

# TENDENCIAS DE SALINIDAD, NITRATO Y FOSFATO EN LAS AGUAS SUPERFICIALES DE LA CUENCA DEL EBRO

D. Quílez<sup>(1)</sup>, R. Aragón<sup>(1)</sup>, D. Isidoro<sup>(1)</sup>, R. Vázquez<sup>(1)</sup>

(1) Unidad de Suelos y Riegos (asociada a EEAD-CSIC), Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón. Avda Montañana 930, 50059-Zaragoza\* [dqquilez@aragon.es](mailto:dquilez@aragon.es)

## RESUMEN

Se han establecido para los principales ríos de la cuenca del Ebro las tendencias en el caudal y en las concentraciones de sales (sólidos disueltos totales, SDT), nitrato (NO<sub>3</sub>) y fosfato (PO<sub>4</sub>) para los periodos Octubre 1961 - Septiembre 2008 (6 estaciones) y Octubre 1975 - Septiembre 2008 (31 estaciones) utilizando la información recopilada por la Confederación Hidrográfica del Ebro. Las tendencias de SDT se han establecido mensualmente mediante técnicas no paramétricas, desagregando el efecto aporte de sales del efecto debido a la variación del caudal. Se han detectado aumentos de SDT en el 84% de las 31 estaciones analizadas. Destacan los incrementos anuales estimados en los ríos Arba-Gallur (23,5 mg/l), Ega-Andosilla (15,8 mg/l), Jalón (14,5 mg/l en Grisén y 9,5 mg/l en Huérmeda), Matarraña-Maella (9,6 mg/l) y Cinca-Fraga (8,3 mg/l). El NO<sub>3</sub> aumentó en el 58% de las estaciones analizadas, registrándose los mayores incrementos anuales en las desembocaduras del Arba (0,91 mg/l), Bayas (0,71 mg/l), Tirón (0,66 mg/l), Ega (0,56 mg/l), Oca (0,48 mg/l) y Cinca (0,38 mg/l). El PO<sub>4</sub> solo experimentó aumentos significativos en el río Bayas, disminuyendo significativamente en 16 estaciones. Aunque el estado actual de calidad de las aguas superficiales en la cuenca del Ebro es en general satisfactorio, es necesario establecer las causas de salinización y nitrificación y profundizar en el diagnóstico de los ríos potencialmente más problemáticos al objeto de establecer estrategias de manejo que permitan preservar en cantidad y calidad los recursos hídricos de la cuenca del Ebro.

**Palabras clave:** concentración, nitrato, regadío, sales, tendencia

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La degradación ambiental inducida por la agricultura de regadío es un problema de creciente preocupación que exige un análisis profundo derivado de los requerimientos impuestos por las directivas europeas y españolas y, en particular, por la Directiva Marco del Agua (CE, 2000). En la mayoría de las cuencas hidrográficas españolas la agricultura de regadío consume una proporción considerable de sus recursos hídricos, y la detracción de agua para el riego junto con la incorporación de sus flujos de retorno determinan en gran medida la calidad de las aguas superficiales y subterráneas. El objetivo de este trabajo es caracterizar espacial y temporalmente las concentraciones de sales, nitrato y fosfato en 31 puntos de control de la red hidrográfica de la cuenca de Ebro. En el establecimiento de las tendencias de salinidad se ha desagregado el efecto del caudal circulante puesto que, debido a la relación existente entre concentraciones y caudales, dichas tendencias están en parte relacionadas con la variación de estos caudales.

## 2. METODOLOGÍA

Se han seleccionado 31 estaciones de la red de control integrada de calidad de las aguas superficiales de la cuenca del Ebro en base a su relevancia, el predominio del regadío en sus cuencas, y la calidad de sus series de datos. En la Tabla 1 se presentan estas estaciones con (i) el número de identificación (Nº ID) en la red de Control de Calidad, (ii) el nombre de la estación, (iii) el código de identificación (Código ID) empleado en este trabajo y (iv) la fecha de inicio en la toma de datos. Para todas las estaciones se han tomado los datos hasta el 30 de septiembre de 2008. Tanto la red de estaciones de calidad estudiadas como la red hidrográfica principal se muestran en la Figura 1.

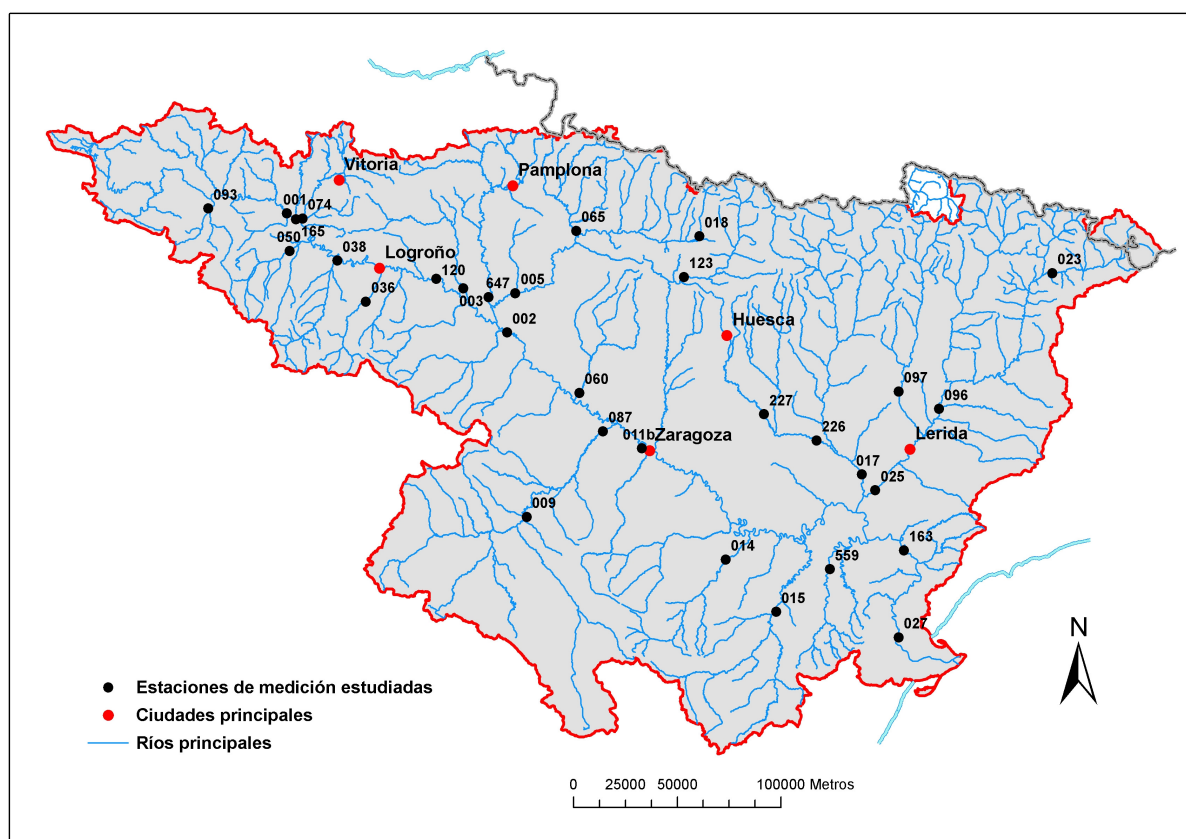
Los datos utilizados son valores instantáneos de caudal, conductividad eléctrica (CE) y concentración de nitrato y fosfato. Las variables con mayor densidad de datos son el caudal (Q) y la conductividad eléctrica (CE) con una frecuencia de 12 medidas por año (1 al mes), aunque en algunas

estaciones existen períodos más o menos largos con una frecuencia irregular. La disponibilidad de datos es más limitada para la concentración de nitrato y fosfato (mensual, trimestral o anual según estaciones). Las medidas sistemáticas de la concentración de nitrato se iniciaron en octubre de 1970 y las de fosfato en octubre de 1973.

**Tabla 1.** Inventario de las estaciones de medición (río y localidad) analizadas en este estudio con el número de identificación asignado en la red de Control de Calidad (Nº ID), el código empleado en este estudio y la fecha de inicio en la toma de datos.

Nº ID	Estación de medición	Código	Inicio	Nº ID	Estación de medición	Código	Inicio
226	Alcanadre en Ontiñena	AlcOnt	oct-81	15	Guadalope en Alcañiz	GuaAlc	oct-75
5	Aragón en Caparroso	AraCap	oct-72	65	Irati en Liédena	IraLie	oct-76
18	Aragón en Jaca	AraJac	oct-61	36	Iregua en Islallana	IreIsl	oct-75
60	Arba en Gallur	ArbGal	oct-74	87	Jalón en Grisén	JalGri	oct-72
4	Arga en Peralta	ArgPer	oct-72	9	Jalón en Huérmeda	JalHue	oct-72
165	Bayas en Miranda	BayMir	oct-75	14	Martín en Híjar	MarHij	oct-75
17	Cinca en Fraga	CinFra	oct-61	176	Matarraña en Maella	MatMae	oct-76
163 <sup>1</sup>	Ebro en Ascó	EbrAsc	oct-61	38	Najerilla Torremontalbo	NajTor	oct-75
2	Ebro en Castejón	EbrCas	nov-72	97	Noguera Rib.La Piñana	NgrLpi	oct-61
120	Ebro en Mendavia	EbrMen	oct-72	93	Oca en Oña	OcaOña	oct-75
1	Ebro en Miranda	EbrMir	oct-61	96	Segre en Balaguer	SegBal	oct-72
27	Ebro en Tortosa	EbrTor	oct-72	23	Segre en Seo de Urgel	SegSeo	oct-75
11-657	Ebro Zaragoza-Almozara	EbrZar	oct-61	25	Segre en Serós	SegSer	oct-72
3	Ega en Andosilla	EgaAnd	oct-72	50	Tirón en Cuzcurrita	TirCuz	oct-76
227	Flumen en Sariñena	FluSar	oct-81	74	Zadorra en Arce	ZadArc	oct-72
123	Gállego en Anzánigo	GalAnz	oct-72				

<sup>1</sup> Hasta Octubre 1979 Ebro en Flix (NºID 121)



**Figura 1.** Red hidrográfica principal de la cuenca del Ebro con la localización y número de identificación de las 31 estaciones de calidad estudiadas.

El periodo de inicio de toma de datos es muy variable (Tabla 1), entre 1961 y 1981. Dado que las tendencias establecidas dependen de la amplitud del período analizado (Quílez, 1998), se han evaluado las tendencias para dos periodos concretos: Octubre de 1961 a Septiembre de 2008 para el que se dispone de datos en seis estaciones (EbrMir, EbrZar, EbrAsc, AraJac, CinFra y NgrLpi), y Octubre de 1975 a Septiembre de 2008 para el que se dispone de datos completos de 26 estaciones. Para las estaciones de IraLie, TiroCuz y MatMae la fecha de inicio es Octubre de 1976 y para las estaciones de FluSar y AlcOnt Octubre de 1981. Para estas dos últimas estaciones y para GuaAlc no se dispone de datos de caudal pero se han incluido en el análisis porque recogen los retornos de riego del sistema Flumen-Monegros.

Los valores de CE se han convertido a SDT utilizando en cada estación las ecuaciones del tipo  $SDT = a + b \cdot CE$  (CHE, 2006). Muchas de las variables que determinan la calidad del agua de los ríos, y en particular la concentración de sales, están estrechamente relacionadas con el caudal circulante. Esto conduce a una cierta incertidumbre al establecer las tendencias de SDT, ya que las mismas pueden verse afectadas por variaciones en el caudal. Por lo tanto, para separar las tendencias “reales” debidas a un aporte de sales de las debidas a cambios en el caudal es necesario eliminar el “efecto caudal”. Para ello, diversos autores (Quílez, 1998, Vant y Smith, 2004) recomiendan utilizar los valores de la variable corregidos o ajustados por el caudal. Por ello se ha obtenido la variable SDT ajustada por el caudal (SDTaj) como los residuos de las ecuaciones de regresión potencial entre SDT y Q en cada estación ( $SDT = A \cdot Q^b + SDTaj$ ).

Los datos analizados de Q, SDT y SDTaj son mensuales y presentan un carácter claramente estacional (mensual) con una periodicidad anual, por lo que para el establecimiento de las tendencias se seleccionó la prueba estacional de Kendall (Hirsch y *otr.* 1982) que incluye esta estacionalidad. Esta prueba presenta, además, la ventaja de que es no paramétrica y no asume la normalidad de los datos, lo que evita los problemas debidos a la presencia de valores extremos en los mismos. El estimador estacional de Kendall para cada uno de los meses  $i$  (donde  $i = 1$  a 12) es la mediana de los valores  $X_i$  (donde X es SDT, SDTaj o Q) calculados como:

$$X_i = \frac{X_{il} - X_{ik}}{1 - k}$$

donde  $X_{il}$  y  $X_{ik}$  son el valor de la variable X para el mes  $i$  del año  $l$  y del año  $k$  (último año del período analizado), respectivamente. El estimador anual de la pendiente se calcula como la mediana de los valores de  $X_i$  calculados para el conjunto de meses. En las estaciones del Flumen en Sariñena, Alcanadre en Ontiñena y Guadalupe en Alcañiz no se pudieron evaluar las tendencias de SDTaj y Q por no existir suficiente información de caudales.

Las tendencias establecidas para la variable SDTaj se asocian a variaciones en la concentración de sales independientes del caudal circulante, esto es, a variaciones debidas a un “efecto aporte” o disolución de minerales. Para evaluar la variación de SDT debida a la variación del caudal se ha seguido la metodología desarrollada por Quílez (1998). Los caudales al inicio ( $Q_i$ ) y final ( $Q_f$ ) de cada período de tiempo analizado se han estimado distribuyendo uniformemente la variación del caudal (o tendencia establecida) en torno a la mediana a lo largo de ese período. Con estos valores y la relación entre SDT y Q para el período considerado, se ha estimado la variación de SDT debida al caudal (SDTq) como la diferencia entre los valores de SDT estimados al inicio [ $SDT(Q_i)$ ] y final [ $SDT(Q_f)$ ] del período de interés.

No se ha podido establecer una relación empírica entre el caudal y las concentraciones de nitrato ( $NO_3$ ) y fosfato ( $PO_4$ ), ya que al existir aportaciones externas de estos dos elementos (fertilización de los cultivos) sus concentraciones están más relacionadas con las cantidades y momentos de aportación que con las características hidrológicas. Por otro lado los datos de la concentración de nitrato y fosfato tienen una periodicidad muy variable (mensual, semestral o anual) que depende de la estación y del

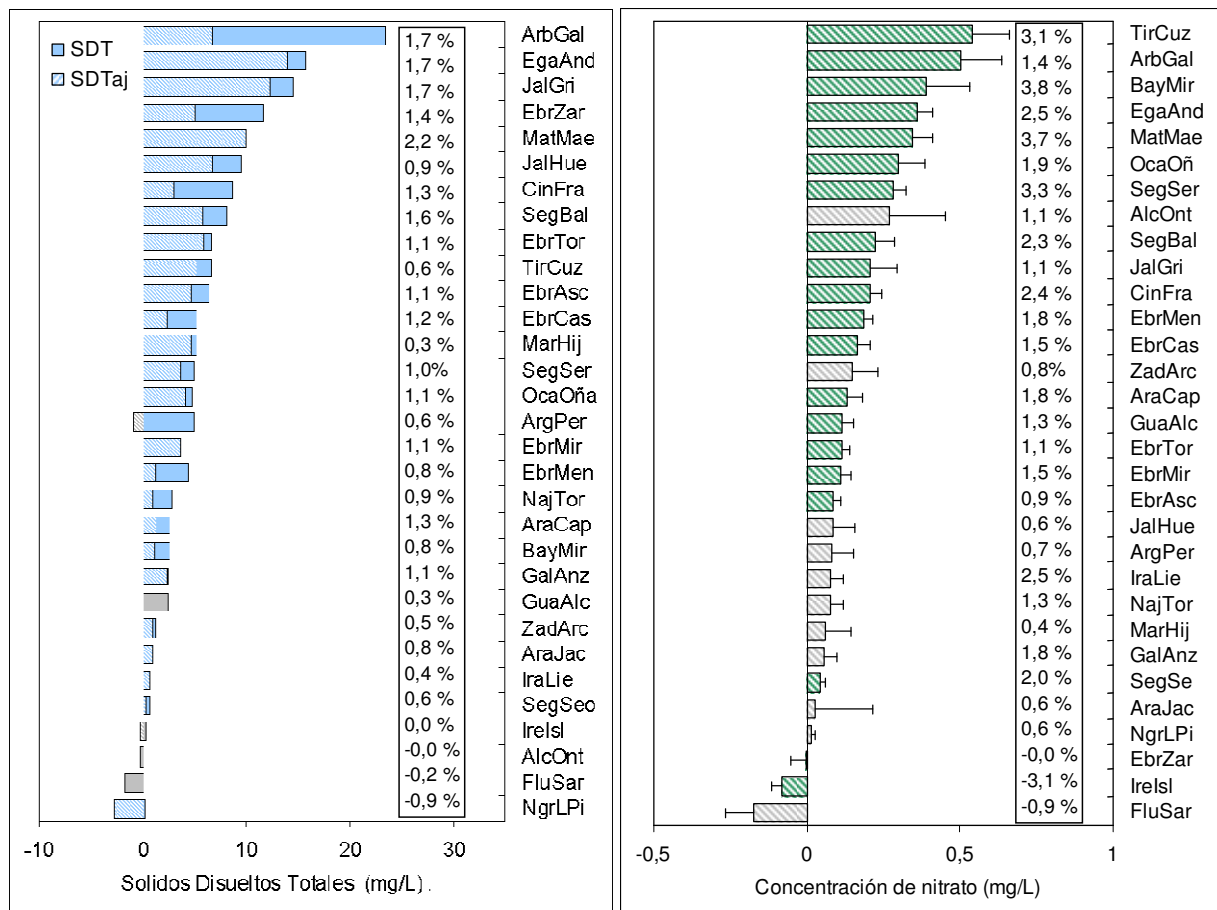
año. Por ello, sus tendencias anuales se han establecido mediante las pendientes  $\Delta\text{NO}_3$  y  $\Delta\text{PO}_4$  de las respectivas regresiones lineales frente al tiempo:

$$\text{NO}_3(\text{mg/L}) = A + \Delta\text{NO}_3(\text{mg/L año}) \cdot t(\text{años}), \quad \text{PO}_4(\text{mg/L}) = B + \Delta\text{PO}_4(\text{mg/L año}) \cdot t(\text{años})$$

El periodo analizado ha sido Octubre de 1975 a Septiembre de 2008 para la concentración de nitrato y Octubre de 1975 a Septiembre de 2004 para la concentración de fosfato, con las excepciones de IraLie, TirCuz y MatMae que se inician en Octubre de 1976 y FluSar y AlcOnt que se inician en Octubre de 1981.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el periodo 1975-2008 la variación media anual de SDT fue positiva y significativa ( $\alpha < 0,05$ ) en 26 estaciones (84% del total de estaciones), En cuatro estaciones (FluSar, AlcOnt, IreIsl y GuaAlc) no se detectaron variaciones significativas y en una (NogrLPi) la tendencia fue negativa (Figura 2). En el eje del Ebro las tendencias aumentan desde su cabecera hasta Zaragoza, donde se alcanza el valor máximo (11,7 mg/L año) y disminuyen posteriormente hasta 6,4 y 6,6 mg/L año en Ascó y Tortosa respectivamente.



**Figura 2.** Tendencias de salinidad (SDT, mg/L año) y concentración de nitrato. (a) Las barras en azul indican la tendencia en SDT y las barras rayadas la contribución de SDTaj. (b) Las barras verdes indican la tendencia en la concentración de nitrato y la línea horizontal indica 1 error estándar. Las barras en gris indican que la tendencia no es significativa. Se presenta el porcentaje de variación de SDT y la concentración de nitrato respecto al valor medio del periodo (años 1975-2008)

Las tendencias estimadas en el río Ebro suponen un aumento anual del SDT medio del periodo (Figura 2) que oscila entre el 0,8% (Mendavia) y el 1,4% (Zaragoza). En los afluentes, los aumentos absolutos anuales más elevados se obtuvieron en el Arba-Gallur (23,5 mg/L año), Ega-Andosilla (15,8 mg/L año) y Jalón-Grisén (14,5 mg/L año), y los aumentos relativos anuales más elevados en el Matarraña-Maella (2,2%), Eg-Andosilla, Arba-Gallur y Jalón-Grisén (1,7%), Segr-Balaguer (1,6%) Aragón-Caparroso y Cinca-Fraga (1,3 %), Gallego-Anzánigo y Oca-Oña (1,1%) y Segre-Serós (1,0%).

La variación de SDTaj fue positiva y significativa en 25 estaciones (89%) con tendencias máximas de 13,9 mg/l año en Ega-Andosilla, 12,4 en Jalón-Grisén y 10 mg/L año en Matarraña-Maella. Se detectaron descensos significativos en Noguera-La Piñana (-2,8 mg/L año) y no se registraron variaciones significativas en Arga-Peralta e Iregua-Islallana. Respecto al caudal, se han detectado descensos significativos en 23 estaciones (82%), y no se han encontrado variaciones significativas en cinco estaciones (el 18% del total).

Se ha observado una clara tendencia al aumento de la concentración de nitrato en el periodo analizado. En 18 de las 31 estaciones (58% del total) se presentan aumentos significativos, que han sido cuantificados entre 0,03 mg/L año y 0,54 mg/L año. En 12 estaciones no se observaron variaciones significativas, y solo en una estación (Iregua-Islallana) el NO<sub>3</sub> disminuyó significativamente (Figura 2). La concentración de fosfato no ha experimentado variaciones en 14 estaciones (45% del total), la tendencia ha sido negativa en 16 (52% del total) y sólo se detectó un aumento significativo en la estación de Bayas-Miranda (0,51 mg/L año) del 1,3 % anual. Se ha observado que en la generalidad de las estaciones se presenta una reducción significativa del PO<sub>4</sub> (y también una posible alteración de su distribución estadística) a partir de 1993 (CHE, 2006). Esta disminución se produce en la mayoría de las estaciones en forma de un descenso brusco en torno al año 1995 (entre 1988 y 1998 según las estaciones; CHE, 2006) lo que se ha relacionado con la disminución del uso de detergentes fosfatados en esas fechas.

Quílez (1998) evaluó las tendencias de salinidad para el periodo 1975-1990 en 16 estaciones de la cuenca del Ebro y encontró aumentos significativos en un 80% de las mismas y Bouza-Deaño y *otr.* (2008) para el periodo 1981-2004 encontraron aumentos de salinidad en 9 de 13 estaciones localizadas sobre el eje del Ebro. Sin embargo estos mismos autores no encontraron variaciones en la concentración de nitrato en ninguna de estas 13 estaciones, mientras que Lassaletta y *otr.* (2009) para el periodo 1981-2005 encontraron un aumento en la concentración de nitrato en 31 de 65 estaciones analizadas, un porcentaje similar al encontrado en este trabajo. Estos autores detectaron además una relación entre la tendencia establecida y el valor medio de la concentración de nitrato en cada estación. Se discuten a continuación las tendencias establecidas por tributarios y se evalúa en su caso el efecto del regadío sobre las mismas.

## BAYAS

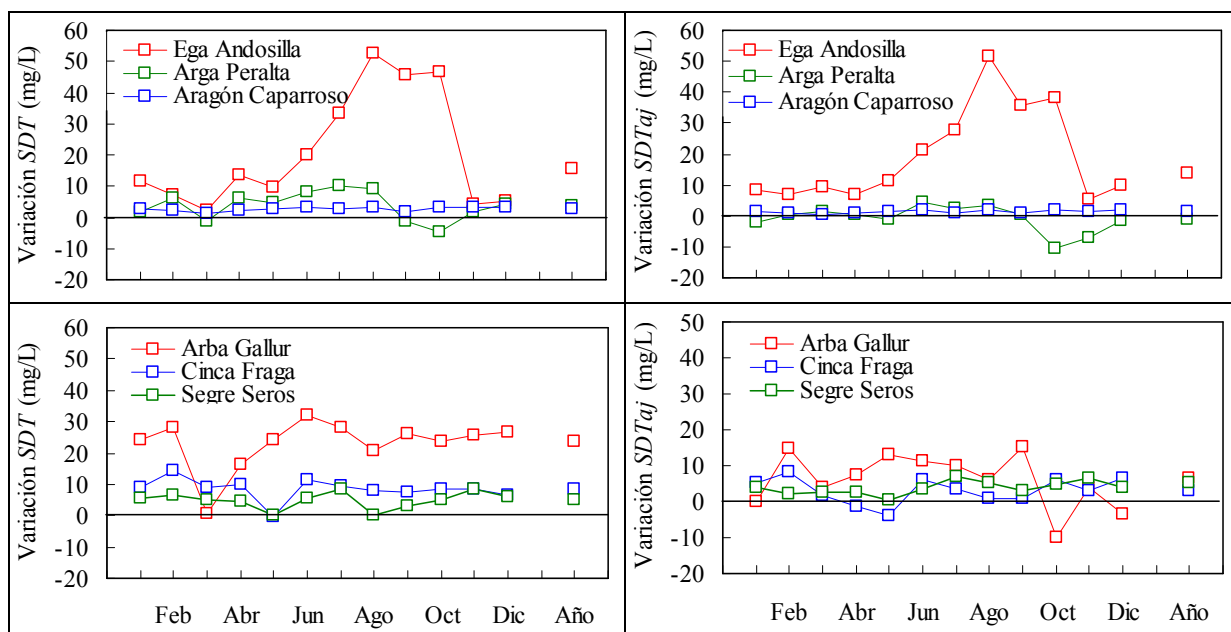
La estación analizada es la de Miranda de Ebro, localizada a 2 km. de la desembocadura del Bayas en el Ebro por lo que recoge información de toda la cuenca del río. En esta estación se detectan aumentos anuales de SDT de 2,5 mg/L año que equivalen a un 0,77% de incremento anual con respecto al SDT medio del periodo analizado. Estos aumentos se producen fundamentalmente en marzo-abril (3,1-3,5 mg/L año) y julio-septiembre (> 5,5 mg/L año en julio y agosto). Los aumentos en primavera se deben a un efecto combinado de aporte de sales y disminución de caudales mientras que los del verano son debidos únicamente a la disminución de caudales. Como promedio anual un 40% del aumento de SDT se debe al efecto aporte, y un 21% al efecto disminución de caudal. La concentración de nitrato aumenta considerablemente (0,39 mg /L año) con el aumento porcentual más alto de las 28 estaciones analizadas (Figura 2), 3,8% sobre el valor medio anual del periodo (10,2 mg/L). Esta es la única estación donde se ha detectado un aumento de la concentración de fosfato. La cuenca del Bayas no presenta una ocupación importante del regadío (645 ha, CHE, 1996) por lo que las causas del aumento de salinidad, nitrato y fosfato caben atribuirse al desarrollo industrial de la zona de Miranda de Ebro, con importantes industrias que vierten al río Bayas.

## ZADORRA

La estación analizada es la de Arce localizada en el término municipal de Miranda de Ebro, a 1,2 km. de su desembocadura en el Ebro que recoge información de toda la cuenca del río. En esta estación se ha detectado un aumento anual de SDT de 1,1 mg/L año con aumentos homogéneos y significativos a lo largo de todo el año y que nunca son mayores de 2 mg/L año. Se ha estimado que el aumento de SDT es debido en un 84% al efecto aporte de sales, que se produce a lo largo de todo el año (significativo en 7 meses), mientras que el descenso de caudales contribuye al aumento de SDT con un 13% y se produce fundamentalmente en el periodo abril-julio. En esta estación no se ha detectado una variación significativa de la concentración de nitrato (Figura 2). La concentración media de nitrato en esta estación (19,7 mg/L) es la segunda mas alta de la Cuenca del Ebro después de Arba-Gallur. En esta cuenca existen 20.000 ha regables (CHE, 1999), aunque las dotaciones de riego son muy bajas ya que los riegos son fundamentalmente de apoyo y con poca regulación. Dentro de esta cuenca se ha declarado como vulnerable a la contaminación por nitrato el acuífero cuaternario de Vitoria. Una de las razones del aumento de salinidad en esta cuenca podría ser el regadío, aunque dado el comportamiento similar a la estación del Bayas en Miranda y los posibles vertidos desde los polígonos industriales de la zona de Miranda de Ebro se considera que una gran parte de los aumentos detectados son debidos a contaminación industrial.

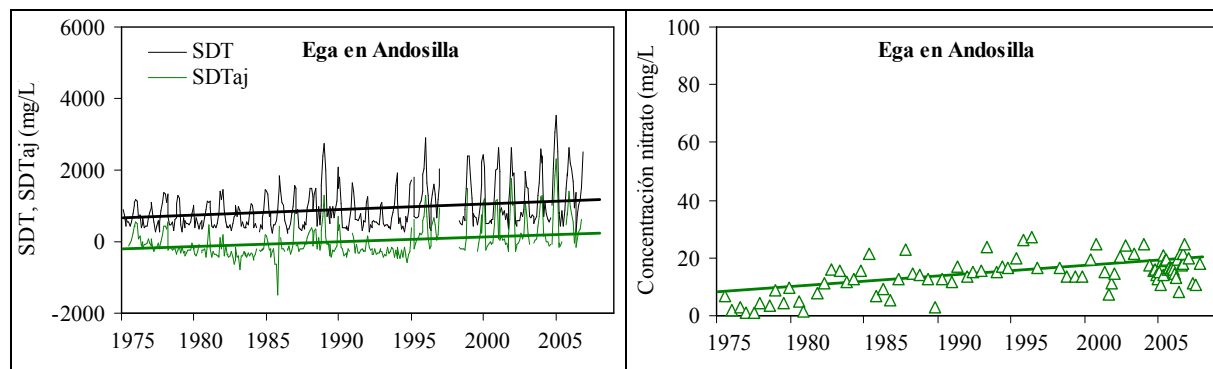
## EGA

La estación Ega-Andosilla se encuentra localizada 8 km. aguas arriba de la desembocadura del Ega en el Ebro por lo que recoge información de prácticamente toda su cuenca. Esta estación es la segunda en la magnitud de aumento absoluto de SDT (15,8 mg/L año), sólo superada por Arba-Gallur. Estos aumentos se producen en el periodo de abril a octubre, con los valores más altos a nivel mensual de todas las estaciones, llegando a superar los 45 mg/L año en los meses de agosto a octubre. Estos aumentos de salinidad se atribuyen en un 88% a un efecto aporte de sales significativo también en el periodo abril-octubre (Figura 3). Las variaciones del caudal no fueron significativas. En esta estación se han cuantificado también uno de los mayores aumentos de la concentración de nitrato (0,36 mg/L año) junto con las estaciones de Bayas-Miranda, Arba-Gallur y Tirón-Cuzcurrita con un incremento anual superior al 2,5% (Figura 2).



**Figura 3.** Período octubre 1975-septiembre 2008. Variación media mensual y anual de la salinidad (SDT) y salinidad corregida por caudal (SDT<sub>aj</sub>) en las estaciones de la margen izquierda del Ebro.

Se ha observado en los últimos años un aumento de la amplitud de las oscilaciones anuales de la salinidad (Figura 4), debido al aumento de los picos de verano, efecto que se ve asimismo reflejado en el SDTaj. En la cuenca del Ega se han inventariado 7.100 ha regables (PHEbro, 1999). El hecho de que el aumento de SDT se produzca en la estación de riego (abril-septiembre), que sea debido a un efecto aporte, y que se haya observado asimismo un importante aumento de la concentración de nitrato (Figura 4) hace pensar que el incremento del regadío haya sido una causa importante de dichos aumentos. Por consiguiente, es prioritario realizar un control detallado de los regadíos de esta cuenca para diagnosticar, evaluar y tratar de controlar los aumentos de la concentración de sales y nitrato.



**Figura 4.** Evolución de SDT, SDTaj y concentración de nitrato, y tendencias establecidas en la estación del río Ega en Andosilla para el periodo 1975-2008.

#### *SISTEMA ARGA-ARAGÓN*

Se han analizado 4 estaciones del sistema Arga-Aragón, Arga-Peralta (localizada 5 km aguas arriba de su desembocadura en el Aragón y que recoge información de toda su cuenca), Aragón-Jaca (recoge las aguas del tramo de cabecera del río Aragón), Irati-Liédena (localizada 5 km aguas arriba de la desembocadura del Irati en el Aragón y que recoge información de toda su cuenca), y Aragón-Caparroso (localizada 28 km aguas arriba de su desembocadura en el Ebro y aguas arriba también de la desembocadura del Arga).

En Arga-Peralta se han detectado aumentos anuales de SDT de 3,8 mg/L año (0,6%) que se producen en los meses de abril a agosto (hasta 10,3 mg/L año) y que son debidos a una disminución del caudal (91%). La salinidad ajustada por el caudal experimentó un ligero descenso en los meses de octubre y noviembre (Figura 3) pero no se detectó una variación anual significativa (Figura 2). Tampoco se han detectado variaciones significativas de la concentración de nitrato (Figura 2). Esta cuenca no presenta una ocupación importante de regadío (4.975 ha, el 2,8% de la superficie de la cuenca), por lo que los aumentos de SDT no son atribuibles, en principio, a un desarrollo especial del regadío sino a otros factores naturales o antrópicos.

En Aragón-Jaca se han detectado para el periodo 1975-2008 aumentos de SDT de 0,91 mg/L año (0,8%), con aumentos homogéneos a lo largo de los distintos meses (aunque solo resultan significativos en febrero, abril, junio-julio, octubre y diciembre). Dado que la relación SDT-caudal es muy débil en esta estación, las variaciones de SDTaj son un reflejo de las variaciones de SDT y suponen el 96% de su variación. El caudal solo disminuyó significativamente en julio y compensó los aumentos de SDTaj en este mes. En el periodo 1961-2008 el aumento anual de SDT fue algo inferior (0,4 mg/L año) y también debido en gran parte a un efecto aporte durante el periodo estival. Se han detectado aumentos de la concentración de nitrato, aunque muy pequeños (0,03 mg/L año) y la concentración media de nitrato de esta estación es también muy baja (1,6 mg/L). Un comportamiento similar al de Aragón-Jaca se observa en Irati-Liédena, donde se ha detectado un aumento anual de SDT de 0,72 mg/L año (0,4%) que se produce en primavera y octubre y que es debido a un efecto aporte de

sales (97%). En esta estación tampoco se ha detectado un aumento significativo de la concentración de nitrato. En la cuenca del Irati la superficie regable es de 550 ha y en la del Aragón los regadíos por encima del embalse de Yesa están en retroceso, por lo que los aumentos observados de SDT en estas dos estaciones no parecen derivarse de la actividad agrícola o del regadío.

En Aragón-Caparroso el aumento anual de SDT es de 2,5 mg/L año (1,3%) y se produce muy homogéneamente a lo largo de todos los meses del año (Figura 3), con aumentos máximos en el verano en el rango de 1,4-3,1 mg/L año. Este aumento de SDT es debido a una disminución de los caudales a lo largo de todo el año (51%) mientras que la contribución del efecto aporte es importante en los meses de primavera y otoño, siendo responsable del 51% de la variación del SDT. La concentración de nitrato sufre un aumento durante el periodo analizado de 0,13 mg/L año, importante en valor relativo ya que equivale a un 1,8% de la variación anual. Esta estación recoge los retornos de 19.450 ha regables (el 18,6% de la cuenca) y aunque se han detectado aumentos de SDT en verano, relacionados con un efecto aporte y un aumento relativo importante de la concentración de nitrato, el efecto de los retornos del regadío es pequeño en comparación con otras cuencas.

### *ARBA*

La estación analizada se encuentra en Gallur, a 7 Km. de la desembocadura en el Ebro, con lo que recoge información de toda su cuenca. En esta estación se han detectado los mayores aumentos absolutos medios anuales de SDT de todas las estaciones analizadas, con 23,5 mg/L año equivalentes a un incremento anual del 1,7% (Figura 2). Los aumentos de SDT se producen de abril a diciembre, llegando a alcanzar incrementos anuales de hasta 32 mg/L en junio (Figura 3), siendo debidos sólo en un 28% (Figura 5) al efecto aporte y en un 39% a la disminución de los caudales. En esta estación se han detectado también aumentos importantes de la concentración de nitrato (Figura 3), cuantificados en 0,50 mg/L año (1,4 %). La concentración media de nitrato en esta estación (34,3 mg/L) es la más alta de todas las estaciones analizadas y la carga unitaria de N inorgánico es también alta (8,6 kg N/ha, CHE, 2006). Esta estación recoge los retornos de 54.438 ha de regadío, incluyendo parte de los retornos de riego de la zona regable del canal de Tauste que ha sido declarada vulnerable a la contaminación por nitrato. La influencia del regadío en el comportamiento de esta estación es determinante y constituye la primera estación de seguimiento de la Red de Control agroambiental de los Regadíos del Ebro sobre la que se efectúa un seguimiento detallado desde el año 2004.

### *GÁLLEGO*

El Gállego en Anzánigo se localiza aguas arriba del embalse de la Peña y sólo recoge información de la cabecera de este río, quedando 116 km hasta su desembocadura en el Ebro. En este último tramo el Gállego recoge los efluentes de riego de la zona del Canal de Monegros, Camarera y Urdán. El análisis de los datos de la estación Gállego-Zaragoza podría aportar información sobre la evolución de los retornos de riego en el tramo inferior del Gállego, pero las series presentan numerosos datos perdidos. En Gállego-Anzánigo se producen pequeños aumentos de SDT a lo largo de todos los meses del año, con un valor medio anual de 2,4 mg/L año, lo que supone un 1,1% de incremento anual. Aguas arriba de Anzánigo no hay regadíos importantes por lo que las causas del aumento de salinidad son atribuidas a otros factores.

### *SISTEMA CINCA*

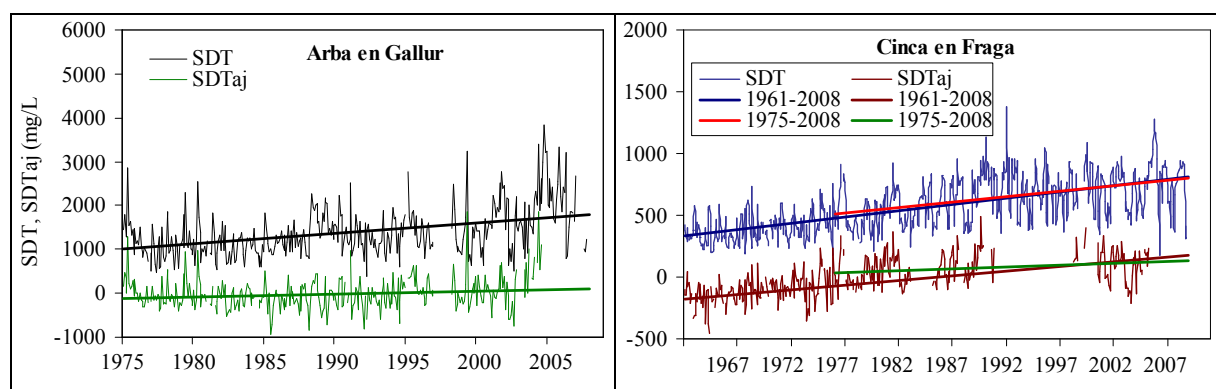
En el sistema del Cinca se han analizado tres estaciones: Flumen-Sariñena (situada 14 km aguas arriba de su desembocadura en el Alcanadre), Alcanadre-Ontiñena (situada 14 km aguas arriba de su desembocadura en el Cinca) y Cinca-Fraga (situada 13 km aguas arriba de su desembocadura en el Segre).

En las estaciones Flumen-Sariñena y Alcanadre-Ontiñena no se han detectado variaciones significativas de la concentración de sales y nitrato. Sin embargo, en la estación Cinca-Fraga se ha



detectado un aumento significativo de SDT de 8,6 mg/L año (1,3%), el sexto en magnitud de los encontrados en este estudio y que representa un aumento anual del SDT del 1,3% (Figura 2). Este aumento de SDT es significativo en la mayor parte de los meses del año, con valores que superan los 10 mg/L año en febrero y junio (Figura 3). El efecto aporte es solo significativo en los meses de junio y diciembre y contribuye al 35% de la variación observada del SDT, mientras que el caudal ejerce su efecto en la mayoría de los meses del año y contribuye al 72% de la variación del SDT. Las tendencias establecidas en SDT para el periodo 1975-2008 fueron similares a las establecidas para el periodo 1961-2008. Sin embargo el efecto aporte, es decir la influencia de SDTaj, parece perder importancia en el periodo 1975-2008, aunque la existencia de numerosos datos perdidos en la serie de caudal y por tanto en la de SDTaj (Figura 5) impiden confirmar este resultado.

La concentración de nitrato experimenta un aumento de 0,21 mg/L año, similar al del Segre-Serós. El Cinca en Fraga recoge los efluentes del Alcanadre, estación en la que no se observaron variaciones de SDT. Esto sugiere que los aumentos de SDT se producen en el propio río Cinca. Sería muy interesante hacer un seguimiento conjunto del comportamiento del Alcanadre en Ontiñena (o bien el Flumen en Sariñena) y en una estación en el Cinca situada aguas arriba de la desembocadura del Alcanadre, bien el Cinca en Monzón o incluso mejor aguas abajo de Monzón, ya que la variación de la salinidad presenta un comportamiento muy diferente en estas dos partes de la cuenca del Cinca.



**Figura 5.** Evolución de la salinidad (SDT) y salinidad corregida por caudal (SDTaj) en las estaciones del Arba en Gallur y Cinca en Fraga.

### SISTEMA SEGRE

En el Segre se han estudiado cuatro estaciones: Noguera Ribagorzana-La Piñana (localizada en Castellonroy, en la toma del Canal de La Piñana, 27 km antes de la desembocadura en el Segre), Segre-Seo de Urgel (situada en cabecera 200 km aguas arriba de su desembocadura en el Ebro), Segre-Balaguer (situada 74 km aguas arriba de su desembocadura en el Ebro), y Segre-Serós (situada 17 km aguas arriba de la desembocadura en el Ebro y aguas arriba de la confluencia con el Cinca).

En Noguera-La Piñana se ha cuantificado un descenso de SDT de -2,6 mg/L año para el periodo 1975-2008, mientras que para el periodo 1961-2008 no se detectaron variaciones significativas, lo que indica que los descensos se están produciendo en los últimos años. Estos descensos son debidos a un efecto aporte (SDTaj) a lo largo de todo el año, que ya se observó para el periodo 1961-2008, aunque para ese periodo solo fue significativa en febrero y en abril-agosto. En esta estación no se han detectado variaciones significativas de la concentración de nitrato. En Segre-Seo de Urgel se ha cuantificado un aumento medio anual de SDT de 0,6 mg/L año que se produce los meses de febrero, junio, julio y noviembre. Este aumento es debido a un efecto aporte (63%) en verano y otoño y a una disminución de los caudales (38%) en febrero y en verano. En esta estación se han establecido aumentos de la concentración de nitrato de 0,04 mg/L año (2% anual).

En Segre-Balaguer se ha cuantificado un aumento medio anual de SDT de 8,1 mg/L año (1,6%) que se produce a lo largo de todos los meses del año con valores más altos en julio (12,8 mg/L año).

Este aumento es debido a un efecto aporte (71%) y al descenso del caudal durante el verano (21%). La concentración de nitrato aumenta en esta estación en 0,22 mg/L año (2,3%).

En Segre-Serós se ha observado un aumento de SDT de 4,9 mg/l, algo inferior al de Balaguer. El perfil de variación mensual del SDT es paralelo al de la estación de Balaguer, con un pico en verano (8,6 mg/L año en julio). El efecto aporte explica el 75% de la variación de SDT (Figura 3) y es importante en verano y otoño (Figura 3), mientras que la contribución del caudal al aumento de salinidad es del 35%, siendo significativa en el mes de febrero y en los de verano. La concentración de nitrato aumenta en esta estación en 0,28 mg/L año (3,3%), con un valor superior a Segre-Balaguer.

El Segre recoge efluentes de riego provenientes de los regadíos del Urgel y del Canal de Aragón y Cataluña, además de más de 30,000 has de pequeños regadíos. La mayoría de los retornos de riego vierten en el tramo entre las estaciones de Balaguer y Serós. Los aumentos de salinidad y de la concentración de nitrato en esta estaciones indican que la contribución del regadío es importante.

### *OCA*

La estación analizada del río Oca se localiza en la localidad de Oña, a 8,3 km de su desembocadura en el río Ebro, por lo que recoge información integrada de casi la totalidad de su cuenca. Se han detectado aumentos significativos de SDT a lo largo de todos los meses del año con un valor medio anual importante de 4,7 mg/L año (Figura 2). Esta variación de SDT es debida todos los meses a un efecto aporte, con contribución del descenso de los caudales únicamente en los meses de mayo a julio. Se ha detectado un aumento significativo de la concentración de nitrato (0,30 mg/L año) con un 1,9% de incremento anual. La concentración media anual de nitrato durante el periodo analizado ha sido de 15,8 mg/L. Los aumentos tanto de salinidad como de la concentración de nitrato pueden deberse a la actividad agrícola, a pesar de que esta estación tiene únicamente 410 ha de regadío en su cuenca (PH Cuenca del Ebro; CHE, 1996).

### *TIRÓN*

Esta estación se encuentra en Cuzcurrita, 13,7 km aguas arriba de su desembocadura en el Ebro. Se ha detectado un aumento significativo de SDT en el verano con un valor medio anual de 6,6 mg/l, que es debido a la disminución de los caudales mientras que se detecta un efecto aporte de aumento de SDTaj en los meses de febrero y septiembre (Figura 6). El aumento de la concentración de nitrato es el mas elevado de las estaciones analizadas (0,54 mg/L año), lo que equivale a un aumento anual del 3,1% (Figura 2). Los aumentos de la concentración de nitrato se creen ligados a la actividad agraria. En esta cuenca existen 5.536 ha de regadío y el acuífero subyacente asociado al río Oja presenta altas concentraciones de nitrato y ha sido declarado vulnerable a la contaminación por nitrato. Es importante destacar que una parte importante del caudal circula por este acuífero y que por lo tanto además de los flujos superficiales controlados en la estación del Tirón existe un importante flujo adicional que drena al Ebro a través del acuífero aluvial.

### *NAJERILLA*

Esta estación se encuentra en Torremontalbo, 2,1 km. aguas arriba de su desembocadura en el Ebro. Se han detectado aumentos significativos de SDT de 2,7 mg/L año que se producen a lo largo de todo el año excepto en los meses de diciembre y enero, y que son debidos a un aumento de SDTaj en el periodo febrero-mayo y a una disminución significativa del caudal (hasta -0,44 m<sup>3</sup>/s año) de mayo a noviembre. No se han detectado variaciones en la concentración de nitrato. Dado que la disminución del caudal es la mayor causante del aumento de SDT, que no se han detectado aumentos de la concentración de nitrato y que en su cuenca solo existen 3.385 ha de regadío (PH Ebro; CHE, 1996), no se considera el regadío como fuente principal de estos aumentos.

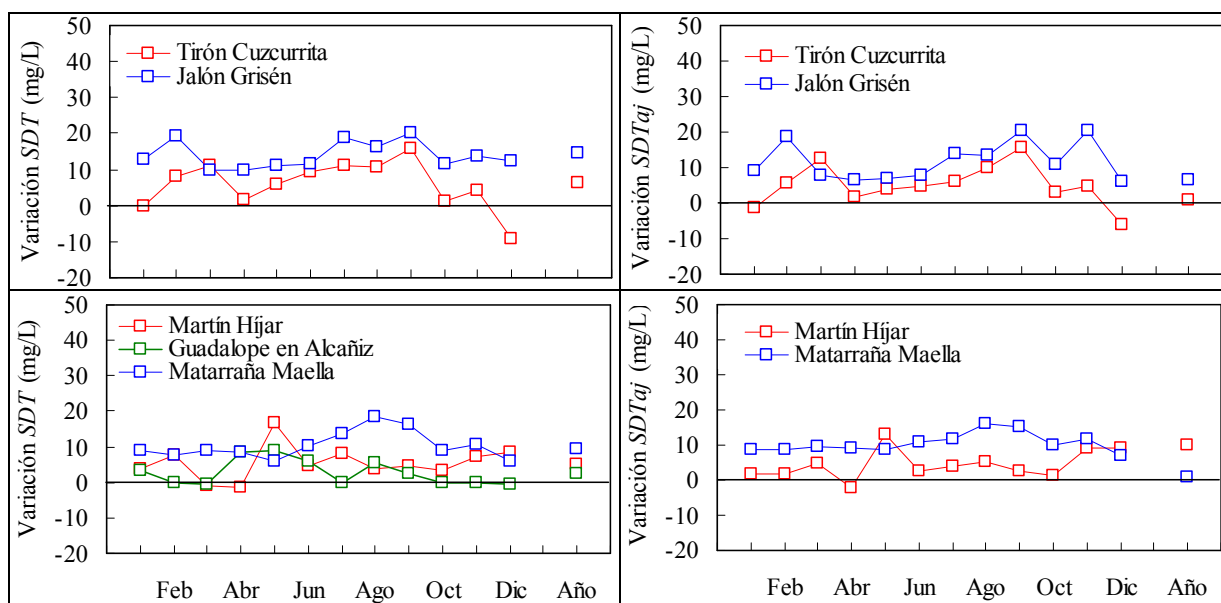
## IREGUA

Esta estación se encuentra en Nalda, 20,8 km. aguas arriba de su desembocadura en el Ebro. Presenta un comportamiento no homogéneo, detectándose aumentos de SDT en el periodo marzo-abril (de 1,8 mg/L año) y descensos de SDT en el periodo julio a septiembre (-1,7 a -3,0 mg/L año). Estos descensos son debidos a una disminución en el aporte de sales en estos meses ya que no hay una variación del caudal. No se ha detectado una variación significativa de SDT a nivel anual y si un descenso significativo de la concentración de nitrato (-0,08 mg/L año) El Iregua tiene en su Cuenca 8.800 ha de regadío y no se considera que las variaciones detectadas estén relacionadas con el mismo.

## JALÓN

En el río Jalón se han analizado dos estaciones: Huérmeda (municipio de Calatayud), situada en el km. 112 del río, y Grisén, localizada 15 km antes de su desembocadura en el Ebro. En Jalón-Huérmeda se producen aumentos importantes de SDT cuantificado en 9,5 mg/L año que se atribuye en un 71% a un efecto aporte y en un 31% a la disminución del caudal. La disminución del caudal es significativa en casi todos los meses del año, mientras que el efecto aporte es importante en los meses de enero, febrero y julio. En esta estación no se han detectado variaciones significativas de la concentración de nitrato durante el periodo analizado. En Jalón-Grisén se observa un comportamiento similar, con aumentos importantes de SDT todos los meses del año (Figura 6) que se han cuantificado en 14,5 mg/L año. La contribución del efecto aporte a este aumento de salinidad es del 85% y el efecto del caudal es únicamente del 4%. En esta estación se ha detectado un aumento significativo de la concentración de nitrato de 0,21 mg/l año.

Es resaltable que el caudal en Huérmeda duplica al de Grisén (CHE, 2006), mientras que las concentraciones son muy similares en las dos estaciones. Ello es debido a las detracciones para riego en el tramo inferior del Jalón cuyos excedentes retornan a las aguas subterráneas y/o directamente al río Ebro. Por ello en Jalón-Huérmeda se observa una tendencia al aumento de la salinidad en primavera y verano (debido a los retornos de los regadíos del tramo alto del Jalón) que no aparece reflejada en la estación de Grisén debido a las detracciones del propio río para riego y a que los retornos fluyen al acuífero del Jalón o incluso al propio río Ebro. Este hecho queda constatado por los bajos caudales del Jalón en Grisén en verano (CHE, 2006). En el río Jalón existen 43.574 ha de regadío y una gran parte de la Cuenca ha sido declarada vulnerable a la contaminación por nitrato.



**Figura 6.** Período octubre 1975 a septiembre 2008. Variación media mensual y anual de la salinidad (SDT) y la salinidad corregida por caudal (SDT<sub>aj</sub>) en los principales afluentes de la margen derecha.

## MATARRAÑA

Esta estación se encuentra en Maella, 21,8 km antes de la desembocadura en el Ebro, y recoge información integrada de prácticamente toda su cuenca. En esta estación se han detectado aumentos significativos de SDT todos los meses del año con máximos en los meses de agosto y septiembre que casi alcanzan los 20 mg/L año (Figura 6) y un valor medio anual de 9,6 mg/L año o un 2,2% de incremento anual que es el valor porcentual más alto de las 31 estaciones analizadas (Figura 2). Este aumento del SDT es debido a un efecto aporte que es significativo todos los meses del año y presenta un valor medio anual de 10,0 mg/L año. La concentración de nitrato aumenta en esta estación en 0,34 mg/L año con el aumento porcentual más alto (3,7%) después de Baya-Miranda. A partir del año 1992 se ha observado un aumento de la amplitud de los ciclos estacionales del SDT y SDTaj, con un aumento de los valores máximos de verano. Este comportamiento junto con el aumento de la concentración de nitrato (más importante también a partir de 1992) se atribuye a la agricultura de regadío que se está desarrollando en esta cuenca (5.701 ha, PH Ebro; CHE, 1996).

## EBRO

Las tendencias establecidas sobre TDS y caudal para los dos períodos analizados en las tres estaciones del eje del Ebro son en esencia similares. En Miranda, Zaragoza y Ascó el aumento de SDT establecido en el periodo 1975-2008 es ligeramente superior al del periodo 1961-2008. La variación de los caudales es similar en Miranda y Zaragoza, mientras que en Ascó se observa que la tendencia es más baja para el periodo 1975-2008 (40%) lo que indicaría un descenso más fuerte del caudal en el periodo 1961-1975.

La primera estación analizada en el eje del Ebro es la de Miranda de Ebro (localizada a 710 km de la desembocadura). En esta estación se han detectado aumentos de SDT de 3,4 mg/L año debidos a un efecto aporte de sales. Por encima de esta estación solo se ha analizado la de Oca-Oña, con importantes aumentos de salinidad (4,9 mg/L año) que se producen a lo largo de todo el año y que son debidos también a un efecto aporte de sales. Esta estación contribuye con un 18% a la masa de sales en Miranda (CHE, 2006). En esta estación también se ha detectado un aumento de la concentración de nitrato de 0,11 mg/L año (1,5% sobre la media anual del periodo analizado).

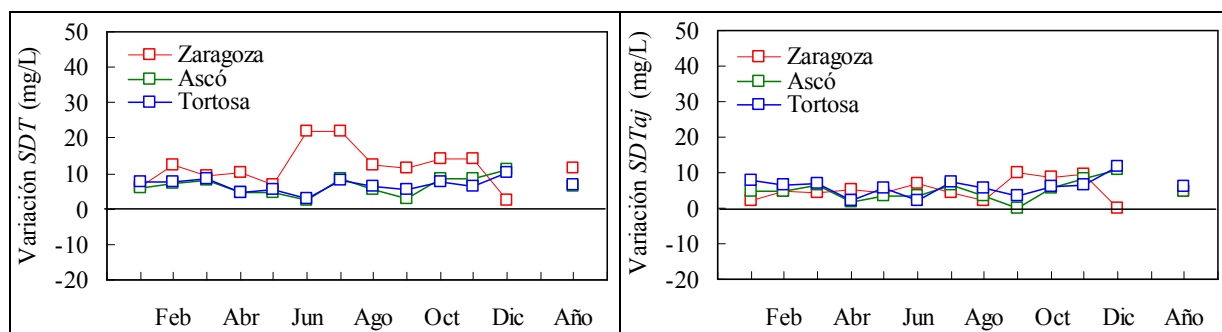
En Mendavia (km. 572,6) se han detectado aumentos de SDT de 3,2 mg/L año, debidos en un 35% a un efecto aporte y en un 69% a la disminución del caudal. La concentración de nitrato aumenta algo más que en Miranda (0,18 mg/L año). Entre Miranda y Mendavia vierten al Ebro por la margen izquierda Bayas y Zadorra y por la derecha Tirón, Najerilla e Iregua. Teniendo en cuenta la variación de SDT establecida en Miranda y en estos cinco afluentes y los caudales medios en estas estaciones durante el periodo analizado, se ha calculado un aumento de SDT de 2,9 mg/L año en la estación de Mendavia que coincide con el valor cuantificado de la tendencia en esta estación. El aumento de la concentración de nitrato (0,18 mg/L año) es algo mayor en esta estación que en Miranda (0,11 mg/L) debido a la contribución de los ríos Bayas (0,39 mg/L año) y Tirón (0,54 mg/L año), con los dos mayores aumentos de todos los ríos analizados, mientras que la contribución del Zadorra y Najerilla (sin variaciones) y el Iregua que presenta un ligero descenso (-0,08 mg/L año), es pequeña.

En el Ebro en Castejón (localizado en el km. 511) se ha cuantificado un aumento de SDT de 5,1 mg/L año (Figura 2) que se produce prácticamente a lo largo de todos los meses del año. La contribución del efecto aporte es más relevante en esta estación (44%) que en Mendavia y es significativa en los meses de abril, octubre y noviembre, mientras que la disminución del caudal es responsable del 39% del aumento de SDT. Entre Mendavia y Castejón vierten en el Ebro el Ega y el sistema Arga-Aragón. Los aumentos estimados en Castejón teniendo en cuenta los aumentos cuantificados en el Ebro en Mendavia, Arga en Peralta y Aragón en Caparros y los caudales medios en estas estaciones son de 3,6 mg/L año. Este valor es inferior a la tendencia cuantificada para SDT en Castejón (5,1 mg/L año), pero hay que tener en cuenta que en este tramo detrae sus aguas el canal de Lodosa (que supone una importante masa de sales sobre todo en verano cuando los caudales son más

bajos) y que además vierten los ríos Cidacos (con 4.057 ha de regadío en su cuenca) y Alhama (con 12.309 ha de regadío) que no han sido analizados en este estudio. Se ha cuantificado en Castejón un aumento de la concentración de nitrato de 0,17 mg/L año, ligeramente superior a la de Mendavia y congruente con las aportaciones del Arga (sin variación en la concentración de nitrato y con una contribución al caudal del 21%) y del Aragón (con un aumento de 0,13 mg/L y una contribución al caudal del 25%). Aunque en Ega-Andosilla se producen aumentos de 0,36 mg/L año su contribución al caudal es más pequeña (5%).

En la estación de Zaragoza (km 384,4) se ha cuantificado un aumento de SDT de 11,8 mg/L año, con una variación significativa en prácticamente todos los meses del año. El aumento de SDT se debe en un 42% a un efecto aporte (Figura 2) importante en los meses de primavera y otoño, y en un 45% al efecto disminución de caudal que se produce fundamentalmente en verano. Entre Castejón y Zaragoza vierten el Arba por la izquierda y el Jalón por la derecha. Teniendo en cuenta las variaciones en estas estaciones, se cuantifica un aumento de SDT en la estación de Zaragoza de 6,2 mg/l año, muy inferior a los 11,8 mg/L año estimados. Hay que tener en cuenta que de este tramo se deriva el Canal Imperial de Aragón y el Canal de Tauste, que además existe una aportación importante desde el acuífero del Jalón que no es controlada por la estación de Grisén, y el aporte del diapiro salino de Remolinos superior a un millón de toneladas anuales (Alberto y *otr.*, 1986). Por ello es prioritario analizar más en detalle el comportamiento de la salinidad en este tramo del río para averiguar las causas del importante aumento de SDT detectado en Zaragoza, que es el más alto de todo el eje del Ebro. De ahí que resulte prioritario estudiar en detalle los retornos completos de la Cuenca del Jalón. A pesar de que en la estación de Castejón y en las aportaciones del Arba se han detectado aumentos significativos e importantes de la concentración de nitrato, en la estación del Ebro en Zaragoza no se ha detectado una variación significativa de la concentración de este anión.

En el Ebro-Ascó (km. 101,7) se han cuantificado aumentos de SDT de 6,1 mg/L año, que son significativos prácticamente todos los meses del año (Figura 7) y que son debidos en un 72% al efecto aporte, importante en los meses de otoño, marzo y julio. Se ha detectado un descenso significativo del caudal de -1,9 m<sup>3</sup>/s que se produce a lo largo de todo el año sin llegar a ser significativo en ninguno de los meses y que contribuye con un 26% al aumento de SDT. Entre Zaragoza y Ascó vierten por la margen izquierda el Gállego y el sistema Segre-Cinca y por la derecha el Martín, Guadalope y Matarraña. Teniendo en cuenta el aumento establecido en estas estaciones se ha calculado un aumento de SDT en Ascó de 9,2 mg/L año, mayor que el valor cuantificado de 6,4 mg/L año. Hay que tener en cuenta que el proceso de mezcla de aguas estivales de alta salinidad con las invernales de baja salinidad en los embalses de Mequinenza y Ribarroja hace que el valor medio de SDT sea inferior en la salida que en la entrada de los embalses. El menor aumento de SDT en Ascó que en Zaragoza se justifica por los aumentos inferiores en el sistema Segre-Cinca que contribuyen al 40% del caudal circulante en Ascó. En la estación de Ascó se ha detectado un pequeño aumento de la concentración de nitrato (0,09 mg/l año).



**Figura 7.** Período octubre 1975 a septiembre de 2008. Variación media mensual y anual de la salinidad (SDT) y de la salinidad corregida por caudal (SDTaj) en las estaciones del río Ebro.

En la estación de Tortosa se han detectado aumentos de SDT de 5,8 mg/L año que se producen a lo largo de todo el año. Este aumento es debido a un efecto aporte (89%) que es significativo en los meses de otoño, invierno y en julio. Se cuantificó una contribución del caudal del 7% al aumento del SDT aunque no fue significativo. De Ascó a Tortosa no hay aportaciones importantes, aunque sí detracciones como las de los canales del Cherta. En Tortosa se han detectado aumentos significativos de la concentración de nitrato (0,11 mg/L año) algo superiores a los de Ascó.

#### 4. CONCLUSIONES

En la mayor parte de las estaciones analizadas las tendencias establecidas sobre la concentración salina son positivas, aumentando la concentración en sales tanto en el periodo 1961-2008 (aumentos en 5 de 6 estaciones analizadas), como en el periodo 1975-2008 (aumentos en 26 de 31 estaciones analizadas). También se ha observado una tendencia al aumento de la concentración de nitrato en 18 de los 31 estaciones (el 58% del total), que se ha cuantificado entre 0,03 mg/L año y 0,54 mg/L año. Por el contrario, las tendencias en la concentración de fosfato han sido negativas en el 52% y nulas en el 45% de las estaciones analizadas.

El incremento de la salinidad en 17 de las 26 estaciones con tendencias positivas se debe fundamentalmente al “efecto aporte”. Por otro lado se ha identificado en varias estaciones que los incrementos de salinidad se producen fundamentalmente en los meses de la estación de riego (abril a septiembre), lo que sugiere una posible contribución del regadío (incremento de los retornos de riego como consecuencia del aumento de la superficie regada) a dichas tendencias positivas. Este resultado es particularmente significativo en algunas de las estaciones con mayor incremento de la salinidad, tales como Ega-Andosilla y Arba-Gallur. La identificación de las contribuciones mensuales de la salinidad a la salinidad anual ha sido relevante para determinar el impacto del regadío sobre las tendencias de salinidad.

Asimismo, algunos de los incrementos de concentración de nitrato coinciden con incrementos relevantes de salinidad y/o una contribución creciente de los retornos de riego (Arba y Ega), así como con presencia importante de cultivos con elevadas necesidades de nitrógeno en sus cuencas hidrológicas (Tirón), sugiriendo la conexión entre estas tendencias de nitrato y el regadío ligado a estos cultivos.

#### AGRADECIMIENTOS.

Este trabajo ha sido financiado por la Confederación Hidrográfica del Ebro a través de un convenio de colaboración CHE-CITA.

#### REFERENCIAS

Bouza-Deaño, R., M. Ternero-Rodríguez and A.J. Fernández-Espinosa (2008) Trend study and assessment of surface water quality in the Ebro River (Spain) *Journal of Hydrology* 361: 227-239

CE (2000) Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo 2000/60/CE de 23 Octubre de 2000 por la que se establece el marco comunitario de acción en política de aguas. Diario oficial L017, 19/01/2001.

CHE (1999) Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro. Disponible en <http://oph.chebro.es/planh.htm> , Verificado en marzo 2011.

CHE (2006) Caracterización de la calidad de las aguas superficiales y control de los retornos del riego en la cuenca del Ebro. Disponible en <http://oph.chebro.es/DOCUMENTACION/Agronomia/CITA-CHE2005.pdf>. Verificado en marzo 2011

Hirsch R.M., Slack J.R., Smith R.A., (1982). Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resources Research* 18, 107-121.

Lassaletta L., García-Gómez H., Gimeno B.S., Rovira J.V. (2009) Agricultural-induced increase in nitrate concentrations in stream Waters of a large Mediterranean catchment over 25 years (1981-2005). *Science of the Total Environment* 407:6034-6043

Quílez D. (1998) La salinidad en las aguas superficiales de la Cuenca del Ebro: Análisis del impacto Potencial del Regadío de Monegros II. Tesis doctoral. Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria, Universitat de Lleida. Lleida, 352 pp.

Vant B., Smith P. (2004) Trends in river water quality in the Waikato region, 1987-2002. *Environment Waikato Technical Report 2004/02*. Environment Waikato Regional Council, Hamilton East.