	T	P-Valor
<hr/>				
Ordenada	13,2299	0,34107	38,7894	0,0000
Pendiente	27,7038	0,331572	83,5527	0,0000

Análisis de la Varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
<hr/>					
Modelo	312351,0	1	312351,0	6981,05	0,0000
Residuo	94496,7	2112	44,7428		
<hr/>					
Total (Corr.)	406848,0	2113			

Coeficiente de Correlación = 0,876205

R-cuadrado = 76,7735 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 76,7625 porcentaje

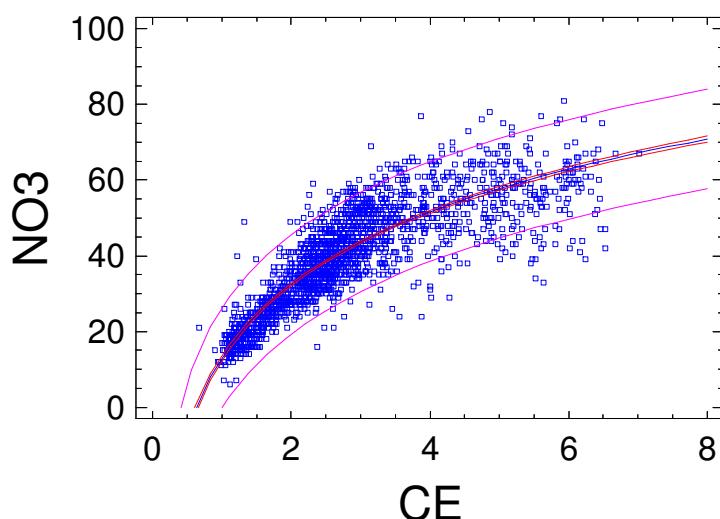
Error estándar de est. = 6,689

Error absoluto medio = 5,05438

Estadístico de Durbin-Watson = 0,417383 (P=0,0000)

Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,79114

Número de Filas excluidas: 32



El StatAdvisor

La salida muestra los resultados del ajuste al modelo logarítmico-X para describir la relación entre NO₃ y Ce. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{NO}_3 = 13,2299 + 27,7038 * \ln(\text{Ce})$$

Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre NO₃ y Ce para un nivel de confianza del 99%.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 76,7735% de la variabilidad en NO₃.

El coeficiente de correlación es igual a 0,876205, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables. El error estándar de la estimación muestra la desviación típica de los residuos que es 6,689. Este valor puede usarse para construir límites de la predicción para las nuevas observaciones seleccionando la opción Predicciones del menú del texto.

El error absoluto medio (MAE) de 5,05438 es el valor medio de los residuos. El estadístico Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se han introducido los datos en el fichero.

Dado que el p-valor es inferior a 0.05, hay indicio de una posible correlación serial. Represente los residuos frente al orden de fila para ver si hay algún modelo que pueda verse.





ANEJO 4

- Aportes mensuales de sal al río Arba de la serie de abril 2004 a septiembre 2010 calculados por las metodologías MSi, MSid, MSim, MSd y MSM, y la de referencia. Datos obtenidos de la red de Calidad (CHE) y de RecoREbro (RE).
- Aportes mensuales de nitrógeno al río Arba de la serie de abril 2004 a septiembre 2010 calculados por las metodologías MNi, MNid, MNim, MNd y MNm, y la de referencia. Datos obtenidos de la red de Calidad (CHE) y de RecoREbro (RE).

Aportes mensuales de sal al río Arba (1,000 T/mes) obtenidos a partir de la aplicación de las distintas metodologías: con datos instantáneos (MSi, MSid, MSim) de la red de Calidad o de RecoREbro, los obtenidos con los métodos de regresión (MSd, MSm) y la serie de referencia (MSref).

	Red Calidad				RecoREbro				
	MSref	MSi	MSid	MSim	MSi	MSid	MSim	MSd	MSm
abr-04	36,1	18,1	20,3	72,0	17,9	20,0	71,0	41,5	41,1
may-04	31,7	27,1	30,7	26,9	26,0	30,1	26,3	34,5	34,4
jun-04	22,7	23,2	23,5	24,6	22,6	22,8	23,9	24,1	24,2
jul-04	24,6	20,7	23,1	21,3	20,4	26,2	24,2	25,7	25,7
ago-04	26,6	22,3	27,6	23,0	26,4	28,9	24,1	26,6	26,7
sep-04	68,5	25,3	30,3	78,4	27,0	31,9	82,5	51,4	50,2
oct-04	46,1	46,4	47,2	36,2	48,3	47,7	36,6	32,6	32,6
nov-04	39,8	42,8	42,9	37,7	41,6	41,0	36,0	27,4	27,5
dic-04	47,7	33,8	34,6	52,2	45,1	44,8	49,3	30,8	30,8
ene-05	38,4	40,4	36,9	33,6	40,5	39,3	35,8	27,5	27,6
feb-05	-	-	-	-	48,3	48,6	-	-	-
mar-05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
abr-05	17,4	32,0	14,2	16,2		16,9	19,3	17,7	18,2
may-05	19,2	-	16,3	14,2	80,0	17,1	26,2	18,7	19,6
jun-05	16,9	-	14,0	16,7	-	20,2	14,5	16,8	17,1
jul-05	13,1	-	11,3	13,0	-	12,7	14,7	12,5	12,7
ago-05	13,4	-	11,2	11,6	-	10,9	11,3	12,5	13,2
sep-05	13,8	-	14,3	12,6	-	16,8	14,9	13,4	13,8
oct-05	24,4	-	24,8	16,2	-	24,5	16,0	20,0	20,9
nov-05	16,4	-	20,1	12,6	-	20,8	13,0	17,3	18,6
dic-05	13,6	-	8,4	9,5	-	10,7	12,1	13,1	13,3
ene-06	16,4	-	11,3	14,4	-	12,2	15,6	18,7	19,4
feb-06	11,2	16,6	8,8	9,4	-	8,9	9,5	12,6	13,4
mar-06	28,8	15,3	21,0	29,5	-	21,5	30,2	25,9	27,9
abr-06	25,0	31,6	30,3	23,1	-	27,5	20,9	25,1	25,6
may-06	23,0	22,6	24,8	20,9	-	24,2	20,3	21,8	22,6
jun-06	30,8	21,6	18,6	34,4	-	22,1	40,9	24,4	25,3
jul-06	34,5	18,4	18,4	33,1	27,2	29,7	53,3	24,1	25,2
ago-06	24,4	24,0	22,3	31,7	21,7	24,1	34,4	22,1	22,5

		Red Calidad				RecoREbro			
	MSref	MSi	MSid	MSim	MSi	MSid	MSim	MSd	MSm
sep-06	44,1	20,7	19,5	79,5	21,4	20,2	82,4	38,4	37,4
oct-06	23,8	24,1	24,2	26,1	24,4	24,2	26,1	25,9	26,0
nov-06	20,9	16,9	15,3	31,3	16,9	15,4	31,4	24,3	24,7
dic-06	20,8	-	18,9	38,0	6,4	18,1	33,9	26,1	27,5
ene-07	18,6	27,1	26,7	27,7	24,4	26,0	27,0	19,5	21,6
feb-07	15,5	15,6	16,0	9,5	14,8	16,5	9,8	21,3	23,1
mar-07	-	-	21,4	-	-	-	-	36,0	-
abr-07	-	-	52,5	-	-	-	-	74,7	-
may-07	29,9	26,4	26,1	41,0	27,8	25,9	40,7	30,0	30,5
jun-07	28,3	23,2	22,5	27,9	25,7	23,6	29,3	25,8	25,9
Jul-07	25,3	16,9	18,2	23,2	17,6	19,0	24,2	24,9	25,0
ago-07	25,4	-	-	-	31,3	26,6	26,6	26,2	26,4
sep-07	27,2	19,2	22,0	23,5	22,6	24,4	26,1	25,5	25,5
oct-07	27,8	28,4	23,9	38,5	23,1	24,1	38,9	25,5	26,2
nov-07	23,4	-	-	-	24,5	24,0	23,0	20,2	20,3
dic-07	29,7	-	-	-	21,8	25,9	34,8	22,3	22,5
ene-08	18,7	-	-	-	26,6	20,7	17,5	20,0	20,2
feb-08	14,9	54,8	13,6	13,7	52,3	14,3	14,3	16,9	17,2
mar-08	26,1	-	-	-	43,8	14,3	17,9	20,3	20,5
abr-08	16,0	-	-	-	-	13,5	18,1	21,0	23,3
may-08	24,9	-	23,8	21,9	-	31,4	29,0	29,3	30,4
jun-08	23,9	51,6	27,3	23,7	-	25,4	22,0	31,5	31,5
Jul-08	24,0	45,5	19,0	22,8	-	20,1	24,0	28,4	28,5
ago-08	25,7	-	-	-	-	24,9	22,8	28,8	28,8
sep-08	24,0	48,6	24,8	21,6	-	23,6	20,6	29,8	29,8
oct-08	-	-	-	-	-	-	-	-	-
nov-08	-	-	-	-	26,7	27,0	-	13,5	-
dic-08	-	-	-	-	35,1	35,4	-	22,2	-
ene-09	-	-	-	-	20,8	15,7	-	19,3	-
feb-09	31,2	49,9	49,9	36,7	47,3	45,7	33,6	33,2	33,2
mar-09	27,0	-	-	-	24,1	24,8	24,3	29,6	29,9
abr-09	34,0	40,4	32,5	33,5	30,1	30,2	31,1	36,3	36,2



	Red Calidad				RecoREbro				
	MSref	MSi	MSid	MSim	MSi	MSid	MSim	MSd	MSm
may-09	31,4	33,0	34,6	32,6	31,1	32,6	30,7	28,9	29,1
jun-09	32,4	31,8	34,3	25,3	32,9	34,0	25,1	27,3	27,3
jul-09	26,7	27,3	26,5	28,0	23,4	26,2	27,7	26,0	26,2
ago-09	25,7	19,9	22,8	24,2	21,1	25,4	26,9	24,9	25,0
sep-09	23,7	25,8	26,7	20,3	26,1	27,0	20,6	24,4	24,6
oct-09	18,9	18,9	23,5	14,2	22,3	27,7	16,8	21,0	21,5
nov-09	21,3	15,7	15,8	23,1	20,0	20,1	29,4	22,3	23,5
dic-09	18,8	15,9	15,9	20,6	18,3	18,3	23,8	21,4	21,9
ene-10	27,8	30,0	29,1	31,7	30,2	30,7	33,4	30,8	30,9
feb-10	21,3	28,0	23,2	13,4	34,7	28,8	16,6	27,5	27,7
mar-10	23,1	18,1	21,1	20,8	17,7	19,6	19,4	30,1	30,3
abr-10	24,0	25,5	24,7	31,0	22,0	24,1	30,3	28,0	28,2
may-10	28,0	22,1	22,1	46,0	20,2	20,2	41,9	30,0	30,3
jun-10	25,8	24,8	25,5	20,4	24,2	24,1	19,3	28,7	28,9
jul-10	25,5	27,7	26,5	26,8	21,5	24,9	25,3	26,8	26,8
ago-10	25,3	22,8	24,5	29,3	22,6	24,4	29,2	27,7	27,7
sep-10	28,1	28,7	28,2	26,9	26,6	26,2	24,9	30,8	30,8

Aportes mensuales de nitrógeno al río Arba (N-NO_3 T/mes) obtenidos a partir de la aplicación de las distintas metodologías: con datos instantáneos de la red de Calidad o de RecoREbro (MNi , MNil , MNim), los obtenidos con métodos de regresión (MNd , MNm) y la serie de referencia (MNref).

	MNref	Red Calidad				RecoREbro			
		MNi	MNi	MNim	MNi	MNil	MNim	MNd	MNm
abr-04	180	-	-	-	77	87	307	198	201
may-04	146	-	-	-	118	137	120	168	174
jun-04	119	-	-	-	102	103	108	112	112
jul-04	131	-	-	-	113	145	134	121	122
ago-04	125	-	-	-	114	124	103	128	129
sep-04	359	44	52	135	155	182	471	234	233
oct-04	265	-	-	-	271	268	206	164	165
nov-04	230	-	-	-	262	258	227	135	136
dic-04	262	-	-	-	243	241	265	152	155
ene-05	202	-	-	-	201	195	178	134	135
feb-05	-	-	-	-	182	-	-	-	-
mar-05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
abr-05	70	-	-	-	-	65	75	71	72
may-05	79	-	-	-	313	67	103	76	80
jun-05	65	-	44	53	-	85	61	65	67
jul-05	41	-	31	35	-	31	36	44	45
ago-05	28	-	36	37	-	23	24	45	47
sep-05	18	-	54	47	-	5	4	49	50
oct-05	87	-	107	70	-	109	71	85	88
nov-05	63	-	83	52	-	77	48	70	75
dic-05	49	-	35	39	-	40	45	47	48
ene-06	71	-	51	65	-	54	69	76	78
feb-06	41	-	-	-	-	35	37	47	49
mar-06	107	59	80	113	-	83	117	110	137
abr-06	123	131	126	96	-	154	117	115	123
may-06	86	86	94	79	-	110	93	94	99
jun-06	106	76	66	121	-	53	97	108	120
jul-06	101	69	69	123	63	69	123	105	118

		Red Calidad				RecoREbro			
	MNref	MNi	MNi	MNm	MNi	MNid	MNm	MNd	MNm
ago-06	84	76	70	100	67	74	106	97	98
sep-06	200	74	70	286	74	70	284	171	186
oct-06	118	114	115	124	113	112	120	122	124
nov-06	93	52	47	97	71	64	131	113	116
dic-06	84	-	79	159	28	79	148	122	134
ene-07	70	94	93	96	85	91	94	82	92
feb-07	62	62	64	38	60	67	40	98	109
mar-07	-	-	-	-	-	-	-	39	183
abr-07	-	-	-	-	-	208	-	239	313
may-07	119	106	105	164	132	123	193	144	153
jun-07	125	121	117	145	117	108	133	124	125
jul-07	114	79	85	108	79	85	108	115	116
ago-07	115	-	-	-	134	114	114	125	126
sep-07	105	-	-	-	103	111	119	122	122
oct-07	118	128	108	174	91	95	153	117	125
nov-07	99	-	-	-	105	103	98	85	85
dic-07	130	-	-	-	90	107	144	97	98
ene-08	82	-	-	-	121	94	80	83	84
feb-08	71	267	66	67	256	70	70	67	68
mar-08	96	-	-	-	215	70	88	84	85
abr-08	75	-	-	-	-	65	87	93	106
may-08	115	-	108	99	-	158	146	142	153
jun-08	84	-	-	-	-	85	74	151	159
jul-08	110	231	97	115	-	85	102	139	141
ago-08	126	-	-	-	-	134	122	142	143
sep-08	95	183	93	81	-	82	71	150	150
oct-08	-	-	-	-	-	-	-	-	-
nov-08	-	-	-	-	147	-	-	60	-
dic-08	-	-	-	-	180	-	-	106	-
ene-09	-	-	-	-	98	-	-	96	-
feb-09	147	201	201	148	196	189	139	166	166
mar-09	119	-	-	-	95	98	96	145	150



		Red Calidad				RecoREbro			
	MNref	MNi	MNi	MNm	MNi	MNid	MNm	MNd	MNm
abr-09	186	183	147	152	146	146	151	179	181
may-09	143	165	173	163	148	156	147	141	145
jun-09	160	165	178	132	182	189	139	134	135
jul-09	139	144	140	148	129	144	153	123	125
ago-09	113	84	96	102	95	114	121	116	116
sep-09	131	133	137	105	173	179	136	114	116
oct-09	92	114	142	86	126	156	95	89	92
nov-09	113	98	98	144	84	84	123	97	107
dic-09	95	84	84	109	90	90	117	92	94
ene-10	153	178	173	189	178	181	197	151	156
feb-10	113	114	95	55	168	140	81	136	139
mar-10	113	76	89	88	86	96	95	149	152
abr-10	119	140	136	171	129	141	177	137	140
may-10	127	88	88	184	80	80	167	146	152
jun-10	112	107	110	88	106	105	84	141	145
jul-10	124	124	118	120	101	117	118	129	130
ago-10	114	104	112	134	100	108	130	135	136
sep-10	121	122	120	114	121	119	113	154	156



Universidad
Zaragoza



Escuela Politécnica
Superior - Huesca
Universidad Zaragoza



ANEJO 4



ANEJO 5

- Resultados del análisis estadístico de todas las series mensuales de aportes de sal calculados a partir de las cinco metodologías desarrolladas (MSi, MSid, MSim, MSd, MSm) con series de la red de Calidad (CHE) y de RecoREbro (RE).
- Resultados del análisis estadístico de todas las series mensuales de aportes de nitrógeno calculados a partir de las cinco metodologías desarrolladas (MNi, MNid, MNim, MNd, MNm) con series de la red de Calidad (CHE) y de RecoREbro (RE).

Resultados del análisis estadístico de todas las series mensuales de aportes de sal calculados a partir de las cinco metodologías desarrolladas (MSi, MSid, MSim, MSd, MSm) con series de la red de Calidad (CHE) y de RecoREbro (RE). Sesgo Medio (Mean Bias), porcentaje del sesgo por encima de la media de la carga de referencia (PBias), Error Cuadrático Medio (RMSE); Error Medio Absoluto (MAE); máximos (Max) y mínimas (Min) diferencias; Eficiencia de Nash-Sutcliff (NSE); coeficiente de determinación de la ecuación de regresión lineal entre la carga estimada y la de referencia (R^2):

1a. MSi-CHE	
MSi=Qi*TDSi (T/mes)	PBias= -0,9%
Coeficiente de Correlación = 0,173442	RSR= 1,393
R-cuadrado = 3,00822 %	NSE= -0,942
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 1,02879 %	R²= 0,030
Error estándar de est. = 10276,0	r(b²+s(b)²)= 12716,9
Error absoluto medio = 7688,27	MAE= 7983,1
Estadístico de Durbin-Watson = 0,739916 (P=0,0000)	Mean Bias= - 220,3
Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,618116	SD=RMSE= 12714,9
	Min= -43129,7
	Max= 39889,1

1b. MSI-RE

MSi=Qi*TDSi

(T/mes)

Coeficiente de Correlación = 0,171363

R-cuadrado = 2,93654 %

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 0,914384 %

Error estándar de est. = 11822,9

Error absoluto medio = 7684,2

Estadístico de Durbin-Watson = 1,36017

(P=0,0080)

Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,309723

PBias= -1,1%

RSR= 1,507

NSE= -1,272

R²= 0,029

r(b²+s(b)²)= 13755,3

MAE= 7528,3

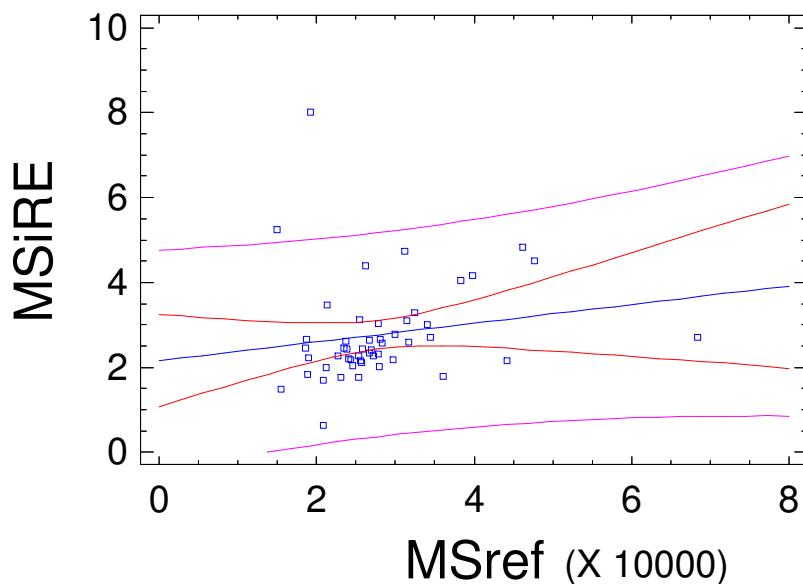
Mean Bias= -286,0

SD=RMSE= 13752,4

Min= -41419,8

Max= 60850,3

(X 10000)

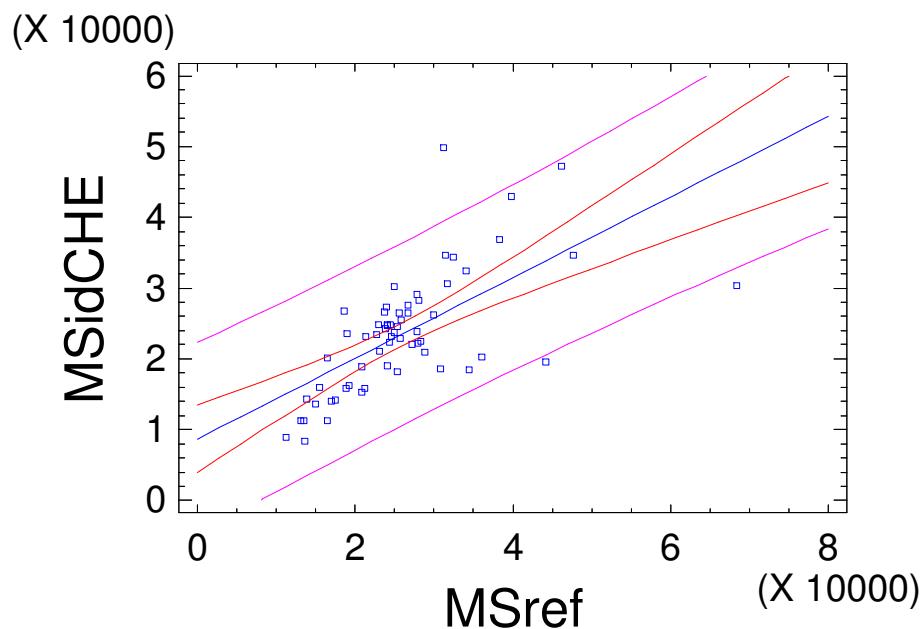


2a. MSid-CHE

MSid=Qd*TDSi
(T/mes)

Coeficiente de Correlación = 0,650997
R-cuadrado = 42,3797 %
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 41,4193 %
Error estándar de est. = 6403,22
Error absoluto medio = 4732,14
Estadístico de Durbin-Watson = 1,75168
(P=0,1451)
Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,105385

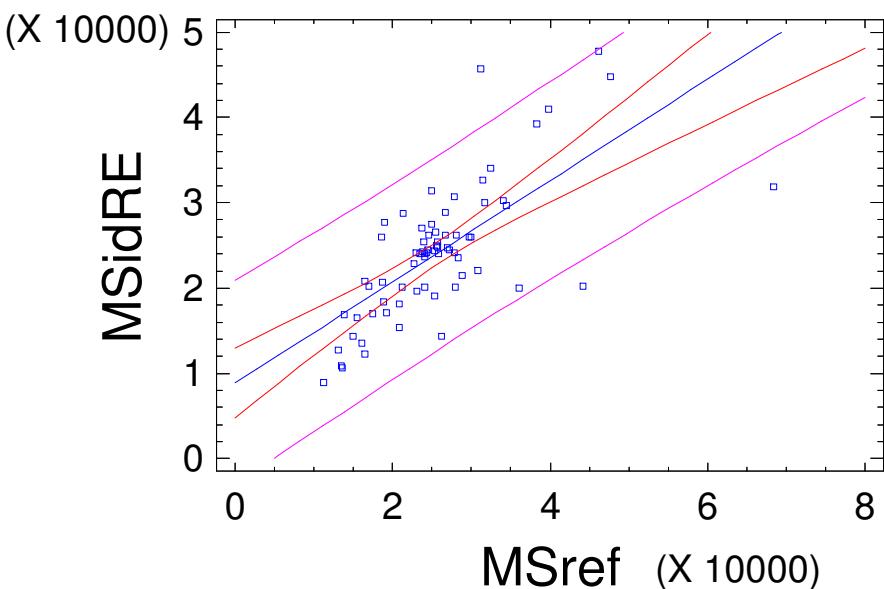
PBias= -9,6%
RSR= 0,829
NSE= 0,312
R²= 0,424
r(b²+s(b)²)= 7969,1
MAE= 4666,5
Mean Bias= -2501,4
SD=RMSE= 7566,3
Min= -38148,3
Max= 18701,5



2b. MSid-RE**MSid=Qd*TDSi**
(T/mes)

Coeficiente de Correlación = 0,693168
R-cuadrado = 48,0481 %
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 47,2841 %
Error estándar de est. = 5667,95
Error absoluto medio = 4006,45
Estadístico de Durbin-Watson = 1,85628
(P=0,2517)
Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,0477793

PBias= -6,3%
RSR= 0,739
NSE= 0,454
R²= 0,480
r(b²+s(b)²)= 6932,9
MAE= 3967,0
Mean Bias= -1617,0
SD=RMSE= 6741,7
Min= -36587,6
Max= 14532,8

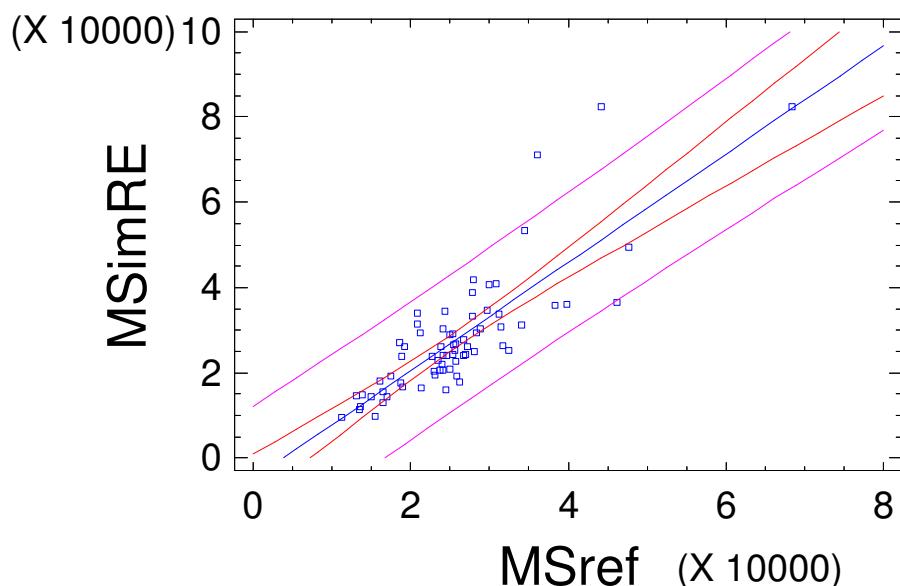


3a. MSim-CHE

MSim= Qm*TDSi
(T/mes)

Coeficiente de Correlación = 0,823399
R-cuadrado = 67,7986 %
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 67,325 %
Error estándar de est. = 8034,21
Error absoluto medio = 5510,62
Estadístico de Durbin-Watson = 1,45378
(P=0,0080)
Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,165651

PBias= 8,0%
RSR= 0,914
NSE= 0,164
R²= 0,678
r(b²+s(b)²)= 8591,4
MAE= 5344,1
Mean Bias= 2050,4
SD=RMSE= 8343,1
Min= -9533,6
Max= 38236,7

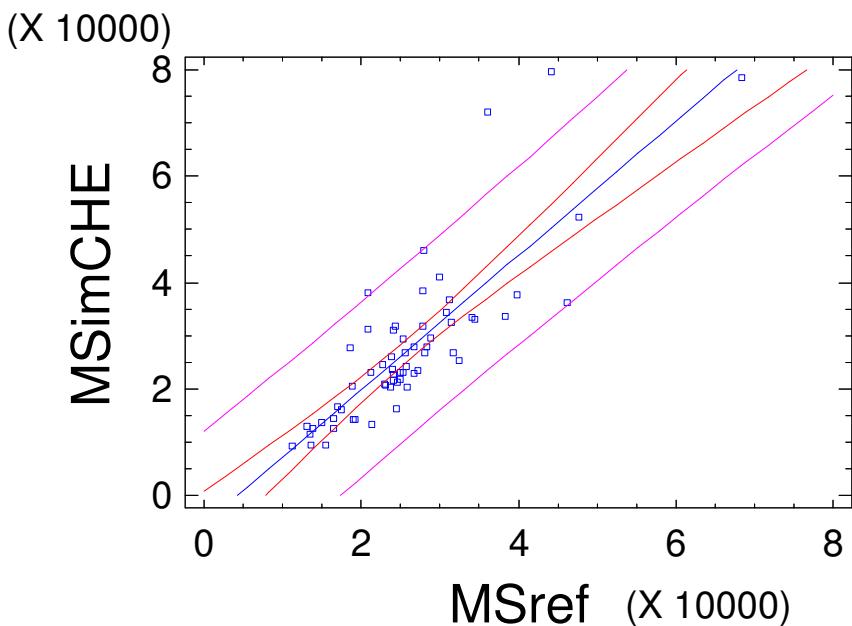


3b. MSim-RE

MSim= Qm*TDSi
(T/mes)

Coeficiente de Correlación = 0,829973
R-cuadrado = 68,8855 %
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 68,367 %
Error estándar de est. = 8158,84
Error absoluto medio = 5265,77
Estadístico de Durbin-Watson = 1,51353
(P=0,0213)
Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,114348

PBias= 5,5%
RSR= 0,928
NSE= 0,140
R²= 0,689
r(b²+s(b)²)= 8582,4
MAE= 5228,7
Mean Bias= 1424,9
SD=RMSE= 8463,2
Min= -9918,6
Max= 35970,0



4. MSd

$$\mathbf{MSd = Qd * SDT(CE(Qd))}$$

(T/mes)

Coeficiente de Correlación = 0,827475

R-cuadrado = 68,4715 %

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 68,0079 %

Error estándar de est. = 3828,66

Error absoluto medio = 3062,86

Estadístico de Durbin-Watson = 0,453883

(P=0,0000)

Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,716388

PBias= -1,5%

RSR= 0,568

NSE= 0,677

R²= 0,685

r(b²+s(b)²)= 5197,7

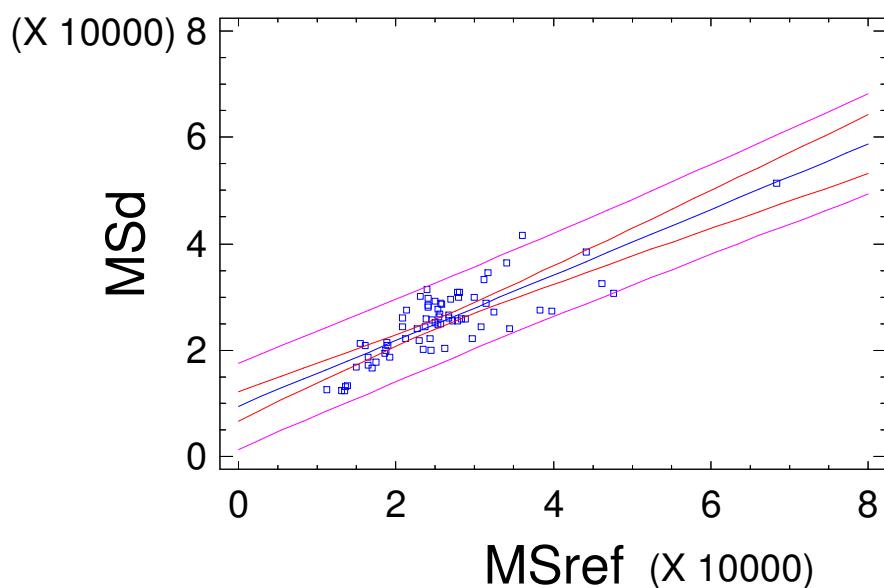
MAE= 3598,2

Mean Bias= -393,6

SD=RMSE= 5182,7

Min= -17080,3

Max= 7602,5



5. MSm

$$\text{MSm} = Q_m * \text{SDT}(\text{CE}(Q_m))$$

(T/mes)

Coeficiente de Correlación = 0,817566

R-cuadrado = 66,8414 %

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 66,3538 %

Error estándar de est. = 3750,97

Error absoluto medio = 2979,22

Estadístico de Durbin-Watson = 0,484701
(P=0,0000)

Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,70439

PBias= -0,1%

RSR= 0,586

NSE= 0,657

R²= 0,668

r(b²+s(b)²)= 5347,4

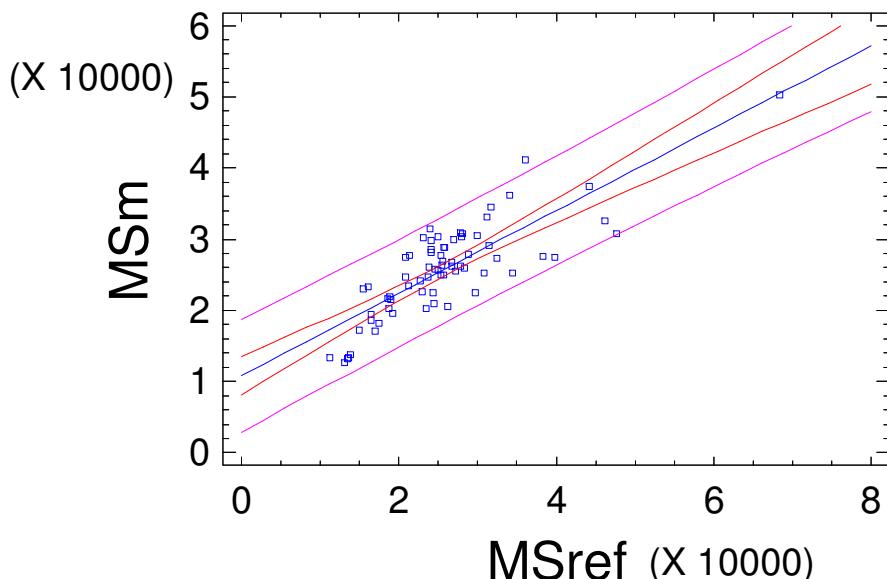
MAE= 3739,1

Mean= -18,0

SD=RMSE= 5347,3

Min= -18264,7

Max= 7592,4



Resultados del análisis estadístico de todas las series mensuales de aportes de nitrógeno calculados a partir de las cinco metodologías desarrolladas (MN_i, MN_{id}, MN_{im}, MN_d, MN_m) con series de la red de Calidad (CHE) y de RecoREbro (RE). Sesgo Medio (Mean Bias), porcentaje del sesgo por encima de la media de la carga de referencia (PBias), Error Cuadrático Medio (RMSE); Error Medio Absoluto (MAE); máximos (Max) y mínimas (Min) diferencias; Eficiencia de Nash-Sutcliff (NSE); coeficiente de determinación de la ecuación de regresión lineal entre la carga estimada y la de referencia (R²):

1a. MN _i -CHE	
MN_i=Qi*N-NO₃i (T/mes N-NO₃)	PBias= -6,2%
Coeficiente de Correlación = -0,0163832	RSR= 1,316
R-cuadrado = 0,0268409 %	NSE= -0,732
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = -2,67514 %	R²= 0,000
Error estándar de est. = 53,7387	r(b²+s(b)²)= 72,6
Error absoluto medio = 40,088	MAE= 38,4
Estadístico de Durbin-Watson = 0,803784 (P=0,0000)	Mean Bias= -7,3
Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,577173	SD=RMSE= 72,2
	Min= -315,3
	Max= 196,2

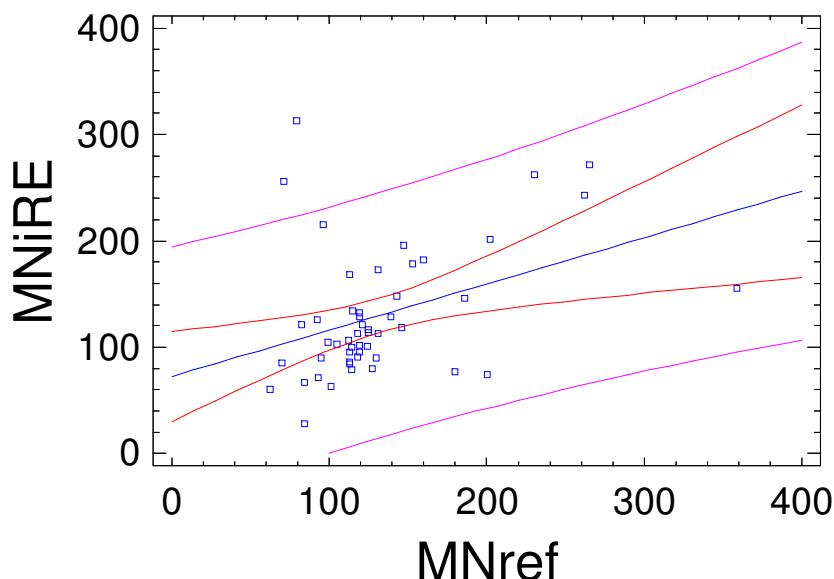
1b. MNi-RE

$$MNi = Q_i * N - NO_3 i$$

(T/mes N-NO₃)

Coeficiente de Correlación = 0,390704
 R-cuadrado = 15,265 porcentaje
 R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 13,4997
 porcentaje
 Error estándar de est. = 56,823
 Error absoluto medio = 40,8122
 Estadístico de Durbin-Watson = 1,38683
 (P=0,0101)
 Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,288931

PBias= -1,7%
RSR= 1,171
NSE= -0,370
R²= 0,152
r(b²+s(b)²)= 64,3
MAE= 38,7
Mean Bias= -2,2
SD=RMSE= 64,2
Min= -204,3
Max= 234,3



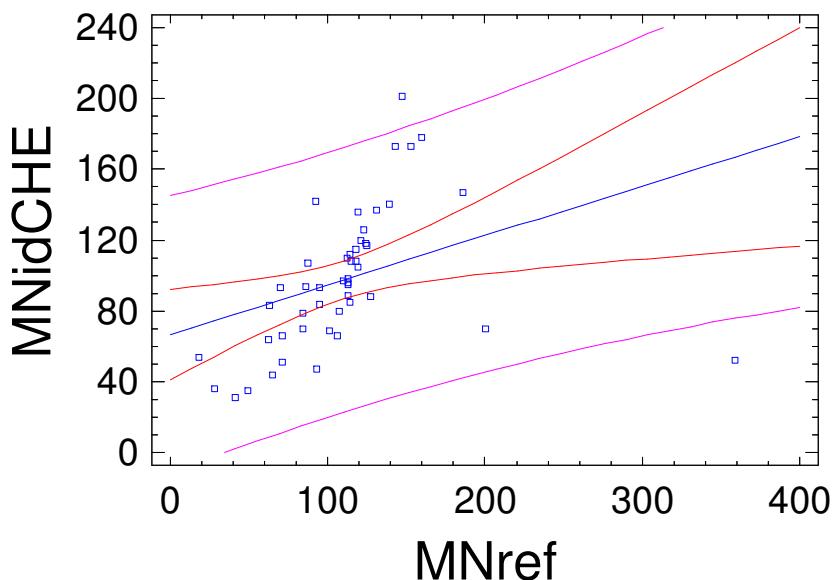
2a. MNid-CHE

$$\text{MNid} = Qd * \mathbf{N} - \mathbf{NO}_3 i$$

(T/mes N-NO₃)

Coeficiente de Correlación = 0,366833
 R-cuadrado = 13,4566 %
 R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 11,5752 %
 Error estándar de est. = 36,685
 Error absoluto medio = 26,5679
 Estadístico de Durbin-Watson = 1,04568
 (P=0,0002)
 Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,367521

PBias= -11,0%
RSR= 0,943
NSE= 0,110
R²= 0,135
r(b²+s(b)²)= 53,3
MAE= 26,0
Mean Bias= -12,8
SD=RMSE= 51,7
Min= -306,7
Max= 53,9



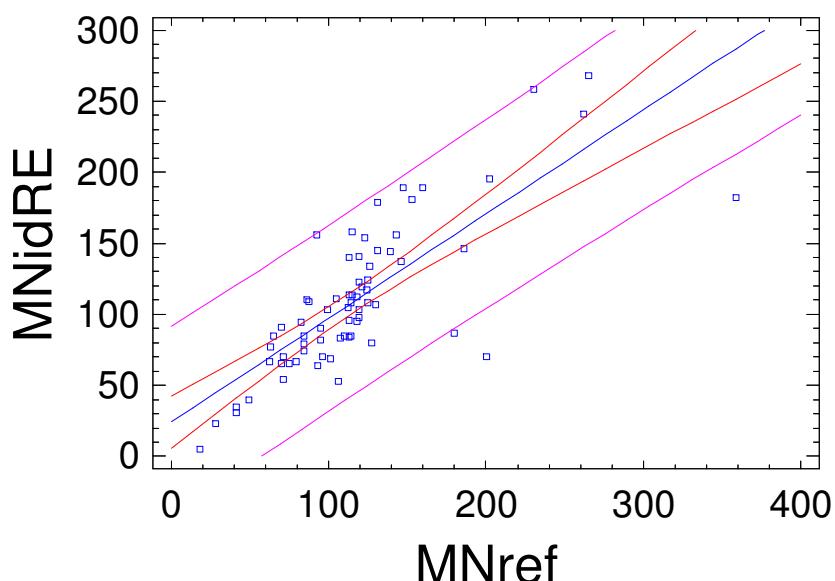
2b. MNid-RE

$$\text{MNid} = Q_d * \mathbf{N-NO}_3 i$$

(T/mes N- NO_3)

Coeficiente de Correlación = 0,779584
R-cuadrado = 60,7751 %
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 60,1983 %
Error estándar de est. = 32,5646
Error absoluto medio = 23,754
Estadístico de Durbin-Watson = 1,83202
(P=0,2159)
Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,0507848

PBias= -6,1%
RSR= 0,647
NSE= 0,581
R²= 0,607
r(b²+s(b)²)= 36,2
MAE= 22,5
Mean Bias= -7,1
SD=RMSE= 35,5
Min= -176,7
Max= 63,9



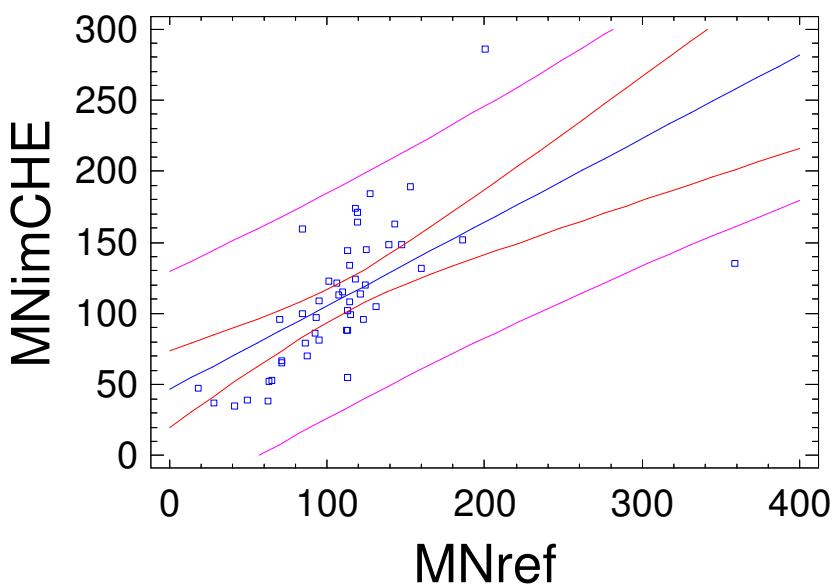
3a. MNim-CHE

$$\text{MNim} = Q_m * N - NO_3 i$$

(T/mes N-NO₃)

Coeficiente de Correlación = 0,616927
 R-cuadrado = 38,0599 %
 R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 36,7134 %
 Error estándar de est. = 38,8984
 Error absoluto medio = 27,8044
 Estadístico de Durbin-Watson = 1,58867
 (P=0,0656)
 Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,0976078

PBias=	1,0%
RSR=	0,359
NSE=	0,801
R²=	0,379
r(b²+s(b)²)=	43,9
MAE=	26,5
Mean Bias=	1,1
SD=RMSE=	43,9
Min=	-224,0
Max=	86,4

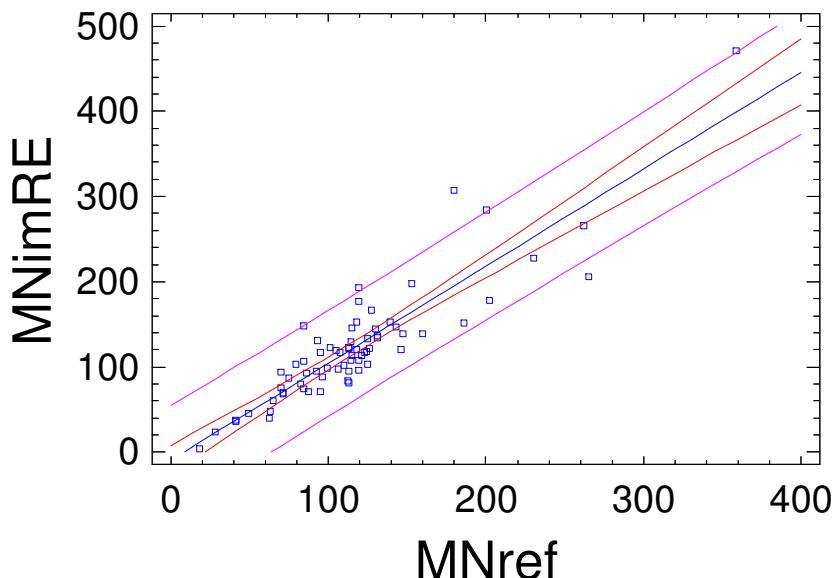


3b. MNim-RE

$$\text{MNim} = Q_m * N - NO_3 i$$
$$(T/\text{mes} \ N - NO_3)$$

Coeficiente de Correlación = 0,898057
R-cuadrado = 80,6507 %
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 80,3662 %
Error estándar de est. = 30,888
Error absoluto medio = 21,282
Estadístico de Durbin-Watson = 1,85241
(P=0,2420)
Autocorrelación residual en Lag 1 = -0,0239885

PBias=	5,7%
RSR=	0,576
NSE=	0,668
R²=	0,806
r(b²+s(b)²)=	32,3
MAE=	20,8
Mean Bias=	6,7
SD=RMSE=	31,6
Min=	-59,1
Max=	127,2



4. MNd

$$\text{MNd} = Q_d * N - NO_3[\text{CE}(Q_d)]$$

(T/mes N-NO₃)

Coeficiente de Correlación = 0,800175

R-cuadrado = 64,028 %

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 63,499 %

Error estándar de est. = 22,6196

Error absoluto medio = 18,481

Estadístico de Durbin-Watson = 0,414569

(P=0,0000)

Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,744933

PBias= 0,5%

RSR= 0,612

NSE= 0,625

R²= 0,639

r(b²+s(b)²)= 33,6

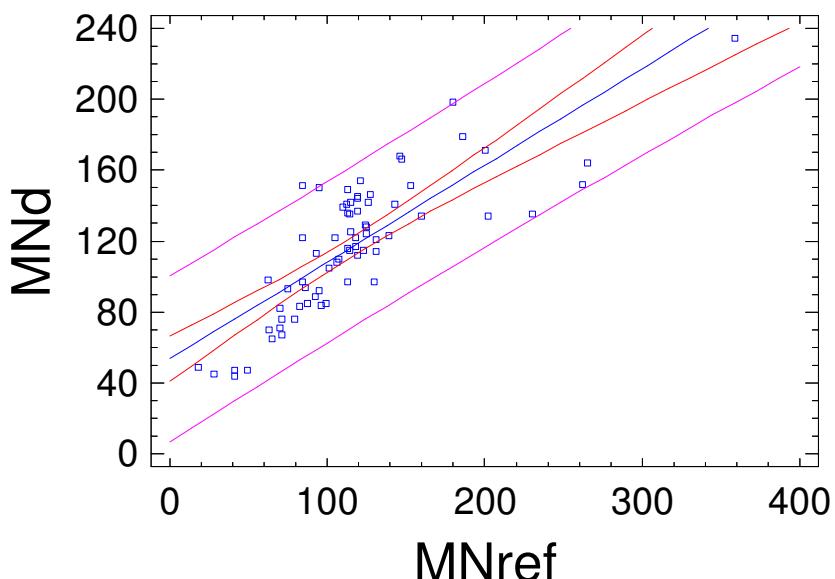
MAE= 21,0

Mean Bias= 0,6

SD=RMSE= 33,6

Min= -124,7

Max= 67,4



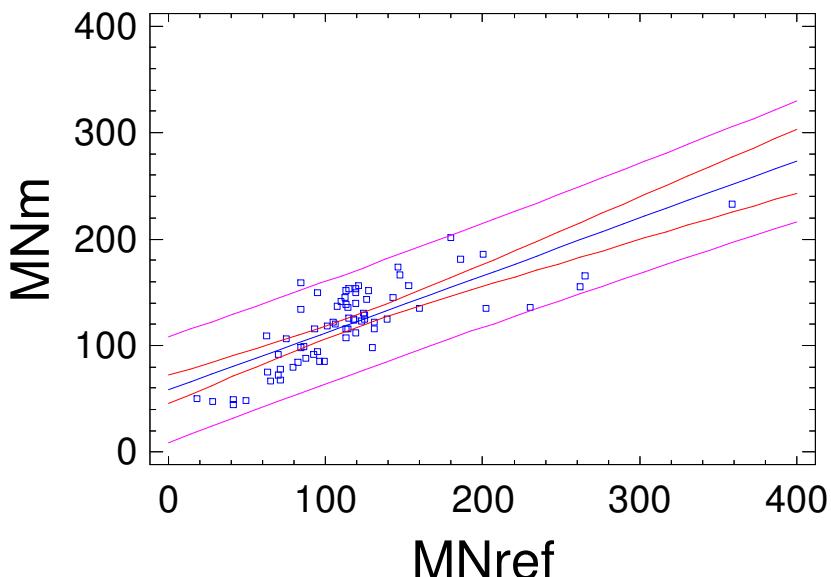
5. MNm

$$\text{MNd} = Qd * N - NO_3[\text{CE}(Qd)]$$

(T/mes N-NO₃)

Coeficiente de Correlación = 0,77865
R-cuadrado = 60,6296 %
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 60,0506 %
Error estándar de est. = 23,9164
Error absoluto medio = 19,8763
Estadístico de Durbin-Watson = 0,534646
(P=0,0000)
Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,692047

PBias= 3,8%
RSR= 0,634
NSE= 0,598
R²= 0,606
r(b²+s(b)²)= 35,1
MAE= 23,0
Mean Bias= 4,5
SD=RMSE= 34,8
Min= -125,4
Max= 75,5





Universidad
Zaragoza



Escuela Politécnica
Superior - Huesca
Universidad Zaragoza



ANEJO 5



ANEJO 6

- Aportes mensuales de sal y nitrógeno al río Arba de la serie de octubre 1973 a septiembre 2010 calculados por las metodologías MSim, MSd y MNim (T/mes) y caudal medio mensual (m^3/s).

Aportes mensuales de sal y nitrógeno del río Arba. Qmes: caudal medio mensual (m^3/s); MSd: Masa de sales calculada mediante el método MSd (T/mes); MSim: Masa de sales calculada mediante el método MSim (T/mes); MNim: masa de nitrógeno calculada mediante el método MNim (N- NO_3 T/mes).

Fecha	Qmes	MSd	MSim	MNim
oct-73	9,88	32833	-	-
nov-73	8,75	30390	-	-
dic-73	3,17	19918	-	-
ene-74	2,70	19548	-	-
feb-74	3,72	19574	-	-
mar-74	18,37	47148	-	-
abr-74	12,31	35411	-	-
may-74	9,81	32719	-	-
jun-74	10,61	32904	-	-
jul-74	14,58	39894	-	-
ago-74	15,40	41399	-	-
sep-74	15,91	40451	-	-
oct-74	12,19	36238	38034	-
nov-74	10,19	32198	27524	-
dic-74	3,76	21934	17322	-
ene-75	4,63	23904	15885	-
feb-75	9,66	28539	81131	-
mar-75	7,98	30102	15434	27
abr-75	21,39	50313	50176	-
may-75	22,90	53790	88486	-
jun-75	15,73	40326	52108	-
jul-75	10,14	33251	50620	-
ago-75	15,07	40811	46471	-
sep-75	15,45	39841	28963	88
oct-75	8,48	30840	33164	-
nov-75	9,42	31203	44134	-
dic-75	11,80	36071	40507	-
ene-76	6,24	27282	21627	-
feb-76	5,97	25024	42783	-
mar-76	7,11	28757	29580	-
abr-76	10,69	33017	45536	63
may-76	10,45	33711	37104	-
jun-76	9,54	31328	35750	-
jul-76	11,86	36079	27988	-
ago-76	13,41	38123	53314	-
sep-76	10,99	33352	32635	74
oct-76	14,55	40270	46054	-
nov-76	7,16	27880	20595	-
dic-76	10,21	33629	41410	-
ene-77	13,62	38552	38879	-
feb-77	13,50	34441	29727	-
mar-77	9,78	32715	21256	-
abr-77	8,03	29163	21852	52

Fecha	Qmes	MSd	MSim	MNim
abr-92	5,92	25994	23449	-
may-92	11,55	35418	40174	-
jun-92	10,45	32667	28573	-
jul-92	13,93	39664	60993	-
ago-92	15,93	42555	46930	-
sep-92	10,28	32578	30494	206
oct-92	6,50	27778	12498	-
nov-92	5,89	25272	24347	-
dic-92	13,68	38804	14033	-
ene-93	3,68	21821	14066	-
feb-93	6,32	24741	24012	111
mar-93	8,19	30408	27281	-
abr-93	11,10	33751	31318	-
may-93	9,56	32391	35108	-
jun-93	12,29	35233	33323	-
jul-93	9,44	32217	30848	-
ago-93	10,35	33607	31486	-
sep-93	10,98	33735	27919	213
oct-93	7,58	28932	16744	-
nov-93	3,51	21292	10411	-
dic-93	6,54	26688	19701	-
ene-94	9,45	31847	30050	-
feb-94	5,77	23681	26175	128
mar-94	9,26	31710	44482	-
abr-94	11,76	34438	27839	-
may-94	15,08	40639	29237	-
jun-94	13,59	37080	48523	-
jul-94	9,16	31812	30597	-
ago-94	7,47	29357	18173	-
sep-94	6,19	26482	21329	156
oct-94	4,54	24066	17903	-
nov-94	4,75	22302	23955	-
dic-94	1,98	16288	9029	-
ene-95	4,43	22505	20585	-
feb-95	3,71	20118	8166	53
mar-95	8,10	28882	29567	-
abr-95	8,48	29656	13254	-
may-95	8,35	30642	23704	-
jun-95	10,51	32690	43325	-
jul-95	8,54	30785	29540	-
ago-95	6,18	27290	27794	-
sep-95	3,88	21901	18046	67
oct-95	2,22	17201	-	-



Fecha	Qmes	MSd	MSim	MNim
may-77	15,87	41842	41170	-
jun-77	24,30	53859	57474	-
Jul-77	16,70	43073	32094	-
ago-77	16,34	42436	-	-
sep-77	14,57	38466	34677	21
oct-77	27,95	62629	37294	-
nov-77	7,41	28290	30495	-
dic-77	9,66	32577	29441	-
ene-78	8,49	30768	14817	-
feb-78	39,82	73536	44382	-
mar-78	19,49	48221	53888	-
abr-78	14,00	37749	46938	91
may-78	18,90	46587	28820	-
jun-78	19,19	45439	30097	-
Jul-78	13,64	38425	55549	-
ago-78	16,21	42246	35031	129
sep-78	17,20	43049	32384	-
oct-78	9,05	31656	20808	-
nov-78	7,46	28414	35708	-
dic-78	7,24	28998	32954	-
ene-79	17,34	44730	42148	-
feb-79	16,12	38294	38636	-
mar-79	7,15	28795	24865	-
abr-79	15,51	39872	39646	109
may-79	22,04	51615	31311	-
jun-79	44,13	87000	106723	-
Jul-79	17,54	44323	61775	-
ago-79	14,19	39214	41022	-
sep-79	14,96	39148	21879	194
oct-79	8,56	30963	25635	-
nov-79	6,01	26268	17584	-
dic-79	5,71	26459	19020	-
ene-80	10,92	34633	52888	-
feb-80	11,89	33691	31069	-
mar-80	8,59	30986	53020	-
abr-80	10,49	32652	30942	63
may-80	16,88	43493	46391	-
jun-80	14,63	38782	53432	-
Jul-80	13,68	38420	36463	-
ago-80	14,15	39147	37269	270
sep-80	15,98	40621	36343	-
oct-80	8,88	31336	29543	-
nov-80	6,41	26399	10550	-
dic-80	4,98	24969	16325	-
ene-81	6,04	25641	41008	-
feb-81	3,40	16829	14208	-
mar-81	10,22	33402	38162	-

Fecha	Qmes	MSd	MSim	MNim
nov-95	1,21	11801	-	-
dic-95	2,70	17578	20049	-
ene-96	8,74	30705	40877	-
feb-96	14,21	37185	52982	281
mar-96	5,83	26757	28533	-
abr-96	8,74	30109	42674	-
may-96	9,63	32503	33939	-
jun-96	11,09	33508	50791	-
jul-96	10,54	33794	41984	-
ago-96	15,16	40780	44072	-
sep-96	11,77	34468	31508	314
oct-96	7,50	29233	24035	-
nov-96	3,57	21621	15830	-
dic-96	10,71	33811	43036	-
ene-97	18,86	46590	46945	366
feb-97	10,79	30713	20434	-
mar-97	6,63	27443	20690	-
abr-97	12,60	35781	49241	-
may-97	9,47	32107	40916	-
jun-97	13,33	37050	34923	-
Jul-97	17,65	44735	52018	-
ago-97	16,12	42170	45757	-
sep-97	16,93	41993	51507	395
oct-97	16,02	41854	-	-
nov-97	5,70	25012	-	-
dic-97	14,36	39672	-	-
ene-98	6,38	27395	-	-
feb-98	5,95	24303	-	-
mar-98	8,60	30783	-	-
abr-98	11,18	33623	-	-
may-98	12,16	36211	-	-
jun-98	15,30	40063	-	-
Jul-98	11,25	34982	-	-
ago-98	9,38	32121	-	-
sep-98	10,08	32172	30246	238
oct-98	7,29	29075	-	-
nov-98	3,51	21292	-	-
dic-98	4,73	24093	-	-
ene-99	3,83	22398	15166	136
feb-99	3,12	18703	18674	-
mar-99	5,47	25357	28179	-
abr-99	4,88	21794	15658	-
may-99	9,00	31278	22591	-
jun-99	11,36	33917	31916	-
Jul-99	10,50	33837	27058	-
ago-99	13,42	38184	33996	-
sep-99	14,66	39154	34091	254



Fecha	Qmes	MSd	MSim	MNim
abr-81	18,37	44139	33000	127
may-81	13,35	37999	36436	-
jun-81	15,98	40650	39734	-
jul-81	11,17	34680	31985	-
ago-81	11,58	35342	26594	136
sep-81	11,53	34131	36069	-
oct-81	6,55	27896	-	-
nov-81	5,70	25650	-	-
dic-81	9,61	32389	23687	-
ene-82	9,05	31522	21126	-
feb-82	5,68	22722	25251	-
mar-82	4,61	24400	17086	-
abr-82	14,02	37767	23827	-
may-82	14,38	39580	20318	-
jun-82	14,09	37862	32937	-
jul-82	11,07	34652	35746	367
ago-82	14,17	39533	50764	-
sep-82	9,51	31099	24165	-
oct-82	5,29	24568	23104	-
nov-82	6,26	25957	15885	-
dic-82	11,53	34942	47672	-
ene-83	10,53	33796	31605	185
feb-83	8,63	27126	14049	-
mar-83	8,58	30957	16327	-
abr-83	18,13	43959	44700	-
may-83	16,67	42962	29025	-
jun-83	17,88	43443	44374	-
jul-83	11,03	34549	39534	283
ago-83	16,55	42958	49298	
sep-83	14,59	38675	26626	
oct-83	11,09	34151	22491	
nov-83	4,05	21259	12520	
dic-83	4,00	22756	13529	
ene-84	6,74	28083	22634	135
feb-84	6,26	25577	21899	-
mar-84	10,02	33037	27126	-
abr-84	12,94	36198	30074	-
may-84	21,15	49997	33743	-
jun-84	18,85	44872	47879	-
jul-84	13,86	38676	46922	403
ago-84	15,17	40660	48180	-
sep-84	12,94	36128	42159	-
oct-84	9,01	31142	24316	-
nov-84	15,62	40363	41939	-
dic-84	-	-	-	-
ene-85	6,47	26500	25560	167
feb-85	-	-	-	-

Fecha	Qmes	MSd	MSim	MNim
oct-99	5,33	25817	17694	-
nov-99	4,11	22667	15011	-
dic-99	4,97	25354	21592	-
ene-00	4,70	23974	21753	-
feb-00	5,95	24938	48522	215
mar-00	5,62	26395	10792	-
abr-00	7,02	27500	15866	-
may-00	12,35	36836	21038	-
jun-00	9,06	-	35228	236
jul-00	8,96	31511	33437	-
ago-00	11,93	35891	40132	-
sep-00	6,42	26793	26722	-
oct-00	17,29	45556	65696	-
nov-00	13,74	37641	50513	-
dic-00	15,28	41200	57383	-
ene-01	27,42	60249	59254	-
feb-01	15,43	37616	38336	287
mar-01	20,55	49824	34113	-
abr-01	11,44	34056	28535	-
may-01	11,61	35423	53232	-
jun-01	10,19	32232	32298	-
jul-01	8,30	30565	32417	286
ago-01	6,50	27848	28077	-
sep-01	4,94	24308	20153	-
oct-01	2,96	19982	12267	-
nov-01	2,22	16946	8445	-
dic-01	2,58	18471	15416	-
ene-02	1,85	15838	10094	
feb-02	2,06	15006	8684	55
mar-02	2,84	19566	14863	-
abr-02	2,64	18720	12682	-
may-02	3,22	19996	21719	-
jun-02	2,48	16538	12310	-
jul-02	1,78	15666	13186	52
ago-02	2,02	12831	13026	-
sep-02	2,16	16430	13693	-
oct-02	3,51	21861	13719	-
nov-02	2,45	18260	13886	-
dic-02	4,91	24203	28321	-
ene-03	9,36	31469	16149	-
feb-03	19,99	45102	48890	283
mar-03	16,47	43151	32362	-
abr-03	10,71	32930	31463	-
may-03	9,90	32946	13619	-
jun-03	8,22	29464	37337	-
jul-03	4,21	23839	24699	-
ago-03	4,62	24556	18954	



Fecha	Qmes	MSd	MSim	MNim
mar-85	10,88	34335	26507	-
abr-85	17,02	42110	39801	-
may-85	16,91	43391	27039	-
jun-85	15,64	40083	33929	-
jul-85	17,75	44727	28137	308
ago-85	13,31	37879	39684	-
sep-85	10,50	32240	26020	-
oct-85	3,66	22546	18057	-
nov-85	2,86	19181	10702	-
dic-85	2,06	16607	6670	-
ene-86	3,24	20643	9792	83
feb-86	2,66	17293	6080	-
mar-86	2,35	17290	6281	-
abr-86	13,79	37316	32061	-
may-86	12,96	37430	30658	-
jun-86	12,76	35888	35677	-
jul-86	10,03	33031	34085	305
ago-86	7,27	28988	25931	-
sep-86	11,78	34526	34324	-
oct-86	7,25	28450	22728	-
nov-86	2,56	17559	8367	-
dic-86	4,23	22908	16028	-
ene-87	5,98	26908	17555	124
feb-87	5,86	24190	13941	-
mar-87	5,87	26625	20882	-
abr-87	13,48	37054	29434	-
may-87	9,99	33035	31553	-
jun-87	7,61	28514	30721	-
jul-87	11,33	35142	28949	101
ago-87	9,71	32613	36532	-
sep-87	11,62	34243	28309	-
oct-87	11,47	35379	37273	-
nov-87	5,91	26083	25583	-
dic-87	11,69	35688	32550	-
ene-88	10,39	33767	38156	275
feb-88	9,85	30729	26096	-
mar-88	9,63	32387	30541	-
abr-88	21,66	49366	70043	-
may-88	12,55	36787	26721	-
jun-88	22,79	51162	71359	-
jul-88	14,74	40147	57202	524
ago-88	13,53	38207	42394	-
sep-88	15,69	40103	34699	-
oct-88	11,16	34714	25070	-
nov-88	4,09	22664	8321	-
dic-88	7,49	29301	25370	-
ene-89	4,41	24032	20206	124

Fecha	Qmes	MSd	MSim	MNim
sep-03	14,57	39557	53270	331
oct-03	-	-	-	-
nov-03	-	-	-	-
dic-03	-	-	-	-
ene-04	-	-	-	-
feb-04	10,74	30954	56165	304
mar-04	33,76	70934	70046	-
abr-04	40,37	79759	177448	-
may-04	27,78	61071	67949	-
jun-04	13,63	37096	71132	-
jul-04	5,50	25981	22823	-
ago-04	6,25	27502	25247	-
sep-04	30,18	65566	105884	182
oct-04	7,34	29040	27393	-
nov-04	3,87	22125	21488	-
dic-04	5,08	24670	31477	-
ene-05	3,72	22308	19976	-
feb-05	3,03	18127	24872	108
mar-05	3,95	23041	20095	-
abr-05	2,59	18379	17494	-
may-05	2,83	19241	-	-
jun-05	2,34	17561	12312	53
jul-05	1,29	12606	13193	35
ago-05	1,51	13455	13017	37
sep-05	1,69	14426	14170	47
oct-05	3,43	21185	18507	70
nov-05	2,90	18582	14600	52
dic-05	1,62	14698	11283	39
ene-06	3,17	20789	17915	65
feb-06	1,82	13622	10723	-
mar-06	7,81	28655	35616	113
abr-06	5,85	25572	24278	96
may-06	4,14	22944	23884	79
jun-06	5,04	23825	32383	121
jul-06	4,22	22575	28782	123
ago-06	3,52	21636	31321	100
sep-06	9,50	31179	54584	286
oct-06	5,91	26850	29138	124
nov-06	5,06	24408	31625	97
dic-06	6,37	26359	39241	159
ene-07	3,27	19648	28130	96
feb-07	6,55	23602	12419	38
mar-07	18,81	46624	42784	110
abr-07	25,13	55019	98100	732
may-07	8,82	31205	43882	164
jun-07	6,39	26812	30915	145
jul-07	5,84	26882	28675	108



Fecha	Qmes	MSd	MSim	MNim
feb-89	5,30	22777	29181	-
mar-89	4,37	23855	22839	-
abr-89	4,87	23465	24004	-
may-89	6,83	28045	37119	-
jun-89	5,55	25429	29411	-
jul-89	3,82	22554	16360	121
ago-89	5,78	26593	25271	-
sep-89	5,96	26126	19368	-
oct-89	3,63	22313	13167	-
nov-89	2,47	18131	11683	-
dic-89	2,42	18658	10681	-
ene-90	2,63	19580	15248	74
feb-90	5,83	23910	29224	-
mar-90	4,55	22657	24924	-
abr-90	4,50	23056	16344	-
may-90	7,31	28856	28828	-
jun-90	5,24	24297	17780	-
jul-90	6,01	26901	26396	148
ago-90	5,38	25831	17599	-
sep-90	4,45	22896	17810	-
oct-90	5,13	24266	21462	-
nov-90	2,27	17213	8964	-
dic-90	1,80	15961	5638	-
ene-91	1,84	16164	11076	51
feb-91	5,27	23092	22488	-
mar-91	4,50	23364	21761	-
abr-91	9,68	31560	21432	-
may-91	8,07	30139	23732	-
jun-91	12,08	34896	42774	-
jul-91	10,43	33757	42605	-
ago-91	7,18	28908	22659	-
sep-91	9,98	31876	28221	156
oct-91	4,28	22839	14031	-
nov-91	3,29	20412	21550	-
dic-91	3,95	22837	9093	-
ene-92	4,52	23530	11978	-
feb-92	5,81	23296	16441	106
mar-92	5,83	26744	28252	-

Fecha	Qmes	MSd	MSim	MNim
ago-07	6,81	28363	-	-
sep-07	6,22	26564	26395	-
oct-07	7,65	29629	54754	174
nov-07	5,81	25989	-	-
dic-07	4,58	23980	-	-
ene-08	2,77	19982	-	-
feb-08	2,31	16860	13661	67
mar-08	4,15	20288	-	-
abr-08	5,15	22658	-	-
may-08	10,33	32726	27723	99
jun-08	13,24	37053	32535	-
jul-08	8,56	30956	28387	115
ago-08	8,53	30912	-	-
sep-08	11,29	33778	28878	81
oct-08	-	-	-	-
nov-08	4,74	-	-	-
dic-08	8,05	-	-	-
ene-09	10,77	-	-	-
feb-09	14,64	36003	42792	148
mar-09	9,14	31692	-	-
abr-09	15,14	39464	38965	152
may-09	8,54	30875	38236	163
jun-09	7,86	28962	29735	132
jul-09	6,39	27629	32942	148
ago-09	5,59	26406	28557	102
sep-09	6,21	26482	25325	105
oct-09	5,25	25715	23390	86
nov-09	6,31	26413	33589	144
dic-09	5,10	25319	31504	109
ene-10	13,52	38836	50235	189
feb-10	10,93	31058	17541	55
mar-10	10,64	33962	27417	88
abr-10	9,72	31597	41486	171
may-10	10,67	34031	60572	184
jun-10	10,31	32410	27014	88
jul-10	7,96	30083	36859	120
ago-10	6,85	28433	31537	134
sep-10	10,47	32646	30710	114