

eman ta zabal zazu



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

SEGUIMIENTO DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA DEL RÍO LEITZARAN DEBIDO A LOS TRABAJOS DEL LIFE IREKIBAI

LEITZARAN IBAIKO SEDIMENTUEN GARRAIOAREN JARRAIPENA IREKIBAI LIFE-eko LANEN ONDORIOZ

Año hidrológico 2016-2017 urte hidrologikoa

Diciembre 2017ko Abendua

Trabajo presentado por los miembros del Grupo de Investigación Consolidado
Procesos Hidro-Ambientales de la UPV/EHU (IT1029/16, Gobierno Vasco)

UPV/EHUko Hidro-Ingurumeneko Prozesuak Ikerketa Talde Kontsolidatuko (IT1029/16,
Eusko Jauriaritza) kideek aurkeztutako lana



Gipuzkoako
Foru Aldundia
Ingurumeneko eta Ozeo
Habitatuetako Departamentua



Diputación Foral
de Gipuzkoa
Departamento de Medio
Ambiente y Obras Hidráulicas

INDICE

1.- Introducción	3
1.1.- Antecedentes	3
1.2.- Objetivos del seguimiento	6
2.- Metodología	7
2.1.- Parámetros medidos en continuo	7
2.2.- Calibración de las sondas	8
2.3.- Variabilidad diaria de la esorrentía (R) y de la carga de sedimentos en suspensión (SS). Secuencias acercamiento-acumulación/exportación-agotamiento	11
2.4.- Muestreos	11
3.- Datos disponibles	13
4.- Relaciones entre medidas de turbidez y CSS	13
4.1.- Relación entre mediciones de campo	14
4.2.- Relación con medidas de laboratorio (2013-2017)	15
5.- Resultados	18
5.1.- Series de datos diezminutales	18
5.2.- Estimación preliminar de la exportación de sedimentos en suspensión. Distribución a lo largo del año	22
5.3.- Variabilidad diaria de la esorrentía (R) y de la carga de sedimentos en suspensión (SS). Secuencias acercamiento-acumulación/exportación-agotamiento	25
5.4.- Muestreos	26
6.- Conclusiones	34
7.- Bibliografía	36
Anexos	38

1. Introducción

En abril de 2016 la Diputación Foral de Gipuzkoa sacó a concurso de convocatoria restringida la contratación del trabajo titulado "Seguimiento del transporte de sedimentos en la cuenca del río Leizaran durante los años 2016, 2017 y 2018 debido a los trabajos del Life IREKIBAI" (Expediente 2016/13-BH-ZN), junto con el correspondiente pliego de cláusulas administrativas entre las que se incluía el pliego de prescripciones técnicas (PPT). Este trabajo se realiza en el marco del proyecto "Mejorando la conectividad y los hábitats en los ríos compartidos por Navarra y Gipuzkoa. LIFE IREKIBAI (LIFE 14NAT/ES00186)".

El Grupo de Investigación Consolidado Hidro-Procesos Ambientales de la UPV/EHU (IT1029/16, Gobierno Vasco) presentó su proposición técnica, la cual obtuvo la mayor puntuación en la evaluación llevada a cabo. En consecuencia, se firmó el contrato entre la Diputación Foral de Gipuzkoa y la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU). Según el PPT "el objeto del trabajo de seguimiento es valorar el efecto de la demolición de las presas de Inturia y de Oioki sobre las tasas de exportación de sedimentos del río Leizaran. Para ello se cuenta con el trabajo "CUANTIFICACIÓN DE LA TASA DE SEDIMENTOS EXPORTADOS DEL RÍO LEIZARAN ANTES, DURANTE Y DESPUES DE LA DEMOLICIÓN DE LA PRESA DE INTURIA" realizado durante el proyecto GURATRANS, y que recoge la tasa de sedimentos exportados por la cuenca en la situación previa a la demolición y tras la ejecución de las fases 1 y 2 de las obras". En el presente informe se han integrado los datos de dicho seguimiento, y se estudia, además del transporte de sedimentos durante el 2016-2017, su evolución desde antes de que comenzaran los trabajos de demolición de Inturia en el 2013 (fase previa), pasando por los datos recopilados tras las dos primeras fases de demolición (fase I (2013-2014) y fase II (2014-2015)) e incluyendo los datos del año 2015-2016 (fase III) tras finalizar la demolición de Inturia y realizar también otros trabajos como la demolición de Truchas-erreka.

De acuerdo con el pliego de prescripciones técnicas, en su apartado 5 (Duración de los trabajos), el Grupo de la UPV/EHU debe entregar informes parciales al finalizar cada año natural, es decir, a los 6 y 18 meses de inicio de los trabajos y un informe final al acabar los trabajos (diciembre 2018). El presente informe tiene por objetivo cubrir la necesidad de realizar un segundo informe parcial, en el que se considerará el año hidrológico 2016-2017 completo, es decir, desde el 1 de octubre de 2016 hasta el 30 de septiembre de 2017.

1.1. Antecedentes

Dentro de las acciones del proyecto IREKIBAI, se encuentran la eliminación definitiva de la presa de Inturia, de 12.0 m de altura, con la ejecución de las dos últimas fases de la obra y el derribo de la presa de Oioki, de 8.5 m de altura

La presa de Inturia era una presa de planta curva de unos 60 metros de longitud en el paramento aguas arriba de la coronación y con una altura desde su coronación al lecho del río de 12.50 metros. La superficie inundada por el embalse era aproximadamente de 38250 m². Antes del comienzo del derribo

el volumen útil de embalse se estimó en 70500 m³, por estar en gran parte aterrado. La longitud de la zona que se veía afectada por el remanso aguas arriba de la presa superaba los mil cuatrocientos metros de longitud. Mediante la ejecución de una batimetría se calculó el volumen de sedimentos acumulado en el valle aguas arriba de la presa en aproximadamente 236000 m³.

Teniendo en cuenta las importantes dimensiones de la presa y el gran volumen de sedimentos depositados en su embalse se propuso realizar la demolición de la presa en cuatro fases, de manera que se permitiera una progresiva adaptación del río a sus nuevas condiciones. De este modo, se propuso realizar las sucesivas fases de demolición de manera que el volumen de sólidos movilizado tras cada una de ellas fuese aproximadamente igual. Así, se obtuvieron las alturas de cada fase de demolición, siendo éstas, en orden de ejecución, 3.30; 2.30; 2.90 y 2.40 metros. Se previó que en cada fase se movilizarían alrededor de 60000 m³ de acarreos.

También se realizó un estudio sobre la composición de los sedimentos acumulados tras la presa incluido en el "Informe complementario para la Confederación Hidrográfica del Cantábrico en referencia al "Proyecto de demolición de la presa de Inturia en el río Leizaran"". Según dicho estudio, se ejecutaron un total de 12 sondeos ligeros repartidos proporcionalmente en función de la longitud en tres acumulaciones de sedimentos ubicadas tras la presa.

Los materiales atravesados en los sondeos se corresponden con los sedimentos fluviales acumulados en los márgenes del curso, y que en general se corresponden con acumulaciones de materiales limosos y arenosos con intercalaciones de niveles de acumulación de restos vegetales (hojas y ramas). Las granulometrías más significativas encontradas varían en la fracción arena entre un 35% y un 70%, entre el 20% y el 50% de la fracción limo y entre el 10% y el 20% de la fracción arcilla. La concentración de restos orgánicos es bastante elevada, llegando en algún sondeo al 35%, siendo principalmente hojas muy compactas.

En las determinaciones analíticas de los parámetros analizados (Materia orgánica, Metales pesados (As, Hg, Cd, Pb, Cu, Zn, Ni, Cr), PCBs, Pesticidas organoclorados, EOX y Aceites y grasas) únicamente se han obtenido valores significativos en los metales pesados. Utilizando los valores de metales en sedimentos de cuencas con rocas paleozoicas adyacentes como referencia (en muestreos realizados por la Agencia Vasca del Agua-URA), se aprecia que únicamente el parámetro arsénico es superior al valor promedio, sin embargo, los valores obtenidos no difieren de la variabilidad encontrada en los registros de datos disponibles y se consideran normales para sedimentos cuyo origen son pizarras paleozoicas.

En los informes de seguimiento realizados durante el proyecto GURATRANS se incluyeron los trabajos realizados hasta junio de 2015. Hasta aquel momento se habían realizado las dos primeras fases de demolición de la presa de Inturia. En la figura 1 se puede observar la altura de la presa antes de los trabajos realizados y después de cada una de las dos fases de demolición citadas.

Los trabajos de permeabilización del Leizaran han seguido su curso, así entre el 19 y el 31 de agosto de 2015 se realizó la tercera fase de la demolición de la presa de Inturia (Figura 2 a), entre el 4 y el 5 de septiembre se llevaron a cabo los trabajos de demolición de la presa de Truchas-erreka (Figura 3) y hasta

enero de 2016 se siguieron realizando trabajos de recuperación de la zona y entre el 19 y el 29 de enero de 2016 se terminó (cuarta fase) de demoler Inturia (Figura 2 b).



Figura 1: Imágenes de la presa de Inturia a) antes del comienzo de la demolición, b) después de la primera fase de demolición (agosto 2013) y c) tras la segunda fase de demolición (agosto 2014).



Figura 2: Imágenes de la presa de Inturia a) tras la tercera fase de la demolición (agosto 2015) y b) después de la cuarta fase de demolición (enero 2016).



Figura 3: Imágenes de la zona de Truchas-erreka a) vista aérea de la zona de actuación, b) estado final de la margen derecha y c) trabajos de demolición de la presa de Truchas-erreka.

Otros eventos y trabajos que se han ido realizando son: por un lado, un desplome de la pista del Leitzarán aguas arriba de Inturia producido el 25 de noviembre de 2015. Su arreglo tuvo lugar entre los meses de abril y agosto de 2016, periodo durante el cual se desvía el río y se construye una escollera. Por último, desde el 19 de septiembre de 2016 hasta el 25 de octubre de ese mismo año se llevó a cabo el arreglo de las compuertas del desagüe de fondo de la central de Olaberri (Figura 4) y la sustitución de la escala piscícola existente por una esclusa siendo necesario entrar también al río algunos días con maquinaria.

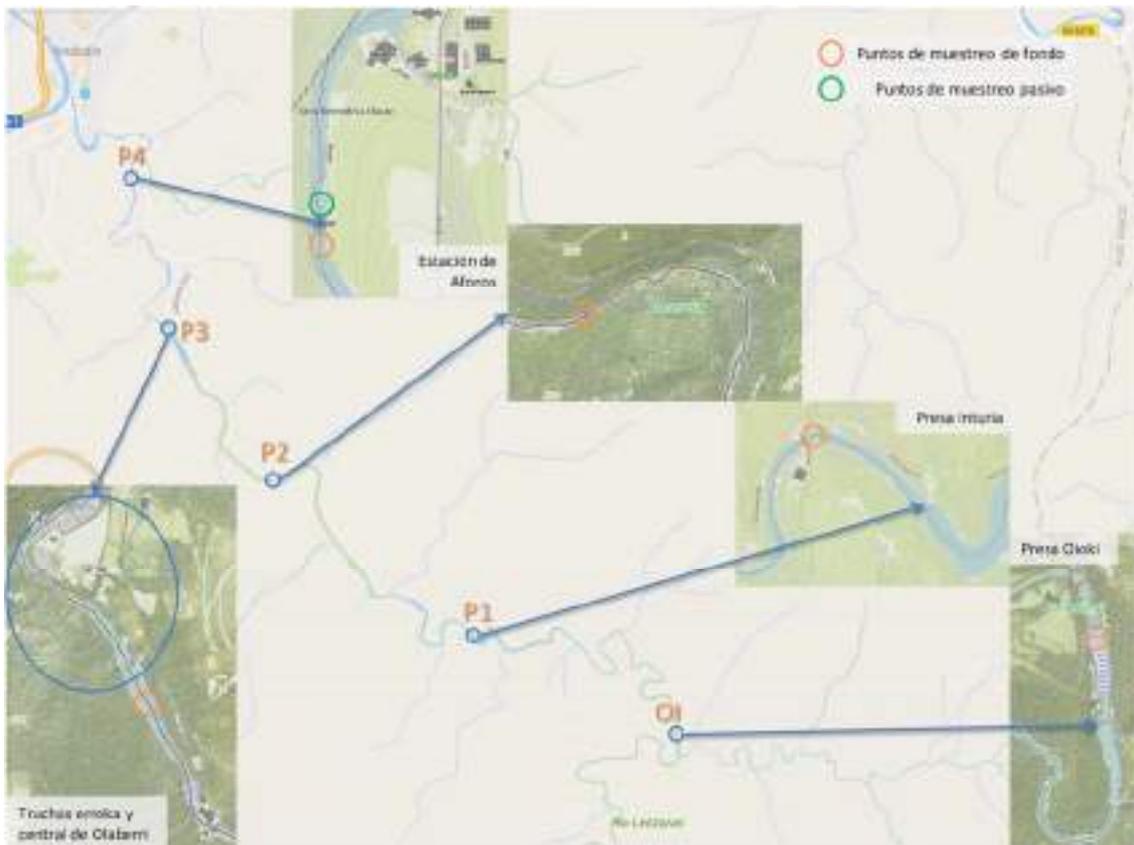


Figura 4: Localización de las zonas de actuación, de la estación de aforos y de los puntos de muestreo (de fondo y pasivo) a lo largo del río Leitzarán.

1.2. Objetivos del seguimiento

El objetivo principal del presente informe es el de valorar el efecto de la demolición de las presas de Inturia y de Truchas-erreka y del resto de trabajos realizados en el Leitzarán dentro del Life IREKIBAI sobre la cantidad y calidad de sedimentos del río Leitzarán. Para ello se realizarán las siguientes tareas:

- Cuantificación de la exportación de sedimentos en suspensión durante el periodo 2016-2017.

- Caracterización de la variabilidad diaria de la escorrentía (R) y de la carga de sedimentos en suspensión (SS).
- Caracterización de los sedimentos, en suspensión y de fondo, aguas abajo de Oioki y de Inturia.

2. Metodología

2.1. Parámetros medidos en continuo

Como salida de la cuenca del Leizaran y para el cálculo de la exportación de sedimentos en suspensión, así como para el estudio de la dinámica de dichos sedimentos durante las crecidas, se han tomado como referencia los datos de la estación de aforos de Leizaran, integrada en la red hidro-meteorológica de la Diputación Foral de Gipuzkoa DFG (Figura 5). Esta estación drena 110 km² de cuenca del Leizaran.

En esta estación existen medidas diezminutales de precipitación, caudal, turbidez del agua, conductividad eléctrica, pH, oxígeno disuelto y temperatura tanto del aire como del agua. Todo ello desde 1995 hasta la actualidad. Considerando dicha serie de datos, se estima que las precipitaciones en este punto son de unos 1850 mm anuales, con caudales medios del Leizaran de 4.49 m³/s, lo que supone una aportación anual de unos 140 Hm³. En 2012 se instaló una sonda para medir concentración de sedimentos en suspensión (CSS, mg/l), también cada diez minutos.

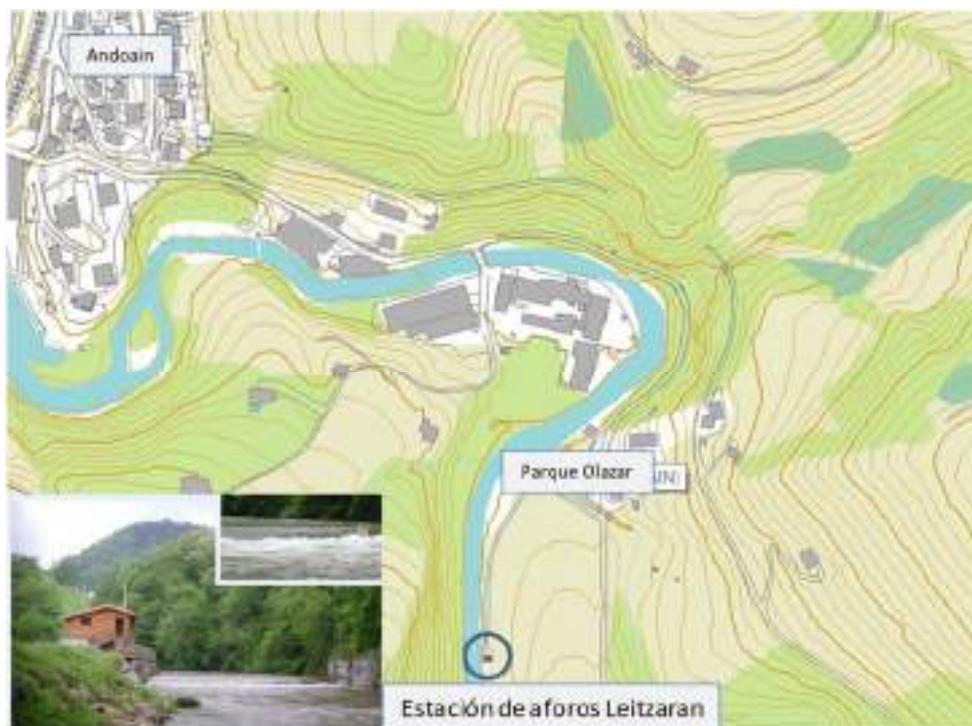


Figura 5: Localización de la estación de aforos de Leizaran indicada por el círculo azul.

2.2. Calibración de las sondas

La metodología a aplicar en el estudio en relación al transporte de sedimentos será la que se ha utilizado en los estudios de cuantificación de la tasa de sedimentos exportados en las cuencas del Territorio Histórico de Gipuzkoa desde, al menos, 2006 (DFG, 2014, 2015) y también en los trabajos previos realizados en la cuenca del Leitzaran en el marco de los proyectos GURATRANS (UPV/EHU, 2015) e IREKIBAI (UPV/EHU, 2016). Dicha metodología está descrita en profundidad en Zabaleta (2008) con sus modificaciones descritas en Zabaleta et al., 2016. De hecho, la estación de Leitzaran está equipada con el mismo tipo de dispositivos (sondas Solitax y tomamuestras automáticos tipo Sigma) que otras estaciones de la red foronómica de Gipuzkoa en las que se lleva a cabo el seguimiento de la CSS desde 2006.

El método consiste en el control continuo mediante métodos ópticos de la concentración de sedimentos en suspensión (CSS) y/o de la turbidez del agua en las estaciones de aforo. En este caso, la turbidez en la estación de aforos, al igual que la mayoría de los parámetros físico-químicos, se mide en un tanque, ubicado dentro de la caseta de la estación, al cual se bombea el agua del río (Figura 6). Sin embargo, la sonda que mide la concentración de sedimentos en suspensión, instalada en 2012, se encuentra dentro del río, en uno de los muros laterales del vertedero de la estación. El principio de medida de estos dos parámetros, turbidez y concentración de sedimentos en suspensión, se basa en un mismo proceso combinado de absorción de infrarrojos/luz difusa; por lo tanto, la concentración de sedimentos en suspensión es estimada mediante un efecto óptico.

Los métodos ópticos se pueden utilizar para estimar el flujo de sedimentos en suspensión (Gippel, 1989; Brasington y Richards, 2000), porque si la relación entre la lectura óptica (turbidez o CSS) y concentración de sedimentos en suspensión real (CSS, mg/l) se calibra de manera frecuente se pueden derivar series continuas de CSS a partir de las medidas ópticas (Lewis, 1996). En este sentido, resultan imprescindibles los muestreadores de agua automáticos que permiten la recogida automática de muestras durante los eventos de crecida para su posterior tratamiento en el laboratorio (filtrado, secado y pesado) de modo que sea posible obtener la concentración de sedimentos en suspensión real (CSS, mg/l) de una muestra recogida en el río en un momento determinado. En la estación existe un tomamuestras automático (Figura 6) que se activa en momentos de crecida y recoge muestras de agua que se utilizarán, para calibrar, con datos reales, físicos, los datos ópticos obtenidos mediante las sondas. Para tal efecto, el muestreador automático instalado en la estación se pone en marcha, en un principio, a partir de un valor de CSS de 100 mg/l en el río, aplicándose distintos programas de toma de muestras (tiempo entre las tomas) según el tipo de precipitaciones esperadas (en duración e intensidad).

Las muestras recogidas por el tomamuestras se llevan al laboratorio del Grupo de Hidro-Procesos Ambientales (UPV/EHU) para medir la turbidez y la concentración de sedimentos. Además de las medidas de campo, la turbidez también se mide en las muestras en laboratorio con un turbidímetro WTW Turb 555 IR que tiene un rango mayor (0 – 10000 NTU) que el turbidímetro de campo (0 – 500 NTU). La relación entre las dos medidas de turbidez, campo y laboratorio, es lineal y es posible establecerla porque ambos aparatos de medición utilizan el mismo principio de medida regido por la norma DIN EN 27027.

Después de medir la turbidez de las muestras y con la ayuda de una bomba de vacío se filtran las muestras a través de filtros de nylon Millipore de poros de 45 μm de diámetro. Se mide la concentración de sedimentos en suspensión, por lo menos, en todas aquellas muestras con un valor de turbidez de laboratorio superior a 100 NTU. Los filtros se pesan antes de ser utilizados en una balanza ADAM AFP-360L, con una resolución de 1 mg. Una vez filtrada la muestra se deja secar el filtro con el sedimento a temperatura ambiente (Rovira y Batalla, 2006) y se vuelve a pesar. La diferencia entre las dos pesadas corresponderá al peso de sedimento que contiene la muestra. Por otro lado, se mide el volumen de agua filtrado. De este modo, con el peso de sedimento y el volumen de la muestra, es posible calcular la concentración de sedimentos en suspensión (mg/l) de la muestra.

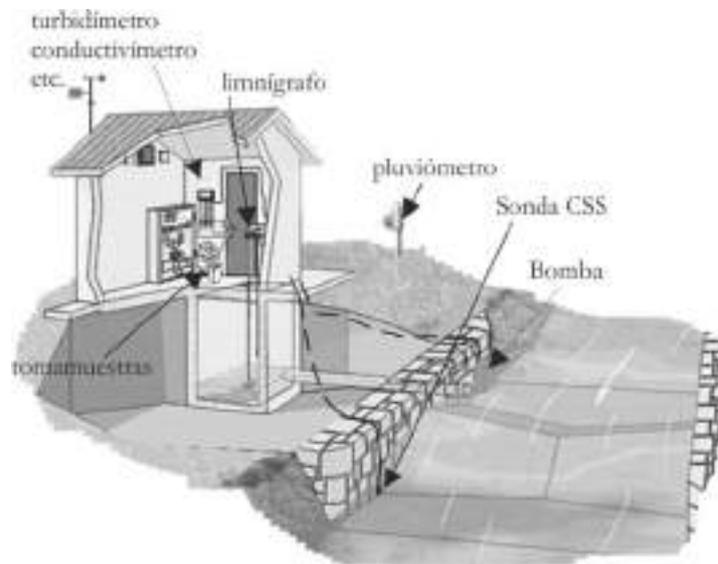


Figura 6: Esquema de la instalación de la estación de aforo.

Siguiendo esta metodología se establece para la estación de aforos de Leitzaran la curva de relación entre la concentración de sedimentos en suspensión (CSS) medida mediante método óptico en la estación de aforos y la correspondiente concentración de sedimentos en suspensión real medida en laboratorio. Esta última se mide, como se ha dicho, en laboratorio en muestras recogidas en la estación de aforos en momentos de diferentes lecturas de turbidez del agua.

Para que la relación establecida entre la medida óptica (parámetro de medida) y la concentración de sedimentos en suspensión (parámetro de interés) sea veraz se requiere un programa de muestreo de sedimentos muy exhaustivo con una extensiva recogida de datos a intervalos de tiempo lo más cortos posibles y una serie de datos que se pueda usar para interpolar más que para extrapolar (Sun *et al.*, 2001). La importancia de establecer un intervalo de muestreo lo más estrecho posible queda en evidencia en trabajos como el de Laignel *et al.* (2006), en el que la diferencia entre la exportación de sedimentos en suspensión media para un muestreo de tipo mensual y otro de gran frecuencia es de hasta un 44%.

En este proyecto el objetivo es tener bajo control la exportación de sedimentos a lo largo de los episodios de crecida (tanto en la rama ascendente como en la descendente del pico de caudal, cubriendo la totalidad del episodio), que será cuando ocurra la mayor parte de la movilización y paso de los sedimentos por la estación. El tomamuestras automático tiene la capacidad de coger 24 muestras en cada evento (de hasta 1 litro), por lo que en situaciones de lluvias continuadas y caudales notables es necesario un control más exhaustivo de los dispositivos para evitar lagunas en el muestreo, o en la toma de datos.

Aunque en el pliego de prescripciones técnicas se mencionaba que se analizarán, como mínimo, 8 eventos por año de estudio, este Grupo preveía analizar todas las crecidas que ocurrieran en la cuenca durante el periodo de estudio, ya que incluso las de pequeña entidad, que en condiciones normales no generarían una exportación de sedimentos destacable, en este caso, por la gran disponibilidad de sedimentos tras las distintas fases de demolición de las presas, es de esperar que transporten una notable cantidad de sedimento. Por lo tanto, el número de crecidas a analizar dependía en gran medida del régimen de precipitaciones, pero el control tiene que ser exhaustivo. No hay que olvidar que los estudios previos efectuados en Gipuzkoa evidencian que la mayor parte de la exportación de sedimentos se da en pocos días al año. Como ejemplo, en una sola crecida en enero de 2004 se exportó desde la cuenca del Añarbe el 80 % de los sedimentos en suspensión de dos años (Zabaleta, 2008) y entre el 5 y el 6 de noviembre de 2011 se exportó casi el 90 % de los sedimentos del año 2011-2012 de la cuenca del Oria (DFG, 2012). De ahí la importancia de un control activo y riguroso en un estudio de este tipo. Así, los 8 eventos año y las 24 muestras evento recogidas por el tomamuestras se toman como estimación de partida.

Durante la ejecución de los trabajos de seguimiento a realizar se vienen detectando problemas en el bombeo de agua a la estación de aforos, que afectan directamente a la cantidad y tamaño de los sedimentos en suspensión recogidos en la cubeta en la que se mide la turbidez de agua y en las muestras recogidas por el tomamuestras automático. Parte del sedimento en suspensión, sobre todo el de mayor tamaño (arenas), no llega a la cubeta, ni al tomamuestras. Como consecuencia, los datos de turbidez que se miden en el agua bombeada hay que tomarlos con precaución, por no resultar, en ocasiones, una referencia fiable de cambios en el transporte de sedimentos. Además, tampoco se han podido utilizar para la calibración de la sonda de CSS todas las muestras recogidas por el tomamuestras automático, y solo aquellas de confianza han sido incluidas en la regresión entre los datos de campo y de laboratorio. De hecho, de las 5 crecidas muestreadas durante 2016-2017 se han procesado 63 muestras en el laboratorio, se ha medido la concentración de sedimentos en suspensión en 13 de ellas (las que mostraban una turbidez mayor de 100 NTU). Sin embargo, para 5 de las muestras no existe dato de la sonda de campo o el dato de concentración medido no encaja con el dato de campo, por lo que no sirven para construir la relación entre ambos.

Para obtener una relación fiable entre los datos de campo y de laboratorio se ha intentado ajustar un modelo aditivo generalizado (GAM) (Hastie y Tibshirani, 1990; Wood 2006) con el fin de obtener un registro continuo y calibrado de la CSS. Este tipo de método de ajuste entre dos series de datos no requiere de ningún tipo de asunción previa de linealidad entre el predictor (en este caso la CSS medida en campo, denominada CSSF en los gráficos) y la variable respuesta (en este caso la CSS medida en

laboratorio, denominada CSSL en los gráficos), con lo cual es posible modelar de forma más apropiada la relación entre las dos variables. Para ello se utilizan una serie de funciones de suavizado, que en este caso se han estimado mediante el método P-spline (Eilers y Marx, 1996), que es la técnica de estimación más recomendada en la literatura (Rice y Wu, 2001).

2.3. Variabilidad diaria de la escorrentía (R) y de la carga de sedimentos en suspensión (SS). Secuencias acercamiento-acumulación/exportación-agotamiento.

Con el fin de ir más lejos en el análisis de la respuesta de exportación de sedimentos en suspensión de la cuenca, se han analizado los datos diarios mediante la realización de gráficos de doble masa con el dato de escorrentía acumulada (R, mm), en el eje de abscisas, y de la exportación de sedimentos (SS, t), en el de ordenadas, con el fin de observar cómo se relacionan estos dos parámetros en el tiempo. En estos gráficos se suelen observar dos tipos de tramos, aquellos en los que la pendiente es mayor, y, por lo tanto, el crecimiento de los sedimentos es mayor con respecto al de la escorrentía, y otros en los que la pendiente es menor, y el crecimiento de los sedimentos es menor que el de la escorrentía. Estos dos tipos de pendientes se pueden relacionar con las secuencias acercamiento-acumulación/exportación-agotamiento de sedimentos disponibles para ser transportados. De modo que en los momentos en los que la pendiente es mayor es la exportación y, consecuentemente, el agotamiento de sedimentos anteriormente acumulados, el proceso que impera sobre el resto, y en los momentos de menor pendiente, es el acercamiento y la acumulación de sedimentos el proceso más relevante.

2.4. Muestreos

Muestras de fondo: El 6 de septiembre de 2017 se realizó un muestreo de sedimentos de fondo del río Leizaran en cinco puntos ubicados entre la presa de Oioki y la estación de aforos (Figura 4), tal y como se hizo en el muestreo de 2016 (UPV/EHU, 2016). Los cuatro puntos de muestreo situados entre Inturia y la estación de aforos se repiten con respecto a seguimientos anteriores (UPV/EHU, 2015), habiendo establecido ya para la campaña de 2016 un nuevo punto de control inmediatamente aguas abajo de Oioki para el seguimiento durante el proyecto IREKIBAI. Tal y como se hizo en los cuatro muestreos realizados durante el proyecto GURATRANS (UPV/EHU, 2015) se recogieron los sedimentos de los primeros centímetros (5 cm aproximadamente) depositados en el lecho del río para su posterior análisis.

Estos sedimentos han sido analizados en dos fracciones (<63 μm y <2 mm) en los laboratorios del Departamento de Química Analítica de la UPV/EHU para obtener contenidos en materia orgánica, nitrógeno, fósforo, metales pesados (Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Cd, Pb) y As. También se cogieron muestras de agua de los mismos puntos. De las muestras de agua se han obtenido el carbono orgánico total (TOC), el nitrógeno y el fósforo analizados en los laboratorios del Departamento de Química Analítica y en los Servicios Generales-SGIKER de la UPV/EHU. Los procedimientos analíticos utilizados (tanto en sedimentos como en agua) para la obtención de datos se describen en el Anexo I. Aunque para las muestras recogidas durante los seguimientos del proyecto GURATRANS se determinaron el carbono

orgánico total (TOC), el disuelto (DOC) y el particulado (POC), para el proyecto IREKIBAI solamente se ha medido el TOC en la muestra filtrada (filtros de 0.45 μm). Como se puede observar en los datos obtenidos durante el GURATRANS el contenido de POC en las muestras de agua es muy bajo, relacionado con que las muestras se recogen en condiciones de aguas bajas en las que no hay apenas transporte sólido. Por ello, y de cara a intentar mejorar las mediciones de carbono orgánico en el agua se ha cambiado ligeramente la metodología (descrita en el Anexo I). Así, la medida de TOC realizada corresponde prácticamente en su totalidad a lo que sería el carbono orgánico disuelto (DOC) de la muestra de agua, aunque en las tablas de resultados se ha denominado como TOC.

También se midieron los parámetros físico-químicos del agua en el momento del muestreo. Las medidas realizadas in situ incluyen el pH, la conductividad eléctrica, la temperatura, el oxígeno disuelto y el potencial redox del agua del río en el momento del muestreo, lo que ayuda a determinar el contexto en el que se recogieron las muestras.

Muestreo integrado en el tiempo: En septiembre de 2016 se vació y dejó preparado para la toma de muestra un dispositivo para la recogida integrada en el tiempo de sedimentos en suspensión (Phillips et al., 2000) en la estación de aforos de Leitzaran (Figura 7). El 6 de septiembre de 2017 se procedió a retirar el sedimento acumulado en el muestreador hasta ese momento para su posterior análisis. Se trata del mismo dispositivo utilizado durante las fases anteriores (UPV/EHU, 2015), con las que se compararán los datos obtenidos durante el 2016-2017.



Figura 7: Imagen del muestreador pasivo instalado en la estación de aforos de Leitzaran que recoge los sedimentos en suspensión integrados en el tiempo.

Los sedimentos recogidos, al igual que en los muestreos de fondo, se han analizado en los laboratorios del Departamento de Química Analítica de la UPV/EHU para obtener contenidos en materia orgánica, nitrógeno, fósforo, metales pesados (Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Cd, Pb) y As. Los procedimientos analíticos utilizados son los mismos que en el punto anterior y, por lo tanto, se describen en el Anexo I.

3. Datos disponibles

La figura 8 muestra la serie de los datos diezminutales de precipitación, caudal, conductividad eléctrica, turbidez y concentración de sedimentos en suspensión (CSS) del año hidrológico 2016-2017 (en concreto, desde el 1 de octubre de 2016 hasta el 30 de septiembre de 2017) registrados en la estación de aforo de Leitzarán. Los tramos en gris en las figuras corresponden a lagunas en las series de datos. En las series de turbidez y concentración de sedimentos en suspensión se han señalado además los datos correspondientes a estos parámetros obtenidos en el laboratorio en las muestras recogidas durante las crecidas.

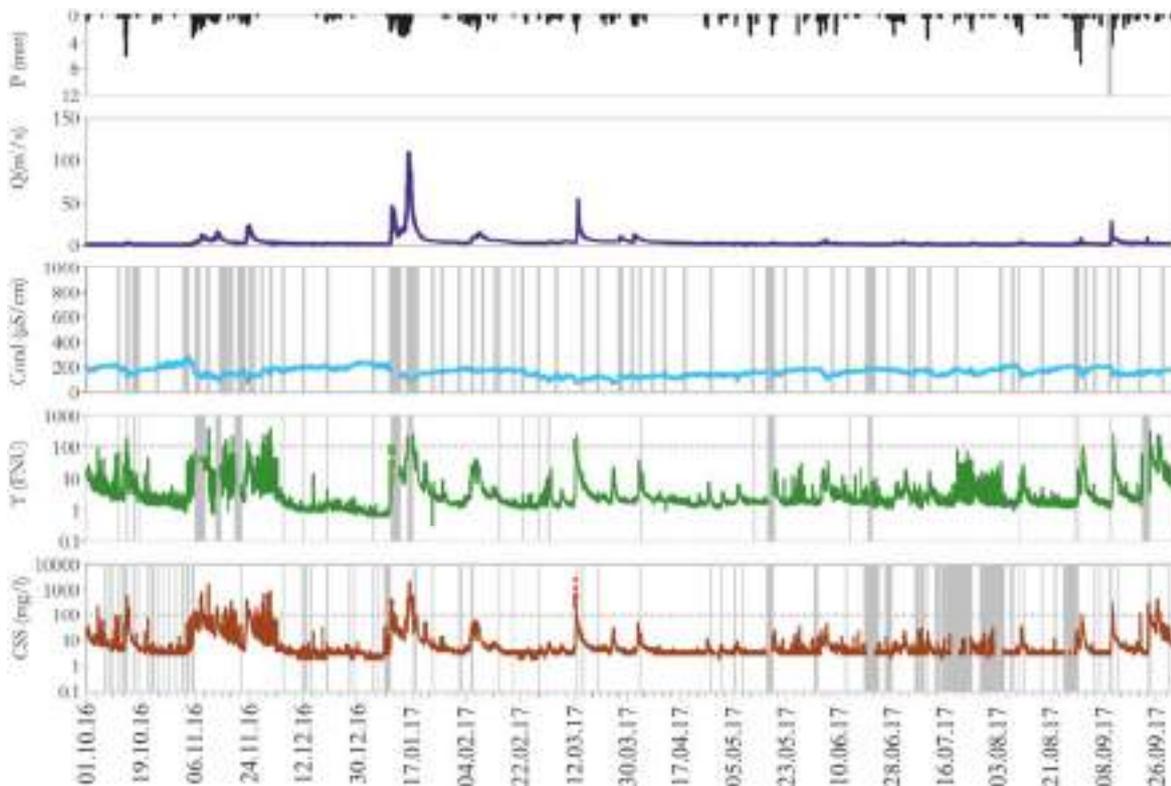


Figura 8: Evolución temporal diezminutal de las precipitaciones (mm), los caudales (m³/s), la conductividad eléctrica (µS/cm), la turbidez (NTU) y la concentración de sedimentos en suspensión (mg/l) en la estación de aforo de Leitzarán durante el año hidrológico 2016-2017.

4. Relaciones entre las mediciones de turbidez y CSS

Una vez procesadas las muestras de laboratorio se ha tratado de establecer las relaciones entre las medidas de turbidez y de concentración de sedimentos en suspensión (CSS) registradas en el campo y las determinadas en laboratorio.

4.1 Relaciones entre las mediciones de campo

En el caso de las medidas tomadas directamente en el campo (mediante las sondas Solitax®) durante el 2016-2017 la regresión entre la turbidez (T) y la CSS da un coeficiente de correlación de Pearson muy alto dejando en evidencia la muy buena relación entre estos parámetros medidos en campo. Lo lógico es que las relaciones sean buenas, ya que el principio de medición es el mismo y también el tipo de sonda utilizada.

$$\text{CSS} = 1.62 * \text{T (a)} ; \text{T} = 0.42 * \text{CSS (b)} \quad (\text{R}^2 = 0.67) \quad (\text{ecuación 1})$$

De todos modos, y para todos los casos, existen puntos que se alejan de la regresión general, lo cual, puede deberse a dos situaciones. Por un lado, en los casos en los que se observan mediciones de CSS muy altas y medidas de turbidez muy bajas, las diferencias pueden estar relacionadas con la diferente ubicación de las sondas (afección puntual por hojas, o similar, en el río), estos datos no han sido considerados en la regresión. Por otro, existen nubes de puntos consecutivos en la serie temporal ubicados por encima de la recta de regresión y que en un primer análisis muy somero se ha observado que pertenecen a unas mismas crecidas. Este tipo de diferencias en las relaciones entre la turbidez y la CSS se puede atribuir a diferencias en las características físicas de los sedimentos relacionadas con cambios puntuales en las fuentes de los mismos (obras cerca del cauce, tormentas localizadas que remuevan el sedimento de zonas concretas...). Este tipo de cambios ya ha sido observado para la cuenca de Aixola (Zabaleta *et al.*, 2006). En este caso los datos no se han eliminado y sí que se han tomado en cuenta a la hora de realizar las regresiones. También se han eliminado los datos iguales o muy cercanos al límite superior de medida de la sonda de turbidez, es decir los datos superiores a 490 NTU, o de la de CSS (datos superiores a 4990 mg/l).

La relación turbidez-CSS se describe adecuadamente con un modelo lineal, lo que puede significar que, en general y salvo crecidas puntuales, las propiedades físicas de las partículas en suspensión son más o menos constantes (Foster *et al.*, 1992; Gippel, 1995). Esta relación ha sido utilizada para rellenar las lagunas de datos de turbidez y de CSS de campo siempre que fuese posible. De este modo, ha sido posible disminuir el número de lagunas existentes en las series originales de turbidez y CSS aplicando la regresión a dichas series. En la tabla 1 se muestra el porcentaje de datos nulos existentes a escala mensual en las series de T y CSS de la estación de aforos de Leitzarán una vez realizadas las correcciones posibles. En general no existe un porcentaje de lagunas significativo, sin embargo, los momentos en los que falta un mayor número de datos son momentos de mayor transporte (aguas altas) por lo que es necesaria la consideración de los datos mostrados en esta tabla de cara a poder realizar una valoración más realista de los cálculos que se muestran en el apartado de resultados.

Tabla 1: Porcentaje de datos nulos (inexistentes u erróneos) en las series de turbidez (T) y concentración de sedimentos en suspensión (CSS) en la estación de Leitzarán a escala mensual. Los cálculos se han realizado una vez rellenados todos los huecos posibles utilizando las ecuaciones 1a y 1b.

mes	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
% lagunas	0.04	0.05	0.00	0.00	6.63	3.63	0.00	0.04	0.05	0.13	0.30	0.18

4.2 Relaciones con las medidas de laboratorio (2013-2017)

En la figura 9 se compara la relación entre los datos de CSS de campo (mg/l) y los de laboratorio (mg/l) correspondiente al 2016-2017 (fase III b) con la misma relación para fases anteriores de estudio (UPV/EHU, 2016). La fase previa corresponde al periodo anterior al comienzo de la demolición de la presa de Inturia; la primera fase al año hidrológico 2013-2014, tras la demolición de los tres primeros metros de presa; la segunda fase al año hidrológico 2014-2015, tras la segunda demolición parcial de Inturia que correspondería a otros 3 metros aproximadamente. La fase III se divide en dos partes: la correspondiente al año hidrológico 2015-2016 (fase III a), tras las tercera y cuarta fases de demolición de Inturia y durante la realización de los trabajos de Truchas-erreka, y la correspondiente al último año analizado 2016-2017 (fase III b). Se observa que los datos obtenidos durante el 2016-2017 son de una menor concentración que los de años anteriores y que, además, muestran una importante dispersión, lo cual no permite establecer una regresión aplicable entre los datos de campo y los de laboratorio. Estas regresiones no se utilizarán en la calibración de los datos de CSS, ya que el método utilizado para ajustar el modelo de regresión es el descrito más adelante.

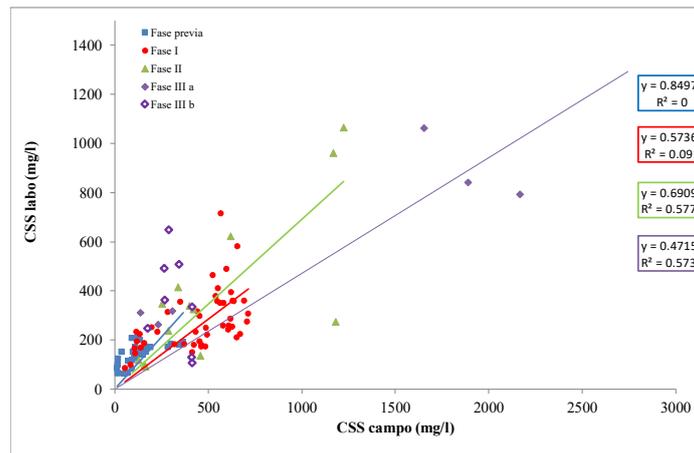


Figura 9: Regresiones lineales ajustadas entre las medidas de campo (CSS campo) y de laboratorio (CSS labo) correspondientes a la estación de aforos de Leitzarzan para los años 2013-2016. También se muestran los datos para 2016-2017 aunque no se haya realizado la regresión entre ellos. Las muestras recogidas para cada fase del proyecto se han indicado con diferentes colores.

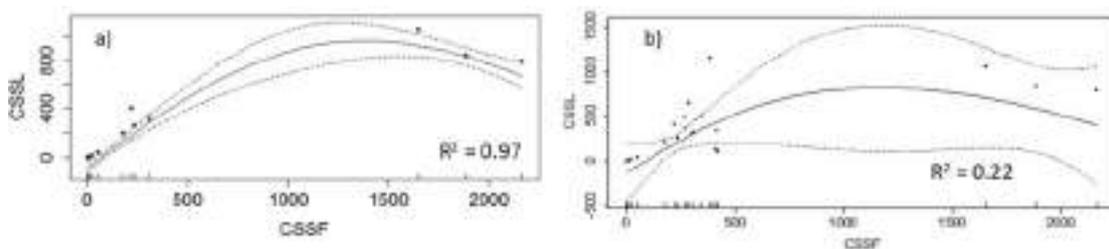


Figura 10: Modelos GAM ajustados entre las medidas de campo (CSS campo (CSSF)) y de laboratorio (CSSL) correspondientes a la estación de aforos de Leitzarzan para la fase III. a) con datos del periodo octubre 2015-septiembre 2016 y b) con datos del periodo octubre 2015-septiembre 2017. Se incluye el intervalo de confianza del 95%.

El modelo GAM ajustado solamente para las muestras obtenidas durante el año 2015-2016 (Figura 10 a), aunque es significativo desde el punto de vista estadístico, con un R^2 ajustado de 0.97 y una significancia de 0.0001, integra pocos datos, y además, no cubre de manera adecuada el rango de datos intermedios. Esto se debe a que ha sido necesario desechar una gran parte de los datos obtenidos en laboratorio debido a que en algunos momentos, aunque se ha obtenido un dato fiable en el laboratorio, no se dispone del dato de campo debido a fallos en la lectura de la sonda de CSS de campo (Figura 8). El modelo ajustado para los datos de la totalidad de la fase III (Figura 10 b) incluye una mayor dispersión en los datos, y empeora de manera significativa el coeficiente de determinación (R^2 ajustado de 0.22), además de ampliar de manera importante el intervalo de confianza. En ambas figuras también se observa una disminución de la CSS de laboratorio para valores altos de CSS de campo. Esta disminución hace que al aplicar el modelo a valores altos de CSS de campo (por encima de 4000 mg/l) se obtengan valores negativos de CSS calibrada. Por ello, y a la espera de que durante los años posteriores de este seguimiento se puedan obtener muestras con valores más altos de concentración, se ha prescindido de las dos muestras de mayores valores de CSS, siendo la muestra de mayor CSS de campo considerada la de 1653 mg/l.

Teniendo en cuenta los problemas habidos durante la fase III para la recogida de muestras representativas, y la gran dispersión existente en los pocos datos existentes, se ha tratado de ajustar un modelo GAM a los datos existentes desde 2013, antes del comienzo del derribo de la presa de Inturia (Figura 11). Dicho ajuste se puede observar en la figura 11, y aunque muestra un coeficiente de determinación menor, R^2 ajustado de 0.63, que el ajuste realizado para el 2015-2016, el número de muestras involucradas es mayor, $n = 103$, y estadísticamente es muy significativo.

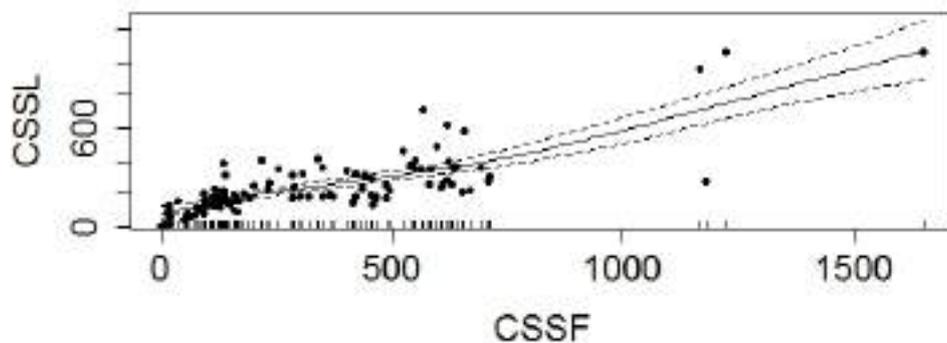


Figura 11: Modelo GAM ajustado entre las medidas de campo (CSS campo (CSSF)) y de laboratorio (CSSL) correspondientes a la estación de aforos de Leitzaran para el periodo mayo 2013-septiembre 2017. Se incluye el intervalo de confianza del 95%.

Debido a los cambios tan importantes que están ocurriendo en la cuenca en los últimos años es difícil conocer la procedencia y el tipo de sedimento que está pasando en cada momento por la estación de aforos. Y, aunque lo ideal sería poder tener una curva de calibración con un gran número de muestras y un R^2 alto para cada fase del estudio, no está resultando posible lograr el suficiente número de muestras en un rango suficientemente amplio para ello. Por lo tanto, y teniendo en cuenta la mezcla de tipos de

sedimento que en estos momentos puede estar llegando a la estación de aforos, se ha optado por utilizar el modelo ajustado con todas las muestras obtenidas hasta el momento (Figura 11) para calibrar los datos de CSS registrados por la sonda. De todos modos, este modelo no es definitivo y puede cambiar durante las fases posteriores del presente seguimiento.

Una vez que se han establecido los modelos de ajuste entre la CSS de campo y la de laboratorio y sus intervalos de confianza del 95% (CSSL_inf, para el intervalo inferior y CSSL_sup para el superior), se ha calculado la carga de SS mensual y anual (en toneladas) utilizando las mediciones diezminutales de CSSF. Para cada medición diezminutal, la estimación de la CSS (la calibrada) se realizó basándose en el modelo GAM ajustado y su intervalo de confianza (CSSL_inf, CSSL_sup) (Figura 12).

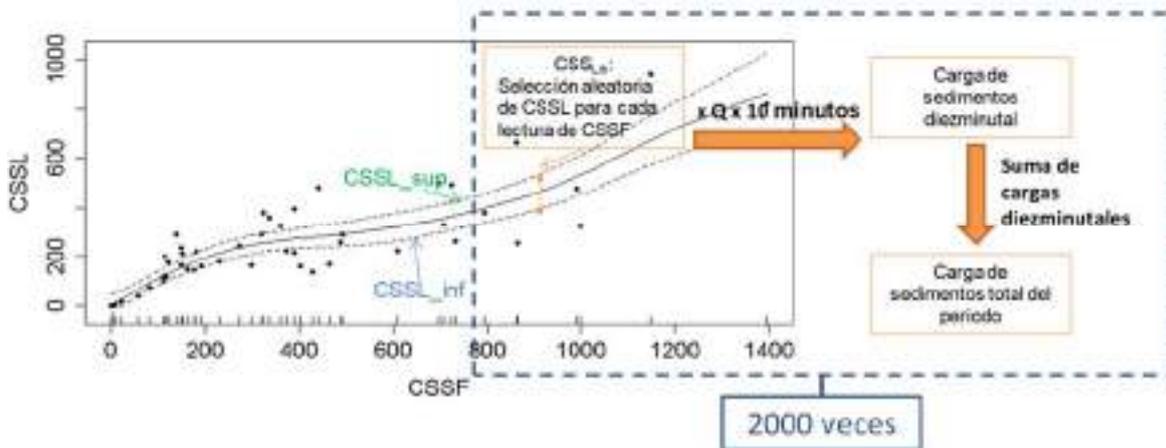


Figura 12: Diagrama explicativo de la metodología utilizada en el cálculo de la exportación de sedimentos en suspensión de la cuenca del Leizaran.

Con el objetivo de permitir la propagación de la incertidumbre asociada a esa relación CSSF-CSSL (dada por el intervalo de confianza) a los resultados obtenidos, la carga de sedimento para cada intervalo de tiempo se ha determinado a partir de los datos correspondientes de campo (CSSF) teniendo en cuenta el intervalo de confianza del 95% del modelo GAM ajustado (Figura 12). Para ello, para cada CSSF se ha seleccionado aleatoriamente una CSSL del intervalo de confianza del 95% del modelo GAM y se ha multiplicado por el caudal correspondiente. Este proceso se ha realizado para cada intervalo diezminutal en el periodo de tiempo seleccionado (mes, año hidrológico) y se ha repetido 2000 veces (con 2000 elecciones aleatorias de la CSSL para cada lectura de CSSF dentro del intervalo de confianza del modelo). Para dicho fin, se ha utilizado la siguiente ecuación (ecuación 2),

$$SS_b = \sum_{i=1}^n \widehat{CSS}_{Lib} * Q_i * tiempo \text{ (ecuación 2)}$$

donde \widehat{CSS}_{Lib} es la concentración de sedimentos en suspensión seleccionada aleatoriamente en el intervalo (CSS_inf - CSS_sup), Q es el caudal instantáneo, tiempo es el intervalo diezminutal en el que se registran datos y SS_b es la carga de sedimentos estimada para el intervalo de tiempo seleccionado (mes, año) en cada una de las réplicas entre 1 y 2000. Este procedimiento permite derivar parámetros

estadísticos básicos (media, desviación estándar) para las estimaciones de exportación de SS, basándose en la distribución de las 2000 réplicas y en la consideración de los intervalos de confianza inherentes al modelo de calibración de la CSS en la estimación de la carga total.

5. Resultados

5.1. Series de datos diezminutales

En la figura 13 se muestran los datos diezminutales de precipitación (P, mm), caudal (Q, m³/s) y concentración de sedimentos en suspensión (CSS, mg/l) desde la puesta en funcionamiento de la sonda de CSS hasta septiembre de 2017. A simple vista, se observan mayores valores de CSS para los periodos posteriores a las demoliciones parciales, aunque durante el 2016-2017 parece haber un descenso en las concentraciones, lo cual se tratará de verificar a lo largo de este apartado con un tratamiento más profundo de los datos.

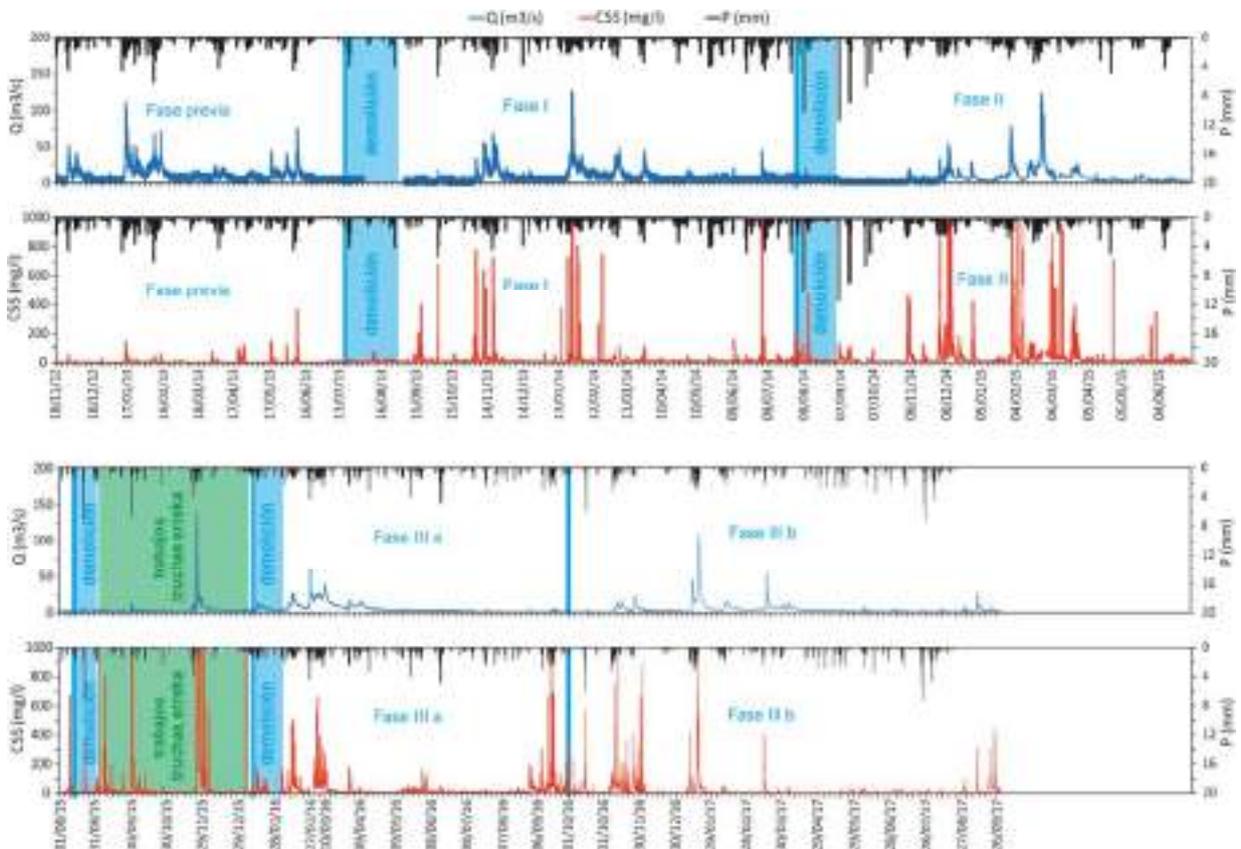


Figura 13: Datos diezminutales de precipitación (P, mm), caudal (Q, m³/s) y concentración de sedimentos en suspensión (CSS, mg/l) correspondientes al periodo analizado (18/11/2012 a 30/09/2017) en la estación de aforos de Leitzarán.

Tabla 2. Mínimo, percentiles 10, 25, 50, 75, 90 y 99, y máximo de los datos diezminutales de precipitación (P, mm), caudal (Q, m³/s), concentración de sedimentos en suspensión (CSS, mg/l), turbidez, conductividad eléctrica (CE, μS/cm) y pH de la estación de aforos de Leitzaran correspondientes a la fase previa (18/11/2012 a 31/07/2013), a la fase I (01/08/2013 a 31/07/2014), a la fase II (01/08/2014 a 31/07/2015) y a la fase III (a) 01/08/2015 a 30/09/2016 y b) 01/10/2016 a 30/09/2017)

		P (mm)	Caudal (m ³ /s)	pH	CE (μS/cm)	T (NTU)	CSS (mg/l)
Fase Previa	min	0	0.94	6.87	77	0	0
	Q10	0	2.57	7.28	124	2	0
	Q25	0	4.00	7.40	138	2	0
	Q50	0	6.49	7.58	155	3	0
	Q75	0	11.56	7.73	184	5	3
	Q90	0.1	21.25	7.92	200	13	5
	Q99	0.9	48.52	8.28	223	95	55
	max	6.1	102.15	8.64	261	403	367
I. Fase	min	0	0.22	7.05	0	0	0
	Q10	0	0.95	7.35	124	2	3
	Q25	0	2.33	7.45	143	2	4
	Q50	0	3.64	7.56	160	3	5
	Q75	0	6.74	7.71	202	6	8
	Q90	0	16.60	7.86	216	14	17
	Q99	0.7	43.16	8.21	234	87	182
	max	5.3	119.01	8.46	252	456	969
Fase II	min	0	0.5992	6.83	45	0.3	0
	Q10	0	1.0636	7.32	129	1.6	4
	Q25	0	1.9107	7.42	148	2	5
	Q50	0	3.9567	7.54	171	3.3	7
	Q75	0	8.0375	7.85	194	9.2	19
	Q90	0.1	16.3268	7.94	206	23.8	56
	Q99	0.8	53.5639	8.18	225	106.993	425
	max	11.4	124.875	8.59	248	461.4	4988
Fase III a	min	0	0.2119	6.82	82	0.2	0
	Q10	0	0.8246	7.56	138	1.5	4
	Q25	0	1.074	7.69	157	2.2	5
	Q50	0	2.4179	7.79	181	3.4	7
	Q75	0	4.6919	7.89	209	8.3	15
	Q90	0	10.7395	7.99	217	25.2	44
	Q99	0.7	27.7821	8.15	233	155.89	508.61
	max	6.8	139.347	8.27	249	497.8	4988
Fase III b	min	0	0.2987	6.92	70	0.3	2
	Q10	0	0.8879	7.37	129	1.3	3
	Q25	0	1.1806	7.47	147	1.6	3
	Q50	0	1.781	7.63	172	2.1	4
	Q75	0	3.9336	7.84	189	4.1	7
	Q90	0	7.473	8.01	208	12.5	26
	Q99	0.6	33.0946	8.47	237	82.444	202
	max	7.2	110.22	8.79	285	403.9	2231

De las series de precipitación, caudal y CSS correspondientes a la fase previa se deduce que la respuesta sedimentaria de la cuenca es bastante limitada, ya que, aunque normalmente la CSS del río aumenta durante los eventos lluviosos, se observan varios eventos de precipitación con muy escaso aumento de sedimentos en las aguas, incluso eventos de crecida importantes en los que la CSS difícilmente llega a los 100 mg/l. Esta respuesta limitada es reflejo de la capacidad de retención de sedimentos de esta cuenca, tanto en la propia presa de Inturia, como en otras presas más pequeñas, e incluso en las áreas de remanso del propio río que, en crecidas habituales, no extremas, se comportan como zonas de depósito de los materiales transportados en suspensión. Por ello, y aunque en las fases posteriores se observa que la disponibilidad de sedimento para ser transportado por el río Leizaran aumenta, era de esperar que no todo el sedimento retenido tras Inturia iba a ser exportado inmediatamente de la cuenca y que, una parte, que se intentará cuantificar durante el presente informe, quede depositada temporalmente, en otras zonas del río ubicadas entre la presa de Inturia y la estación de aforos.

En la tabla 2 se han incluido algunos estadísticos de los datos diezminutales de P, Q, CSS, CE (conductividad eléctrica, $\mu\text{S}/\text{cm}$), pH y OD (oxígeno disuelto, mg/l) de la estación de aforos de Leizaran durante la fase previa, la fase I, la fase II y la fase III (2015-2016 y 2016-2017) respectivamente.

No existen importantes diferencias en lo que respecta a la intensidad de las precipitaciones de las dos primeras fases y la fase III comparadas en el presente documento. En la fase II la intensidad máxima registrada es el doble que en el resto de fases, de modo que los resultados de otras variables pueden estar condicionados por este hecho. Los caudales máximos son mayores para la fase II y el primer año de la fase III (2015-2016), aunque las diferencias con el resto de fases son relativamente pequeñas.

Así, las diferencias más destacables entre las tres fases se observan en la concentración de sedimentos en suspensión, en la que se alcanzan valores muy superiores en la fase I, del orden de tres veces mayores a los de la fase previa, y, sobre todo, en la fase II y el primer año de la fase III, en las que se han registrado concentraciones de un orden de magnitud mayores que en las fases anteriores. La alta disponibilidad de sedimentos puede ser la razón de que, durante estas fases, los sedimentos estén mucho más concentrados que en la fase I. Más adelante en este informe se analizará si esta diferencia supone una cantidad total de sedimento mayor o no. En el segundo año de la fase III (2016-2017) se observa una disminución en las concentraciones de sedimentos en suspensión, que se tratará de analizar si tiene alguna relación con un progresivo agotamiento de los sedimentos disponibles en la cuenca. En el resto de variables, pH o CE no se observan cambios destacables.

En la figura 14 se observa la relación entre el caudal y la concentración de sedimentos en suspensión registrados en la estación de aforos de Leizaran entre el 18 de noviembre de 2012 y el 30 de septiembre de 2017. Se han coloreado en color azul los datos correspondientes a la fase previa, en rojo los correspondientes a la fase I, en verde los de la fase II y en morados los de la fase III (color claro para el 2015-2016 y oscuro para el 2016-2017). Es evidente la dispersión de los datos con grandes diferencias en la CSS para un mismo caudal, relacionada, hasta cierto punto, con la existencia de bucles de histéresis en las relaciones CSS – Caudal durante las crecidas y con la diferente respuesta hidro-sedimentaria de la cuenca dependiendo de las características del evento.

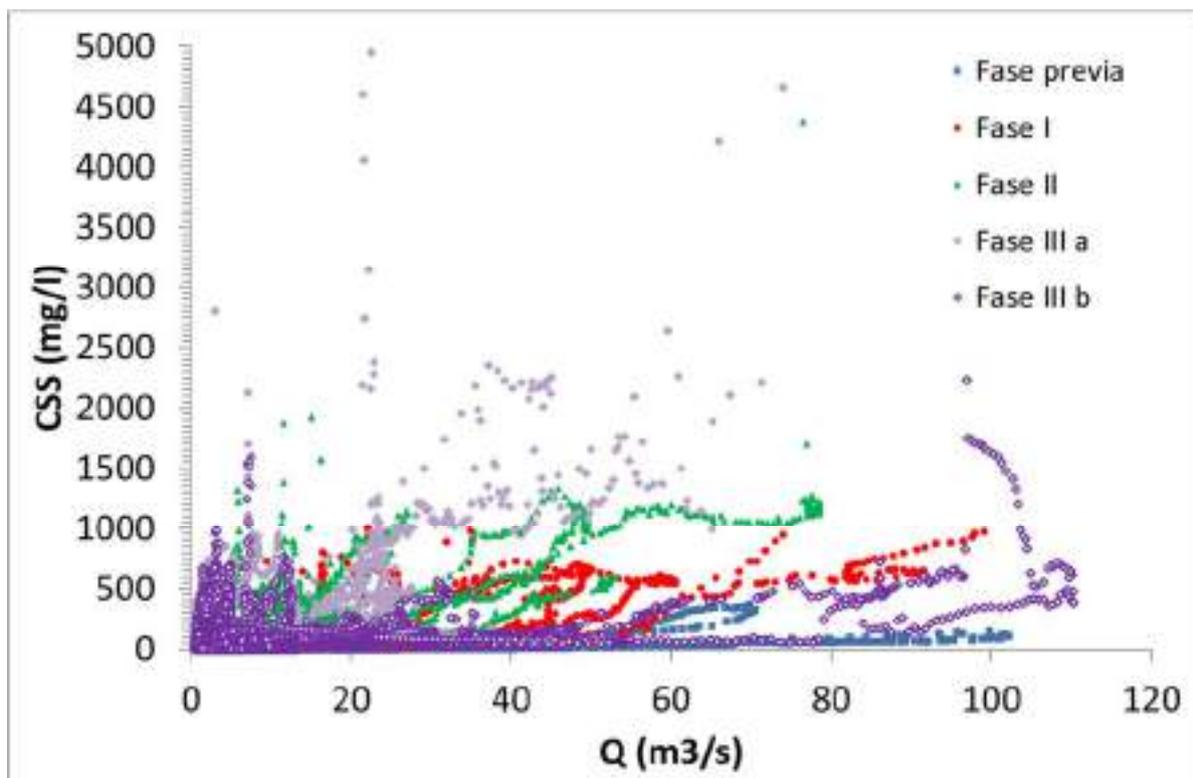


Figura 14: Relación entre los datos diezminutales de CSS (mg/l) y caudal (m^3/s) entre el 18 de noviembre de 2012 y el 30 de septiembre de 2017. En azul los datos correspondientes a la fase previa (18/11/2012 a 31/07/2013), en rojo los correspondientes a la fase I tras la primera demolición parcial de la presa (01/08/2013 a 31/07/2014), en verde los datos correspondientes a la fase II tras la segunda demolición parcial de la presa (01/08/2014 a 31/07/2015) y en morado los datos correspondientes a la fase III, en color claro los del primer año (01/08/2015 y 30/09/2016) y en más oscuro los del segundo año (01/10/2016 y 30/09/2017).

Pero esta dispersión se debe, también, a que la CSS registrada para un mismo caudal durante la fase I es mayor que durante la fase previa, y todavía mayor durante la fase II y el primer año de la fase III, debido a la mayor disponibilidad de sedimento proveniente del río. Durante el segundo año de la fase III parece que disminuye la CSS para un caudal dado, lo cual apunta a que, aunque parte del sedimento se haya podido quedar atrapado en las diversas trampas existentes a lo largo del Leitzarán, entre Inturia y la estación de aforos, existe un paulatino agotamiento del sedimento disponible para ser exportado durante las crecidas.

Además, esta mala relación entre los dos parámetros deja clara la necesidad de controlar los sedimentos en suspensión de una manera independiente, mediante sondas ópticas adecuadamente calibradas, y el error que se cometería si se calculase la concentración de sedimentos en suspensión en relación al caudal.

5.2. Estimación preliminar de la exportación de sedimentos en suspensión. Distribución a lo largo del año.

En la figura 15 se muestran la distribución porcentual mensual de las precipitaciones, los caudales y la exportación de sedimentos en suspensión (estimado a partir de la mediana de las exportaciones calculadas para cada mes), el porcentaje diario acumulado de la escorrentía y la exportación de sedimentos en suspensión (determinado a partir de la CSS ajustada al modelo) y la distribución de los caudales medios diarios de cada mes ordenados de mayor a menor, todo ello referido al año 2016-2017 (fase III) para la estación de aforos de Leitzaran. Es preciso considerar los datos de exportación de sedimentos en suspensión con cautela debido a la dificultad de obtener muestras de campo representativas. Sin embargo, el cálculo derivado se podrá considerar como una referencia del orden de magnitud de la exportación durante el periodo estudiado.

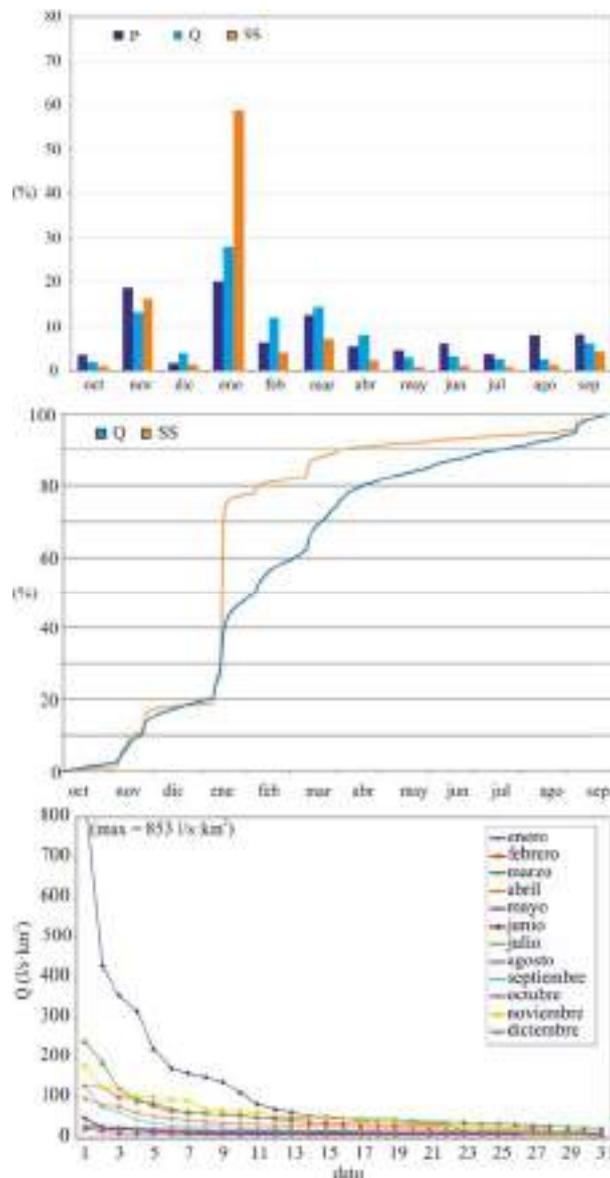


Figura 15: Distribución porcentual mensual de la precipitación (P), la escorrentía (Q) y la exportación de sedimentos en suspensión para la estación de aforos de Leitzaran durante el año 2016-2017. Debajo, el porcentaje diario acumulado de escorrentía y exportación de sedimentos en suspensión. En la figura inferior la distribución de los caudales diarios medios de cada mes (ordenados de mayor a menor).

Los meses más lluviosos del 2016-2017 han sido noviembre y enero, siendo este último el de mayor escorrentía y exportación de sedimentos, con aproximadamente un 60 % de la exportación de sedimentos en suspensión de este año. De manera muy similar, se observa en la figura inmediatamente inferior que la mayor parte de la exportación se da a mediados de enero, y que en noviembre se exporta también una cantidad de sedimento considerable, aunque de manera más progresiva. El pulso de enero coincide con los caudales máximos diarios más importantes del año, de entre 400 y 853 l/s·km². En marzo, los caudales máximos son superiores a 200 l/s·km², sin embargo, la exportación de sedimentos no supera el 10% en un pulso de pequeña entidad que se dio a mediados de mes. En noviembre, con caudales menores a 200 l/s·km², la exportación, distribuida en varios pulsos, llega a rozar el 20 % anual, quizás por una mayor disponibilidad de sedimentos a comienzos de año, que parece se van agotando durante el 2016-2017.

Para estimar la masa total de sedimento exportada (tanto mensual como anual) se ha utilizado la metodología propuesta en el punto 4.2 del presente informe. De este modo, desde el 1 de octubre de 2016 hasta el 30 de septiembre de 2017 se han exportado desde el Leitzaran 9200±40 t de sedimentos en suspensión, unas 84±0.36 t/km², muy por encima de las 20 t/km² que se exportaban antes de las demoliciones parciales.

Sin embargo, si se comparan los datos de exportación de sedimentos en suspensión obtenidos para el 2016-2017 con los obtenidos para el 2014-2015 y 2015-2016 (tabla 3), se observa que la exportación de sedimentos en suspensión está muy por debajo para el 2016-2017, aunque la precipitación es algo mayor a la del 2015-2016 y la escorrentía menor a la de los dos años anteriores, lo cual podría explicarse por el comienzo del agotamiento de los sedimentos (procedentes de la demolición) que hasta ahora han estado disponibles para el transporte en crecidas ordinarias.

Tabla 3: Precipitación en la cuenca (P, mm), escorrentía (Q, mm), masa total de SS exportada (t) y masa específica de SS exportada (t/km²), con sus desviaciones estándar (d.s.), en la estación de Leitzaran durante los años hidrológicos 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017.

	P (mm)	Q (mm)	t	d.s.	t/km ²	d.s.
2014-2015	2267	1790	16200	36.59	147	0.33
2015-2016	1782	1352	33300	80.22	303	0.73
2016-2017	1811	1097	9200	39.67	84	0.36

En la figura 16 se muestra la distribución mensual de la exportación de sedimentos en suspensión (SS_t) junto con la de la precipitación (P) y la de la escorrentía (R) desde septiembre de 2013 hasta septiembre de 2017. En ella se observa claramente que noviembre de 2015 (advertir el cambio de escala en el eje vertical de la SS_t) ha sido el mes con una mayor exportación de sedimentos, muy por encima del resto de meses. Aunque, estos datos hay que tomarlos con prudencia, en cierto modo es lógico que así sea, ya que durante septiembre de 2015 se realizaron los trabajos de demolición de la presa de Truchas-errika, situada a unos 2 km de la estación de aforos del Leitzaran, y no existen obstáculos importantes entre estos dos puntos. Por ello, las primeras lluvias fuertes habrían sido capaces de generar suficiente caudal para transportar una gran cantidad de sedimentos liberados. En otro orden de magnitud, con una bastante menor exportación total, noviembre de 2013, enero y diciembre de 2014, especialmente enero, febrero y marzo de 2015, marzo de 2016 y enero de 2017 han sido los meses en los que se ha exportado la mayor parte del sedimento. Se observa también,

claramente que a partir de enero de 2017 la exportación de sedimentos ha estado muy por debajo del resto de meses, si se tiene en cuenta la cantidad de precipitación y de escorrentía. De este modo, desde el 1 de septiembre de 2013 hasta el 30 de septiembre de 2017 se han exportado desde el Leitzarán unas 71400 t de sedimentos en suspensión, 650 t/km².

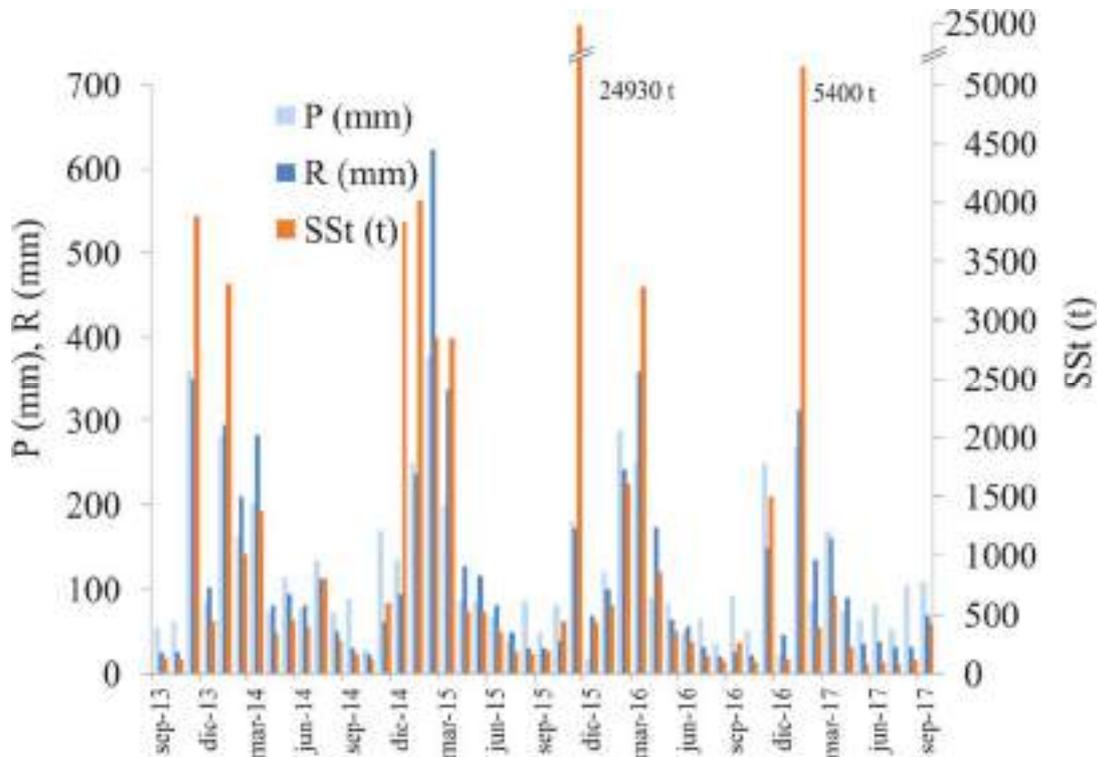


Figura 16: Distribución mensual de la exportación de sedimentos en suspensión (SSt), la precipitación (P) y la escorrentía (R) desde septiembre de 2013 hasta septiembre de 2017.

Con el fin de realizar una estimación del volumen que podría representar esta cantidad de sedimentos se ha realizado un cálculo utilizando una densidad media de los sedimentos de 1.14 t/m³. Esta densidad media ha sido calculada a partir de datos de 19 trampas de sedimentos referenciados en la literatura (Verstraeten y Poesen, 2002). De este modo, la cantidad de sedimento en suspensión exportada de 71400 t ocuparía un volumen estimado de unos 62700 m³, lo cual representa aproximadamente un 26 % de los sedimentos que se estimó que se liberarían tras el derribo total de Inturia, a lo que habría que sumar lo liberado desde Truchas-erreka. El resto de sedimentos, sobre todo los provenientes de Inturia, habrían quedado acumulados en las diferentes trampas y remansos existentes entre la presa de Inturia y la estación de aforos de Leitzarán. Teniendo en cuenta esta misma relación se ha calculado que el volumen de sedimento exportado durante el 2016-2017 habría sido de 8040 m³.

5.3. Variabilidad diaria de la escorrentía (R) y de la carga de sedimentos en suspensión (SS). Secuencias acercamiento-acumulación/exportación-agotamiento

En la figura 17 se muestra el gráfico de doubles masas entre los datos diarios de escorrentía (R, mm) y de sedimentos en suspensión (SS, t/km²) para el periodo 2013-2017. En este gráfico se observan dos tipos de tramos, aquellos en los que la pendiente es mayor, y, por lo tanto, el crecimiento de los sedimentos es mayor con respecto al de la escorrentía, y otros en los que la pendiente es menor, y el crecimiento de los sedimentos es menor que el de la escorrentía. Estos dos tipos de pendientes se relacionan (DFG, 2015) con las secuencias acercamiento-acumulación/exportación-agotamiento, de modo que en los momentos en los que la pendiente es mayor es la exportación y, consecuentemente, el agotamiento de sedimentos anteriormente acumulados, el proceso que impera sobre el resto, y en los momentos de menor pendiente, es el acercamiento y la acumulación de sedimentos el proceso más relevante.



Figura 17: Gráfico de doubles masas entre la escorrentía (R, mm) y la carga de sedimentos en suspensión (SS, t) de la estación de aforo de Leitzaran entre 2013-2014 y 2016-2017, inmediatamente posterior a la Fase I de demolición.

En la figura 17 destaca el importante pulso de sedimentos de noviembre de 2015. Este pulso coincide con los trabajos realizados en Truchas-Erreka. Además, en la figura se han marcado mediante líneas discontinuas de color naranja los diferentes tramos de menor pendiente, en los que imperaría la acumulación frente a la exportación. En ellos se observa que apenas existen tramos paralelos o sub-paralelos al eje x, y que, por lo tanto, la exportación de sedimentos se da de forma continuada, lo cual se relaciona con una gran disponibilidad de los mismos. Sin embargo, y en consonancia con lo observado en otros puntos de este informe, el tramo final de la gráfica, a partir de enero de 2017, muestra una menor pendiente que el resto de tramos de acumulación, lo cual como bien se ha

venido diciendo, puede estar relacionado con el comienzo del agotamiento de los sedimentos disponibles en la cuenca para crecidas ordinarias.

5.4. Muestreos

Muestreos de fondo y muestreos integrados en el tiempo

En la tabla 5 se muestran los parámetros medidos en campo durante las campañas de muestreo de sedimentos de fondo realizadas el 23 de julio de 2013, el 5 de junio de 2014, el 3 de noviembre de 2014, el 9 de junio de 2015 (seguimientos GURATRANS (UPV/EHU, 2014)), el 1 de septiembre de 2016 y el 6 de septiembre de 2017 (campañas incluidas en el seguimiento asociado al Irekibai). Estos datos resultan de relevancia para la contextualización de los datos obtenidos en las analíticas realizadas y la correcta comparación de las mismas. La localización de los puntos de muestreo se muestra en la figura 4. Todos estos parámetros indican una buena calidad de la masa de agua en ese momento, aunque llaman la atención los datos de Redox de la campaña de 2016-2017, por ser más altos que los de años anteriores. Sin embargo, no hay que descartar fallos en la sonda, ya que hubo algunas dificultades en las mediciones que tuvieron que ser realizadas en reiteradas ocasiones. Los datos de próximas campañas ayudarán a realizar una valoración de la validez de estos datos. Problemas similares se dieron con la sonda de oxígeno disuelto (OD).

Tabla 5: pH, oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE), potencial Redox y temperatura (T) medidas in situ durante las campañas de muestreo de fondo realizadas el 23 de julio de 2013, el 5 de junio de 2014, el 3 de noviembre de 2014, el 9 de junio de 2015, el 1 de septiembre de 2016 y el 6 de septiembre de 2017. Se incluye la altura de la lámina de agua en la estación de aforos de Leitzaran (nivel, m).

	punto	pH	OD mg/l	CE μS/cm	Redox mV	T °C	nivel m
23/07/2013	P1	7.26	8.56	117	135	21.4	
23/07/2013	P2	6.92	8.78	114	89	20.6	
23/07/2013	P3	7.67	7.56	179	140	20.4	
23/07/2013	P4	7.93	9.29	178	171	20.8	0.35
05/06/2014	P1	8.07	10.08	120	147	14.6	
05/06/2014	P2	7.57	9.75	118	151	14.5	
05/06/2014	P3	7.54	9.05	134	158	14.9	
05/06/2014	P4	8.02	10	139	144	14.7	0.46
03/11/2014	P1	8.12	9.35	193	122	14.2	
03/11/2014	P2	8.32	9.65	185	176	14.2	
03/11/2014	P3	7.85	9.06	201	172	14.7	
03/11/2014	P4	8.56	9.92	203	108	14.8	0.21
09/06/2015	P1	7.62	9.32	94	119	16.4	
09/06/2015	P2	7.62	9.65	100	103	16.5	
09/06/2015	P3	7.94	9.07	162	97	16.5	
09/06/2015	P4	7.94	9.43	164	105	16.8	0.3
01/09/2016	OI	7.81	9.1	178	182	18.9	
01/09/2016	P1	8.22	9.27	161	209	19.9	
01/09/2016	P2	8.27	9.07	163	217	18.5	
01/09/2016	P3	8.38	8.97	179	215	19.4	
01/09/2016	P4	8.4	-	186	199	20.5	0.6
06/09/2017	OI	8.1		183	366	16.7	
06/09/2017	P1	8.24		178	325	16.9	
06/09/2017	P2	8.07		157	322	17.0	
06/09/2017	P3	8.15		169	475	17.0	
06/09/2017	P4	8.54		190	275	18.9	0.27

En la tabla 6 se muestra la analítica realizada en las muestras de agua recogidas durante los muestreos de sedimentos de fondo. Se trata de muestras con muy poco carbono orgánico debido a que se recogieron durante aguas bajas, requisito imprescindible para el muestreo de sedimentos de fondo. Además, no contienen carbono orgánico particulado, ya que su contenido particulado es prácticamente nulo. El contenido en compuestos nitrogenados y de fósforo también es bajo.

Tabla 6: Contenido en carbono orgánico total (TOC, mg/l), carbono orgánico disuelto (DOC, mg/l), carbono orgánico particulado (POC, mg/l) fósforo (P, mg/l) y nitrógeno (NO₃, NO₂ y NH₄, mg/l) en las muestras de agua recogidas durante las campañas de muestreo de fondo realizadas el 23 de julio de 2013, el 5 de junio de 2014, el 3 de noviembre de 2014, el 9 de junio de 2015, el 1 de septiembre de 2016 y el 6 de septiembre de 2017. <LD = bajo límite de detección. LD: P = 0.02 mg/l, NO₂ = 0.2 mg/l, NH₄ = 200µg/l.

etiqueta	fecha	punto	TOC mg/l	DOC mg/l	POC mg/l	P mg/l	NO ₃ mg/l	NO ₂ mg/l	NH ₄ mg/l
I1	23/7/2013	P1	1.574	2.794	0	<LD	1.5	<LD	<LD
I2	23/7/2013	P2	2.504	3.561	0	<LD	2.1	<LD	<LD
I3	23/7/2013	P3	2.457	3.362	0	<LD	2.9	<LD	<LD
I4	23/7/2013	P4	3.022	3.695	0	<LD	2.7	<LD	<LD
I5	05/06/2014	P1	1.415	2.232	0	<LD	2.6	<LD	<LD
I6	05/06/2014	P2	1.415	2.031	0	<LD	2.4	<LD	<LD
I7	05/06/2014	P3	1.685	1.92	0	<LD	2.6	<LD	<LD
I8	05/06/2014	P4	1.353	2.263	0	<LD	2.7	<LD	<LD
I1	03/11/2014	P1	2.022	1.843	0	<LD	2.7	<LD	0.1
I2	03/11/2014	P2	2.328	2.608	0	<LD	2.7	<LD	<LD
I3	03/11/2014	P3	2.876	3.413	0	<LD	3.4	<LD	<LD
I4	03/11/2014	P4	2.612	3.423	0	<LD	2.7	<LD	<LD
I1	09/06/2015	P1	2.501	2.488	0	<0.05	<0.4	<0.003	<0.2
I2	09/06/2015	P2	2.621	2.961	0	<0.05	<0.4	0.003	<0.2
I3	09/06/2015	P3	2.961	3.088	0	<0.05	<0.4	<0.003	<0.2
I4	09/06/2015	P4	1.839	1.466	0	<0.05	<0.4	0.003	<0.2
Oioki	01/09/2016	OI	4.96		0	<0.05	13.46	<0.02	<0.2
I1	01/09/2016	P1	4.23		0	<0.05	<4	<0.02	<0.2
I2	01/09/2016	P2	4.92		0	<0.05	<4	<0.02	<0.2
I3	01/09/2016	P3	5.24		0	<0.05	<4	<0.02	<0.2
I4	01/09/2016	P4	5.08		0	<0.05	<4	<0.02	<0.2
Oioki	06/09/2017	OI	3.91		0	0.04	<4	<0.02	<0.2
I1	06/09/2017	P1	3.64		0	0.04	<4	<0.02	<0.2
I2	06/09/2017	P2	3.64		0	<0.04	<4	<0.02	<0.2
I3	06/09/2017	P3	3.17		0	<0.04	<4	<0.02	<0.2
I4	06/09/2017	P4	3.29		0	<0.04	<4	<0.02	<0.2

En las muestras de fondo recogidas y en las muestras de SS recogidas en el muestreador Phillips se han realizado análisis de materia orgánica, nitrógeno, carbono e hidrógeno en la muestra < 2mm de diámetro (Tabla 7). Los contenidos en nitrógeno están por debajo del límite de detección de la técnica. En general, en lo que respecta a la materia orgánica (MO, %), las diferencias observadas entre los cinco muestreos realizados hasta el momento no parecen ser significativas. El mayor porcentaje de materia orgánica obtenido, en todas las campañas, se da en las muestras integradas en el tiempo (Phillips, Figura 18), lo cual puede deberse al crecimiento de algas en el dispositivo.

Tabla 7: Porcentajes de materia orgánica (MO, %), nitrógeno (N, %), carbono (C, %) e hidrógeno (H, %) de las muestras de fondo, así como de las muestras de SS integradas en el tiempo (Phillips).

	punto	MO %	N %	C %	H %
<hr/>					
<2mm					
<hr/>					
23/7/2013	P1	3.61	0.14	1.08	0.51
23/7/2013	P2	2.89	0.12	0.68	0.43
23/7/2013	P3	3.45	0.14	1.1	0.48
23/7/2013	P4	3.13	0.16	1.4	0.54
<hr/>					
05/06/2014	P1	2.68	0.17	1.02	0.53
05/06/2014	P2	2.52	0.12	0.65	0.43
05/06/2014	P3	4.84	0.17	1.82	0.54
05/06/2014	P4	3	0.1	0.74	0.42
<hr/>					
03/11/2014	P1	2.94	0.11	0.5	0.45
03/11/2014	P2	3.28	0.12	0.72	0.5
03/11/2014	P3	4.53	0.14	1.35	0.52
03/11/2014	P4	4.17	0.31	1.35	0.53
<hr/>					
09/06/2015	P1	5.46	0.16	1.85	0.55
09/06/2015	P2	2.53	0.08	0.37	0.37
09/06/2015	P3	4.86	0.16	1.69	0.47
09/06/2015	P4	2.46	0.08	0.4	0.36
<hr/>					
01/09/2016	OI	8	0.05	2.5	0.48
01/09/2016	P1	3.8	0.15	0.82	0.29
01/09/2016	P2	2.94	0.08	0.48	0.24
01/09/2016	P3	2.87	0.05	0.48	0.23
01/09/2016	P4	3.08	0.05	0.34	0.25
<hr/>					
06/09/2017	OI	3.2	0.14	1.02	0.49
06/09/2017	P1	5.9	0.33	3.94	0.82
06/09/2017	P2	3.43	0.14	0.83	0.42
06/09/2017	P3	3.11	0.14	0.58	0.4
06/09/2017	P4	2.82	0.13	0.58	0.4
<hr/>					
27/8/2013	Phillips	19	1	13.6	1.67
17/6/2014	Phillips	17.6	0.62	6.82	1.38
09/06/2015	Phillips	16.9	0.54	6.68	1.2
01/09/2016	Phillips	14.2	0.37	5.4	1
06/09/2017	Phillips	19.4	0.74	8.48	1.54

En la tabla 8 se incluyen los contenidos en fósforo (mg/kg), As (mg/kg), Fe (mg/kg), Mn (mg/kg), Zn (mg/kg), Ni (mg/kg), Cu (mg/kg), Cd (mg/kg) y Pb (mg/kg) en la fracción menor de 2mm de las muestras de fondo, así como de las muestras de SS integradas en el tiempo (Phillips). Además, y a modo de referencia, se han incluido los valores de algunos metales y del As, derivados de los análisis realizados a las muestras recogidas de los sondeos ligeros realizados en los sedimentos acumulados tras la presa. En el “Informe complementario para la Confederación Hidrográfica del Cantábrico en referencia al “Proyecto de demolición de la presa de Inturia en el río Leizaran”” (DFG, 2012) se

incluyen una serie de analíticas realizadas en muestras tomadas de 12 sondeos ligeros realizados en varias acumulaciones de sedimentos localizadas aguas arriba de la presa de Inturia. En esta tabla se ha incluido la media de los datos obtenidos en los 12 sondeos para los elementos coincidentes, que son: As, Zn, Ni, Cu, Cd, Pb.

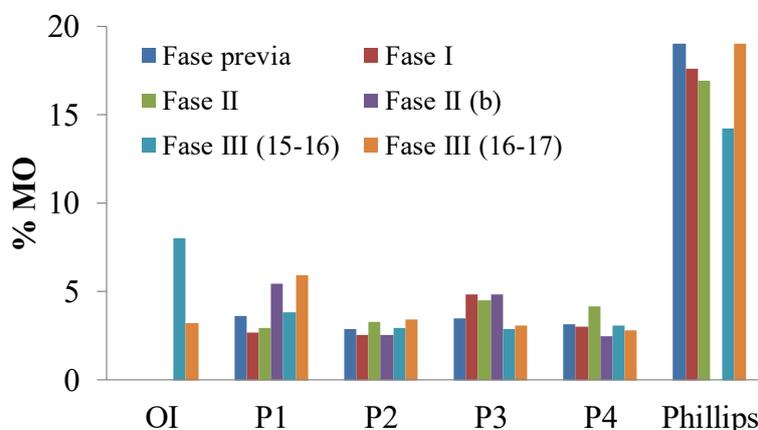


Figura 18: Porcentajes para la materia orgánica (MO, %) para los puntos de muestreo de fondo, así como para las muestras de SS integradas, en las campañas realizadas. En la Fase II se realizaron dos campañas (UPV/EHU, 2015).

Los datos recogidos en la tabla 8 muestran que los valores obtenidos para este último muestreo están por debajo de aquellos obtenidos para los sondeos ligeros. A la vista de los datos, se puede decir que la tendencia ascendente observada en la mayoría de los metales tras el derribo de Inturia ha dado paso a una tendencia descendente, que comenzó ligeramente en el muestreo de 2016 y que es más evidente en este último muestreo (2017). Muestra de ello es el caso del Zn, para el cual los valores correspondientes a las muestras integradas (Phillips) recogidas después del comienzo de los trabajos de derribo de Inturia superaban, ligeramente, a la media calculada a partir de los sondeos. Sin embargo, los datos obtenidos para el último muestreo se sitúan muy por debajo de dicha media. Parecidos al del Zn son el caso del Cu o del Pb, aunque en estos casos no se ha superado tan claramente la media de los sondeos.

En cuanto a la comparación entre fases, y con respecto a la fracción < 2mm, se puede decir que las concentraciones en metales pesados de los sedimentos depositados en el fondo en la última campaña se mantienen o disminuyen ligeramente con respecto a fases anteriores (Figura 19), a excepción del As y del Mn. Sin embargo, en los puntos más altos del río (OI y P1) esta tendencia no es tan clara, ya que existe un aumento en la mayoría de metales, como es el caso de Mn, Zn, Pb o Cu. Se constatan así las concentraciones algo mayores que en el resto de puntos del Mn en Oioki (OI), a lo que se hacía referencia en el informe anterior (UPV/EHU, 2016).

Tabla 8: Contenido en fósforo (mg/kg), As (mg/kg), Fe (mg/kg), Mn (mg/kg), Zn (mg/kg), Ni (mg/kg), Cu (mg/kg), Cd (mg/kg) y Pb (mg/kg) en la fracción menor de 2mm de las muestras de fondo, así como de las muestras de SS integradas en el tiempo (Phillips). También se han incluido los datos derivados de los sondeos ligeros realizados en los sedimentos acumulados tras la presa. <LD = bajo límite de detección. LD (Cd): 0.013 mg/kg, LD (Zn): 35 mg/kg. (Durante la fase II se realizaron dos muestreos de sedimento de fondo en diferentes fechas)

		punto	P	As	Fe	Mn	Zn	Ni	Cu	Cd	Pb
	<2mm		mg/kg								
Fase previa	23/7/2013	P1	321	8.59	24500	1450	112	8.33	21.8	<LD	39.2
	23/7/2013	P2	221	7.92	22600	1450	88.1	9.89	20.2	<LD	23.1
	23/7/2013	P3	293	7.68	20600	1160	98.1	7.09	16.9	<LD	21.7
	23/7/2013	P4	336	10	20800	1340	119	7.05	15.9	<LD	26.2
Fase I	05/06/2014	P1	311	10	18900	820	119	7.42	24.2	<LD	32.7
	05/06/2014	P2	275	9.36	18900	760	115	7.89	29.1	<LD	28.8
	05/06/2014	P3	360	11.1	17100	830	138	9.75	27.6	<LD	39.2
	05/06/2014	P4	288	8.74	15600	666	117	8.09	21.1	<LD	27
Fase II	03/11/2014	P1	416	8.93	10657	607	107	6.07	20.6	0.48	32.5
	03/11/2014	P2	319	7.74	10768	1440	105	5.86	13.7	0.16	24.7
	03/11/2014	P3	346	8.7	10307	1099	124	6.58	19.4	0.2	35.9
	03/11/2014	P4	344	7.84	9247	874	92.7	5.09	14.3	0.25	29.4
Fase II b	09/06/2015	P1	-	12.6	11824	775	134	7.88	30.5	0.33	45.3
	09/06/2015	P2	-	12	13101	1353	101	6.16	18.9	0.2	35.4
	09/06/2015	P3	-	10.2	9138	583	135	7.88	27	0.28	38.6
	09/06/2015	P4	-	10.4	9625	615	118	5.76	13.8	0.26	26.6
Fase III a	01/09/2016	OI	253	11.6	14618	2587	< LD	5.9	18	< LD	33
	01/09/2016	P1	349	10.4	13664	1227	112	9.4	34	< LD	44
	01/09/2016	P2	282	9.4	9248	1416	< LD	6.2	28	< LD	34
	01/09/2016	P3	360	10.1	9769	1000	< LD	6.5	18	< LD	29
	01/09/2016	P4	258	7.1	10105	1326	< LD	6	43	< LD	18
Fase III b	06/09/2017	OI	242	15.1	27172	9898	118	2.6	21.5	0.61	81
	06/09/2017	P1	359	13.4	9254	1390	224	8.9	35.5	0.36	94
	06/09/2017	P2	262	13.1	10999	2178	91	6.1	20.2	0.162	25.8
	06/09/2017	P3	261	11.8	7669	1387	92	5.4	17.7	0.148	27
	06/09/2017	P4	267	11.7	9076	1772	88	5.3	15.4	0.15	24.1
	27/8/2013	Phillips	428	3.43	9830	512	179	14.2	15.1	<LD	22
	17/6/2014	Phillips	691	14.8	28700	1920	308	16.4	43.2	<LD	69.4
	09/06/2015	Phillips	-	19.5	16500	1110	315	14.6	63.5	0.9	91.4
	01/09/2016	Phillips	517	15	14441	985	301	13.7	62	0.7	68
	06/09/2017	Phillips	454	9.8	8391	1021	164	8.1	42.1	0.56	52.5
	Promedio Sondeos			30			287	35	75	1	86

En la fracción < 63µm tampoco se puede decir que exista un aumento generalizado de metales pesados en los sedimentos depositados en el fondo (Tabla 9, Figura 19). Sin embargo, al igual que en la fracción de mayor tamaño, tanto el Mn como el Zn, el Pb, el Cu o el As muestran tendencias al aumento en los puntos más altos del río (OI y P1), siendo este aumento más claro en el punto P1. Además, el punto aguas abajo de Oioki (OI), sigue siendo el punto con mayores concentraciones de As y Mn.

Al igual que en las fases anteriores, en el caso de la fracción < 2 mm el mayor contenido en metales se encuentra, en general, en la muestra acumulada en el muestreador de Phillips, aunque en algunos casos, como son el del Pb, Fe o Mn, el punto OI también muestra concentraciones superiores al resto

de puntos. Sin embargo, esto no ocurre para la fracción menor de 63 µm, donde las concentraciones obtenidas en las muestras integradas en el tiempo se parecen más a las obtenidas para el resto de puntos, probablemente debido a una mayor similitud de la granulometría y del tipo de partículas involucradas en el análisis. La excepción en este caso también lo parca el punto OI con mayores concentraciones de As y Mn en la fracción fina.

Tabla 9: Contenido en fósforo (mg/kg), As (mg/kg), Fe (mg/kg), Mn (mg/kg), Zn (mg/kg), Ni (mg/kg), Cu (mg/kg), Cd (mg/kg) y Pb (mg/kg) en la fracción menor de 63 µm de las muestras de fondo, así como de las muestras de SS integradas en el tiempo (Phillips). <LD = bajo límite de detección. LD (Cd): 0.013 mg/kg. (Durante la fase II se realizaron dos muestreos de sedimento de fondo en diferentes fechas).

	punto	P	As	Fe	Mn	Zn	Ni	Cu	Cd	Pb	
	<63µm	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	
Fase previa	23/7/2013	P1	356	11.2	14800	1350	147	7.73	26.3	<LD	55.8
	23/7/2013	P2	217	7.7	14400	1100	91	5.76	15.9	<LD	41.5
	23/7/2013	P3	349	7.6	15000	796	149	8.14	19.8	<LD	71.6
	23/7/2013	P4	384	12.4	19400	1200	133	7.85	18.8	<LD	79.5
Fase I	05/06/2014	P1	382	10.8	24700	1200	156	7.98	32.5	<LD	105
	05/06/2014	P2	355	13.2	20700	1410	154	11.4	26.8	<LD	81.2
	05/06/2014	P3	417	8.1	14800	907	143	7.68	24.6	<LD	47.9
	05/06/2014	P4	401	10	21600	1100	143	7.37	25.4	<LD	50.7
Fase II	03/11/2014	P1	535	12.4	14422	1250	166	8.74	33.7	0.33	74.4
	03/11/2014	P2	473	8.86	10822	1332	186	11.2	31.5	0.82	45.8
	03/11/2014	P3	472	10.1	11698	1226	210	9.55	37.4	0.51	45
	03/11/2014	P4	530	13.4	15224	2009	171	7.38	22.9	0.3	51.2
Fase II b	09/06/2015	P1	-	9.9	12150	732	161	8.74	33.6	0.42	49.2
	09/06/2015	P2	-	12.4	9557	1003	141	6.38	26	0.42	36.9
	09/06/2015	P3	-	8.7	9893	843	123	7.07	23.5	0.33	38.7
	09/06/2015	P4	-	13.3	9780	1062	96.5	5.04	16.4	0.31	40.2
Fase III a	01/09/2016	OI	563	18.9	14613	2991	255	16.2	57	0.9	60
	01/09/2016	P1	379	11.3	9448	1678	141	11.7	43	0.4	48
	01/09/2016	P2	481	14	13077	1793	193	27	63	0.7	70
	01/09/2016	P3	413	11.6	14695	2134	177	11.5	50	0.6	56
	01/09/2016	P4	573	13	14180	2156	225	12.9	49	0.54	59
Fase III b	06/09/2017	OI	566	21.3	14991	3378	195	14	53	0.74	80
	06/09/2017	P1	780	22.9	15308	1039	433	16	76	0.8	114
	06/09/2017	P2	384	12.8	9988	1403	148	12	32.7	0.49	42.8
	06/09/2017	P3	351	10.3	9332	1563	137	11	31.2	0.51	41.6
	06/09/2017	P4	584	14.2	11964	1790	134	12	36.5	0.51	57.1
	17/6/2014	Phillips	563	11.9	20600	1520	255	12.9	30	<LD	53.8
	09/06/2015	Phillips	-	14.1	12780	972	222	10.1	37.4	0.61	61.7
	01/09/2016	Phillips	537	12.5	15522	1150	259	15	63	0.7	71
	06/09/2017	Phillips	454	8.6	9420	944	195	9.4	42.4	0.59	57.3

Las evoluciones observadas para las muestras provenientes del muestreador integrado (Phillips) al comparar la fase III con fases anteriores indican que tras el incremento en la concentración de metales como consecuencia de las primeras fases de demolición se ha producido una disminución de las mismas claramente observada en la última campaña (Fase III b). Esto afecta prácticamente a todos los metales considerados, a excepción del Fe y Mn, cuya disminución comienza en la Fase II.

Al contrario de lo que se refleja en los sedimentos recogidos en el muestreador integrado, en general, en las muestras de fondo puntuales no se observan tendencias claras en el contenido de metales pesados, ni en el espacio ni en el tiempo. De todas formas, parece constatarse un aumento

progresivo en P1 (el más cercano a Inturia) de Zn, Pb, Cu y As, sobre todo en la fracción más fina. Además, las concentraciones medidas en las diversas campañas se encuentran dentro de la variabilidad de concentraciones medidas en los sondeos ligeros realizados en los sedimentos acumulados tras la presa.

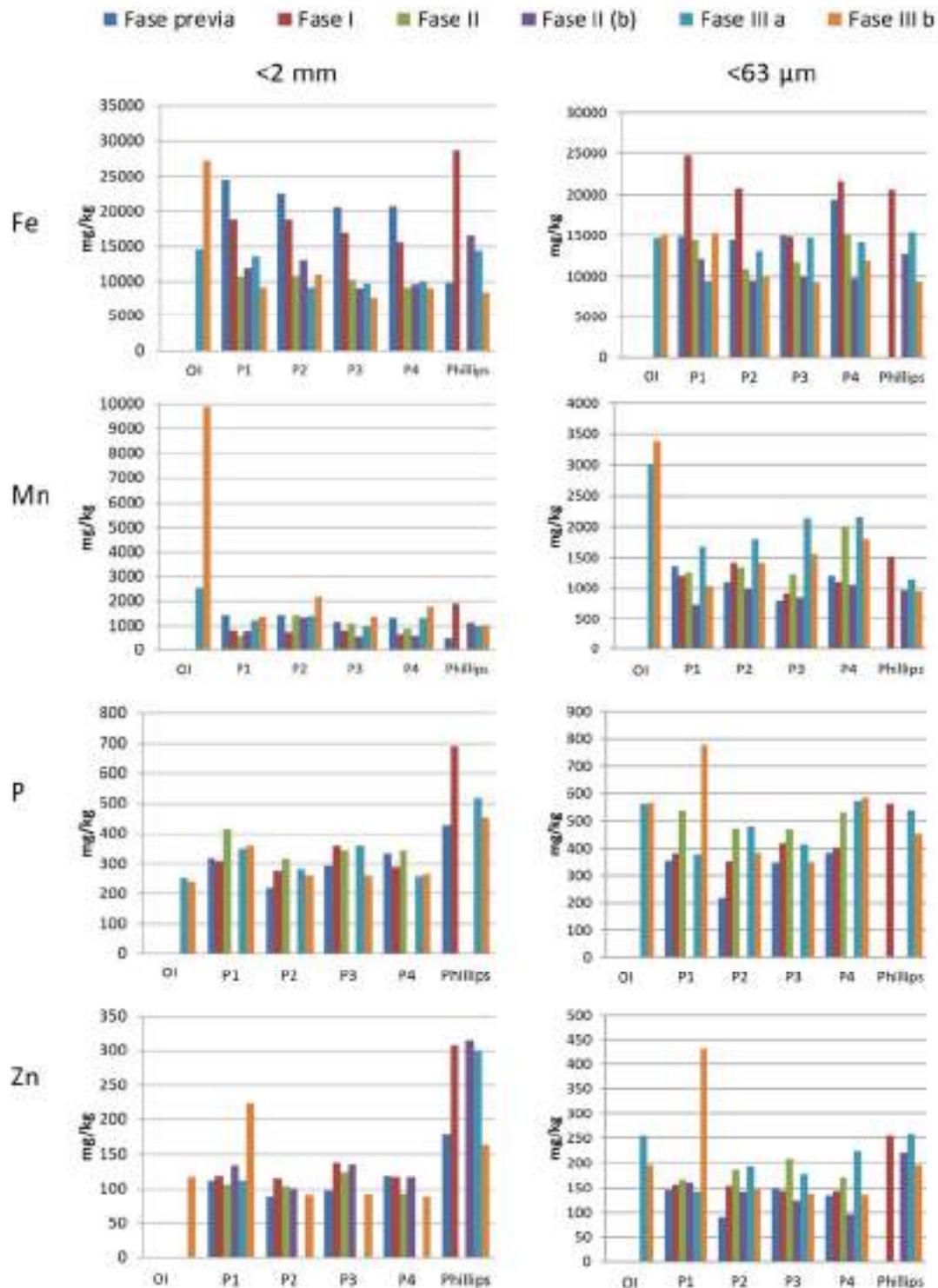


Figura 19: Contenido en Fe (mg/kg), Mn (mg/kg), P (mg/kg) y Zn (mg/kg) en la fracción < 2 mm y < 63 μm de las muestras de fondo, así como de las muestras de SS integradas en el tiempo (Phillips). (Continúa).

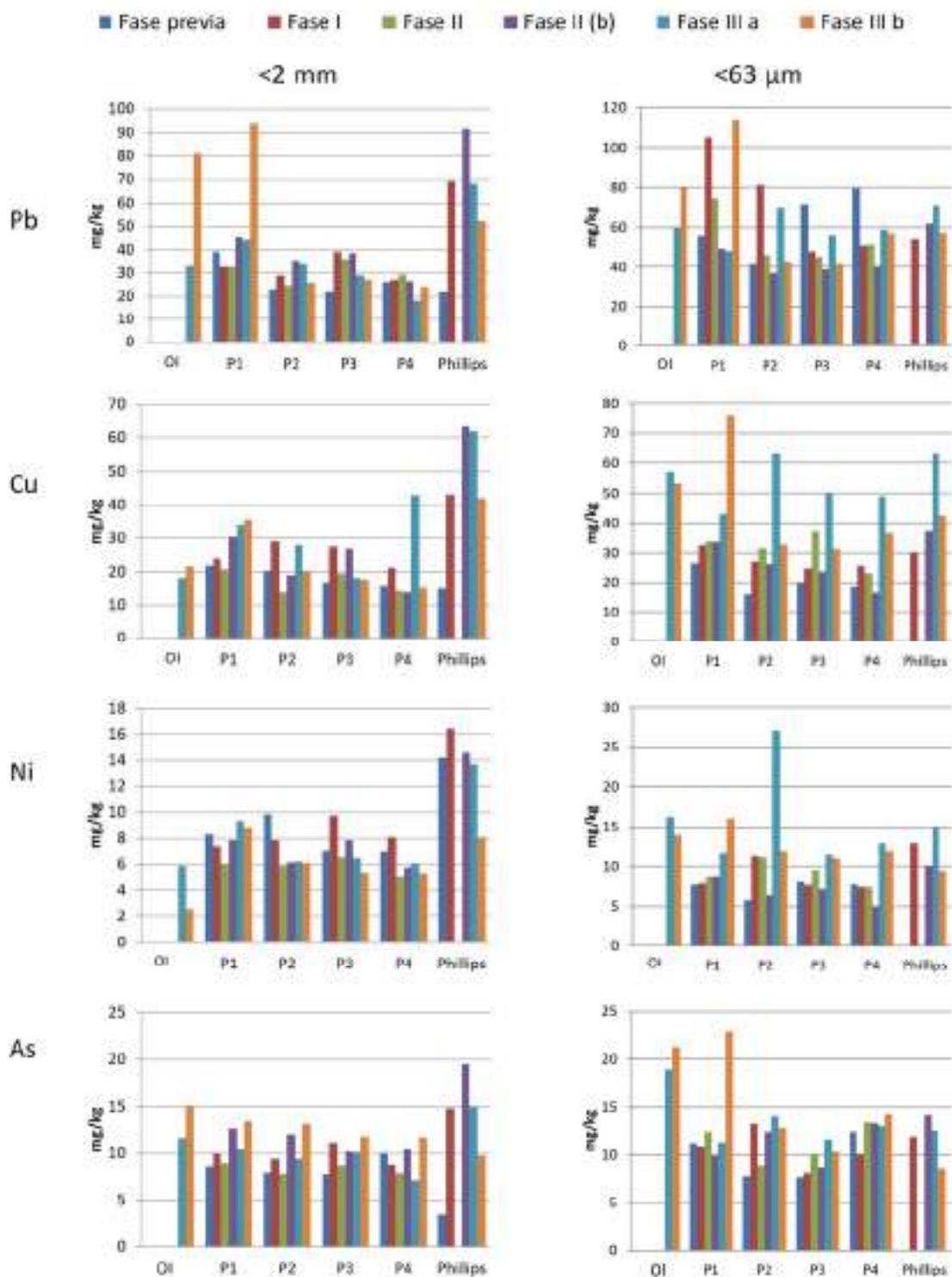


Figura 19: Contenido en Pb (mg/kg), Cu (mg/kg), Ni (mg/kg) y As (mg/kg) en la fracción < 2 mm y < 63 μm de las muestras de fondo, así como de las muestras de SS integradas en el tiempo (Phillips). (Continuación)

6. Conclusiones

El aumento en la concentración de sedimentos en suspensión (CSS, mg/l) puede tener importantes consecuencias en los ecosistemas, por ello en este informe se trata de analizar el impacto que hayan podido tener los trabajos de permeabilización del río Leitzaran en los sedimentos en suspensión exportados por el mismo.

Los datos analizados en este informe (y las relaciones entre ellos) muestran un claro aumento de la CSS en las aguas del Leitzaran durante las crecidas, a partir del inicio de las obras en 2013. El análisis de los datos diezminutales, deja en evidencia este hecho. Sin embargo, los trabajos realizados en el Leitzaran hasta el momento no parecen haber influido en el resto de parámetros de calidad medidos en la estación de aforos (conductividad eléctrica, pH, oxígeno disuelto, temperatura del agua).

Sin embargo, durante el 2016-2017 se ha observado una disminución de la exportación total de sedimentos, y también de la concentración de sedimentos en suspensión, sobre todo a partir de enero de 2017. Esta disminución puede estar relacionada con un descenso en la cantidad de sedimentos realmente disponibles para ser exportados por crecidas ordinarias.

El cálculo preliminar de exportación de sedimentos realizado a partir de los datos de la sonda de CSS indica que desde el 1 de septiembre de 2013 hasta el 30 de septiembre de 2017 se han exportado desde el Leitzaran 71400 t de sedimentos en suspensión (equivalente a unos 62700 m³), unas 162 t/km²-año, valor algo inferior al de la cuenca del Oria (217 t/km²), superior al de cuencas como el Deba (115 t/km²), y muy superior a lo que se exportaba antes del comienzo de los trabajos de demolición, unas 20 t/km², siendo este último valor parecido al de cuencas poco impactadas como el Urumea (Zabaleta et al., 2016).

Se estima que, teniendo en cuenta solamente los 240000 m³ de sedimentos liberados de Inturia, ha pasado por la estación de aforos del Leitzaran un 26 % de los mismos, hasta el 30 de septiembre de 2017. Esto significa que el porcentaje de sedimento exportado en relación a lo liberado en total (considerando también la presa de Truchas-erreka) es muy bajo. Además, hay que tener en cuenta que, de las 71400 t exportadas, 23600 t, es decir, más de un tercio, se exportaron durante la crecida del 25 de noviembre de 2015, tras la demolición de Truchas-erreka.

El aumento en la exportación de sedimentos durante el primer tercio del 2015-2016, justo tras la realización de los trabajos en Truchas-erreka, situada a escasa distancia de la estación de aforos, unido a que la exportación durante las dos fases anteriores, tras las demoliciones parciales de Inturia, y durante la segunda parte de la fase III (2016-2017) ha sido menor, lleva a pensar que la mayor parte del sedimento exportado durante la fase III (2015-2016) provenía de la zona de Truchas-erreka y que, en consecuencia, la mayor parte del sedimento proveniente de Inturia está todavía retenido en la cuenca: en otras presas y en los múltiples remansos existentes, sobre todo entre Inturia y Truchas-erreka.

Esta retención de sedimentos es importante tenerla en cuenta de cara a extremos meteorológicos e hidrológicos, ya que, aunque en crecidas ordinarias la concentración de sedimentos (CSS) se mantiene en valores "normales", la gran cantidad de sedimentos acumulados en la cuenca en estos momentos podría suponer importantes incrementos puntuales en el arrastre y originar impactos no deseados para el ecosistema y para las infraestructuras existentes a lo largo del río en el caso de

crecidas extremas con una gran capacidad de transporte de sedimentos. Esto implica que hace falta un seguimiento temporal más allá de la finalización de los trabajos de permeabilización del río, hasta poder dar por finalizado el efecto de los mismos sobre la dinámica del río.

Ante la incertidumbre de lo que la meteorología puede deparar, se valora de forma positiva el haber realizado la demolición de Inturia en diversas fases, para que los sedimentos puedan ser exportados de la cuenca de forma más regular en el tiempo, por medio de las crecidas. En este sentido, se pueden considerar los trabajos de permeabilización del Leitzaran como un referente del impacto que potencialmente puede acarrear este tipo de acciones. Si la finalización del impacto de la demolición sobre el ecosistema fluvial viene fijada por la exportación fuera de la cuenca de la mayor parte de los sedimentos retenidos en la presa demolida, esto supone controlar la exportación de sedimentos, y/o su retención temporal en la cuenca, por un tiempo superior al de las propias fases de la demolición, al menos hasta poder garantizar la finalización de su influencia en la propia cuenca.

La analítica realizada a lo largo del río y en la estación de aforos, tanto en sedimentos como en agua, no muestra, en general, importantes diferencias entre la calidad de las aguas y los sedimentos, tanto de fondo como en suspensión, de las diferentes fases. Sin embargo, al igual que en la concentración de sedimentos parece haber una disminución en la concentración de metales acumulados en el muestreador Phillips en comparación con los datos obtenidos para el 2015-2016. Es necesario recordar que este tipo de muestreadores dan una idea integrada en el tiempo, y en este caso también en el espacio (por estar ubicado a la salida de la cuenca), de las características de los sedimentos, frente a los muestreos de fondo, que al ser puntuales están sujetos a una mayor variabilidad espacial y temporal.

7. Bibliografía

- Brasington, J., Richards, K., 2000. Turbidity and suspended sediment dynamics in small catchments in the Nepal Middle Hills. *Hydrological Processes* 14, 2559-2574.
- Diputación Foral de Gipuzkoa, 2012. Cuantificación de la tasa de sedimentos exportados de las cuencas del Territorio Histórico de Gipuzkoa. Fase VI. (Año hidrológico 2011-2012). Caracterización de los sedimentos en la cuenca del Deba. Informe inédito realizado por el Grupo de Hidrogeología y Medio Ambiente de la UPV/EHU.
- Diputación Foral de Gipuzkoa, 2014. Cuantificación de la tasa de sedimentos exportados de las cuencas del Territorio Histórico de Gipuzkoa. Fase VIII. (Año hidrológico 2013-2014). Caracterización de los contaminantes del sedimento de la cuenca del Urumea. Informe inédito realizado por el Grupo de Hidrogeología y Medio Ambiente de la UPV/EHU.
- Diputación Foral de Gipuzkoa, 2015. Cuantificación de la tasa de sedimentos exportados de las cuencas del Territorio Histórico de Gipuzkoa. Fase IX. (Año hidrológico 2014-2015). Caracterización de los contaminantes del sedimento de la cuenca del Urumea. Informe inédito realizado por el Grupo de Hidrogeología y Medio Ambiente de la UPV/EHU.
- Eilers, P.H.C., Marx, B.D., 1996. Flexible smoothing with B-splines and penalties. *Statistical Science* 1: 89–121.
- Foster, I.D.L., Millington, R., Grew, R.G., 1992. The impact of particle size controls on stream turbidity measurements; some implications for suspended sediment yield estimations. *International Association of Hydrological Sciences* 210, 51-62.
- Gippel, C.J., 1989. The use of turbidimeters in suspended sediment research. *Hydrobiologia* 176/177, 465-480.
- Gippel, C.J., 1995. Potential of turbidity monitoring for measuring the transport of suspended solids in streams. *Hydrological Processes* 9, 83-97.
- Hastie, T., Tibshirani, R., 1990. *Generalized Additive Models*. Chapman & Hall: London.
- Laignel, B., Dupuis, E., Durand, A., Dupont, J.P. Hauchard, E., Massei, N., 2006. Erosion balance in the watersheds of the western Paris Basin by high frequency monitoring of discharge and suspended sediment in surface water. *C.R. Geoscience* 338, 556-564.
- Lewis, J., 1996. Turbidity-controlled suspended sediment sampling for runoff-event load estimation. *Water Resources Research* 32(7): 2299-2310.
- Phillips, J. M., Russell, M. A., Walling, D. E., 2000. Time-integrated sampling of fluvial suspended sediment: a simple methodology for small catchments. *Hydrological Processes*, 14, 2589-2602.
- Rice, J.A., Wu, C.O., 2001. Nonparametric mixed effects models for unequally sample noisy curves. *Biometrics* 57: 253–259.
- Sun, H., Cornish, P.S., Daniell, T.M., 2001. Turbidity-based erosion estimation in a catchment in South Australia. *Journal of Hydrology*, 253: 227-238.

- UPV/EHU, 2015. Cuantificación de la tasa de sedimentos exportados de la cuenca del río Leizaran antes, durante y después de la demolición de la presa de Inturia. Informe final. Trabajo presentado para el proyecto GURATRANS por los miembros del Grupo de Investigación Consolidado Hidrología-Geotecnia-Medio Ambiente de la UPV/EHU (IT598/13, Gobierno Vasco)
- UPV/EHU, 2016. Seguimiento del transporte de sedimentos en la cuenca del río Leizaran debido a los trabajos del life IREKIBAI. Leizaran ibaiko sedimentuen garraioaren jarraipena IREKIBAI life-eko lanen ondorioz. Año hidrológico 2015-2016 urte hidrologikoa. Trabajo presentado para el proyecto IREKIBAI por los miembros del Grupo de Investigación Consolidado Procesos Hidro-Ambientales de la UPV/EHU (IT1029/16, Gobierno Vasco)
- Rovira, A., Batalla R.J., 2006. Temporal distribution of suspended sediment transport in a Mediterranean basin: the Lower Tordera (NE Spain). *Geomorphology* 79, 58-71.
- Verstraeten, G., Poesen, J., 2002. Using sediment deposits in small ponds to quantify sediment yield from small catchments: possibilities and limitations. *Earth Surface Processes and Landforms* 27, 1425-1439.
- Wood, S.N., 2006. *Generalized Additive Models: An Introduction with R*. Chapman & Hall/CRC: Boca Raton, FL.
- Zabaleta, A., Martínez, M., Uriarte, J.A., Antigüedad, I., 2006. Determinant factors for discharge/suspended sediment hysteretic loops in a small headwater catchment (Basque Country). *5th World FRIEND Conference. Climate Change and Hydrological Impacts. Conference Proceedings CD*.
- Zabaleta, A., 2008. Análisis de la respuesta hidrosedimentaria en pequeñas cuencas de Gipuzkoa. Departamento de Geodinámica. Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea. Tesis Doctoral. 252 pp, anexos y CD.
- Zabaleta, A., Antigüedad, I., Barrio, I., Probst, J.L., 2016. Suspended sediment delivery from small catchments to the Bay of Biscay. What are the controlling factors? *Earth Surface Processes and Landforms*. DOI: 10.1002/esp.3957

ANEXOS

Anexo I

Metodología y resultados del análisis de sedimentos

Anexo I.1 Metales pesados, As, P y materia orgánica en sedimentos

Los análisis se realizaron en los laboratorios de Química Analítica (UPV/EHU) correspondientes al grupo de investigación IBeA (Ikerkuntza eta Berrikuntza Analitikoa) y en los laboratorios de servicios generales de la UPV/EHU (Sgiker).

Las muestras de sedimento procedentes de "Inturia" fueron liofilizadas en un liofilizador *Telstar Cryodos* a 150 mTorr y -52 °C durante 48 horas hasta su completo secado. A continuación se tamizaron manualmente reteniendo dos fracciones, la correspondiente a < 2mm y la de < 63 µm. La fracción < 2mm fue molida para su mejor extracción y/o análisis. Para la molienda se utilizó un molino *Fristsch Pulverisette* y un mortero de ágata.

En ambas fracciones se determinó el contenido de As, Cd, Cu, Fe, Mn Ni, Pb, Zn y P, mediante extracción ácida. Para el proceso de extracción se pesaron 0.3-0.5 g de muestra a los que se añadieron 20 ml de extractante (una mezcla de HNO₃/HCl (45/55)). El proceso de extracción se realizó mediante agitación y con ayuda de un equipo de ultrasonidos focalizado *Bandelin Sonoplus HD 2070*, provisto de un resonador *SH 70 GQ* y una punta de vidrio. Tras la extracción los extractos se filtraron con filtros de 0.45 µm, y se diluyeron al 1% de HNO₃.

Para la cuantificación y detección de estos analitos se usó un espectrómetro de masas acoplado inductivamente a una fuente de ionización (ICP/MS, *NexION 300, Perkin Elmer*). Los analitos se midieron simultáneamente con el método de patrón interno (Be, Sc, In, Bi). Las condiciones de medida son las descritas en la tabla 1.

(Para más información sobre el método utilizado consultar la referencia Fdez-Ortiz de Vallejuelo et al, 2009).

En el tamaño de partícula < 2 mm también se determinó el contenido de materia orgánica mediante la calcinación de aproximadamente 2 g de sedimento seco (norma UNE 12879). En esta fracción también se determinó el contenido de carbono total, nitrógeno total e hidrogeno total. Este análisis se realizó en los laboratorios de servicios generales de la UPV/EHU, mediante un analizador elemental *EuroEA Elemental Analyser*. El procedimiento analítico consta de a) la combustión de aproximadamente 5 mg de sedimento, b) el tratamiento de los gases resultantes de la combustión y c) la separación de los gases por cromatografía. Para la combustión las muestras se colocaron en una capsula de estaño a 1000 °C, bajo flujo continuo de helio y atmósfera de oxígeno.

Tabla 1. Condiciones experimentales utilizadas para las medida por ICP/MS.

Flujo de nebulización	0.94 L·min ⁻¹
Flujo del plasma	15 L·min ⁻¹
Flujo auxiliar	1.2 L·min ⁻¹
Flujo de la muestra	1 mL·min ⁻¹
Isótopos medidos	⁷⁵ As, ¹¹¹ Cd, ⁶³ Cu, ⁵⁷ Fe, ⁵⁵ Mn, ⁶⁰ Ni, ²⁰⁸ Pb, ⁶⁶ Zn, ³¹ p
Potencia de radiofrecuencia	1000 W
Tiempo de Integración	1000 s
Réplicas	3 – 4
Material conos	Ni
Patrones internos	⁹ Be, ⁴⁵ Sc, ¹¹⁵ In, ²⁰⁹ Bi

Referencias

S. Fdez-Ortiz de Vallejuelo, A. Barrena, G. Arana, A. de Diego, J.M. Madariaga. 2009. *Talanta*, 80, 434-439.

Anexo I.2 Carbono orgánico en agua

La determinación de carbono orgánico de las muestras se realiza mediante un analizador automático que permite la medida del Carbono Total (TC), del Carbono Inorgánico (IC), del Carbono Orgánico Total (TOC) y del Carbono Orgánico No Purgable (NPOC). La medida se realiza por oxidación catalítica de los compuestos de carbono por combustión a 680°C sobre un catalizador de Pt con base de alúmina y la posterior detección del CO₂ generado con un detector de infrarrojos no dispersivo (NDIR).

El método utilizado en este trabajo para la determinación de carbono orgánico total ha sido el NPOC debido a la baja concentración observada en muestreos anteriores. La principal ventaja de la utilización de la técnica de combustión catalítica es que la muestra no necesita pretratamiento, es decir, que la muestra se mide directamente en el equipo.

Por otra parte, el método de análisis por Infrarrojo no dispersivo (NDIR) ofrece el único método práctico libre de interferencias para detectar CO₂ en el análisis del TOC. La principal ventaja de usar este método es que se mide el CO₂ generado por oxidación del carbono orgánico el reactor de oxidación, de modo directo y específico, en vez de depender de la medida de un parámetro secundario corregido, como el usado en las medidas de conductividad. El producto de oxidación fluye continuamente dentro y fuera del detector. En una región de absorción de la luz infrarroja específica del CO₂, en torno a 2350 cm⁻¹, se mide el gas que fluye a través del detector. Por otra parte, se realiza una segunda medida de referencia que no es específica del CO₂ y el resultado de la diferencia se relaciona con la concentración de CO₂ en el detector en ese instante. La suma de las medidas es un pico en una gráfica que se integra y relaciona con la concentración total de CO₂ que posee la muestra.

Referencia:

Alberdi Martínez, S., 2015. Validación de métodos analíticos para la determinación de Amonio, Nitrato y Carbono Orgánico en aguas de estuario. TFG. Facultad de Ciencia y Tecnología. UPV/EHU.