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 2015-2016 urte hidrologikoa

Diciembre 2016ko 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 Konsolidatuko (IT1029/16, Eusko Jaurlaritza) kideek aurkeztutako lana

Irekibai

NATURA 2000

Life

Gipuzkoako Foru Aldundia
Ingurumeneko eta Obra Hidraulikoetako 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 7

2.3.- Caracterización de crecidas 10

2.4.- Muestreos 11

3.- Datos disponibles **13**

4.- Relaciones entre medidas de turbidez y CSS **14**

4.1.- Relación entre mediciones de campo 14

4.2.- Relación con medidas de laboratorio (2013-2016) 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 21

5.3.- Caracterización de crecidas 24

5.4.- Muestreos 35

6.- Conclusiones **43**

7.- Bibliografía **45**

Anexos **47**

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 Leitzarán 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. 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 Leitzaran. Para ello se cuenta con el trabajo “CUANTIFICACIÓN DE LA TASA DE SEDIMENTOS EXPORTADOS DEL RÍO LEITZARAN 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, por lo que se estudia, no solo el transporte de sedimentos del último año sino 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)) y finalizando con 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. A nivel del primer informe parcial, a entregar en diciembre de 2016, se considerarán además los datos recogidos durante el primer trimestre del año 2016. El presente informe tiene por objetivo cubrir la necesidad de realizar un primer informe parcial, en el que se considerará el año hidrológico 2015-2016 completo, es decir, desde el 1 de octubre de 2015 hasta el 30 de septiembre de 2016.

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 m^2. Antes del comienzo del derribo el volumen útil de embalse se estimó en 70500 m^3, 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 m^3.

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 sea 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 m^3 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 Leitzaran”". 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 órganoclorados, EOX y Aceites y grasa) únicamente se han obtenido valores significativos en los metales pesados. Utilizando los valores de metales en sedimentos de cuencas 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 Leitzaran 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 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 considerarán en el presente informe, por posible influencia en el transporte de sedimentos en el Leitzaran son: por un lado, un desplome de la pista del Leitzaran 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 septiembre de 2016 se está llevando 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.

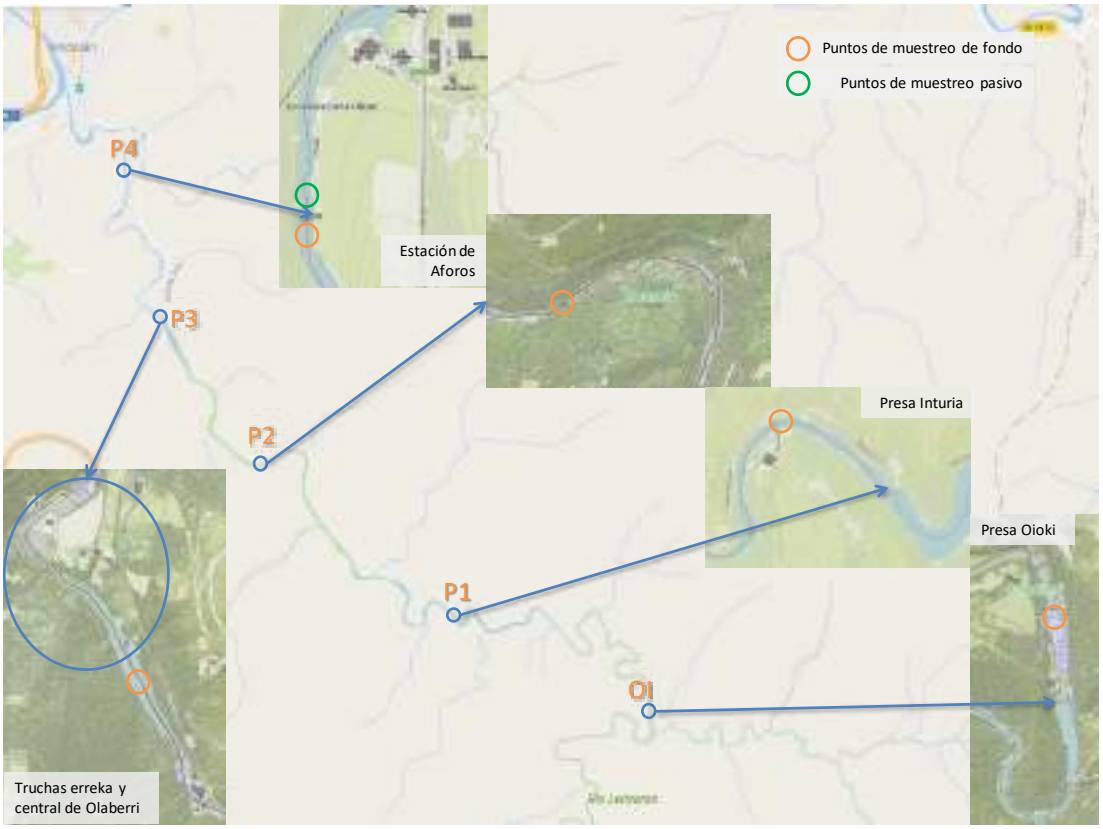


Figura 4: Localización de las zonas de actuación, de la estación de aforos y de los puntos de muestreo (de fondo y pasivo) a lo largo del río Leitzaran.

1.2. Objetivos del seguimiento

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

- Cuantificación de la exportación de sedimentos en suspensión durante el periodo 2015-2016.
- Caracterización de las crecidas ocurridas durante el 2015-2016 y comparación entre las crecidas de las diferentes fases.
- 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 Leitzaran 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 Leitzaran, integrada en la red hidro-meteorológica de la DFG (figura 5). Esta estación drena 110 km^2 de cuenca del Leitzaran.

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 Leitzaran de 4.49 m^3/s, lo que supone una aportación anual de 140 Hm^3 anuales. 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 Leitzaran 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 del proyecto GURATRANS (UPV/EHU, 2014). 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 pondrá 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). El límite de 100 NTU, podrá ser modificado llegado el caso, si se estima oportuno a la vista de la evolución real del transporte de sedimentos durante las fases de demolición, siempre, obviamente, justificándolo y acordado con la Dirección del proyecto.

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 que el turbidímetro de campo, de 0 – 10000 NTU. Aunque los dos tipos de turbidímetros utilizados expresan las medidas en diferentes unidades (FNU y NTU) ambas son equiparables entre sí. 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 medirá 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 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.

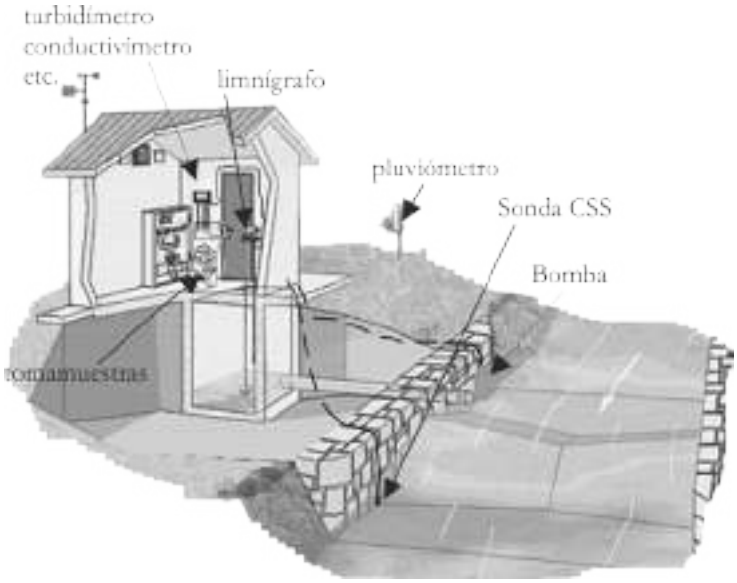


Figura 6: Esquema de la instalación de la estación de aforo.

Siguiendo esta metodología se establecerá 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 será medida, 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 será 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 que habrá 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. Como estimación de partida tomábamos los 8 eventos año y las 24 muestras evento recogidas por el tomamuestras.

Durante la ejecución de los trabajos de seguimiento a realizar se han detectado algunos 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 los tomamuestras automáticos. Parte del sedimento en suspensión, sobre todo el de mayor tamaño (arenas), queda acumulado en la tubería y no llega a la cubeta, ni al tomamuestras, impidiendo a su vez, el paso de agua y sedimentos por la tubería. Como consecuencia, los datos de turbidez que se miden en el agua bombeada no se han utilizado, por no resultar 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 9 crecidas muestreadas durante 2015-2016 se han procesado 107 muestras en el laboratorio, se ha medido la concentración de sedimentos en suspensión en 25 de ellas (las que mostraban una turbidez mayor de 100 mg/l). Sin embargo, para 16 de las muestras no existe dato de la sonda 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 linearidad 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. Caracterización de crecidas

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 obtenidos a escala de crecida. Se han caracterizado eventos lluvia-escorrentía registrados durante el año hidrológico 2015-2016 mediante cinco grupos de parámetros: condiciones antecedentes al evento, precipitación que causa el evento, caudal durante el evento, sedimentos en suspensión durante el evento y conductividad eléctrica durante el mismo.

Los criterios utilizados para el cálculo de los parámetros definidos a continuación son los que el Grupo de investigación ha venido utilizando en estudios similares (Zabaleta, 2008), también en los seguimientos realizados en el Leitzaran durante las fases denominadas como previa, I y II del proyecto GURATRANS (UPV/EHU, 2014). El comienzo de los eventos ha sido definido como el comienzo del evento lluvioso que provoca el evento de escorrentía, para lo cual se ha considerado que no se hubiesen registrado precipitaciones en los 30 minutos anteriores.

Las variables seleccionadas para la caracterización de los eventos y su posterior análisis estadístico se mencionan a continuación. Las condiciones antecedentes al evento, descritas mediante la precipitación acumulada durante una y doce horas antes del evento, y durante uno, tres, siete y quince días anteriores al evento (P1, P12, P1d, P3d, P7d y P15d, mm), el caudal medio registrado en la estación de aforos durante el día (24 horas) anterior al evento (Q1d, m^3/s), y el caudal al inicio del evento o caudal base (Qo, m^3/s). Estos dos últimos parámetros, a falta de datos que indiquen la humedad del suelo directamente, permiten tener una idea de las condiciones de humedad de la cuenca antes del evento. La precipitación causante de los eventos ha sido caracterizada mediante la precipitación total registrada (P, mm), la intensidad media de la precipitación durante el evento lluvioso (IP, mm/10min) y la intensidad máxima de la precipitación (IPmax, mm/10min). El caudal durante el evento se ha expresado utilizando el volumen de agua específico total del evento de escorrentía (Qt, mm), el caudal medio (Qmed, m^3/s) y el máximo (Qmax, m^3/s), y la relación entre este caudal máximo y el caudal inicial anterior al evento (Qmax/Qo). La exportación de sedimentos en suspensión se ha explicado con la concentración de sedimentos en suspensión media (CSSmed, mg/l) de los datos registrados cada diez minutos durante el evento y la CSS máxima (CSSmax, mg/l), así como la masa total de sedimento exportado durante la crecida (SSt, t).

En esta caracterización se ha tenido en cuenta la conductividad eléctrica de las aguas durante el evento, tanto de forma gráfica como numérica, lo que puede ayudar a relacionar las respuestas hidrológica y sedimentaria de la cuenca entre sí. Se han calculado así la conductividad inicial y la mínima (CEo y CEmin, µS/cm).

Además, en esas mismas crecidas también se ha analizado la relación entre la CSS y el caudal a lo largo del evento, es decir, los diferentes bucles de histéresis que se obtienen al graficar estos dos parámetros, ya que estos bucles suelen estar relacionados, por un lado, con la disponibilidad de sedimento y, por otro, con la procedencia, en el espacio, del mismo.

Las crecidas caracterizadas se han comparado con las analizadas en la fase previa, fase I y fase II del seguimiento de sedimentos en suspensión del proyecto GURATRANS (UPV/EHU, 2014)

2.4. Muestreos

Muestras de fondo: El 1 de septiembre de 2016 se realizó un muestreo de sedimentos de fondo del río Leitzaran en cinco puntos ubicados entre la presa de Oioki y la estación de aforos (figura 4). Los cuatro puntos de muestreo situados entre Inturia y la estación de aforos se repiten con respecto a seguimientos anteriores (UPV/EHU, 2014), habiendo establecido un nuevo punto de control inmediatamente aguas abajo de Oioki. Tal y como se hizo en los cuatro muestreos realizados

durante el proyecto GURATRANS (UPV/EHU, 2014) 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 los laboratorios del Departamento de Química Analítica 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 II. Aunque para las muestras de las fases anteriores se determinaron el carbono orgánico total (TOC) el disuelto (DOC), y el particulado (POC), en esta ocasión solamente se ha medido el TOC en la muestra filtrada (filtros de 0.45 µm). Como se puede observar en los datos de fases anteriores 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 intentar mejorar las mediciones de carbono orgánico en el agua se ha cambiado ligeramente la metodología (descrita en el Anexo II). 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 2015 se instaló en la estación de aforos de Leitzaran un dispositivo para la recogida integrada en el tiempo de sedimentos en suspensión (Phillips et al., 2000) (figura 7). El 1 de septiembre de 2016 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, 2014), con las que se compararán los datos obtenidos durante el 2015-2016 (fase III).

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 II.

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 2015-2016 (en concreto, desde el 1 de octubre de 2015 hasta el 30 de septiembre de 2016) registradas en la estación de aforo de Leitzaran. 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.

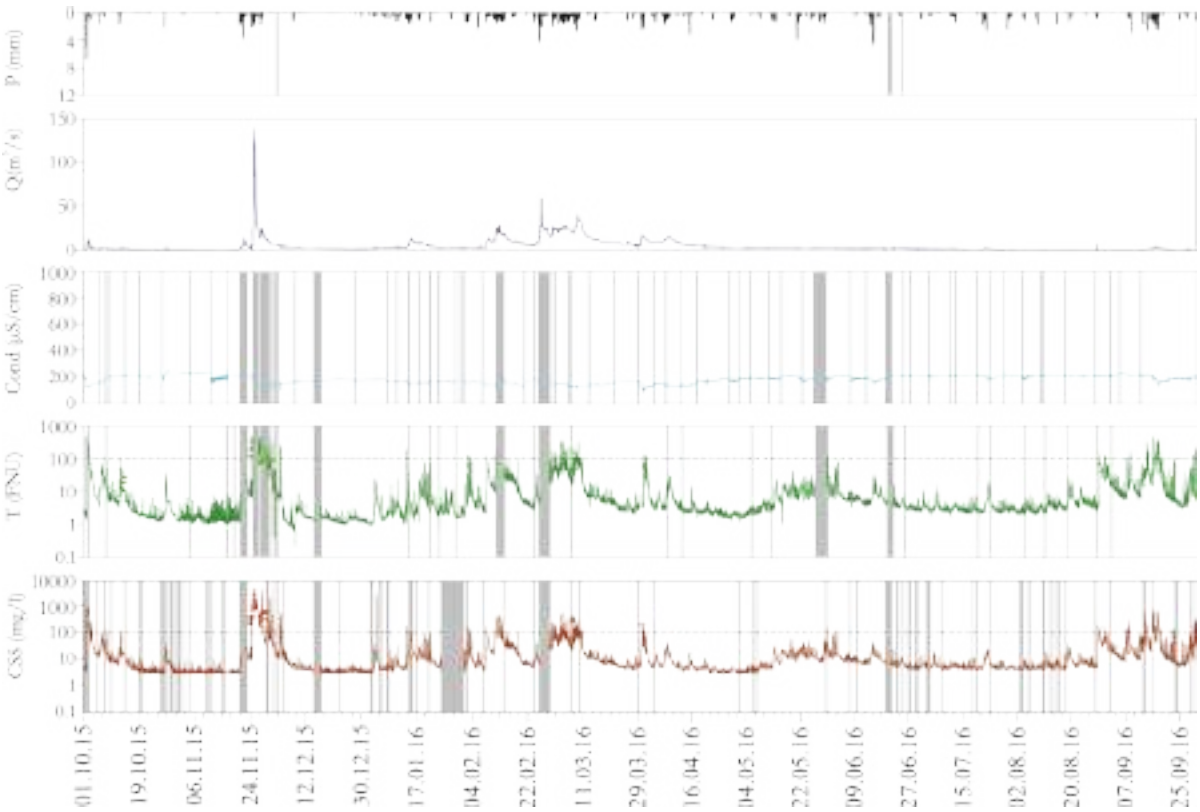


Figura 8: Evolución temporal diezminutal de las precipitaciones (mm), los caudales (m^3/s), la conductividad eléctrica (µS/cm), la turbidez (FNU) y la concentración de sedimentos en suspensión (mg/l) en la estación de aforo de Leitzaran durante el año hidrológico 2015-2016 y mediciones de laboratorio de las muestras recogidas.

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 2015-2016 las regresiones entre la turbidez (T) y la CSS dan coeficientes de correlación de Pearson muy altos 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.

$$CSS = 1.71*T \text{ (a)} ; \; T = 0.48*CSS \text{ (b)} \quad (R^2 = 0.82) \quad \text{(ecuación 1)}$$

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.

En todos los casos, las relaciones turbidez-CSS se describen 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). Estas relaciones han sido utilizadas 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 las regresiones a dichas series. En la tabla 1 se muestran el porcentaje de datos nulos existentes a escala mensual en las series de T y CSS de la estación de aforos de Leitzaran 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 serie de turbidez (T) y concentración de sedimentos en suspensión (CSS) en la estación de Leitzaran 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	0.07	8.43	6.74	0.07	10.39	1.66	0.00	0.11	5.90	0.04	0.07	0.02

4.2 Relaciones con las medidas de laboratorio (2013-2016)

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 2015-2016 (fase III) con la misma relación para fases anteriores (UPV/EHU, 2014). La primera fase corresponde al periodo previo al comienzo de la demolición de la presa de Inturia; la segunda 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 corresponderían a otros 3 metros aproximadamente. La fase III corresponde al año hidrológico 2015-2016, tras las fases tercera y cuarta de demolición de Inturia y durante la realización de los trabajos de Truchas-erreka. 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.

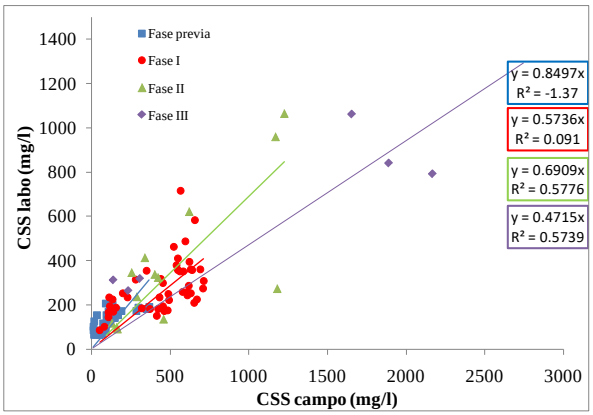


Figura 9: Regresiones lineales ajustadas entre las medidas de campo (CSS campo) y de laboratorio (CSS labo) correspondientes a la estación de aforos de Leitzaran para los años 2013-2016. Las muestras recogidas para cada fase del proyecto se han indicado con diferentes colores.

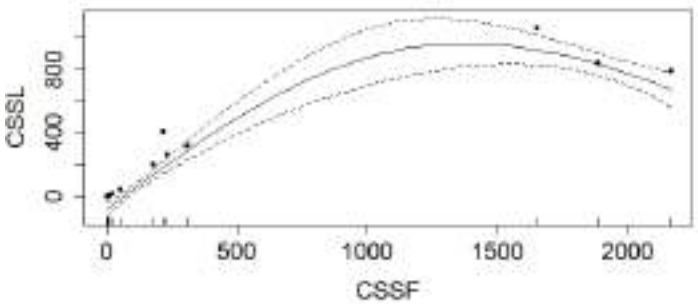


Figura 10: Modelo ajustado entre las medidas de campo (CSS campo (CSSF)) y de laboratorio (CSSL) correspondientes a la estación de aforos de Leitzaran para el periodo octubre 2015-septiembre 2016. Se incluye el intervalo de confianza del 95%.

El modelo GAM ajustado solamente para las muestras obtenidas el año 2015-2016 (figura 10), 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). Además, en esta misma figura 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 el 2015-2016 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 todos los datos existentes desde 2013, antes del comienzo 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 0.65, que el ajuste realizado para el 2015-2016, el número de muestras involucradas es mayor, n= 103, y estadísticamente es muy significativo.

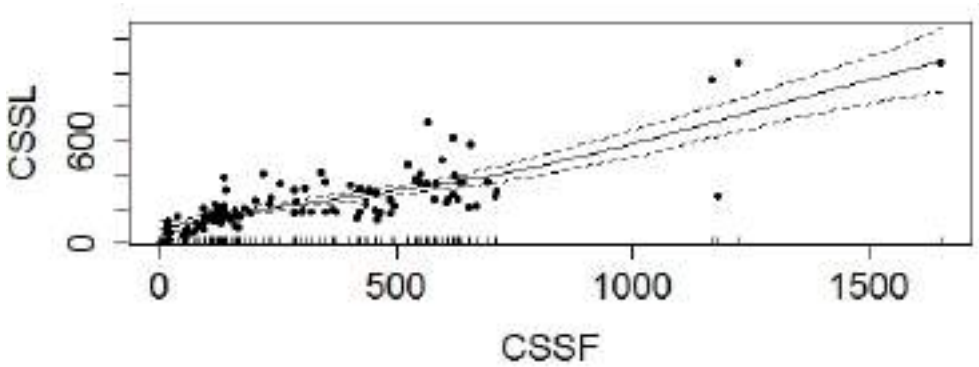


Figura 11: Modelo ajustado entre las medidas de campo (CSS campo (CSSF)) y de laboratorio (CSSL) correspondientes a la estación de aforos de Leitzaran para el periodo mayo 2013-septiembre 2016. Se incluye el intervalo de confianza del 95%.

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 de 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).

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),

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

donde CSS_{Lib} es la concentración de sedimentos en suspensión seleccionada aleatoriamente en el intervalo (CSS_inf - CSS_sup), Q es el caudal instantaneo, tiempo es el intervalo diezminutal en el que se registran datos y SSb 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.

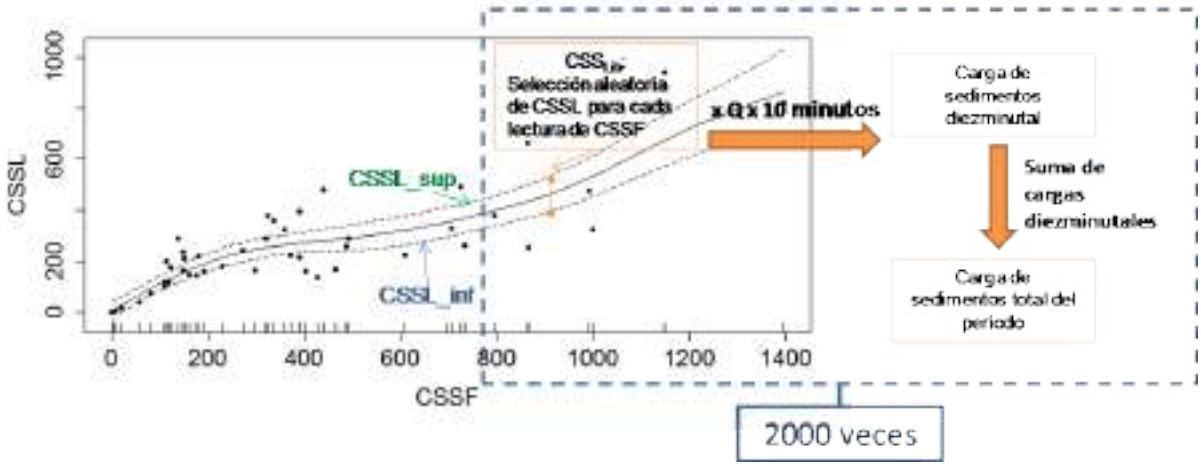


Figura 12: Diagrama explicativo de la metodología utilizada en el cálculo de la exportación de sedimentos en suspensión de la cuenca estudiada en el presente informe.

5. Resultados

5.1. Series de datos diezminutales

En la figura 13 se muestran los datos diezminutales de precipitación (P, mm), caudal (Q, m^3/s) y concentración de sedimentos en suspensión (CSS, mg/l) desde la puesta en funcionamiento de la sonda de CSS hasta septiembre de 2016. A simple vista, se observan mayores valores de CSS para los periodos posteriores a las demoliciones parciales, lo cual se tratará de verificar a lo largo de este apartado con un tratamiento más profundo de los datos.

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 Leitzaran 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.

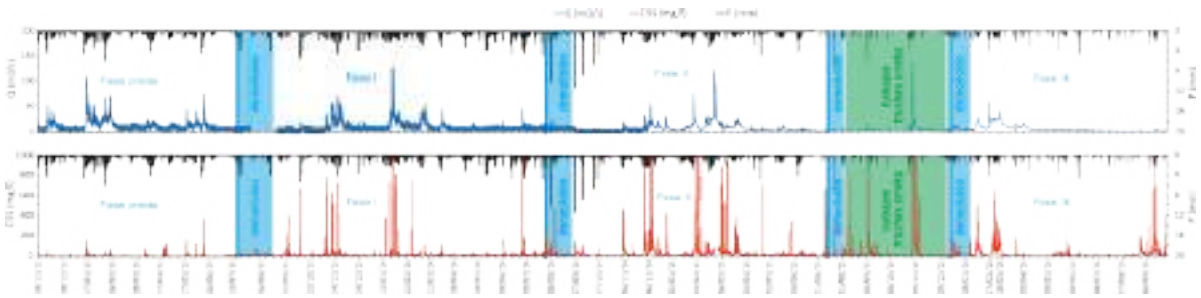


Figura 13: Datos diezminutales de precipitación (P, mm), caudal (Q, m^3/s) y concentración de sedimentos en suspensión (CSS, mg/l) correspondientes al periodo analizado (18/11/2012 a 30/09/2016) en la estación de aforos de Leitzaran.

En la tabla 2 se han incluido algunos estadísticos de los datos diezminutales de P, Q, CSS, CE (conductividad eléctrica, µS/cm), pH y OD (oxígeno disuelto, mg/l) de la estación de aforos de Leitzaran durante la fase previa, la fase I, la fase II y la fase III (2015-2016) 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. La comparación entre caudales muestra menores registros para los caudales bajos en la fase I. Los caudales máximos son mayores para las fases II y III, aunque las diferencias con la fase previa 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 las fases II y 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 resto de variables, pH o CE no se observan cambios destacables.

Tabla 2. Mínimo, percentiles 10, 25, 50, 75, 90 y 99, y máximo de los datos diezminutales de precipitación (P, mm), caudal (Q, m^3/s), concentración de sedimentos en suspensión (CSS, mg/l), 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 30/06/2015) y a la fase III (01/10/2015 a 30/09/2016)

		P (mm)	Caudal (m3/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	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

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 Leitzaran entre el 18 de noviembre de 2012 y el 30 de septiembre de 2016. 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 morado los de la fase III. 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. Algunas de estas histéresis se muestran más adelante, en este mismo informe, en el apartado 5.3 y en el Anexo III.

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 las fases II y III, debido a la mayor disponibilidad de sedimento proveniente del río. Por lo tanto, aunque parte del sedimento se haya podido quedar atrapado en las diversas trampas existentes a lo largo del Leitzaran, entre Inturia y la estación de aforos, es evidente el aumento en la cantidad de sedimentos en suspensión exportados durante las crecidas.

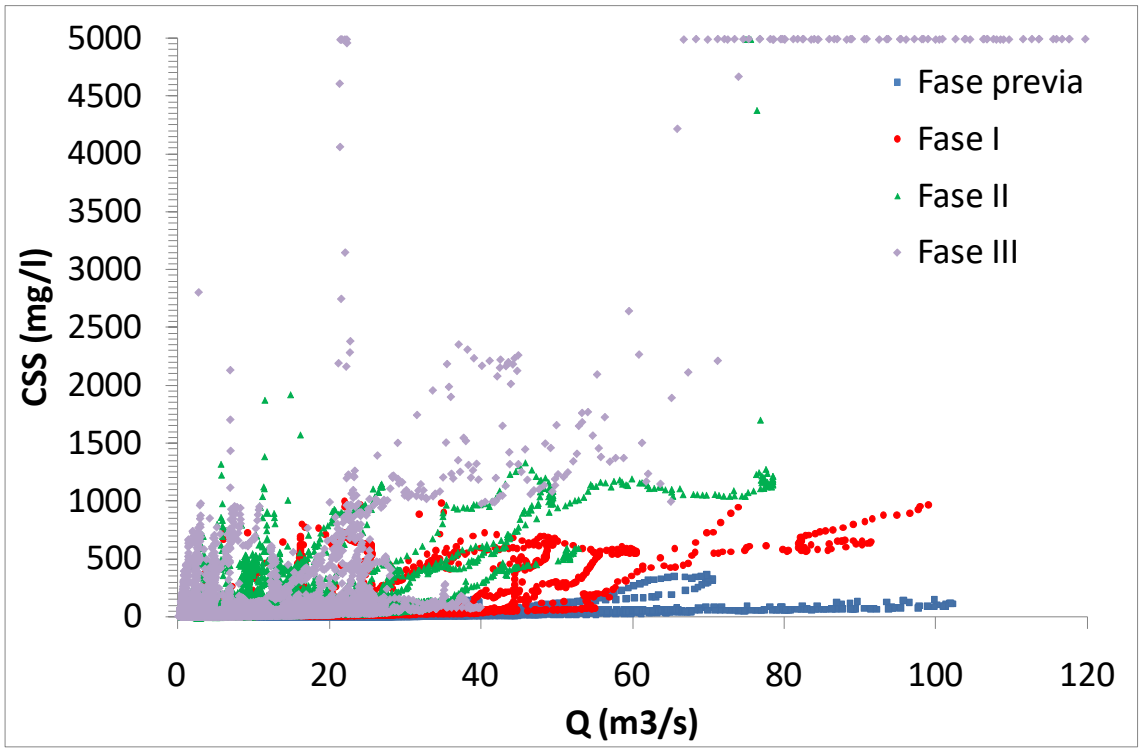


Figura 14: Relación entre los datos diezminutales de CSS (mg/l) y caudal (m^3/s) entre el 18 de noviembre de 2012 y el 30 de septiembre de 2016. En azul los datos correspondientes a la fase previa (18/11/2012 a 31/07/2013), en rojo los correspondientes a la fase I tras la demolición de la presa (01/08/2013 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 30/06/2015) y en morado los datos correspondientes a la fase III (01/10/2015 a 30/09/2016).

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 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 2015-2016 (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.

Los meses más lluviosos del 2015-2016 han sido febrero y marzo y, también, los de mayor escorrentía. Sin embargo la mayor exportación de sedimentos se dio durante el mes de noviembre, aproximadamente un 70 % de la exportación de sedimentos en suspensión de este año se da durante este mes. De manera muy similar, se observa en la figura inmediatamente inferior que la mayor parte de la exportación se da a finales de noviembre, y que entre febrero y marzo se exporta también una cantidad de sedimento considerable aunque de manera bastante progresiva, lo cual se relaciona con la mayor disponibilidad de sedimentos debido a los trabajos que se están llevando a cabo en la cuenca. El pulso de noviembre coincide con los caudales máximos diarios más importantes del año, de entre 400 y 650 $l/s \cdot km^2$. En los meses de febrero y marzo, los caudales máximos diarios no son tan importantes, sin embargo, hay muchos días con caudales superiores a 250 $l/s \cdot km^2$. En el caso del Leitzaran, la relación entre caudales máximos y exportación no es tan clara como en otras cuencas, debido a la gran disponibilidad de sedimentos disponibles para ser exportados desde esta cuenca.

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 2015 hasta el 30 de septiembre de 2016 se han exportado desde el Leitzaran 33300±80 t de sedimentos en suspensión, unas 303±0.7 t/km^2, muy por encima de las 20 t/km^2 que se exportaban antes de las demoliciones parciales.

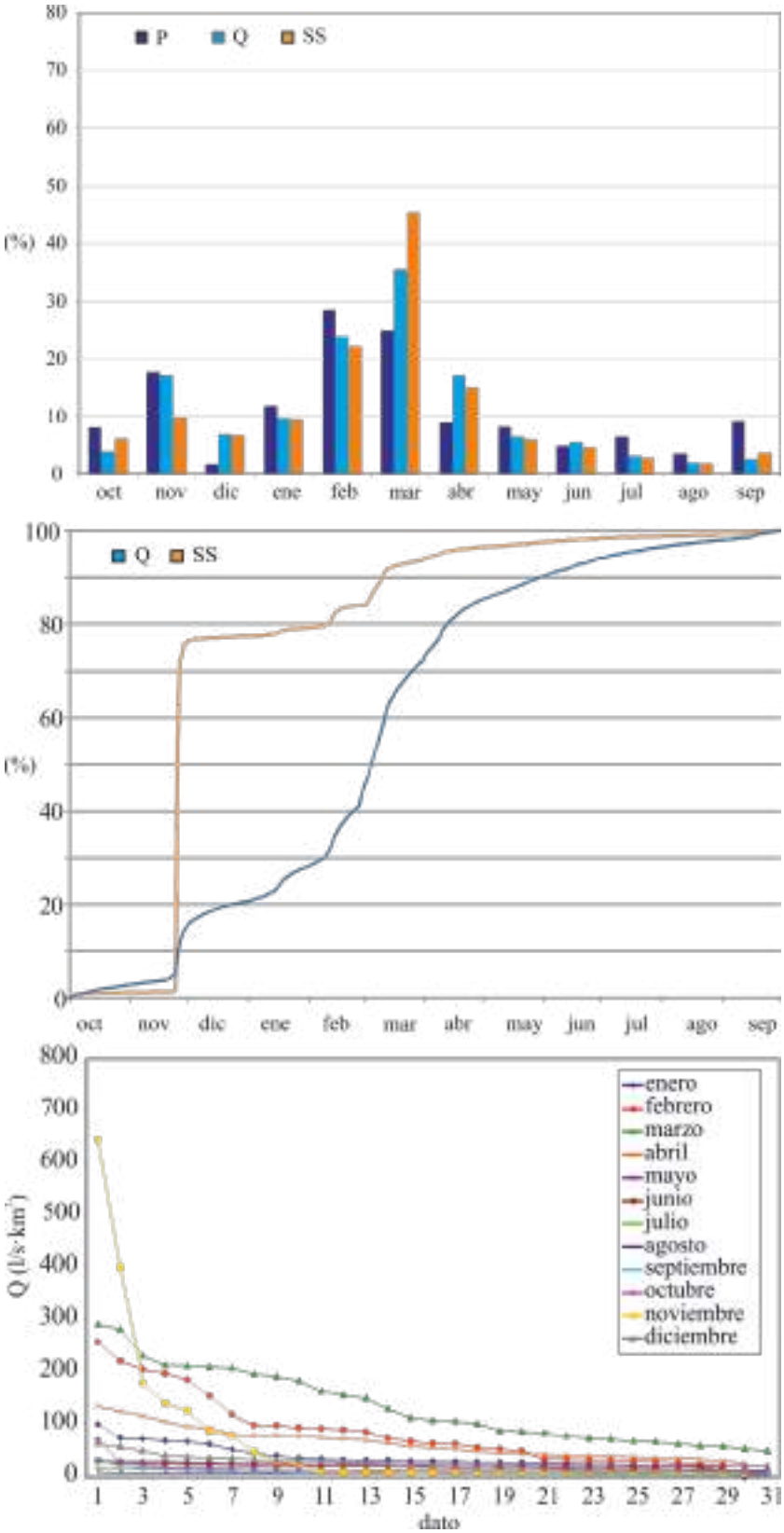


Figura 15: Distribución porcentual mensual de la precipitación (P), la escorrentía (Q) y la exportación de sedimentos en suspensión para la estación de aforos de Leitzaran durante el año 2015-2016. Debajo, el porcentaje diario acumulado de escorrentía y exportación de sedimentos en suspensión. En la figura inferior la distribución de los caudales diarios medios de cada mes (ordenados de mayor a menor).

Si se comparan los datos de exportación de sedimentos en suspensión obtenidos para el 2015-2016 con los obtenidos para el 2014-2015 (tabla 3), se observa que la exportación de sedimentos en suspensión está muy por encima para el 2015-2016, aunque tanto la precipitación como la escorrentía son bastante menores durante el 2015-2016, lo cual podría explicarse por una mayor disponibilidad de sedimentos tras los trabajos realizados en Truchas-erreka.

Tabla 3: Precipitación en la cuenca (P, mm), escorrentía (Q, mm), masa total de SS exportada (t) y masa específica de SS exportada (t/km^2), con sus desviaciones estándar, en la estación de Leitzaran durante los años hidrológicos 2014-2015 y 2015-2016. Los datos de exportación del 2014-2015 han sido recalculados con el modelo ajustado en este informe (figura 11).

	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

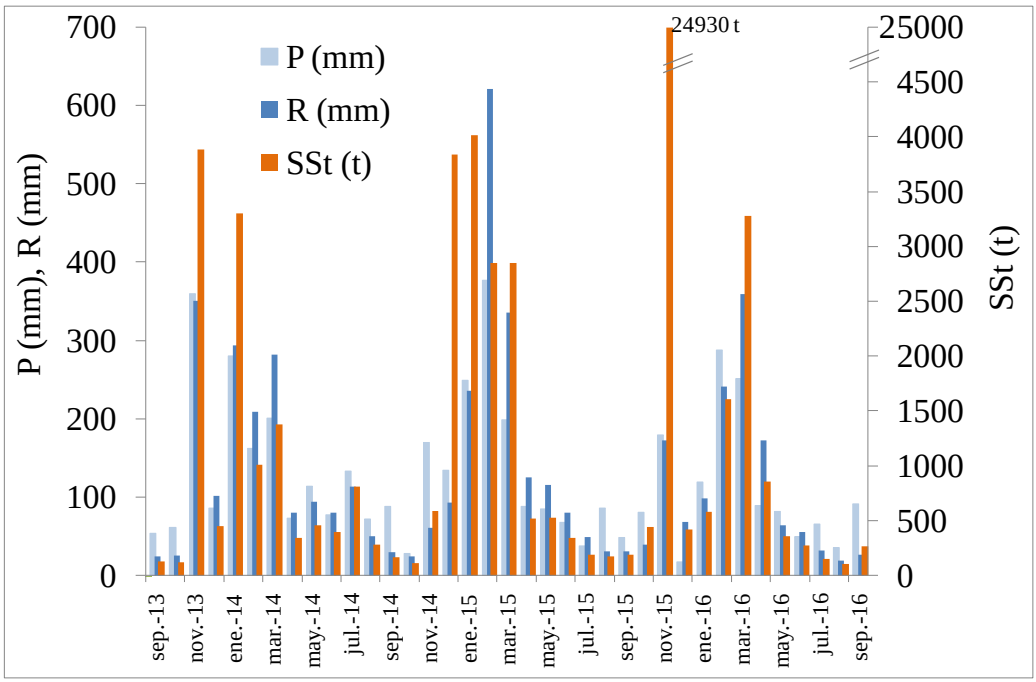


Figura 16: Distribución mensual de la exportación de sedimentos en suspensión (SSt), la precipitación (P) y la escorrentía (R) desde septiembre de 2013 hasta septiembre de 2016.

En la figura 16 se muestra la distribución mensual de la exportación de sedimentos en suspensión (SSt) junto con la de la precipitación (P) y la de la escorrentía (R) desde septiembre de 2013 hasta septiembre de 2016. En ella se observa claramente que noviembre de 2015 (advertir el cambio de escala en el eje vertical de la SSt) 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-erreka, 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 liberada. 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, y marzo de 2016 han sido los meses en los que se ha exportado la mayor parte del sedimento. De este modo, desde el 1 de septiembre de 2013 hasta el 30 de septiembre de 2016 se han exportado desde el Leitzaran unas 62300 t de sedimentos en suspensión, 570 t/km^2.

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/m^3. Esta densidad media ha sido calculada a partir de datos de 19 trampas de sedimentos referenciados en la literatura (Verstraeten y Poesen, 2002). De modo que la cantidad de sedimento en suspensión exportada de 62300 t ocuparía un volumen estimado de unos 54600 m^3, lo cual representa aproximadamente un 23 % 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 Leitzaran. Teniendo en cuenta esta misma relación se ha calculado que el volumen de sedimento exportado durante el 2015-2016 habría sido de 29200 m^3.

5.3. Caracterización de crecidas

Como ya se ha mencionado en el apartado de metodología se han caracterizado las crecidas lluvia-escorrentía en las que la CSS ha mostrado un aumento apreciable, con el fin de comparar la respuesta sedimentaria del 2015-2016 (fase III) con la respuesta durante las fases anteriores (UPV/EHU, 2014). En la tabla 4 se han incluido las características de los eventos estudiados en el Leitzaran durante la fase previa, la fase I, la fase II y la fase III del seguimiento. En un primer vistazo a esta tabla se observa que tanto las concentraciones (CSSmed y CSSmax, mg/l) como las exportaciones de sedimentos en suspensión (SSt, t) de los eventos registrados durante la fase III son bastante superiores a las de la fase previa, igual que ocurría con las fases I y II. Es importante recalcar, que los datos de concentración, sobre todo los más altos (los superiores a 1653 mg/l), no han podido ser debidamente calibrados y que, por lo tanto, hay que tomarlos a modo de referencia y siempre para poder realizar una comparación cualitativa, o semi-cuantitativa. En cualquier caso tanto estos datos como los datos de carga derivados deben ser considerados con gran prudencia.

De entre las crecidas ocurridas en la fase III destaca la crecida del 25 de noviembre de 2015 en la que se exportaron unas 23600 toneladas, el 70 % de los sedimentos en suspensión exportados durante el 2015-2016. Es necesario recordar que esta cuantía debe tomarse con gran cautela, más que en el resto de crecidas si cabe, debido a que durante la misma se registraron una gran cantidad de datos superiores al límite superior para el que existe un dato de campo (1653 mg/l), y que por lo tanto el dato calibrado se extrapola a partir del modelo ajustado hasta dicho valor (1653 mg/l) y que, además, gran parte de esos valores altos están muy cerca del límite superior de medida de la sonda de CSS, donde existe una gran incertidumbre de la lectura obtenida. En cualquier caso, y dado que son esos los datos con los que se cuenta, esta crecida habría exportado un porcentaje importante de lo exportado durante el 2015-2016.

En las figuras 17 a 23 se realiza una comparación entre crecidas concretas ocurridas en condiciones parecidas durante la fase previa y las fases I y II y la fase III. En primer lugar se comparan tres crecidas de una entidad considerable ocurridas en noviembre de 2012 (figura 17), noviembre de 2013 (figura 18) y octubre de 2015 (figura 19). En la crecida del 27 de noviembre de 2012 (figura 17), se registró una precipitación total de 128.1 mm, con una intensidad máxima de 4.6 mm en 10 minutos. El caudal máximo registrado fue de 46.95 m^3/s, unas 11 veces mayor que el caudal base; a su vez, se registró una concentración de sedimentos en suspensión máxima de 51 mg/l y una exportación de sedimentos de 94 t. La conductividad eléctrica aumenta al comienzo del evento para después disminuir durante el pico de caudal, aunque la diferencia entre la CE al inicio del evento y durante el pico es pequeña. El gráfico inferior muestra un bucle de histéresis horario, con una CSS mayor en la rama ascendente del hidrograma que en la rama descendente.

La crecida del 11 de noviembre de 2013 (figura 18) se dio en una situación hidrológica parecida a la anterior, con caudales antecedentes (Q1d) algo superiores a 4 m^3/s y precipitaciones abundantes, aunque menores que en la crecida anterior, 48 mm. La intensidad del evento también fue menor, IPmax = 1.3 y Qmax/Qo = 7.7, se registraron CSSs y exportaciones de sedimentos mucho mayores, 635 mg/l y 1028 t, respectivamente. En este caso la CSSmax superaría los 1000 mg/l.

En la crecida de octubre de 2015 (figura 19) los caudales antecedentes eran muy bajos (0.816 m^3/s) y las precipitaciones fueron menos abundantes que en los casos anteriores, 40.5 mm, no así su intensidad máxima (6.8 mm/10 min). Durante este evento se registraron 952 mg/l de CSS máximo y 257 t de sedimentos en suspensión exportados. La diferencia en los datos de sedimentos entre crecidas deja clara la mayor disponibilidad de sedimentos durante la fase III, relacionada también con el derribo y la cercanía de Truchas-erreka. El gráfico inferior de la figura muestra un bucle de histéresis horario, bastante amplio, con una CSS mayor en la rama ascendente del hidrograma que en la descendente, igual que el bucle de noviembre de 2013.

Otras crecidas ocurridas en situaciones y con características similares son las ocurridas el 14 de enero de 2013 (figura 20), el 24 de enero de 2014 (figura 21), el 29 de enero de 2015 (figura 22) y el 4 de marzo de 2016 (figura 23). Las cuatro ocurren en invierno, con precipitaciones importantes durante las semanas anteriores y son generadas por abundantes precipitaciones. Durante las crecidas de la fase I (24/1/2014) y II (29/1/2015) tanto la CSS como la exportación de sedimentos son significativamente más elevadas que las de la crecida de la fase previa (14/1/2013). Sin embargo, en la crecida de la fase III (04/03/2016) se han registrado menores concentraciones y masa de sedimentos que en las fases I y II, quizás debido al agotamiento de sedimentos tras la importante exportación de ocurrida en la crecida de noviembre y a que los sedimentos de Inturia no terminan parecen estar retenidos a lo largo del río. En los tres primeros casos, la histéresis es horaria, en el cuarto la relación caudal-CSS es lineal.

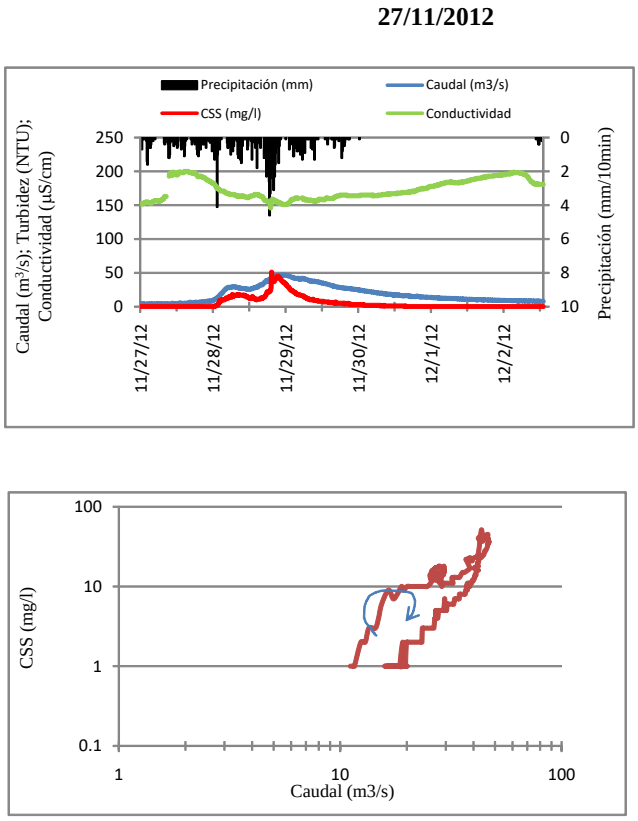
La mayor parte de las crecidas de la fase III siguen mostrando un bucle de histéresis horario entre el caudal y la CSS independientemente de las condiciones antecedentes y las del evento (ver anexo III), al igual que en fases anteriores, sin embargo, y debido a que en la segunda parte del año se observan un gran número de eventos con ligeros ascensos del caudal acompañados de aumentos de CSS moderados, se observan también relaciones de tipo lineal.

Tabla 4: Características de las crecidas analizadas en el periodo de estudio (Anexo III). Día se refiere al día en que comienza la crecida.

	dia	nº evento	P mm	IP mm/10min	Ipmax mm/10min	Qmed m^3/s	Qmax m^3/s	Qt mm	Qmax/Qo	CSSmed mg/l	CSSmax mg/l	SSt t	P1 mm	P12 mm	P1d mm	P3d mm	P7d mm	P15d mm	Q1d m^3/s	Qo m^3/s	CEo µS/cm	CEmin µS/cm
Fase previa	27/11/2012	1	128.1	0.2	4.6	18.87	46.95	82	11.0	5	51	94	0.1	2.6	8.2	23.8	28.1	45.0	4.12	4.25	152	146
	03/12/2012	2	87.5	0.1	1.7	17.01	33.72	102	3.9	1	10	19	0.0	4.7	4.6	4.7	150.2	175.8	4.12	8.69	179	157
	14/01/2013	3	174.7	0.4	2.8	48.38	102.15	122	12.0	33	146	569	1.0	17.2	23.6	40.0	44.4	70.8	4.71	8.48	157	85
	23/01/2013	4	52.4	0.2	3.6	27.72	44.56	44	3.2	6	19	38	0.1	10.6	27.4	37.1	116.1	327.7	12.95	14.11	189	137
	07/02/2013	5	60.7	0.2	6.1	33.43	60.40	49	2.8	12	42	86	1.2	7.9	22.6	67.3	2338.6	195.9	24.27	21.51	135	90
	11/02/2013	6	64.4	0.1	1.3	32.47	66.01	92	3.5	11	59	166	0.0	15.4	18.9	43.1	162.1	209.6	18.50	18.82	132	119
	17/05/2013	7	69.4	0.2	1.5	20.59	39.67	31	9.4	32	151	166	1.6	4.5	4.6	15.8	15.8	39.9	4.17	4.20	174	95
	31/05/2013	8	16.9	0.0	1.4	23.54	36.42	44	2.8	17	119	114	0.0	0.3	4.4	29.0	45.3	135.7	13.18	13.14	153	124
	08/06/2013	9	76.2	0.1	3.3	26.06	70.45	89	6.1	31	367	621	0.6	18.4	25.8	36.1	39.4	98.5	8.33	11.64	126	77
Fase I	17/09/2013	10	17.6	0.0	1.0	1.66	4.33	4	3.7	68	398	32	0.0	2.5	3.4	10.1	24.4	35.9	1.00	1.18	233	187
	04/10/2013	11	20.9	0.4	5.3	1.82	9.73	1	12.3	40	672	4	0.0	1.7	1.7	1.9	2.0	5.0	0.77	0.79	212	180
	04/11/2013	12	33.2	0.1	1.9	14.07	25.76	19	9.5	186	774	590	0.2	10.7	17.0	29.8	34.8	39.4	1.71	2.72	202	154
	11/11/2013	13	48.0	0.2	1.3	32.72	49.54	40	7.7	184	635	1028	0.1	7.5	18.6	23.6	73.8	92.7	4.30	6.43	162	99
	12/11/2013	14	36.9	0.2	1.7	33.41	46.17	30	1.7	84	515	334	1.5	5.7	19.7	69.0	73.2	140.4	36.04	27.05	143	106
	18/11/2013	15	81.9	0.2	4.4	31.95	60.48	74	6.3	121	727	1500	0.0	0.3	2.6	22.2	106.8	197.1	10.80	9.65	109	62
	24/01/2014	16	76.4	0.2	1.5	58.32	119.01	115	5.5	334	1000	6332	0.2	1.5	11.0	56.8	92.4	121.2	25.98	21.77	122	62
	29/01/2014	17	19.4	0.2	1.2	16.56	17.86	10	1.0	297	803	313	0.0	0.0	4.0	38.1	139.8	207.0	20.09	17.53	130	127
	01/03/2014	18	45.3	0.1	0.9	19.91	29.10	40	3.4	28	58	65	0.1	12.0	25.9	35.6	45.7	77.6	6.94	8.52	145	98
	25/03/2014	19	39.4	0.1	3.3	20.23	35.78	46	3.6	34	106	211	0.4	6.5	12.6	47.4	54.8	54.8	8.33	9.91	183	123
	09/06/2014	20	3.3	0.0	0.8	6.24	12.77	5	4.3	68	158	41	0.6	3.1	3.1	3.2	6.3	59.8	3.05	2.9814	150	94
	04/07/2014	21	16.3	0.07	3.7	14.35	37.19	12	10.7	121	999	471	0	12.4	13.1	21.5	24.6	73.6	3.36	3.4689	155	76
Fase II	13/08/2014	22	19.1	0.06	1.6	3.65	6.68	9	3.3	53	465	41	0.1	5.6	5.6	12.2	28.2	54.8	1.80	2.02	182	136
	07/09/2014	23	21.8	2.18	11.4	1.53	124.88	1	105.8	58	137	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	6.3	1.19	1.18	200	188
	03/11/2014	24	108.6	0.14	2.6	5.66	15.92	8	7.6	93	465	385	0.0	0.0	0.0	1.7	1.7	4.6	0.00	2.10	215	136
	30/11/2014	25	32.4	0.07	2.3	9.36	27.05	11	10.5	178	1148	819	0.1	4.3	6.8	11.9	20.0	37.6	2.43	2.57	200	136
	05/12/2014	26	47	0.18	2.4	13.09	16.65	12	3.2	80	258	185	2.8	6.1	13.5	14.2	57.4	66.1	4.58	5.26	184	142
	07/12/2014	27	48.8	0.19	1.9	27.51	49.54	64	4.7	419	1331	2536	0.2	1.2	9.6	60.5	90.3	113.1	13.65	10.63	174	87
	27/12/2014	28	27.1	0.05	1.0	14.17	29.45	44	5.0	66	423	487	0.0	0.3	8.7	15.5	18.0	66.2	5.63	5.95	176	143
	29/01/2015	29	171.1	0.28	2.7	35.93	78.52	118	6.8	328	4988	5762	0.1	0.1	1.4	14.3	18.4	108.2	12.63	11.48	160	86
	14/02/2015	30	58.9	0.07	1.4	19.36	31.95	91	3.8	49	147	566	0.2	1.5	1.5	1.5	1.5	134.8	8.13	8.52	144	109
	04/03/2015	31	22	0.08	1.0	16.01	19.60	24	1.4	92	706	247	0.0	4.0	4.0	10.4	148.9	279.8	15.00	13.90	120	102
	13/03/2015	32	48.7	0.15	2.0	11.16	13.77	19	1.9	100	954	219	0.0	2.1	6.9	6.9	6.9	68.7	7.02	7.21	147	112
	22/03/2015	33	59.2	0.12	1.3	16.08	21.20	43	2.6	67	390	327	0.0	0.1	11.4	20.2	21.7	77.3	9.19	8.04	150	112
	26/04/2015	34	56	0.18	4.9	6.93	8.94	12	3.6	29	702	33	0.0	1.5	1.5	3.3	4.6	22.4	2.51	2.49	187	133

Tabla 4 (continuación): Características de las crecidas analizadas en el periodo de estudio (Anexo III). Día se refiere al día en que comienza la crecida.

	dia	nº evento	P mm	IP mm/10min	Ipmax mm/10min	Qmed m^3/s	Qmax m^3/s	Qt mm	Qmax/Qo	CSSmed mg/l	CSSmax mg/l	SSt t	P1 mm	P12 mm	P1d mm	P3d mm	P7d mm	P15d mm	Q1d m^3/s	Qo m^3/s	CEo µS/cm	CEmin µS/cm
Fase III	01/10/2015	35	40.5	0.19	6.8	6.13	12.32	8	15.10	431	952	257	0	2.1	2.1	2.4	2.4	24.9	128	0.816	181	111
	25/11/2015	36	81.4	0.21	2	46.36	139.35	107	41.43	1925	4988	23624	0	0.4	0.5	30.4	65.5	66.6	5.14	3.364	207	108
	27/11/2015	37	29.9	0.08	1.7	15.99	24.45	36	1.70	364	4984	1163	0	0.9	2.8	81.8	146.9	148	25.8	14.370	135	107
	14/01/2016	38	30.1	0.02	1.5	8.28	12.72	14	3.98	41	133	119	0	8.1	8.2	17.9	35.9	8.2	2.96	3.199	164	120
	03/02/2016	39	19.6	0.06	1.4	3.57	3.98	7	1.60	34	178	49	0	0	0	0.1	13.8	16.6	2.6	2.487	167	145
	09/02/2016	40	44	0.16	1.4	9.28	12.40	16	4.08	48	164	138	0	0	0	15	34.6	48.4	3.21	3.040	175	118
	12/02/2016	41	37.4	0.21	1.5	17.67	25.00	18	2.80	156	483	322	0	6.3	6.4	50.4	65.4	98.8	9.54	8.936	141	123
	13/02/2016	42	10.6	0.08	1.1	21.96	28.24	16	1.46	173	519	280	0	2.4	25.9	47	102.8	123	19.4	19.356		
	14/02/2016	43	33.3	0.06	1.3	14.00	19.50	44	1.00	55	348	410	0	1.5	10.6	54.4	98.4	133	21.8	19.503		137
	02/03/2016	44	31.7	0.10	1.9	21.55	25.65	43	1.80	70	246	457	0.1	0.5	0.5	6.9	107	122	15.5	14.284	133	130
	04/03/2016	45	91.7	0.15	1.6	23.43	27.44	85	1.23	86	666	957	0	0	2.7	32.2	122.3	144	21.8	22.387	138	118
	08/03/2016	46	59.1	0.10	2.6	26.28	40.00	96	1.98	73	331	1036	0	0.6	7.4	55.8	123.9	232	21.6	20.246	125	99
	31/03/2016	47	43.9	0.11	2.4	12.43	16.56	30	2.70	33	179	220	0.1	451	0.2	5	15.6	25.4	5.45	6.128	146	82
	30/05/2016	48	9.3	0.06	1.5	3.06	3.41	2.9	1.39	49	158	24	0	3.2	3.2	7.6	15.3	50.2	2.43	2.452		160
	28/08/2016	49	7.7	0.04	0.7	0.96	6.49	1.2	10.45	64	197	13	0	0.4	0.4	0.4	0.8	17.1	0.57	0.621	209	200
	08/09/2016	50	9.6	0.07	0.8	0.78	0.97	0.7	1.57	88	307	8	0	0	0	0	0	8.5	0.59	0.621	226	205
	13/09/2016	51	9.8	0.04	2.5	0.88	1.67	1.3	3.16	116	669	19	0	0.3	0.3	0.3	16.2	16.2	0.58	0.529	215	200
	15/09/2016	52	18.2	0.09	1.3	1.76	3.12	2.1	4.79	218	980	46	0.2	0.2	0.4	10.3	16.6	26.2	0.71	0.652	211	170
	17/09/2016	53	29.8	0.11	2.3	3.24	4.96	5.2	2.50	145	707	83	0	2.8	9.4	22.4	28.5	44.4	2.13	1.985	190	129



Características

Precipitación:

P	128.1	mm
IP:	0.16	mm/10min
IPmax:	4.6	mm/10min

Caudal:

Qmed:	18.87	m^3/s
Qmax:	46.95	m^3/s
Qt:	82.12	mm
Qmax/Qo:	11.04	

Transporte de sedimentos:

CSSmed:	5.38	mg/l
CSSmax:	51.00	mg/l
SSt:	94.23	t

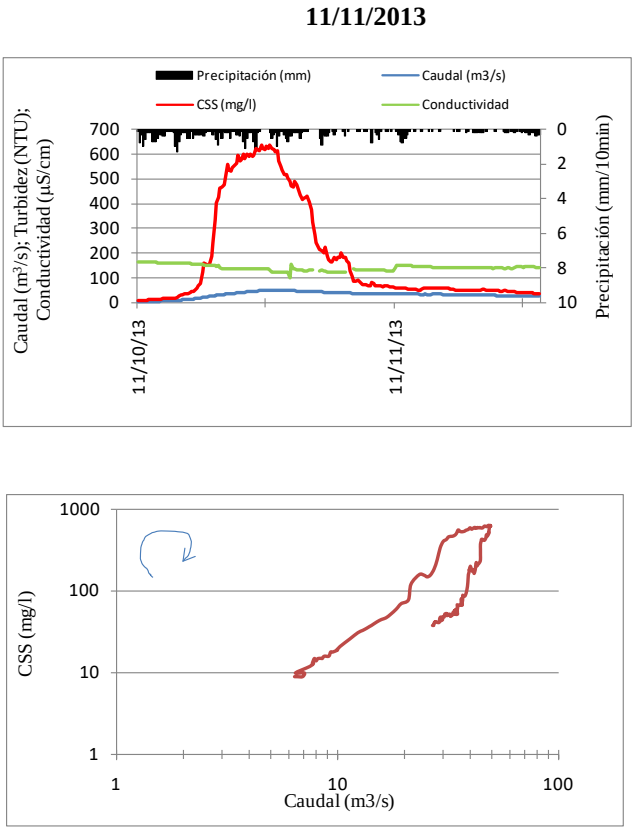
Condiciones antecedentes:

P1:	0.1	mm
P12:	2.6	mm
P1d:	8.2	mm
P3d:	23.8	mm
P7d:	28.1	mm
P15d:	45	mm
Q1d:	4.12	m^3/s
Qo:	4.25	m^3/s

Conductividad eléctrica:

CEo:	152	µS/cm
CEmin:	146	µS/cm

Figura 17: Características de la crecida registrada el 27 de noviembre de 2012.



Características

Precipitación:

P	48	mm
IP:	0.21	mm/10min
IPmax:	1.3	mm/10min

Caudal:

Qmed:	32.72	m^3/s
Qmax:	49.54	m^3/s
Qt:	40.15	mm
Qmax/Qo:	7.70	

Transporte de sedimentos:

CSSmed:	184.11	mg/l
CSSmax:	635.00	mg/l
SSt:	1027.97	t

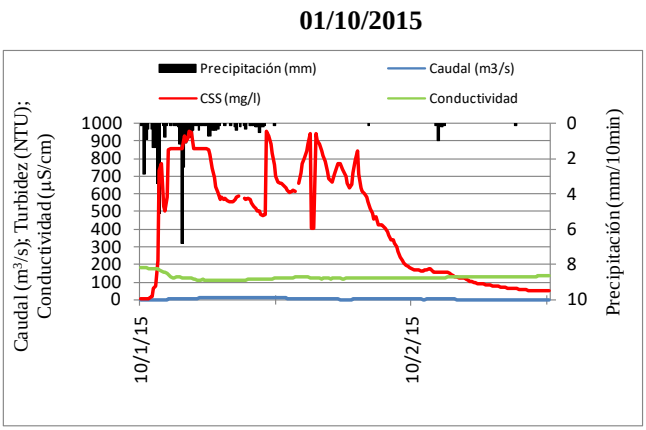
Condiciones antecedentes:

P1:	0.1	mm
P12:	7.5	mm
P1d:	18.6	mm
P3d:	23.6	mm
P7d:	73.8	mm
P15d:	92.7	mm
Q1d:	4.30	m^3/s
Qo:	6.43	m^3/s

Conductividad eléctrica:

CEo:	162	µS/cm
CEmin:	99	µS/cm

Figura 18: Características de la crecida registrada el 11 de noviembre de 2013.



Características

Precipitación:

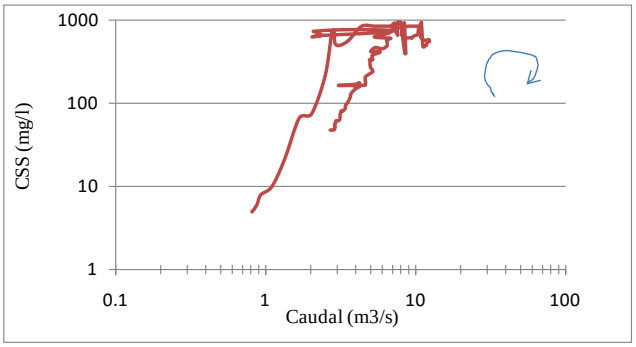
P	40.5	mm
IP:	0.1858	mm/10min
IPmax:	6.8	mm/10min

Caudal:

Qmed:	6.1322	m^3/s
Qmax:	12.316	m^3/s
Qt:	8.0129	mm
Qmax/Qo:	15.10	

Transporte de sedimentos:

CSSmed:	430.99	mg/l
CSSmax:	952	mg/l
SSt:	256.54	t



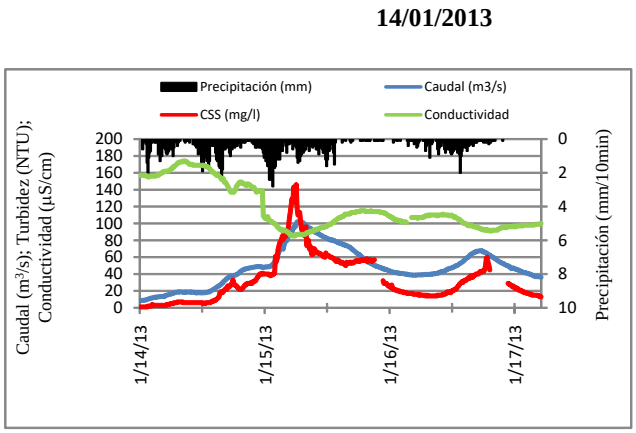
Condiciones antecedentes:

P1:	0	mm
P12:	2.1	mm
P1d:	2.1	mm
P3d:	2.4	mm
P7d:	2.4	mm
P15d:	24.9	mm
Q1d:	128.17	m^3/s
Qo:	0.82	m^3/s

Conductividad eléctrica:

CEo:	181	µS/cm
CEmin:	111	µS/cm

Figura 19: Características de la crecida registrada el 1 de octubre de 2015.



Características

Precipitación:

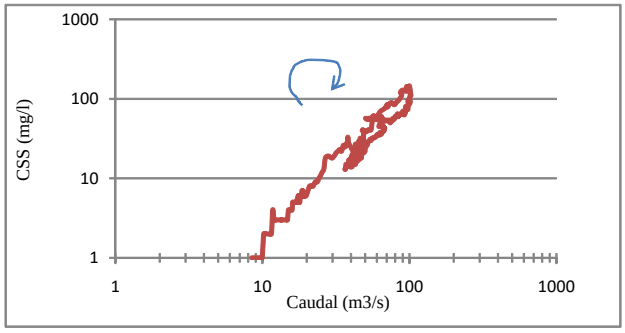
P	174.7	mm
IP:	0.38	mm/10min
IPmax:	2.8	mm/10min

Caudal:

Qmed:	48.38	m^3/s
Qmax:	102.15	m^3/s
Qt:	121.91	mm
Qmax/Qo:	12.04	

Transporte de sedimentos:

CSSmed:	33.15	mg/l
CSSmax:	146.00	mg/l
SSt:	568.58	t



Condiciones antecedentes:

P1:	1	mm
P12:	17.2	mm
P1d:	23.6	mm
P3d:	40	mm
P7d:	44.4	mm
P15d:	70.8	mm
Q1d:	4.71	m^3/s
Qo:	8.48	m^3/s

Conductividad eléctrica:

CEo:	157	µS/cm
CEmin:	85	µS/cm

Figura 20: Características de la crecida registrada el 14 de enero de 2013.

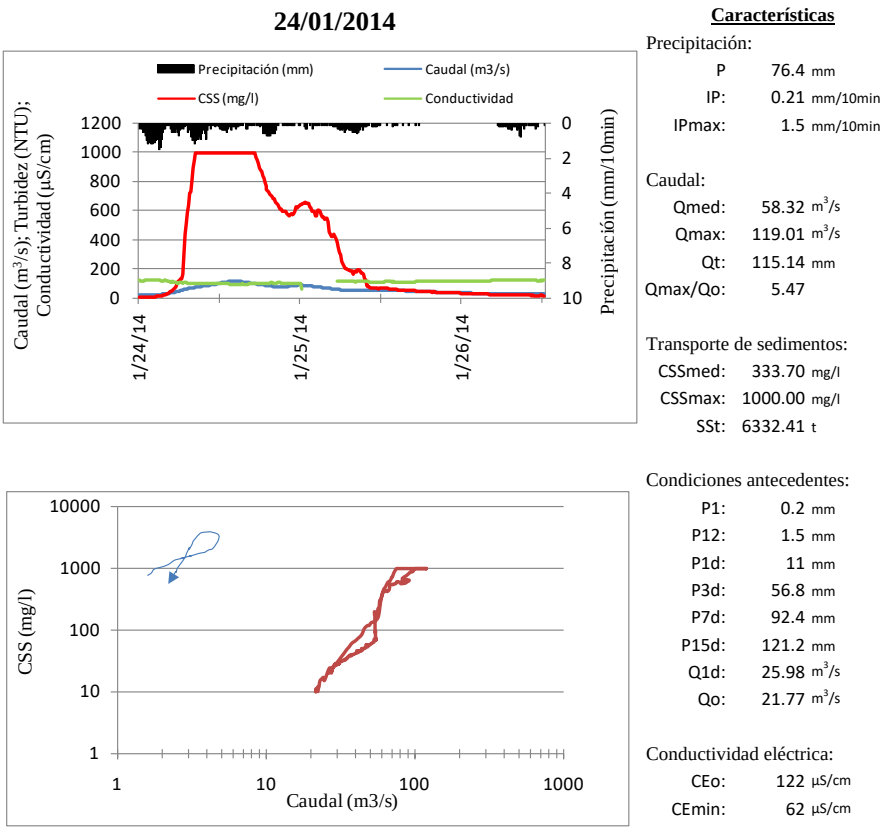


Figura 21: Características de la crecida registrada el 24 de enero de 2014.

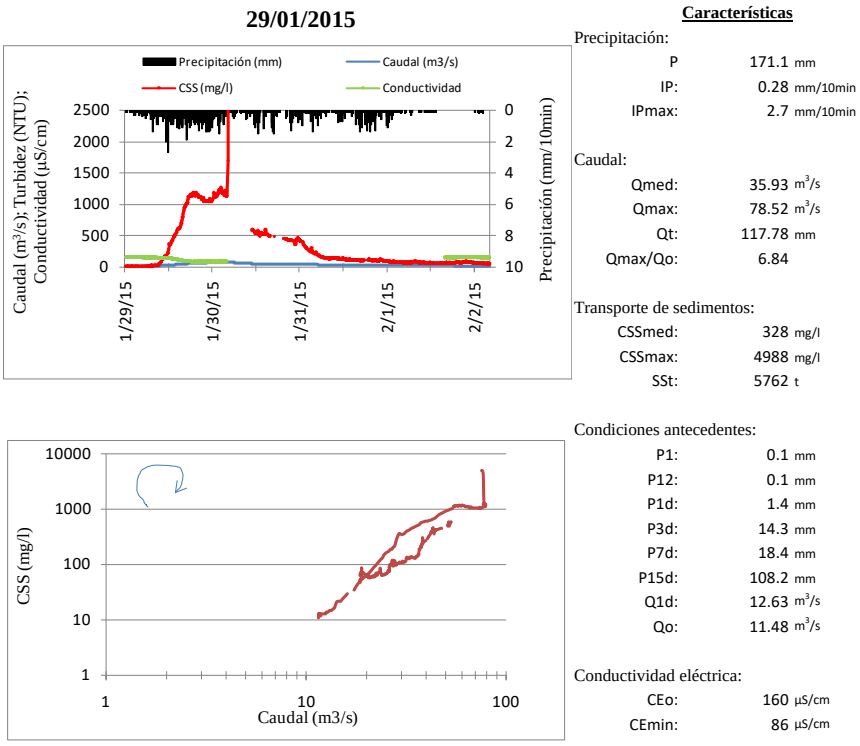


Figura 22: Características de la crecida registrada el 29 de enero de 2015.

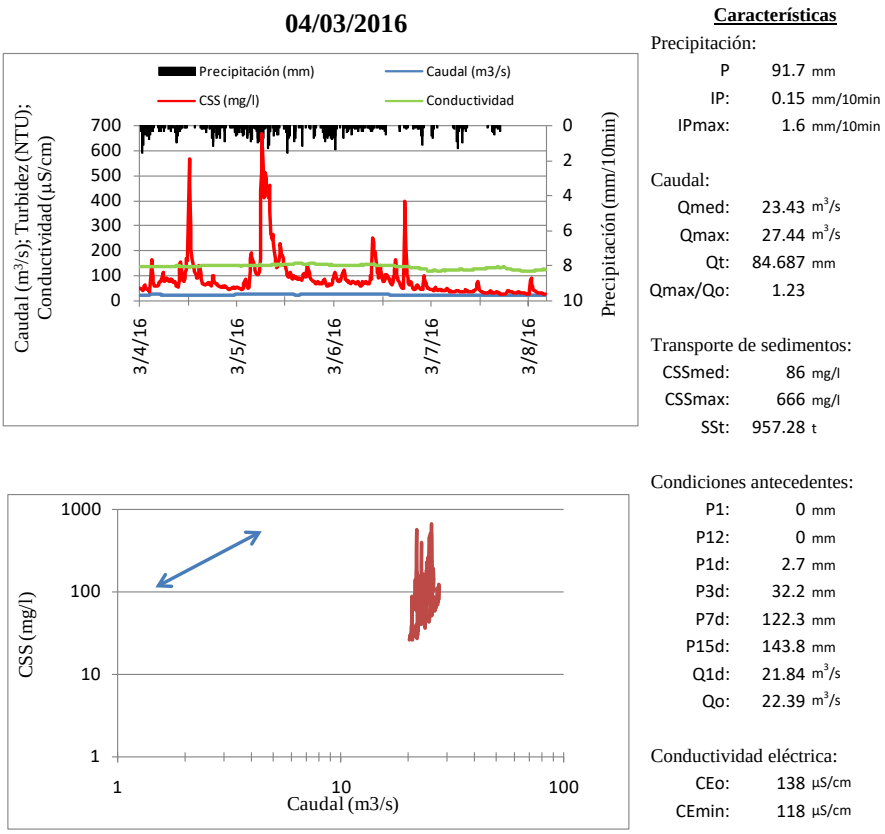


Figura 23: Características de la crecida registrada el 4 de marzo de 2016.

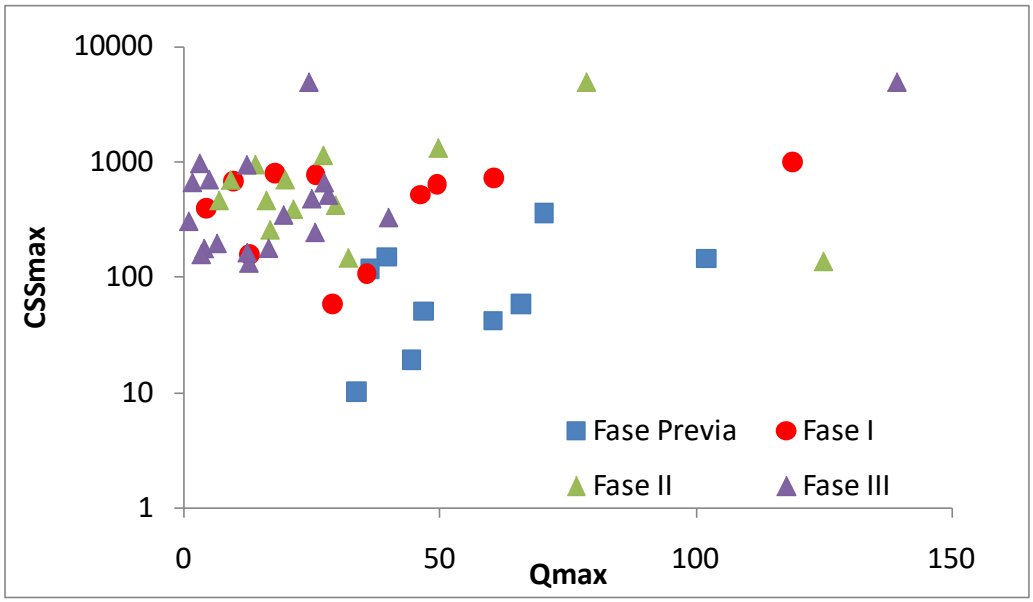


Figura 24: Relación entre el caudal pico o caudal máximo y la CSS máxima de las crecidas registradas en la estación de aforos de Leitzaran durante la fase previa (en azul), la fase I (en rojo), la fase II (en verde) y la fase III (en morado).

En la figura 24 se muestra la relación entre el caudal máximo y la CSS máxima de las crecidas analizadas en la estación de aforos del Leitzaran para la fase previa (en azul), la fase I (en rojo), la fase II (en verde) y la fase III (2015-2016, en morado). Se observa que existe una gran diferencia entre los resultados de las cuatro fases debido a la mayor disponibilidad de sedimentos en las fases I, II y III. La escasa relación entre estos dos parámetros durante la fase III, al igual que durante las fases I y II, puede deberse a una limitación de capacidad de transporte del caudal, o a una posible limitación en la disponibilidad de sedimentos cerca de la estación de aforos después de una exportación continuada durante crecidas anteriores.

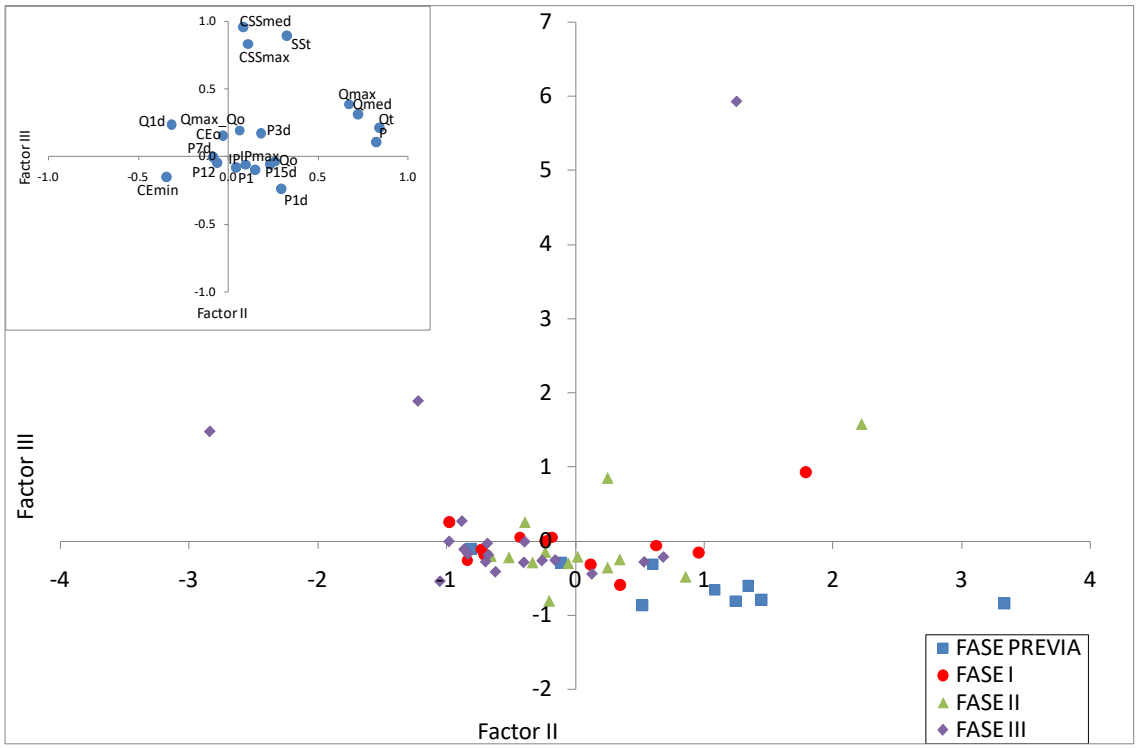


Figura 25: Análisis de componentes principales realizado con los datos correspondientes a las características de las crecidas de la tabla 4. En azul la fase previa, en rojo la fase I, en verde la fase II y en morado la fase III. La varianza explicada por el factor II es del 18 % y por el factor III del 12 %.

Teniendo en cuenta los datos recogidos en la tabla 4 se han querido comparar las crecidas de las distintas fases mediante un análisis de componentes principales (ACP). Los resultados del análisis estadístico muestran que el factor I explica un 28 % de la varianza total de la muestra de datos, el factor II un 18 %, el factor III un 12 %, y el factor IV explica un 7 % de dicha varianza. El factor I se caracteriza por relacionarse con los parámetros relacionados con el estado de humedad de la cuenca (Qo, P15d, precipitación antecedente) en su parte positiva y en la parte negativa, contrapuestos a los parámetros mencionados, con la CE. En el factor II aparecen la precipitación total (P) y los relacionados con el caudal del evento (Qmax, Qmed, Qt), todos ellos en la parte positiva. El factor III se caracteriza por los parámetros relacionados con la exportación de sedimentos (CSSmax, CSSmed, SSt) en su parte positiva, y en el factor IV aparecen la intensidad de la precipitación y la magnitud del evento (Qmax/Qo).

En las figuras 25 y 26 se muestran los factores II y III correspondientes al ACP, entre los cuales se explica el 30 % de la varianza total de los datos analizados. La única diferencia entre las dos figuras es la escala vertical, que en la figura 25 debido a la importante SSt cuantificada para la crecida del 25 de noviembre de 2015, es muy exagerada y no deja ver con claridad las diferencias entre crecidas de diferentes fases. Se ha considerado que el plano factorial II-III es de mayor interés para este estudio, comparado con el I-II, ya que a pesar de que la varianza total explicada es menor, en él se muestran parámetros relacionados con los sedimentos en suspensión, foco de interés de este estudio. En cuanto al reparto de las crecidas en este espacio se observa una clara diferencia entre las crecidas de la fase previa (en azul) y las de las fases I (en rojo), II (en verde) y III (en morado). Siendo las crecidas de las fases I, II y III las que muestran una mayor exportación de sedimentos y, a su vez, las que se localizan hacia la parte negativa del factor I, caracterizadas, por tanto, por menores caudales y mayores conductividades.

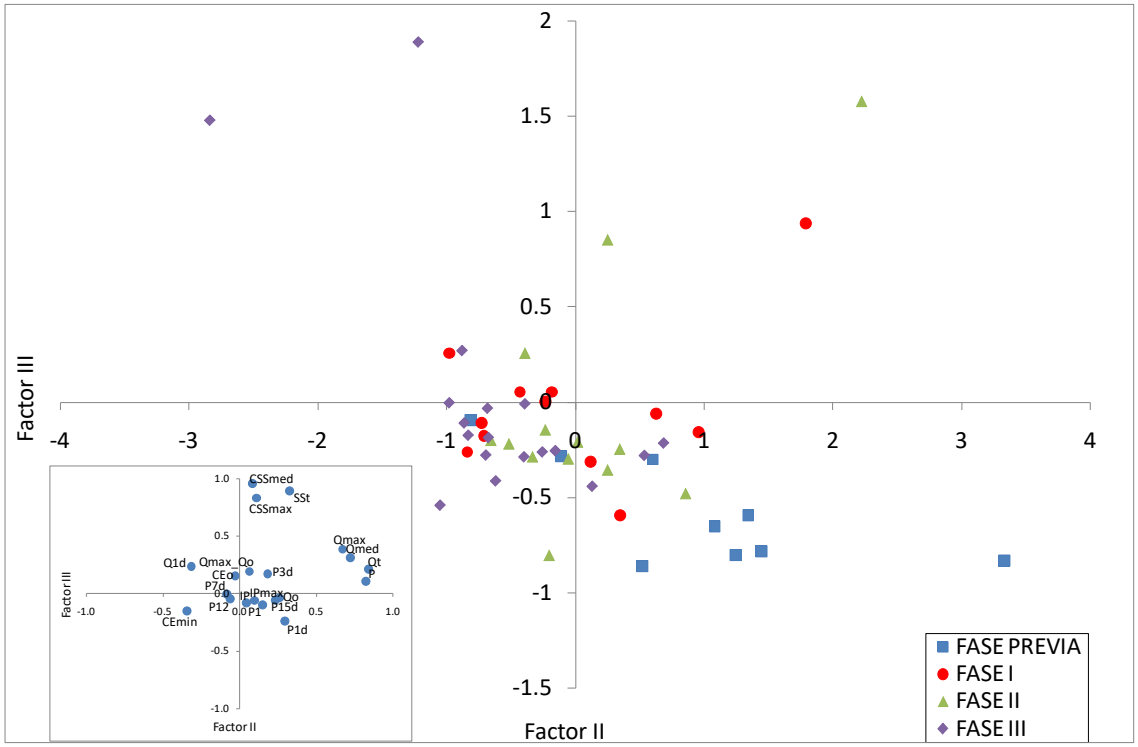


Figura 26: Análisis de componentes principales realizado con los datos correspondientes a las características de las crecidas de la tabla 4. En azul la fase previa, en rojo la fase I, en verde la fase II y en morado la III. La varianza explicada por el factor II es del 18 % y por el factor IV del 12 %.

Con el fin de entender mejor estas diferencias, sobre todo en lo que a la respuesta hidrológica se refiere, se han realizado boxplots de los parámetros considerados separando los datos de cada una de las fases, intentando así comparar no sólo la respuesta sedimentaria sino también la posible existencia de importantes diferencias en las condiciones en las que se generan dichas crecidas en las diferentes fases (figura 27).

En la figura 27 se muestra la distribución de los datos calculados para las crecidas de las cuatro fases comparadas en el presente informe. Se ha incluido un esquema para facilitar la interpretación de los gráficos. La caja representa a los datos ubicados entre el primer y el tercer cuartil, y la línea central,

la mediana. Los bigotes representan los valores máximos y mínimos, y los círculos y asteriscos los valores atípicos y extremadamente atípicos, respectivamente.

De esta figura se concluye que las crecidas de la fase previa son, en general, más cuantiosas e intensas tanto en precipitación como en caudales, aunque debido a la menor disponibilidad de sedimentos la exportación de los mismos es también significativamente menor. Las mayores concentraciones de sedimentos en suspensión se registran durante la fase II, mayores, en general, que las de la fase III. En lo que respecta a la exportación de sedimentos en suspensión (SSt), en el primero de los gráficos destaca de manera clara la crecida del 25 de noviembre de 2015. En un segundo gráfico se ha eliminado esta crecida para poder comparar mejor las cuatro fases. Se observa una ligera disminución de la exportación de sedimentos en suspensión entre las fases II y III, que puede ser debido al lavado de sedimentos originado por la crecida citada, sin embargo, no se puede decir que las diferencias observadas sean estadísticamente significativas.

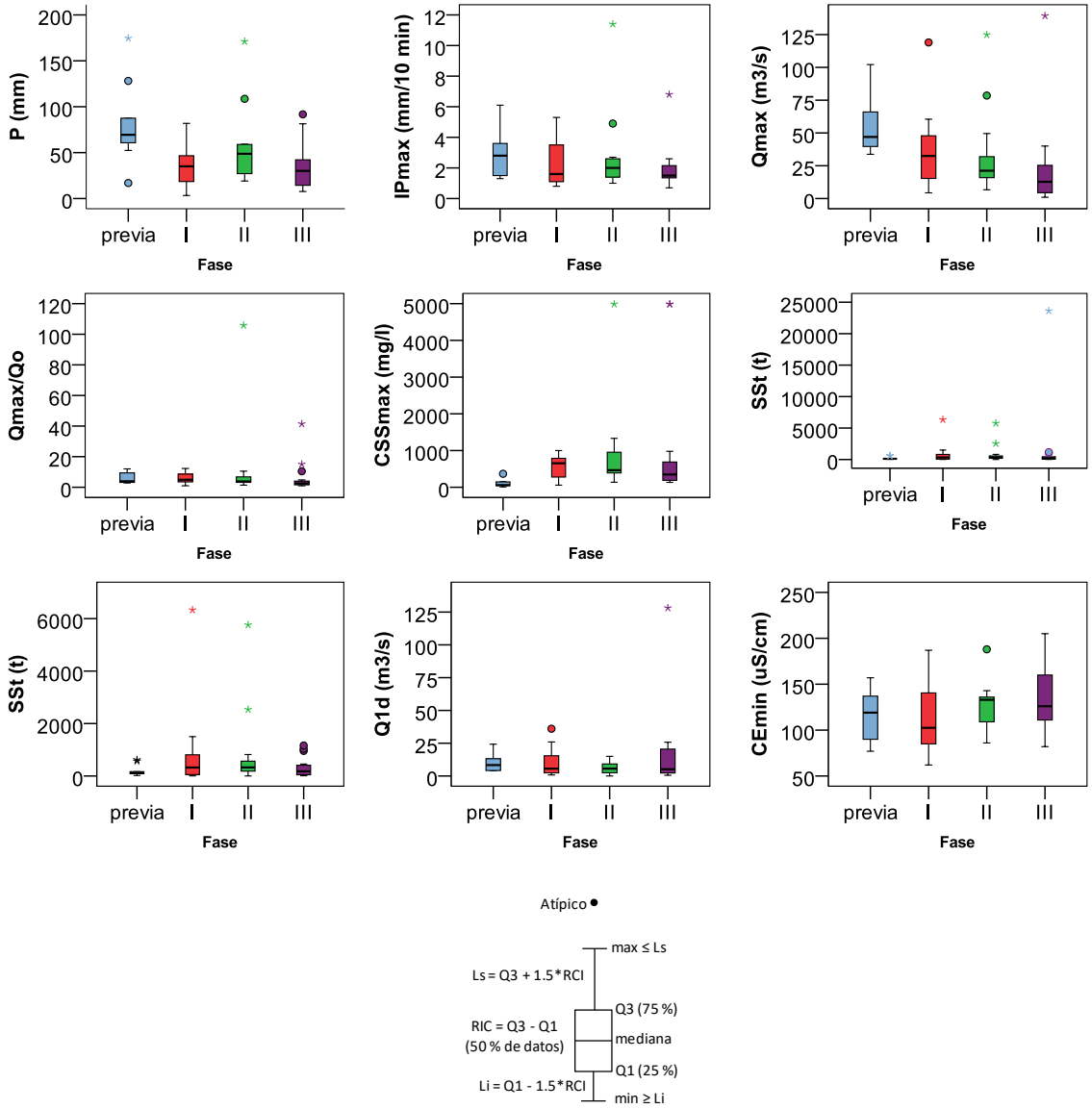


Figura 27: Boxplot en los que se resumen los valores calculados en la tabla 4 para las crecidas correspondientes a la fase previa (en azul; n = 9), la fase I (en rojo; n = 12), la fase II (en verde; n = 13) y la fase III (en morado; n = 19) en el Leitzaran.

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)) y el 1 de septiembre de 2016 (campaña incluida 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.

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 y el 1 de septiembre de 2016. 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 ºC	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

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 y el 1 de septiembre de 2016. <LD = bajo límite de detección. LD: P = 0.02 mg/l, NO2 = 0.2 mg/l, NH4 = 200µg/l.

fecha	punto	TOC mg/l	DOC mg/l	POC mg/l	P mg/l	NO3 mg/l	NO2 mg/l	NH4 mg/l
23/7/2013	P1	1.574	2.794	0	<LD	1.5	<LD	<LD
23/7/2013	P2	2.504	3.561	0	<LD	2.1	<LD	<LD
23/7/2013	P3	2.457	3.362	0	<LD	2.9	<LD	<LD
23/7/2013	P4	3.022	3.695	0	<LD	2.7	<LD	<LD
05/06/2014	P1	1.415	2.232	0	<LD	2.6	<LD	<LD
05/06/2014	P2	1.415	2.031	0	<LD	2.4	<LD	<LD
05/06/2014	P3	1.685	1.92	0	<LD	2.6	<LD	<LD
05/06/2014	P4	1.353	2.263	0	<LD	2.7	<LD	<LD
03/11/2014	P1	2.022	1.843	0	<LD	2.7	<LD	0.1
03/11/2014	P2	2.328	2.608	0	<LD	2.7	<LD	<LD
03/11/2014	P3	2.876	3.413	0	<LD	3.4	<LD	<LD
03/11/2014	P4	2.612	3.423	0	<LD	2.7	<LD	<LD
09/06/2015	P1	2.501	2.488	0	<0.05	<0.4	<0.003	<0.2
09/06/2015	P2	2.621	2.961	0	<0.05	<0.4	0.003	<0.2
09/06/2015	P3	2.961	3.088	0	<0.05	<0.4	<0.003	<0.2
09/06/2015	P4	1.839	1.466	0	<0.05	<0.4	0.003	<0.2
01/09/2016	OI	4.96		0	<0.05	13.46	<0.02	<0.2
01/09/2016	P1	4.23		0	<0.05	<4	<0.02	<0.2
01/09/2016	P2	4.92		0	<0.05	<4	<0.02	<0.2
01/09/2016	P3	5.24		0	<0.05	<4	<0.02	<0.2
01/09/2016	P4	5.08		0	<0.05	<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 y carbono en la muestra < 2mm de diámetro (tabla 7). También se ha incluido el hidrógeno, aunque no estaba previsto, pues se obtiene a través del mismo análisis. 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 punto Oioki, situado aguas abajo de la presa del mismo nombre es el que mayor porcentaje de materia orgánica muestra. El mayor porcentaje de materia orgánica obtenido, en todas las campañas, en las muestras integradas en el tiempo (figura 28) puede deberse al crecimiento de algas en el dispositivo en el tiempo en el que estuvo instalado.

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).

<2mm	punto	MO %	N %	C %	H %
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
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
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
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
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
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

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 Leitzaran"" (Gipuzkoako Foru Aldundia, 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, y con el fin de comparar los resultados analíticos obtenidos para los muestreos realizados durante el periodo de estudio y los datos obtenidos a partir de dichos sondeos, 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.

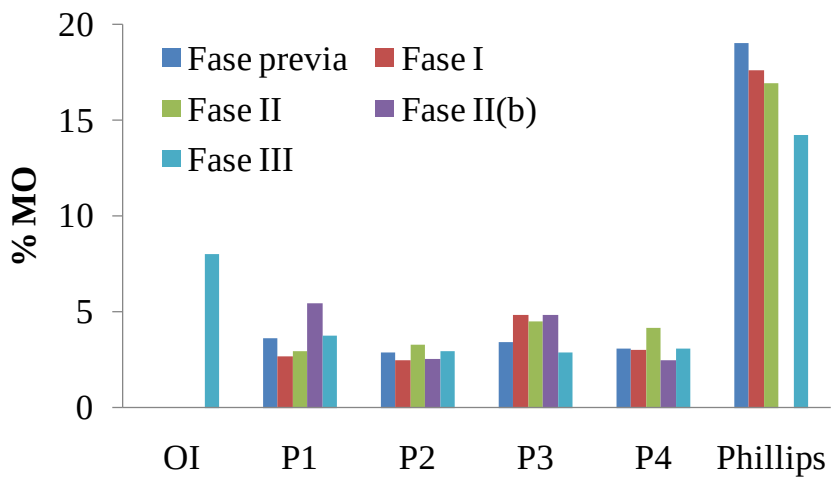


Figura 28: Porcentajes para la materia orgánica (MO, %) para los puntos de muestreo de fondo, así como para las muestras de SS integradas, en las dos campañas realizadas.

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.

<2mm	punto	P mg/kg	As mg/kg	Fe mg/kg	Mn mg/kg	Zn mg/kg	Ni mg/kg	Cu mg/kg	Cd mg/kg	Pb mg/kg
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
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
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
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
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
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
Promedio Sondeos			30			287	35	75	1	86

Los datos recogidos en la tabla 8 muestran que, exceptuando el Zn, el Cu y el Pb en los últimos muestreos integrados, los valores obtenidos para el periodo de estudio están muy por debajo de aquellos obtenidos para los sondeos ligeros. En el caso del Zn se observa que los valores correspondientes a las muestras integradas recogidas después del comienzo de los trabajos de derribo de Inturia superan, ligeramente, a la media calculada a partir de los sondeos. Es necesario tener en cuenta que en los sondeos se registraron valores máximos de 400 mg/kg, siendo los valores más altos los de los sedimentos más cercanos a la presa, aquellos que se habrán movilizado con mayor facilidad. En cuanto al Cu, aunque no se superan los niveles medios obtenidos en los sondeos, su concentración en los sedimentos recogidos en el muestreador integrado ha ido en aumento a lo largo del tiempo.

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 se mantienen o disminuyen ligeramente durante la fase III con respecto a fases anteriores (figura 29). En el caso del Zn la disminución es clara hasta quedar en la mayoría de puntos por debajo del límite de detección. El Cu parece ser el único metal que muestra un ligero aumento entre fases en los sedimentos de fondo, en la parte baja del río, sobre todo en el punto P4 (estación de aforos). Destacan las concentraciones algo mayores que en el resto de puntos del Mn en Oioki (OI), para el que no existen datos previos.

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.

	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
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
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
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
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
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
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

Las evoluciones observadas para las muestras provenientes de los muestreadores integrados (Phillips) al comparar la fase III con fases anteriores son parecidas a las comentadas para las muestras de fondo.

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 29). Sin embargo, a diferencia de la fracción de mayor tamaño, tanto el Mn como el Cu y el Ni muestran tendencias al aumento en todos los puntos. En el caso del Ni este aumento es muy claro en el P2. Y el Zn muestra un aumento en el P4 (estación de aforos). Además, el punto aguas abajo de Oioki, el punto OI, resulta ser el punto con mayores concentraciones de Ni, As, Mn, P y Zn.

En cuanto a las muestras integradas, las concentraciones medidas en esta última fase, son, en general, parecidas a las de fases anteriores, exceptuando el caso del Cu, que, en las muestras integradas también aumenta su concentración.

Al igual que en las fases anteriores, en el caso de la fracción < 2 mm el mayor contenido en metales se encuentra, en todos los casos, en la muestra acumulada en el muestreador de Phillips. Sin embargo, esto no ocurre para la fracción menor de 63 µm, probablemente debido a una mayor similitud de la granulometría y del tipo de partículas involucradas en el análisis.

En cualquier caso, las tendencias observadas en la concentración de sedimentos, exceptuando el caso del Cu en todos los punto y el Ni, en alguno de ellos, no parecen ser demasiado significativas. 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.

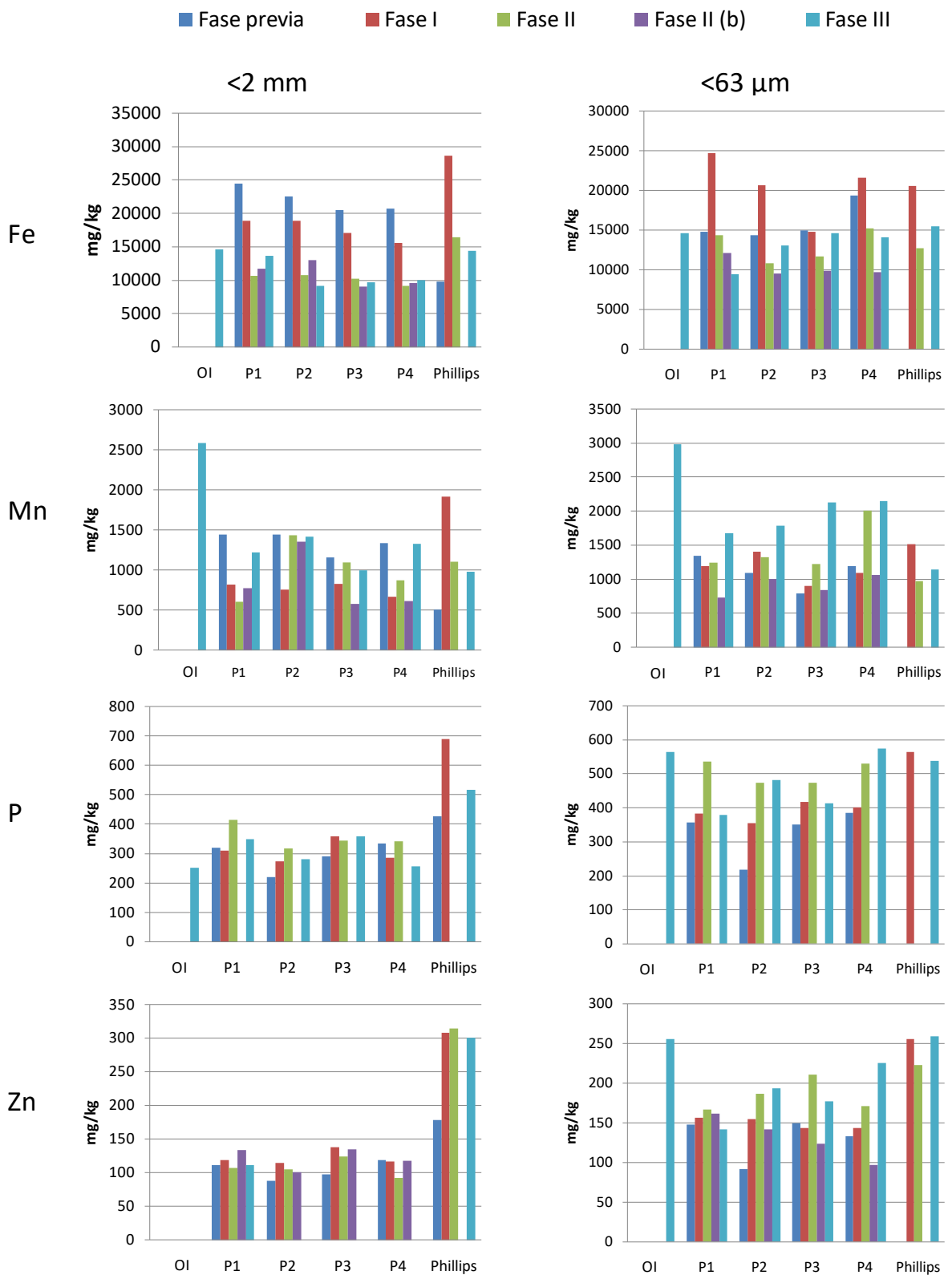


Figura 29: Contenido en fósforo (mg/kg), As (mg/kg), Fe (mg/kg), Mn (mg/kg), Zn (mg/kg), Ni (mg/kg), Cu (mg/kg), Cd (mg/kg) y Pb (mg/kg) en la fracción < 2 mm y < 63 µm de las muestras de fondo, así como de las muestras de SS integradas en el tiempo (Phillips). (Continúa)

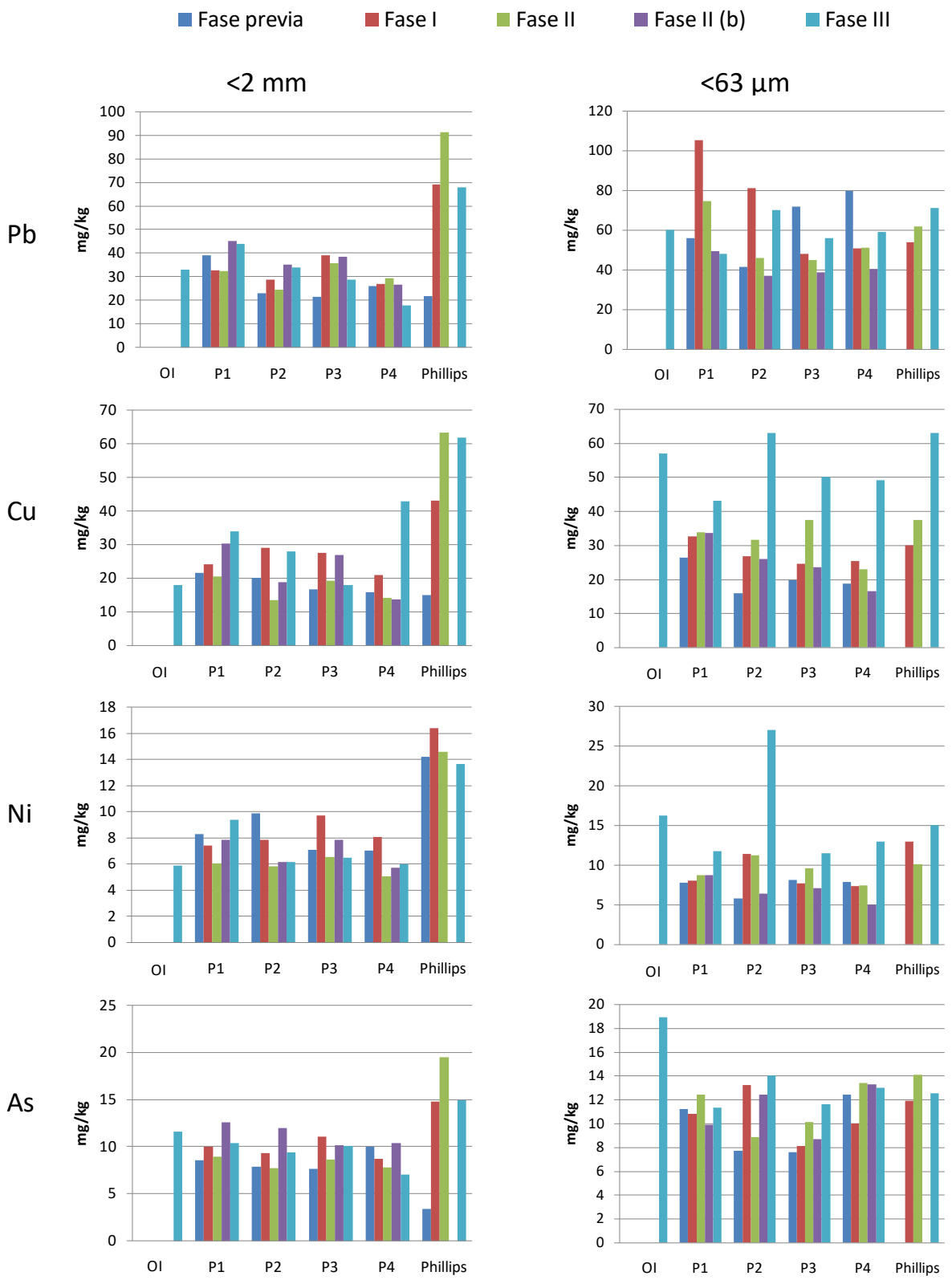


Figura 29: Contenido en fósforo (mg/kg), As (mg/kg), Fe (mg/kg), Mn (mg/kg), Zn (mg/kg), Ni (mg/kg), Cu (mg/kg), Cd (mg/kg) y Pb (mg/kg) en la fracción < 2 mm y < 63 µm de las muestras de fondo, así como de las muestras de SS integradas en el tiempo (Phillips). (Continuación)

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, tanto durante la totalidad del periodo analizado como durante las crecidas, 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).

Además de haber observado un aumento de la CSS durante las crecidas, también es necesario mencionar que durante el 2015-2016 se han observado aumentos de CSS no relacionados con eventos lluviosos, incluso un aumento de la CSS de base en la estación de aforos. Este aumento se concentra en la parte baja de la cuenca, ya que, durante el muestreo de fondo, se pudo comprobar que la turbidez en los puntos OI, I1, I2 e I3 era, como en los muestreos llevados a cabo en años anteriores, muy baja y, sin embargo, en el punto I4 (estación de aforos) la turbidez era algo mayor. Por lo que este cambio se puede atribuir a los trabajos realizados en la zona de Truchas-erreka.

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 2016 se han exportado desde el Leitzaran 62300 t de sedimentos en suspensión (equivalente a unos 54600 m^3), unas 570 t/km^2, valor parecido al de la cuenca del Oria (217 t/km^2), superior al de cuencas como el Deba (115 t/km^2), y muy superior a lo que se exportaba antes del comienzo de los trabajos de demolición, unas 20 t/km^2, siendo este último valor parecido al de cuencas poco impactadas como el Urumea.

Se estima que, teniendo en cuenta solamente los 240000 m^3 de sedimentos liberados de Inturia, ha pasado por la estación de aforos del Leitzaran un 23 % de los mismos, hasta el 30 de septiembre de 2016. 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 62300 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, 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 queda retenido en la cuenca: en otras presas y en los múltiples remansos existentes, sobre todo entre Inturia y Truchas-erreka.

Se observa, por lo tanto, un ligero cambio en la respuesta de los sedimentos en suspensión durante esta fase III con respecto a las fases I y II. Este cambio se refleja, por un lado, en el aumento de la CSS

de base en la parte baja del río y, por otro, en la alta exportación de sedimentos, ambos ocurridos tras los trabajos de demolición de Truchas-erreka. El hecho de que ésta sea una presa de menor entidad, que retenía una menor cantidad de sedimento, cercana a la estación de aforos, y con escasez de zonas de deposición de sedimento en el tramo entre la presa y la estación, ha posibilitado que se exporte rápidamente una gran parte del sedimento liberado de esta zona.

Por otro lado, la retención de los sedimentos de Inturia a lo largo de la cuenca 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. Además, esta retención de sedimentos es importante tenerla en cuenta de cara a extremos meteorológicos e hidrológicos, ya que, aunque en crecidas comunes la concentración de sedimentos (CSS) se mantiene en valores "normales", la gran disponibilidad de sedimentos 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.

Es por ello que, 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, existe un aumento importante de algunos elementos, sobre todo del Cu, y sobre todo en la fracción más fina del sedimento, que será necesario seguir controlando.

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 frecuency 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.

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. and Daniell, T.M., 2001. Turbidity-based erosion estimation in a catchment in South Australia. Journal of Hydrology, 253: 227-238.

UPV/EHU, 2014. Cuantificación de la tasa de sedimentos exportados de la cuenca del río Leitzaran 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)

Wood, SN., 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., Antiguedad, 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 para la calibración de las sondas de turbidez y CSS

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 y descrito en profundidad en Zabaleta (2008). De hecho, la estación de Leitzaran está equipada con el mismo tipo de dispositivos (sondas Solitax y tomamuestras automáticos tipo Sigma) que las otras en las que se lleva a cabo el seguimiento.

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. 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. Estos datos de laboratorio son los que se utilizan para calibrar los métodos ópticos.

Las muestras recogidas por el tomamuestras se llevan al laboratorio del Grupo de Hidrología y Medio Ambiente (UPV-EHU) para medir la turbidez y la concentración de sedimentos. También se mide la conductividad eléctrica (temperatura de referencia 20ºC), que resulta de gran ayuda para comprender la dinámica de las crecidas (Zabaleta y Antigüedad, 2013). 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 que el turbidímetro de campo, de 0 – 10000 NTU. Aunque los dos tipos de turbidímetros utilizados expresan las medidas en diferentes unidades (FNU y NTU) ambas son equiparables entre sí. 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 medirá 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.

Siguiendo esta metodología se establecerá para la estación de aforos de Leitzaran la curva de relación entre la turbidez (T) y la concentración de sedimentos en suspensión (CSS) medidas mediante método óptico en la estación de aforos y la correspondiente concentración de sedimentos en suspensión real medida en laboratorio. Esta última será medida, como se ha dicho, en laboratorio en muestras recogidas en la estación de aforos en momentos de diferentes lecturas de turbidez del agua. Para tal efecto, se dispondrá del muestreador automático instalado en la estación, que se pondrá en marcha, en un principio, a partir de un valor de turbidez de 100 NTU en el río, aplicándose distintos programas de toma de muestras (tiempo entre las tomas) según la época hidrológica. El límite de 100 NTU, recogido en el pliego de prescripciones técnicas, podrá ser modificado llegado el caso, si se estima oportuno a la vista de la evolución real del transporte de sedimentos durante las fases de demolición, siempre, obviamente, justificándolo y acordado con la Dirección del proyecto.

Para establecer una relación veraz entre la medida óptica (parámetro de medida) y la concentración de sedimentos en suspensión (parámetro de interés) 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 será necesario un control más exhaustivo de los dispositivos para evitar lagunas en el muestreo, o en la toma de datos, más aún teniendo en cuenta el aumento de disponibilidad de sedimentos que va a suponer la demolición, aunque sea parcial, de la presa.

Siguiendo la metodología descrita se obtienen las relaciones entre las medidas de campo (CSS en el río y turbidez en la caseta de la estación de aforos) y las de laboratorio (turbidez y CSS de las muestras recogidas por el tomamuestras automático durante las crecidas). Es a partir de esas relaciones que se derivan las curvas de ajuste campo-laboratorio, necesarias para el fin perseguido.

Anexo II

Metodología y resultados del análisis de sedimentos

Anexo II.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 ºC 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 acida. 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 HNO_3/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 HNO_3.

Para la cuantificación y detección de estos analitos se uso 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 determino el contenido de carbono total, nitrógeno total e hidrogeno total. Este análisis de 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 ºC, bajo flujo continuo de helio y atmósfera de oxígeno. Para obtener información detallada del informe consultar el pdf adjunto.

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 II.2 Nitrógeno y fósforo en agua

Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea

INFORME DE RESULTADOS

sgiker

SCAB.FR.02.PR.11.01
Ed.6.7/01.12.2015
Emisión: 04.11.2009

Nº de informe: 20181110025643

1.-DATOS DEL USUARIO
ID usuario: Ane Zabaleta (Departamento de Geodinámica, UPV/EHU)
Dirección: Campus Leioa
Teléfono: 2493
e-mail: ane.zabaleta@ehu.eus

2.-DATOS GENERALES
Responsable del análisis: Dr. Juan Carlos Raposo Fernández, Dr. Luis Bartolomé Moro
Técnica de análisis: ICPAES, UV-vis
e-mail: juancarlos.raposo@ehu.eus, luis.bartolome@ehu.eus

ID S Muestra	ID Ref. Muestra	Descripción de la muestra	Fecha recepción
I1	40560	Agua de rio	29.11.2016
I2	40561	Agua de rio	29.11.2016
I3	40562	Agua de rio	29.11.2016
I4	40563	Agua de rio	29.11.2016
I5	40564	Agua de rio	29.11.2016

3.- RESULTADOS

3.1.- DETERMINACIÓN DE ELEMENTOS INORGÁNICOS POR ICPAES SCAB.PE.18.PR.10.02.	
Unidades, mg l^{-1}	
ID S MUESTRA	**P**
I1	< 0.05
I2	< 0.05
I3	< 0.05
I4	< 0.05
I5	< 0.05

Informe emitido por: SCAB, Servicio Central de Análisis de Bizkaia, Facultad de Ciencia y Tecnología, c/Barrio Sarriena s/n.C.P.:48940, Leioa-Bizkaia.
Telf. (34) 94 601 54 43 Fax: (34) 94 601 35 00

Nº de informe: 2018111002643

3.2.- DETERMINACIÓN DE NITRITO (NO_2^-)	
Unidades, mg l^{-1}	
ID S MUESTRA	**NO_2^-**
I1*	<0.02 (0.005)
I2	<0.02 (0.003)
I3	<0.02 (0.002)
I4	<0.02 (0.003)
I5	<0.02 (0.003)

*Muestra realizada por triplicado. Precisión (<20%), Exactitud (<20%).

Valores estimados entre paréntesis.

3.3.- DETERMINACIÓN DE NITRATO (NO_3^-)	
Unidades, mg l^{-1}	
ID S MUESTRA	**NO_3^-**
I1	<4 (1.4)
I2*	<4 (0.2)
I3	<4 (0.2)
I4	13.46
I5	<4 (2.4)

*Muestra realizada por triplicado. Precisión (<10%), Exactitud (<20%).

Valores estimados entre paréntesis.

3.4.- DETERMINACIÓN DE AMONIO (NH_4^+)	
Unidades, mg l^{-1}	
ID S MUESTRA	**NH_4^+**
I1	<0.2 (0.1)
I2	<0.2 (0.1)
I3	<0.2 (0.05)
I4*	<0.2 (0.1)
I5	<0.2 (0.02)

*Muestra realizada por triplicado. Precisión (<5%), Exactitud (<5%).

Valores estimados entre paréntesis.

4.- OBSERVACIONES

En Leioa, a 29 de Noviembre de 2016

Técnico SGiker

Nota1: Este informe solo afecta a la muestra analizada. Solo podrá reproducirse parcialmente con la autorización por escrito del laboratorio.

La persona a quien se dirige el presente documento debe comunicar al servicio su conformidad con los resultados presentados en un plazo máximo de 15 días. Si transcurrido este tiempo. no se hubiese comunicado dicha conformidad. el servicio entenderá que se ha aceptado el resultado completo.

Anexo II.3 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 CO_2 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 CO_2 en el análisis del TOC. La principal ventaja de usar este método es que se mide el CO_2 generado por oxidación del carbono orgánico el reactor de oxidación, de modo directo y específico, en 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 CO_2, 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 CO_2 y el resultado de la diferencia se relaciona con la concentración de CO_2 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 CO_2 que posee la muestra.

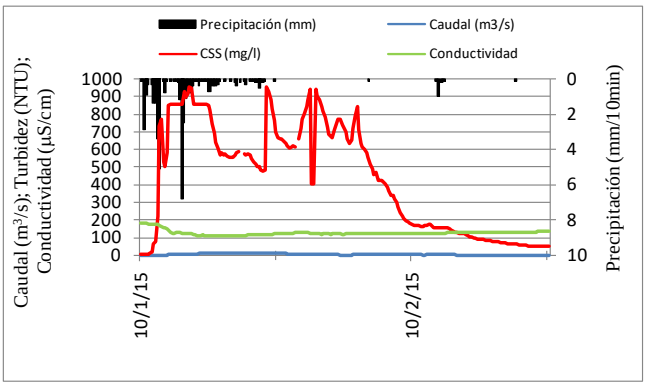
Referencia:

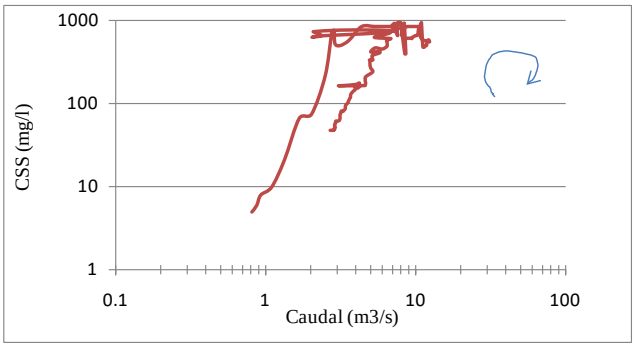
Alberdi Martínez, S., 2015. Validación de métodos analíticos para la determinación de Amonio, Nitrato y Carbono Orgánico en aguas de estuario. TFG. Facultad de Ciencia y Tecnología. UPV/EHU.

Anexo III

Crecidas analizadas

01/10/2015





Características

Precipitación:

P	40.5	mm
IP:	0.1858	mm/10min
IPmax:	6.8	mm/10min

Caudal:

Qmed:	6.1322	m^3/s
Qmax:	12.316	m^3/s
Qt:	8.0129	mm
Qmax/Qo:	15.10	

Transporte de sedimentos:

CSSmed:	430.99	mg/l
CSSmax:	952	mg/l
SSt:	256.54	t

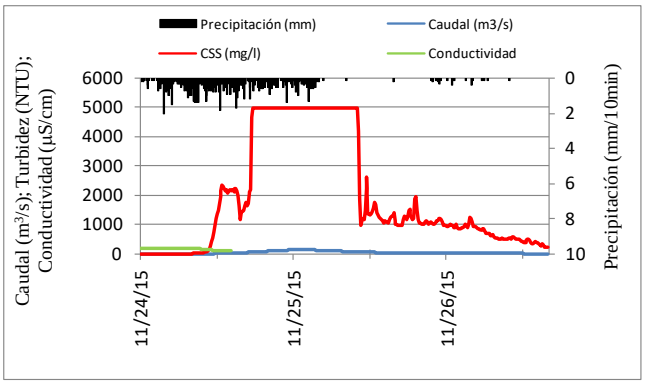
Condiciones antecedentes:

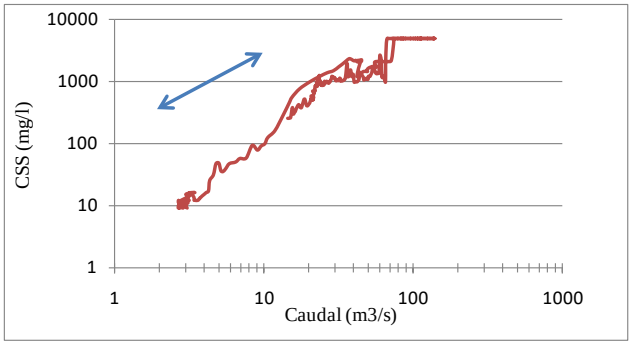
P1:	0	mm
P12:	2.1	mm
P1d:	2.1	mm
P3d:	2.4	mm
P7d:	2.4	mm
P15d:	24.9	mm
Q1d:	128.17	m^3/s
Qo:	0.82	m^3/s

Conductividad eléctrica:

CEo:	181	µS/cm
CEmin:	111	µS/cm

25/11/2015





Características

Precipitación:

P	81.4	mm
IP:	0.21	mm/10min
IPmax:	2	mm/10min

Caudal:

Qmed:	46.36	m^3/s
Qmax:	139.35	m^3/s
Qt:	106.71	mm
Qmax/Qo:	41.43	

Transporte de sedimentos:

CSSmed:	1925	mg/l
CSSmax:	4988	mg/l
SSt:	23624	t

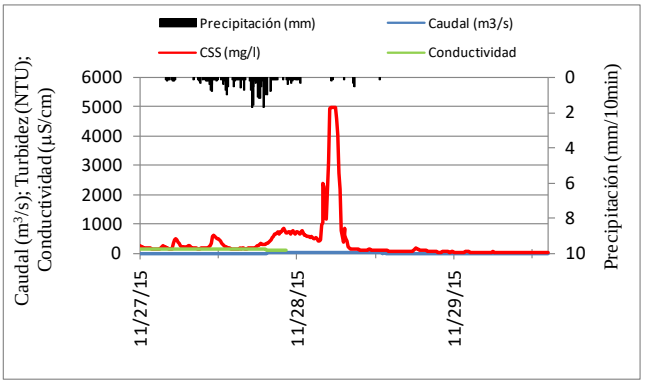
Condiciones antecedentes:

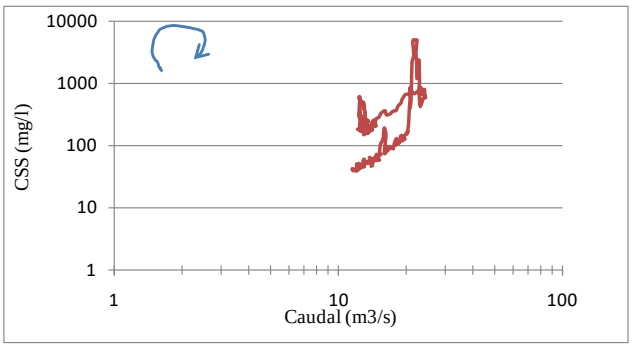
P1:	0	mm
P12:	0.4	mm
P1d:	0.5	mm
P3d:	30.4	mm
P7d:	65.5	mm
P15d:	66.6	mm
Q1d:	5.14	m^3/s
Qo:	3.36	m^3/s

Conductividad eléctrica:

CEo:	207	µS/cm
CEmin:	108	µS/cm

27/11/2015





Características

Precipitación:

P	29.9	mm
IP:	0.08	mm/10min
IPmax:	1.7	mm/10min

Caudal:

Qmed:	15.99	m^3/s
Qmax:	24.45	m^3/s
Qt:	35.9441	mm
Qmax/Qo:	1.70	

Transporte de sedimentos:

CSSmed:	364	mg/l
CSSmax:	4984	mg/l
SSt:	1163.17	t

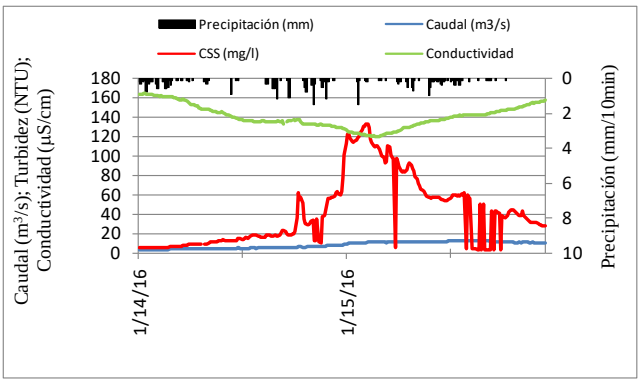
Condiciones antecedentes:

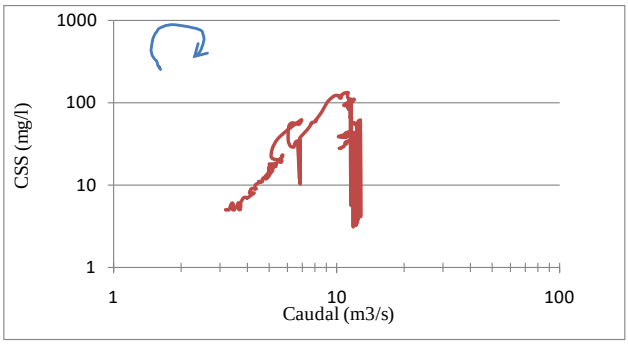
P1:	0	mm
P12:	0.9	mm
P1d:	2.8	mm
P3d:	81.8	mm
P7d:	146.9	mm
P15d:	147.9	mm
Q1d:	25.75	m^3/s
Qo:	14.37	m^3/s

Conductividad eléctrica:

CEo:	135	µS/cm
CEmin:	107	µS/cm

14/01/2016





Características

Precipitación:

P	30.1	mm
IP:	0.02	mm/10min
IPmax:	1.5	mm/10min

Caudal:

Qmed:	8.28	m^3/s
Qmax:	12.72	m^3/s
Qt:	13.9925	mm
Qmax/Qo:	3.98	

Transporte de sedimentos:

CSSmed:	41	mg/l
CSSmax:	133	mg/l
SSt:	118.70	t

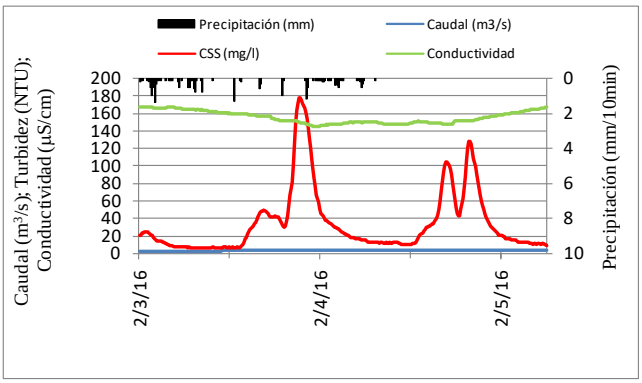
Condiciones antecedentes:

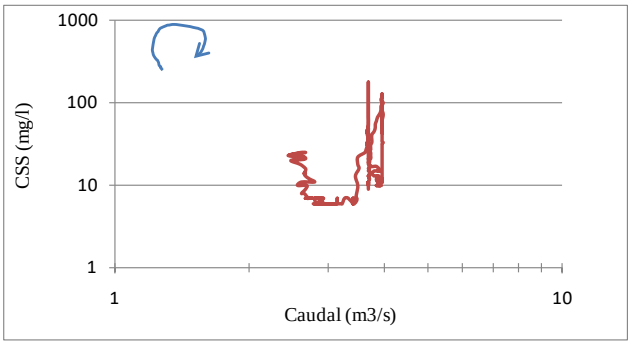
P1:	0	mm
P12:	8.1	mm
P1d:	8.2	mm
P3d:	17.9	mm
P7d:	35.9	mm
P15d:	8.2	mm
Q1d:	2.96	m^3/s
Qo:	3.20	m^3/s

Conductividad eléctrica:

CEo:	164	µS/cm
CEmin:	120	µS/cm

03/02/2016





Características

Precipitación:

P	19.6	mm
IP:	0.06	mm/10min
IPmax:	1.4	mm/10min

Caudal:

Qmed:	3.57	m^3/s
Qmax:	3.98	m^3/s
Qt:	6.95208	mm
Qmax/Qo:	1.60	

Transporte de sedimentos:

CSSmed:	34	mg/l
CSSmax:	178	mg/l
SSt:	48.98	t

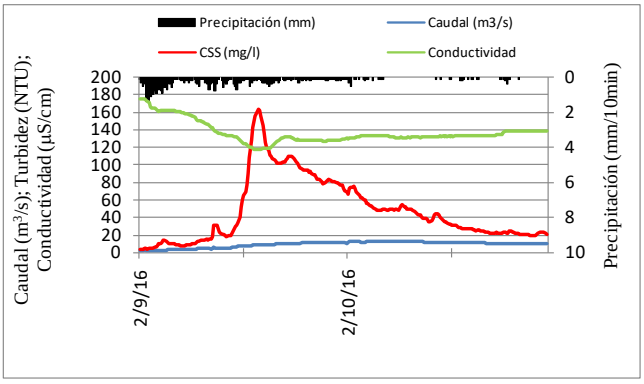
Condiciones antecedentes:

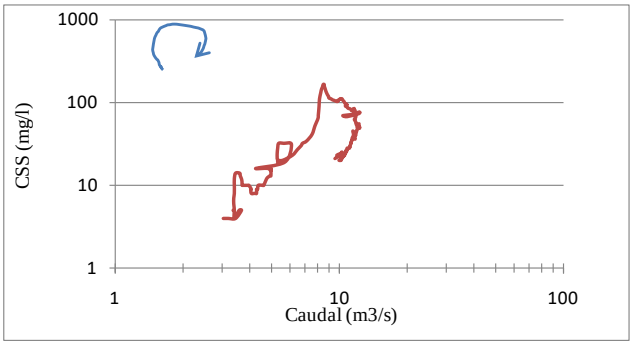
P1:	0	mm
P12:	0	mm
P1d:	0	mm
P3d:	0.1	mm
P7d:	13.8	mm
P15d:	16.6	mm
Q1d:	2.60	m^3/s
Qo:	2.49	m^3/s

Conductividad eléctrica:

CEo:	167	µS/cm
CEmin:	145	µS/cm

09/02/2016





Características

Precipitación:

P	44	mm
IP:	0.16	mm/10min
IPmax:	1.4	mm/10min

Caudal:

Qmed:	9.28	m^3/s
Qmax:	12.40	m^3/s
Qt:	15.7452	mm
Qmax/Qo:	4.08	

Transporte de sedimentos:

CSSmed:	48	mg/l
CSSmax:	164	mg/l
SSt:	137.94	t

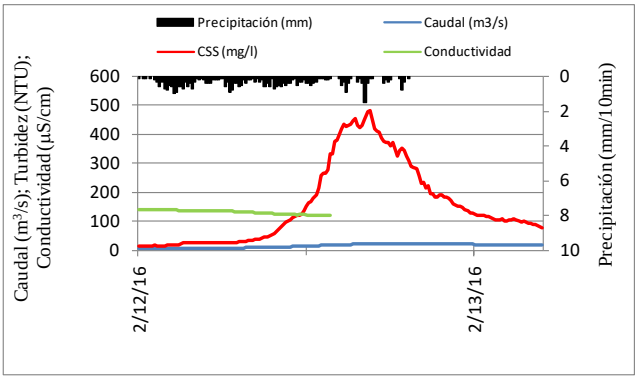
Condiciones antecedentes:

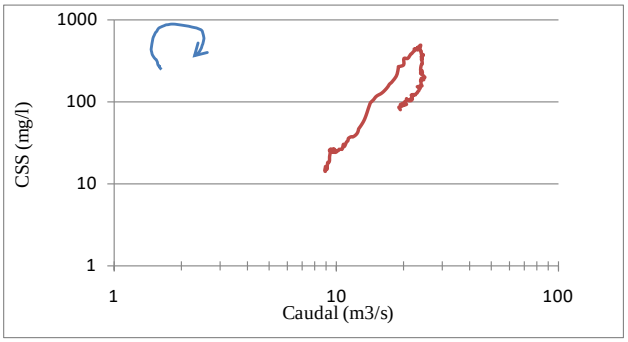
P1:	0	mm
P12:	0	mm
P1d:	0	mm
P3d:	15	mm
P7d:	34.6	mm
P15d:	48.4	mm
Q1d:	3.21	m^3/s
Qo:	3.04	m^3/s

Conductividad eléctrica:

CEo:	175	µS/cm
CEmin:	118	µS/cm

12/02/2016





Características

Precipitación:

P	37.4	mm
IP:	0.21	mm/10min
IPmax:	1.5	mm/10min

Caudal:

Qmed:	17.67	m^3/s
Qmax:	25.00	m^3/s
Qt:	18.4275	mm
Qmax/Qo:	2.80	

Transporte de sedimentos:

CSSmed:	156	mg/l
CSSmax:	483	mg/l
SSt:	322.21	t

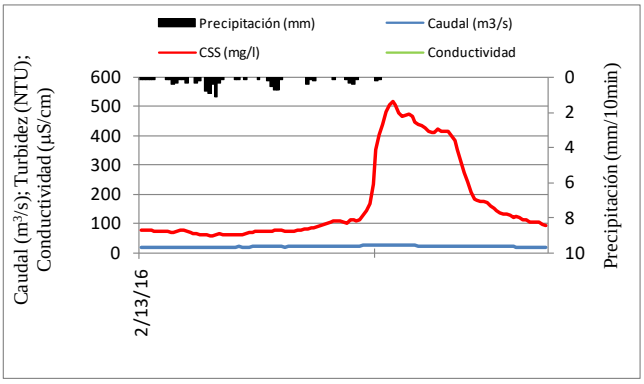
Condiciones antecedentes:

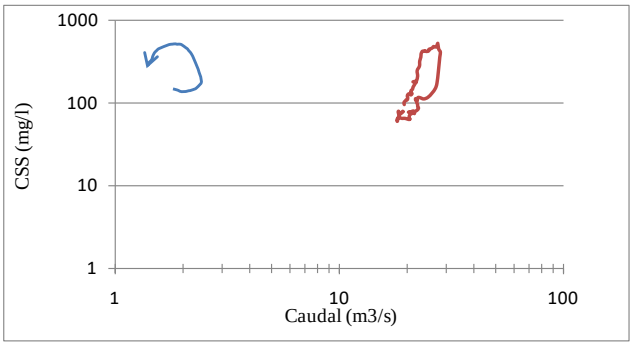
P1:	0	mm
P12:	6.3	mm
P1d:	6.4	mm
P3d:	50.4	mm
P7d:	65.4	mm
P15d:	98.8	mm
Q1d:	9.54	m^3/s
Qo:	8.94	m^3/s

Conductividad eléctrica:

CEo:	141	µS/cm
CEmin:	123	µS/cm

13/02/2016





Características

Precipitación:

P	10.6	mm
IP:	0.08	mm/10min
IPmax:	1.1	mm/10min

Caudal:

Qmed:	21.96	m^3/s
Qmax:	28.24	m^3/s
Qt:	16.4503	mm
Qmax/Qo:	1.46	

Transporte de sedimentos:

CSSmed:	173	mg/l
CSSmax:	519	mg/l
SSt:	279.59	t

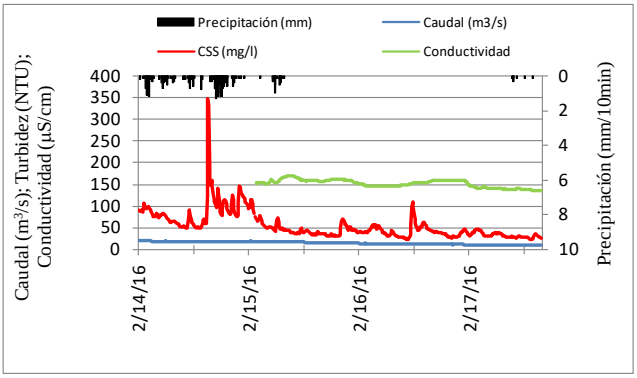
Condiciones antecedentes:

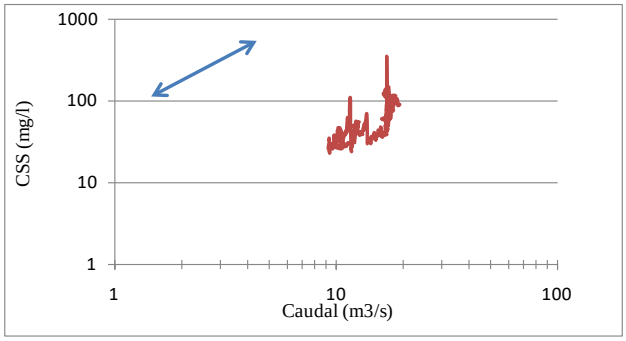
P1:	0	mm
P12:	2.4	mm
P1d:	25.9	mm
P3d:	47	mm
P7d:	102.8	mm
P15d:	122.6	mm
Q1d:	19.43	m^3/s
Qo:	19.36	m^3/s

Conductividad eléctrica:

CEo:		µS/cm
CEmin:		µS/cm

14/02/2016





Características

Precipitación:

P	33.3	mm
IP:	0.06	mm/10min
IPmax:	1.3	mm/10min

Caudal:

Qmed:	14.00	m^3/s
Qmax:	19.50	m^3/s
Qt:	44.2167	mm
Qmax/Qo:	1.00	

Transporte de sedimentos:

CSSmed:	55	mg/l
CSSmax:	348	mg/l
SSt:	410.30	t

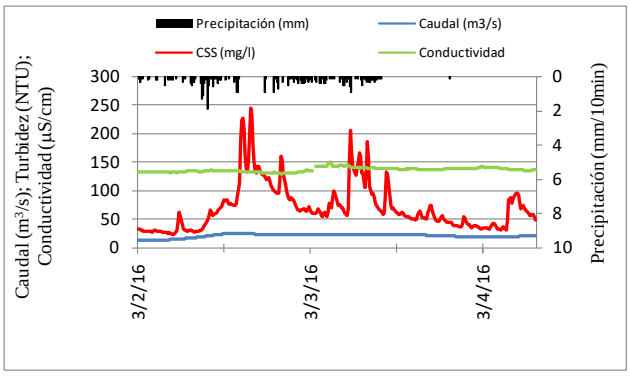
Condiciones antecedentes:

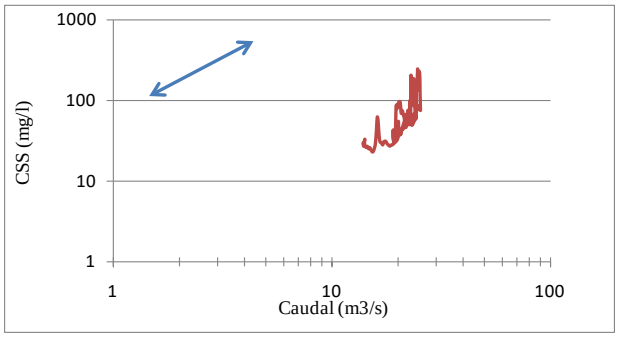
P1:	0	mm
P12:	1.5	mm
P1d:	10.6	mm
P3d:	54.4	mm
P7d:	98.4	mm
P15d:	133.1	mm
Q1d:	21.76	m^3/s
Qo:	19.50	m^3/s

Conductividad eléctrica:

CEo:		µS/cm
CEmin:	137	µS/cm

02/03/2016





Características

Precipitación:

P	31.7	mm
IP:	0.10	mm/10min
IPmax:	1.9	mm/10min

Caudal:

Qmed:	21.55	m^3/s
Qmax:	25.65	m^3/s
Qt:	43.0153	mm
Qmax/Qo:	1.80	

Transporte de sedimentos:

CSSmed:	70	mg/l
CSSmax:	246	mg/l
SSt:	456.72	t

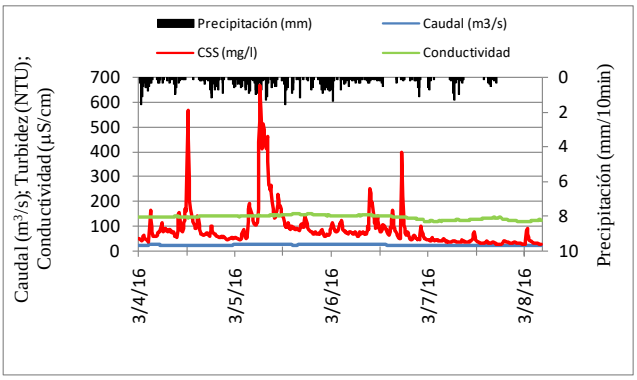
Condiciones antecedentes:

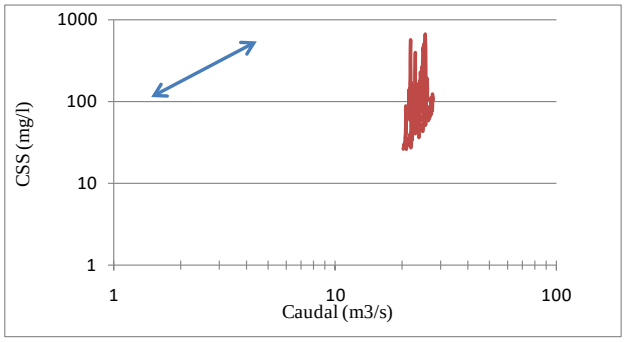
P1:	0.1	mm
P12:	0.5	mm
P1d:	0.5	mm
P3d:	6.9	mm
P7d:	107	mm
P15d:	122.1	mm
Q1d:	15.54	m^3/s
Qo:	14.28	m^3/s

Conductividad eléctrica:

CEo:	133	µS/cm
CEmin:	130	µS/cm

04/03/2016





Características

Precipitación:

P	91.7	mm
IP:	0.15	mm/10min
IPmax:	1.6	mm/10min

Caudal:

Qmed:	23.43	m^3/s
Qmax:	27.44	m^3/s
Qt:	84.687	mm
Qmax/Qo:	1.23	

Transporte de sedimentos:

CSSmed:	86	mg/l
CSSmax:	666	mg/l
SSt:	957.28	t

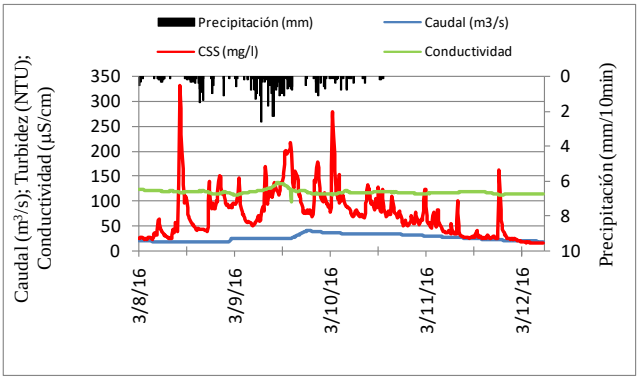
Condiciones antecedentes:

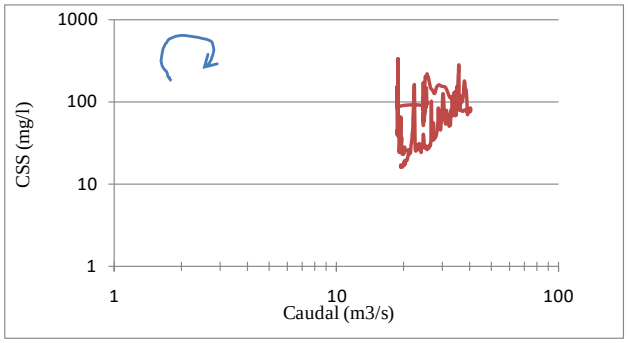
P1:	0	mm
P12:	0	mm
P1d:	2.7	mm
P3d:	32.2	mm
P7d:	122.3	mm
P15d:	143.8	mm
Q1d:	21.84	m^3/s
Qo:	22.39	m^3/s

Conductividad eléctrica:

CEo:	138	µS/cm
CEmin:	118	µS/cm

08/03/2016





Características

Precipitación:

P	59.1	mm
IP:	0.10	mm/10min
IPmax:	2.6	mm/10min

Caudal:

Qmed:	26.28	m^3/s
Qmax:	40.00	m^3/s
Qt:	95.9269	mm
Qmax/Qo:	1.98	

Transporte de sedimentos:

CSSmed:	73	mg/l
CSSmax:	331	mg/l
SSt:	1036.27	t

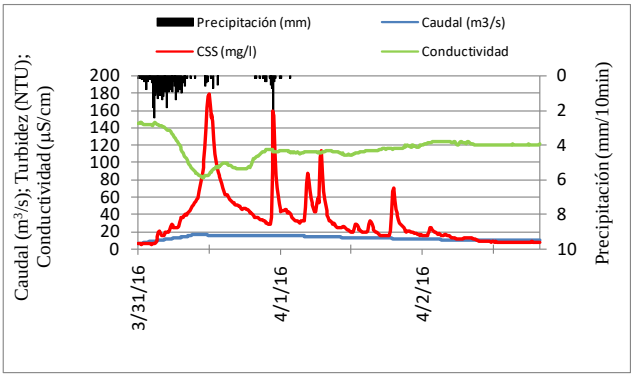
Condiciones antecedentes:

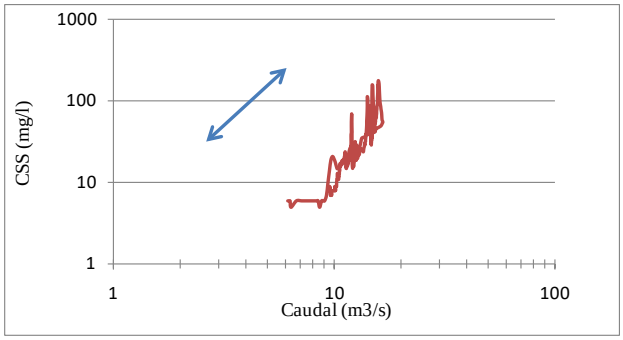
P1:	0	mm
P12:	0.6	mm
P1d:	7.4	mm
P3d:	55.8	mm
P7d:	123.9	mm
P15d:	231.9	mm
Q1d:	21.62	m^3/s
Qo:	20.25	m^3/s

Conductividad eléctrica:

CEo:	125	µS/cm
CEmin:	99	µS/cm

31/03/2016





Características

Precipitación:

P	43.9	mm
IP:	0.11	mm/10min
IPmax:	2.4	mm/10min

Caudal:

Qmed:	12.43	m^3/s
Qmax:	16.56	m^3/s
Qt:	30.3929	mm
Qmax/Qo:	2.70	

Transporte de sedimentos:

CSSmed:	33	mg/l
CSSmax:	179	mg/l
SSt:	220.08	t

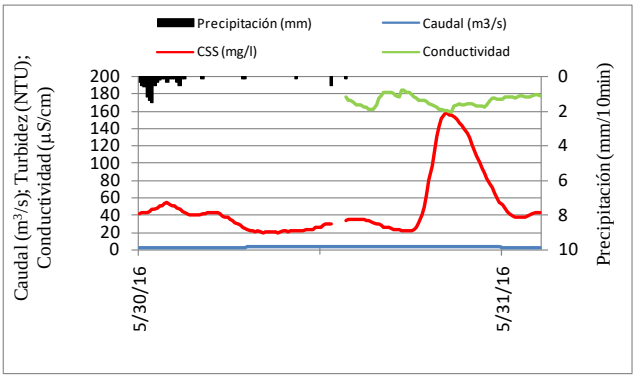
Condiciones antecedentes:

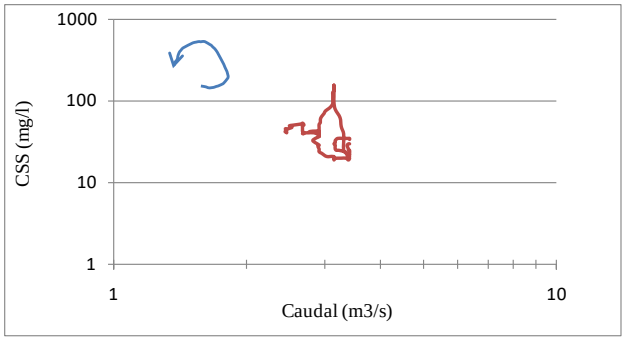
P1:	0.1	mm
P12:	450.9	mm
P1d:	0.2	mm
P3d:	5	mm
P7d:	15.6	mm
P15d:	25.4	mm
Q1d:	5.45	m^3/s
Qo:	6.13	m^3/s

Conductividad eléctrica:

CEo:	146	µS/cm
CEmin:	82	µS/cm

30/05/2016





Características

Precipitación:

P	9.3	mm
IP:	0.06	mm/10min
IPmax:	1.5	mm/10min

Caudal:

Qmed:	3.06	m^3/s
Qmax:	3.41	m^3/s
Qt:	2.93897	mm
Qmax/Qo:	1.39	

Transporte de sedimentos:

CSSmed:	49	mg/l
CSSmax:	158	mg/l
SSt:	23.64	t

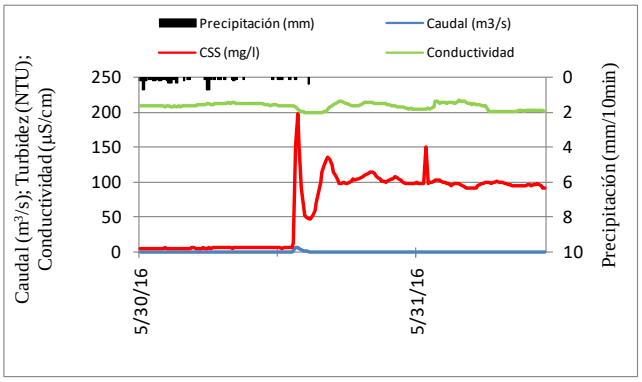
Condiciones antecedentes:

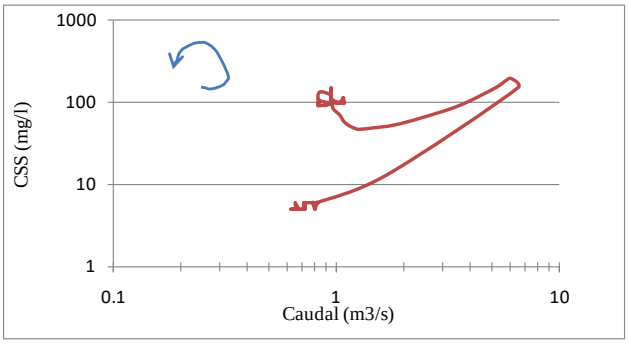
P1:	0	mm
P12:	3.2	mm
P1d:	3.2	mm
P3d:	7.6	mm
P7d:	15.3	mm
P15d:	50.2	mm
Q1d:	2.43	m^3/s
Qo:	2.45	m^3/s

Conductividad eléctrica:

CEo:		µS/cm
CEmin:	160	µS/cm

28/08/2016





Características

Precipitación:

P	7.7	mm
IP:	0.04	mm/10min
IPmax:	0.7	mm/10min

Caudal:

Qmed:	0.96	m^3/s
Qmax:	6.49	m^3/s
Qt:	1.22102	mm
Qmax/Qo:	10.45	

Transporte de sedimentos:

CSSmed:	64	mg/l
CSSmax:	197	mg/l
SSt:	13.05	t

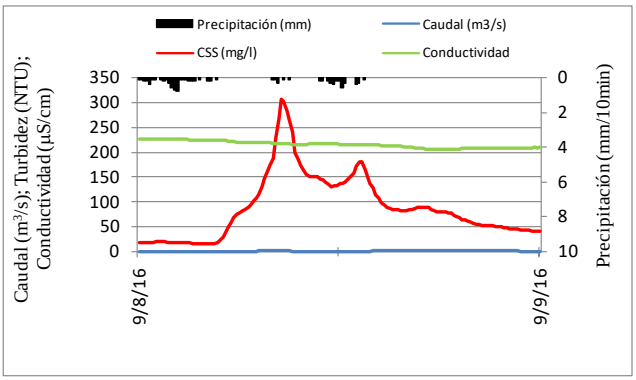
Condiciones antecedentes:

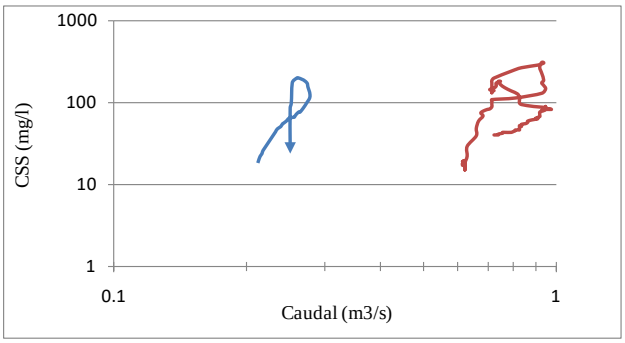
P1:	0	mm
P12:	0.4	mm
P1d:	0.4	mm
P3d:	0.4	mm
P7d:	0.8	mm
P15d:	17.1	mm
Q1d:	0.57	m^3/s
Qo:	0.62	m^3/s

Conductividad eléctrica:

CEo:	209	µS/cm
CEmin:	200	µS/cm

08/09/2016





Características

Precipitación:

P	9.6	mm
IP:	0.07	mm/10min
IPmax:	0.8	mm/10min

Caudal:

Qmed:	0.78	m^3/s
Qmax:	0.97	m^3/s
Qt:	0.67451	mm
Qmax/Qo:	1.57	

Transporte de sedimentos:

CSSmed:	88	mg/l
CSSmax:	307	mg/l
SSt:	8.00	t

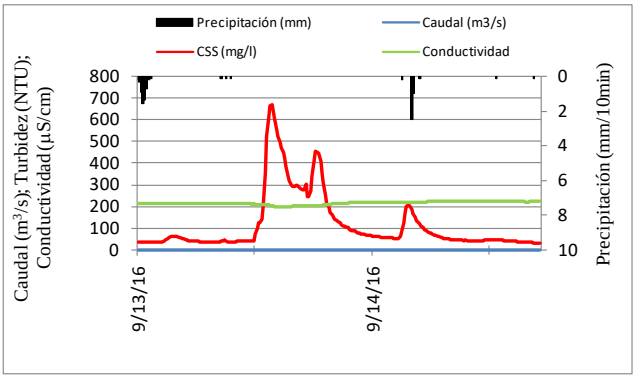
Condiciones antecedentes:

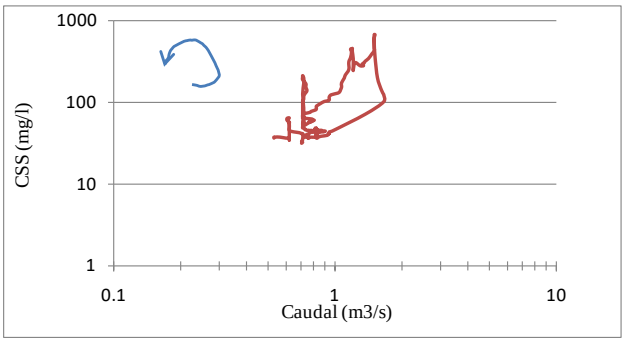
P1:	0	mm
P12:	0	mm
P1d:	0	mm
P3d:	0	mm
P7d:	0	mm
P15d:	8.5	mm
Q1d:	0.59	m^3/s
Qo:	0.62	m^3/s

Conductividad eléctrica:

CEo:	226	µS/cm
CEmin:	205	µS/cm

13/09/2016





Características

Precipitación:

P	9.8	mm
IP:	0.04	mm/10min
IPmax:	2.5	mm/10min

Caudal:

Qmed:	0.88	m^3/s
Qmax:	1.67	m^3/s
Qt:	1.30342	mm
Qmax/Qo:	3.16	

Transporte de sedimentos:

CSSmed:	116	mg/l
CSSmax:	669	mg/l
SSt:	18.62	t

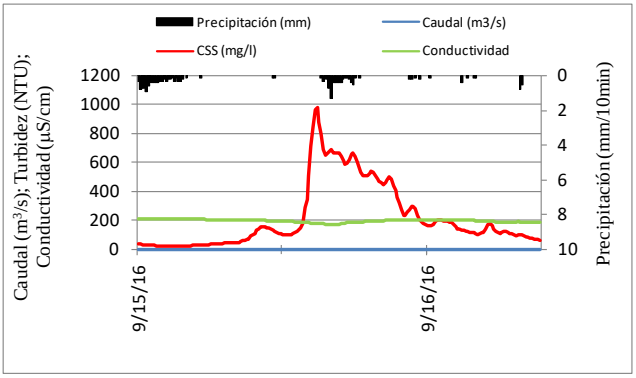
Condiciones antecedentes:

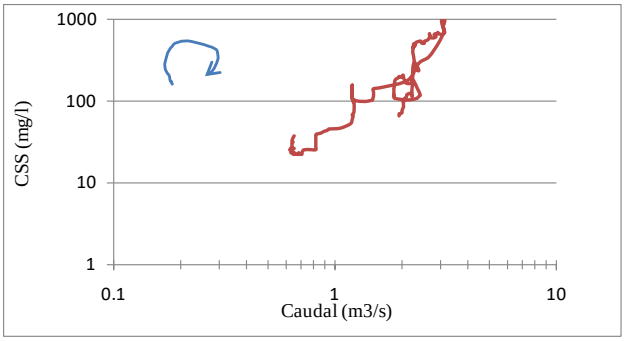
P1:	0	mm
P12:	0.3	mm
P1d:	0.3	mm
P3d:	0.3	mm
P7d:	16.2	mm
P15d:	16.2	mm
Q1d:	0.58	m^3/s
Qo:	0.53	m^3/s

Conductividad eléctrica:

CEo:	215	µS/cm
CEmin:	200	µS/cm

15/09/2016





Características

Precipitación:

P	18.2	mm
IP:	0.09	mm/10min
IPmax:	1.3	mm/10min

Caudal:

Qmed:	1.76	m^3/s
Qmax:	3.12	m^3/s
Qt:	2.11594	mm
Qmax/Qo:	4.79	

Transporte de sedimentos:

CSSmed:	218	mg/l
CSSmax:	980	mg/l
SSt:	46.34	t

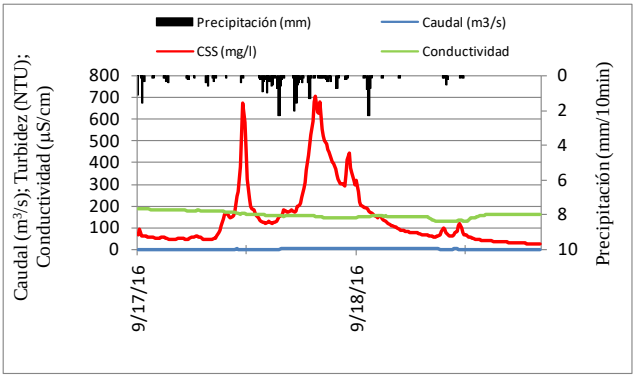
Condiciones antecedentes:

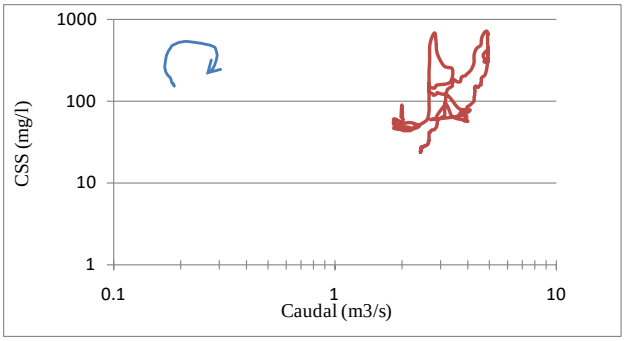
P1:	0.2	mm
P12:	0.2	mm
P1d:	0.4	mm
P3d:	10.3	mm
P7d:	16.6	mm
P15d:	26.2	mm
Q1d:	0.71	m^3/s
Qo:	0.65	m^3/s

Conductividad eléctrica:

CEo:	211	µS/cm
CEmin:	170	µS/cm

17/09/2016





Características

Precipitación:

P	29.8	mm
IP:	0.11	mm/10min
IPmax:	2.3	mm/10min

Caudal:

Qmed:	3.24	m^3/s
Qmax:	4.96	m^3/s
Qt:	5.16789	mm
Qmax/Qo:	2.50	

Transporte de sedimentos:

CSSmed:	145	mg/l
CSSmax:	707	mg/l
SSt:	83.38	t

Condiciones antecedentes:

P1:	0	mm
P12:	2.8	mm
P1d:	9.4	mm
P3d:	22.4	mm
P7d:	28.5	mm
P15d:	44.4	mm
Q1d:	2.13	m^3/s
Qo:	1.99	m^3/s

Conductividad eléctrica:

CEo:	190	µS/cm
CEmin:	129	µS/cm