TRABAJOS DE SEGUIMIENTO DE LOS CAMBIOS GEOMORFOLÓGICOS EN LA CUENCA DEL RÍO LEITZARAN TRAS LAS DEMOLICIONES DE LAS PRESAS DE INTURIA Y OLLOKI

D1.LIFE14NAT/ES/000186 IREKIBAI

INFORME DE SEGUIMIENTO TRAS LA DEMOLICIÓN COMPLETA DE LA PRESA DE INTURIA- DICIEMBRE 2018

Este estudio se realiza en el ámbito del proyecto LIFE IREKIBAI (D1.LIFE14NAT/ES/000186)

ÍNDICE

PRESENTACIÓN 4

0. INTRODUCCIÓN 6

0.1. EL RÍO LEITZARAN Y SU CUENCA 8
0.2. EL ÁREA DE ESTUDIO 16

1. ANÁLISIS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES 17

1.1. INTRODUCCIÓN 17
1.2. METODOLOGÍA 17
1.3. RESULTADOS 22
1.3.1. Sección transversal IN 01 22
1.3.2. Sección transversal IN 02 25
1.3.3. Sección transversal IN 03 28
1.3.4. Sección transversal IN 04 30
1.3.5. Sección transversal IN 05 33
1.3.6. Sección transversal IN 06 36
1.3.7. Sección transversal IN 07 39
1.3.8. Sección transversal IN 08 41
1.3.9. Sección transversal IN 09 44
1.3.10. Sección transversal IN 10 48
1.3.11. Sección transversal IN 11 51
1.3.12. Sección transversal IN 12 55
1.3.13. Sección transversal IN 13 58
1.3.14. Sección transversal IN 14 62
1.3.15. Sección transversal IN 15 67
1.3.16. Sección transversal IN 16 71
1.3.17. Sección transversal IN 17 75
1.3.18. Sección transversal IN 18 76
1.3.19. Sección transversal IN 19 80
1.3.20. Sección transversal IN 20 83
1.3.21. Sección transversal IN 21 86
1.3.22. Sección transversal IN 22 88
1.3.23. Sección transversal IN 23 91
1.3.24. Sección transversal IN 0 95
1.3.25. Sección transversal OI 01 97
1.3.26. Sección transversal OI 02 99
1.3.27. Sección transversal OI 03 101
1.3.28. Sección transversal OI 04 103
1.3.29. Sección transversal OI 05 105
1.3.30. Sección transversal OI 06 107
1.3.31. Sección transversal OI 07 109
1.3.32. Sección transversal OI 08 111
1.3.33. Sección transversal OI 11 113
1.3.34. Sección transversal OI 12 115
1.3.35. Sección transversal OI 13 117
1.3.36. Sección transversal OI 14 119

1.4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS 121

2. PERFIL LONGITUDINAL Y PENDIENTE LOCAL 129

3. ANÁLISIS MEDIANTE LÁSER ESCÁNER 133

3.1. METODOLOGÍA 133
3.1.1. Planificación de las posiciones del escáner y de las dianas 133
3.1.2. Realización de los escaneos 135
3.1.3. Trabajos topográficos 137
3.1.4. Registro de los escaneos 139
3.2. RESULTADOS OBTENIDOS 139
3.2.1. Características de la información registrada 139
3.2.2. Perfiles transversales 141
3.3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS 142
3.3.1. Inturia 142
3.3.1.1. Barra 01 142
3.3.1.2. Barra 02 143
3.3.1.3. Barra 03 145
3.3.1.4. Barra 04 147
3.3.1.5. Barra 05 147
3.3.2. Olloki 148
3.3.2.1. Barra 0 - control 149
3.3.2.2. Barra 1 – aguas arriba 150
3.3.2.3. Barra 3 – aguas abajo 151

4. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO 155

4.1. INTRODUCCIÓN 155
4.2. METODOLOGÍA 155
4.3. ANÁLISIS 158
4.3.1. Barra de referencia (Barra IN 0) 160
4.3.2. Barra 1 (Barra IN 01) 162
4.3.3. Barra 2 (Barra IN 02) 164
4.3.4. Barra 3 (Barra IN 03) 167
4.3.5. Barra 4 (Barra IN 04) 169
4.3.6. Barra 5 (Barra IN 05) 171
4.3.7. Barra 6 (Barra IN 06) 174
4.3.8. Barra 7 (Barra IN 07) 177
4.3.9. Barra 8 (Barra IN 08) 179
4.3.10. Barra 9 (Barra IN 09) 180
4.3.11. Barra 0 (Barra OI 0) 181
4.3.12. Barra 1 (Barra OI 01) 182
4.3.13. Barra 2 (Barra OI 02) 183
4.3.14. Barra 3 (Barra OI 03) 185
4.3.15. Barra 4 (Barra OI 04) 186
4.4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS 189

5. TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN OIOKI 199

5.1. METODOLOGÍA 199
5.2. RESULTADOS 200
5.2.1. Topográficos 201
5.2.2. Granulométricos 201
5.2.3. Transporte de sedimentos 202
5.2.3.1. Trazadores: características y movilidad 202
5.2.3.2. Curvas granulométricas 204
5.2.3.3. Tasa de transporte y volumen 205
5.3. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS DE FUTURO 206

6. PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS EN LOS TRAMOS AFECTADOS POR LAS PRESAS DE INTURIA Y OLLOKI EN EL RÍO LEITZARAN 209

6.1. ZONA DE AFECCIÓN DE LA PRESA DE INTURIA 209
6.1.1. Tramo 1 – Rampa (con connotaciones de Tabla) 210
6.1.2. Tramo 2 – Rápidos y remansos 211
6.1.3. Tramo 3 – Run- Zona de influencia del embalse (previo al derribo) – Rampa (post derribo parcial) – Rápidos y remansos (tras derribo total) 216
6.1.4. Tramo 4 – Embalse de Inturia (pre derribo) – Rápidos y remansos (post derribo) 219
6.1.5. Tramo 5 – Run (Rápido continuo-Rampa) - Trenzado (tras tercer derribo) – Rápidos y remansos (tras derribo total) 230
6.1.6. Tramo 6 – Rápidos y remansos y Saltos y pozas 235
6.1.7. Tramo 7 – Embalse de Bertxin 238
6.2. ZONA DE AFECCIÓN DE LA PRESA DE OLLOKI 243
6.2.1. Tramo 1 – Rápidos y remansos 244
6.2.2. Tramo 2 – Embalse 244
6.2.3. Tramo 3 – Rampa 246
6.2.4. Tramo 4 – Rápidos y remansos 247

7. BIBLIOGRAFÍA 249

ANEXO A1: CURVAS GRANULOMÉTRICAS 2018

ANEXO A2: CURVAS GRANULOMÉTRICAS 2016 Y 2017

ANEXO B: CURVAS GRANULOMÉTRICAS SUPERFICIAL vs TRAZADORES

PRESENTACIÓN

El presente informe constituye el primer informe del proyecto "***Trabajos de seguimiento de los cambios geomorfológicos en la cuenca del río Leitzaran tras las demoliciones de las presas de Inturia y Olloki***", enmarcado en el proyecto **LIFE IREKIBAI (D1. LIFE14NAT/ES/000186 IREKIBAI)**. En este informe se incluyen los resultados de la tercera campaña de seguimiento, realizada en 2018 en el marco del proyecto **LIFE IREKIBAI**, cofinanciado por la Agencia Vasca del Agua – Ur Agentzia y por la Diputación Foral de Gipuzkoa.

Los resultados corresponden a la zona de influencia de Inturia, una vez la totalidad de la presa de Inturia fue demolida en enero de 2016, aunque se incluyen los resultados obtenidos en las campañas previas realizadas (2013-2014) en el marco del proyecto **GURATRANS (EFA221/11)**, proyecto transfronterizo del Programa Operativo de cooperación Territorial España-Francia-Andorra (POCTEFA), cofinanciado con el Fondo Europeo de Desrrollo Regional (FEDER), por la Agencia Vasca del Agua – Ur Agentzia y por la Diputación Foral de Gipuzkoa.

Además se añade la fase de caracterización previa de la zona de afección de la presa de Olloki, inicialmente prevista su demolición para el verano de 2017, pero finalmente pospuesta para otoño 2018. De este modo contamos con dos campañas de estudio del tramo del río afectado por la presa previas al inicio de la intervención.

El equipo de trabajo lo conforman:

Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU): Askoa Ibisate, Amaia Mesanza, Ana Sáenz de Olazagoitia, Jon Beltrán de Lubiano, Xabier Herrero Otero. De la Universidad de Zaragoza: Alfredo Ollero. De MASTERGEO: Daniel Ballarín y Daniel Mora. Vanesa Acín y David Granado, Geógrafos Independientes. De la Universidad de Santiago de Compostela: Jesús Horacio.

0. INTRODUCCIÓN

La demolición de presas y azudes constituye una de las principales actuaciones de restauración fluvial desarrolladas tanto en Europa como en Norteamérica (Granata *et al*., 2008) con el fin de recuperar la continuidad longitudinal de los cursos fluviales y permitir la libre migración de la fauna piscícola. Estos procesos de retirada de barreras transversales también favorecen la renaturalización de los procesos hidrogeomorfológicos y la recuperación de los hábitats propios de los ámbitos de afección de las presas o azudes.

La cornisa cantábrica, y en especial Gipuzkoa, Navarra y Cantabria, destacan en el número de actuaciones realizadas de este tipo (García de Leániz, 2008; Álvarez *et al*., 2011), por ser también los cursos fluviales cantábricos los que mayor número de obstáculos transversales disponen (Ekolur, 2009) debido a la intensa e histórica intervención antrópica de los cursos fluviales, aprovechando la abundante disponibilidad de caudales, pendientes para los saltos hidráulicos, y otros recursos como los minerales y los forestales, que favorecieron la implantación de ferrerías o molinos. En otros ámbitos también se han desarrollado interesantes proyectos de derribos (Alonso *et al*., 2009) y donde destaca el realizado en la presa de la Gotera en el curso alto del río Bernesga en León (Rodríguez *et al*., 2011).

La demolición de las presas produce igualmente un impacto en los procesos hidromorfológicos y en la morfología fluvial (Doyle et al., 2003; Cheng & Granata, 2007), y por tanto también en los ecosistemas fluviales (Graf, ed., 2003; Bednarek, 2001; Shuman, 1995). Estos impactos se producen tanto aguas arriba como aguas abajo de la presa. La respuesta geomorfológica de la demolición de las presas se traduce en un incremento de la erosión remontante del lecho aguas arriba de la presa retirada, así como una desestabilización de las orillas, que en un plazo más largo conlleva un estrechamiento del cauce aguas arriba. Aguas abajo se produce una removilización de los depósitos, y la creación de nuevas barras sedimentarias, así como una paulatina recuperación de la anchura del cauce que se había perdido por la presencia de la presa. No obstante, la carga sólida y su capacidad de transporte y removilización dependerá del caudal líquido, de la altura de la presa y del volumen máximo de sedimento potencial a ser erosionado (Ferrer-Boix, 2010; Doyle *et al*., 2003, Ferrer -Boix & Martín-Vide, 2011, Ferrer-Boix *et al*., 2014).

Sin embargo son mucho más escasas las acciones de seguimiento tras las demoliciones y acciones de restauración, cuestión que es primordial para valorar los resultados de las mismas y así como para profundizar en el conocimiento de la dinámica fluvial, tal y como se señala en numerosos foros dedicados a la restauración fluvial (VV.AA., 2011). Así mismo es fundamental la disponibilidad de información previa, que en el caso del funcionamiento geomorfológico suele ser escasa, sino inexistente en muchas ocasiones.

El seguimiento geomorfológico del derribo de presas es, por tanto, una labor científico-técnica fundamental, imprescindible para evaluar la recuperación del funcionamiento fluvial tras la eliminación del obstáculo. No obstante, en pocos casos se ha procedido al seguimiento geomorfológico del proceso y de sus efectos (Kibler *et al.,* 2010). El seguimiento de los

procesos geomorfológicos acometido tras el derribo de la presa de Mendaraz en el río Urumea (Gipuzkoa) constituye uno de los trabajos pioneros en este sentido (Ollero *et al*., 2012, 2014), así como alguno realizado por el equipo de trabajo en el azud de Urbieta Txiki, en la regata de Altzolarats en Aizarnazabal. Sin embargo no hay más antecedentes científicos, pero sí se ha experimentado en laboratorio (Ferrer-Boix y Martín-Vide, 2011). Como trabajos de referencia pueden destacarse los de Pizzuto (2002), Doyle *et al.* (2003), Cheng y Granata (2007) y Pearson *et al.* (2011), mientras Grant (2001) y Hart *et al.* (2002) plantearon los efectos y viabilidad de estas actuaciones. Todos estos trabajos científicos explican procesos clave que se manifiestan tras eliminar un obstáculo transversal al cauce y que en el presente trabajo se consideraron las hipótesis de partida, a confirmar mediante el trabajo de seguimiento:

1. La rapidez de respuesta del sistema geomorfológico fluvial (en las primeras horas y días los procesos son intensos y se moviliza y reordena buena parte del material atrapado tras la presa, especialmente en primer lugar el material fino que se había acumulado en el vaso). Esta intensa dinámica geomorfológica generada por la demolición se va reduciendo progresivamente conforme el sistema fluvial se auto-regula y va alcanzando un equilibrio entre caudales circulantes, sedimentos y pendiente.

2. La tendencia a la incisión del fondo del lecho y formación del talweg, a la erosión remontante en el vaso del antiguo embalse, proceso muy rápido al principio, que se va ralentizando progresivamente y que puede prolongarse durante años en el tiempo hasta que el curso fluvial alcanza un nuevo equilibrio con su pendiente y perfil longitudinal (Ferrer-Boix, 2010).

3. La tendencia a formarse nuevos depósitos sedimentarios aguas abajo del obstáculo derruido, como almacenes temporales de sedimentos que irán siendo poco a poco movilizados hacia abajo, modificándose con rapidez la morfología de cada barra de sedimentos.

4. Una anárquica distribución de sedimentos nada más producirse el derribo, para con el tiempo y progresivamente ir reorganizándose y reclasificándose los materiales.

5. El importantísimo papel geomórfico de las crecidas, que aceleran todos los procesos citados y recortan el tiempo que emplea el curso fluvial para reajustarse a su nueva situación.

6. Que la dinámica geomorfológica generada y en proceso de ralentización es positiva para el sistema fluvial en su funcionamiento natural, en su buen estado ecológico y en sus biocenosis, así como en la circulación libre de especies piscícolas.

De modo que tal y como mencionábamos en los informes precedentes, a la hora de analizar el comportamiento hidromorfológico de un río, es necesario abordar el estudio de forma que se pueda comparar cómo varían diferentes aspectos morfológicos conforme las condiciones del curso de agua cambian. El derribo de un obstáculo de más de 12 metros de altura supone un cambio muy notable en la dinámica fluvial, por lo que es de gran importancia la cuantificación

de los cambios, así como la evaluación de las posibles tendencias que pueden predecirse. Así como para poder valorar los procesos de cara a futuras actuaciones.

0.1. EL RÍO LEITZARAN Y SU CUENCA

El río Leitzaran es un afluente del río Oria por la margen derecha que confluye en el tramo bajo de su colector principal. El río Leitzaran drena una cuenca fluvial de 881,99 km² ubicada a caballo entre las Comunidad Foral de Navarra, donde se encuentra su cabecera, y Euskadi, donde discurre su tramo central y bajo hasta su desembocadura en el río Oria. La cuenca del río Leitzaran se ubica en la zona NE de Navarra y en el sector oriental de la provincia de Gipuzkoa.

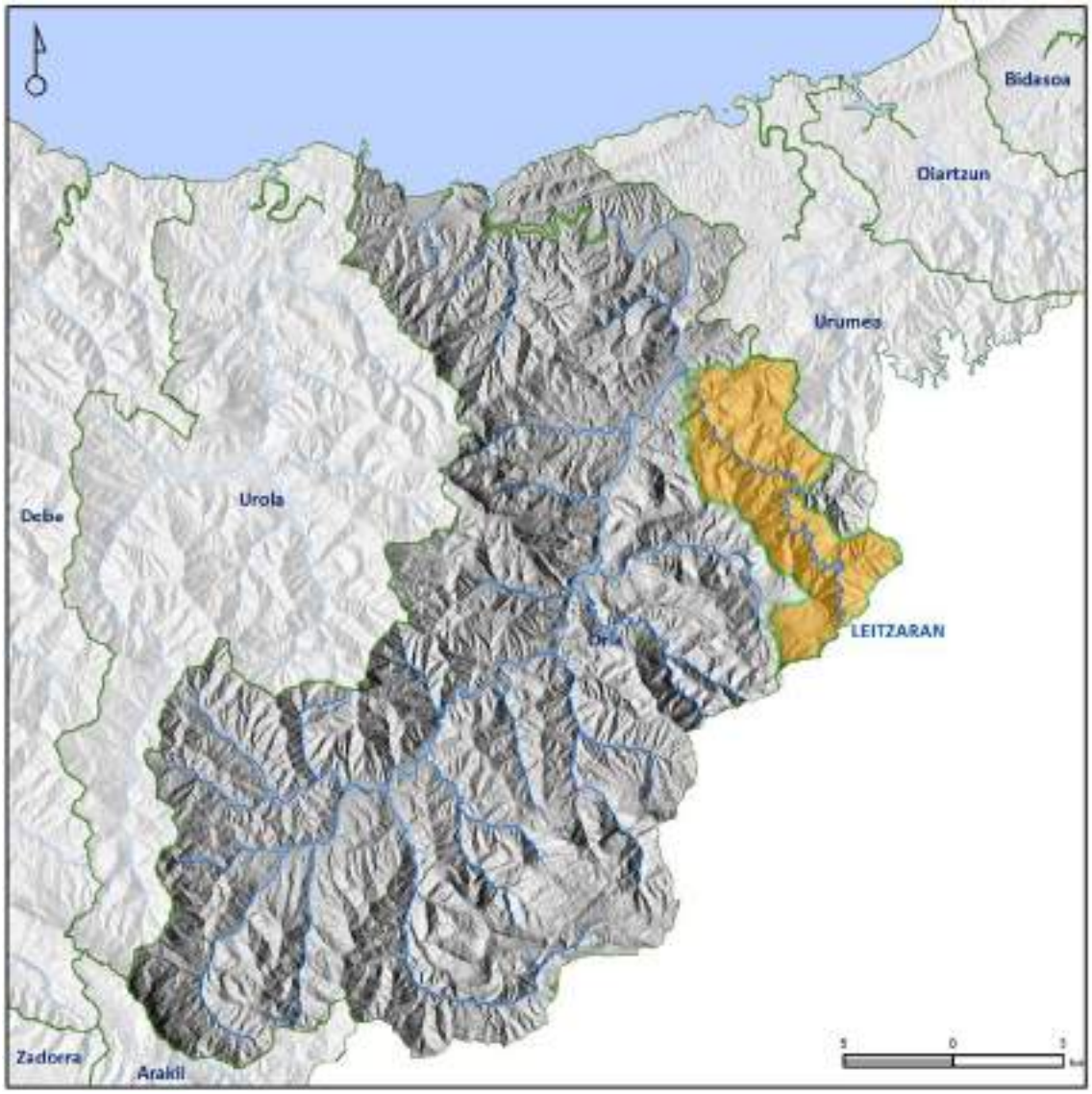


Figura 0.1. Localización de la subcuenca del río Leitzaran (parte correspondiente al Territorio Histórico de Gipuzkoa) en la cuenca del río Oria.

El río Leitzaran tiene una longitud aproximada de 77,29 km en los que pasa de nacer a algo más de 1000 m.s.n.m., tomando el nombre de Erreka Erasole, en las laderas Norte del pico de Arnaizu, en Navarra, a desembocar en el río Oria en la localidad de Andoain, a unos 44 m.s.n.m. Ello da como resultado un desnivel de unos 956m, con una pendiente media del 12,4 %.

La cuenca del río Leitzaran está conformada por una alta variedad de litologías, en su mayor parte de tipo metamórfico (pizarras y grauvacas) de origen paleozoico de la parte suroccidental del Macizo de Cinco Villas, así como por los materiales mesozoicos que lo rodean (Ceberio, 1989). El alto grado de tectonificación es otra de sus características, donde destaca la falla de Leitza, a la que se asocia una franja metamórfica de unos tres kilómetros de ancho (Ceberio, 1989).

La zona alta del río se inserta en sectores de materiales mesozoicos, discurriendo en el sector de Leitza por el núcleo Cenozoico de materiales más blandos (arcillas del Albiense) de un pliegue sinclinal colgado con bordes pertenecientes al Jurásico, principalmente con materiales calizos del Lias y Dogger, en los que se emplaza el núcleo urbano de Leitza. El nacimiento se ubica a los pies de un anticlinal de núcleo jurásico que recorre esta zona con un claro trazado de Este a Oeste.

El río acaba cortando estas estructuras y, una vez salvadas estas zonas más complejas, se interna con dirección Norte durante la mayor parte de su tramo central en un amplio sector dominado por materiales del Carbonífero (era Paleozoica). Esta zona está dominada por la presencia de esquistos y grauvacas que, ya sólo una vez rebasada la zona de estudio de las presas de Inturia y el azud de Bertxin, dan paso a zonas de materiales Triásicos (Mesozoicos), principalmente de la facies Buntsandstein (areniscas rojizas que no se aprecian por la intensa cobertura vegetal) y afloramientos del Cretácico Superior, también pertenecientes al Mesozoico, ya en la zona de desembocadura y que se muestran como arcillas calcáreas nítidamente estratificadas.

Únicamente la depresión de Aintzerga, cabecera occidental del Leitzaran, presentan erosión kárstica. La disolución de los materiales yesíferos asociados a las arcillas triásicas del Keuper que afloran en superficie y la karstificación de las calizas jurásicas subyacentes ha provocado un continuo hundimiento que ha dado como resultado una morfología en cubeta (Ormaetxea, 1994; Ceberio, 1989).

Sólo ya en los últimos metros del recorrido el río atraviesa depósitos cuaternarios pertenecientes a la llanura aluvial del río Oria.

Figura 0.2. Litología de la cuenca del Oria, donde se incluye la cuenca del río Leitzaran (Gobierno Vasco, 2001).

Desde el punto de vista climático se trata de un ámbito de clima templado-océanico. Las temperaturas medias apenas varían a lo largo del año, siendo su principal característica la elevada pluviometría, mayor a 2000 mm/año en la zona de cabecera y sin presencia de estación seca (Fig. 0.3).

La red fluvial se adapta al soporte geomorfológico, y así conforma un valle estrecho, encajado que conforma meandros en todo su trazado. Morfológicamente el río Leitzaran se configura como un cauce altamente sinuoso y con un perfil que, en la mayor parte del recorrido, se encuentra sensiblemente encajado en los materiales, formando un típico valle fluvial en forma de "v", y que dada la dureza de los materiales ha predominado la erosión remontante y la incisión vertical del fondo del valle sin conformar llanura aluvial a excepción de la zona de Leitza.

Tan sólo en algunas zonas altas pierde este morfología, ya sea por el embrionario cauce y por la elevada pendiente de sus zonas de cabecera, donde se configura como un incipiente

torrente de montaña, o bien por atravesar zonas más propicias a la erosión gracias a la mayor deleznabilidad de los materiales, como sucede en zonas cercanas a la localidad de Leitza, donde se instalan los usos más intensivos de la cuenca, siendo frecuentes las zonas de prados de siega, mucho más infrecuentes en el resto de la cuenca.

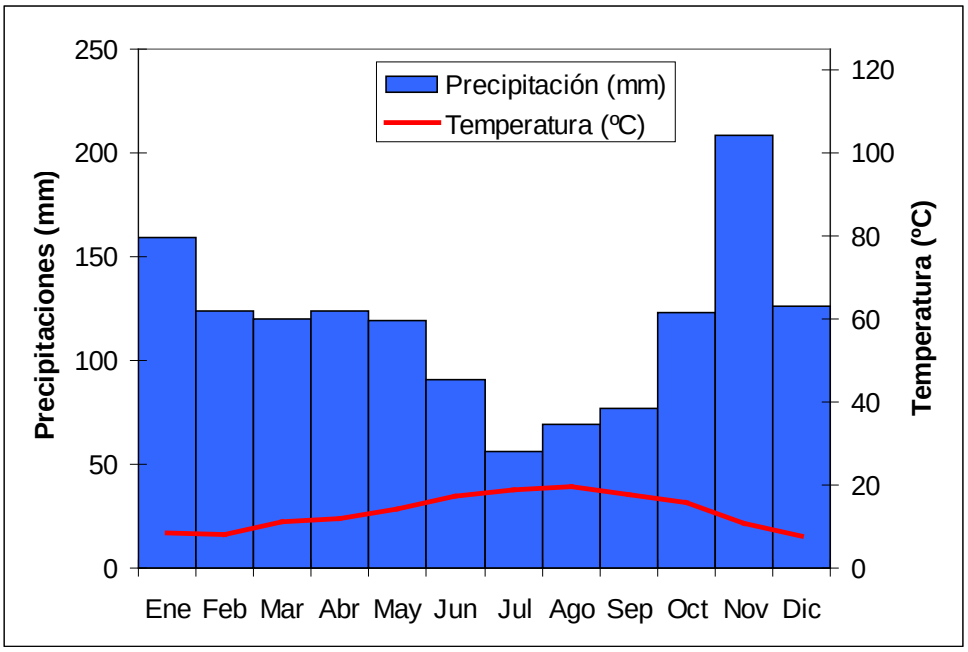


Figura 0.3. Climodiagrama de la estación de aforo ubicada en el curso bajo del río Leitzaran (Fuente: Diputación Foral de Gipuzkoa)

El drenaje es predominantemente superficial, con tan solo pequeñas zonas de drenaje subterráneo vinculado a los procesos de karstificación mencionados previamente. Tal y como señala Ceberio (1989) las aguas infiltradas en estas calizas surgen en varios manantiales dentro de la misma cuenca, o bien descargan directamente en el cauce del río en la zona de Leitza, por lo que no hay pérdidas, y en todo caso hay ganancias procedentes del Ezkurra (subcuenca perteneciente a la cuenca del río Bidasoa y que comparte divisoria con la cabecera del río Leitzaran).

El caudal medio del río Leitzaran en Ameraun es de 2,97 m^3/s (Ollero y Ormaetxea, 1996) y en la estación de aforos cercana a Andoain es de 4,8 m^3/s (1994-2018). Presenta un régimen pluvial, con un máximo en febrero (8,7 m^3/s) y un mínimo en septiembre (1,4 m^3/s) en la serie de 1994 a 2018. El periodo de noviembre a marzo destaca por sus caudales más altos, con un descenso progresivo a partir de abril.

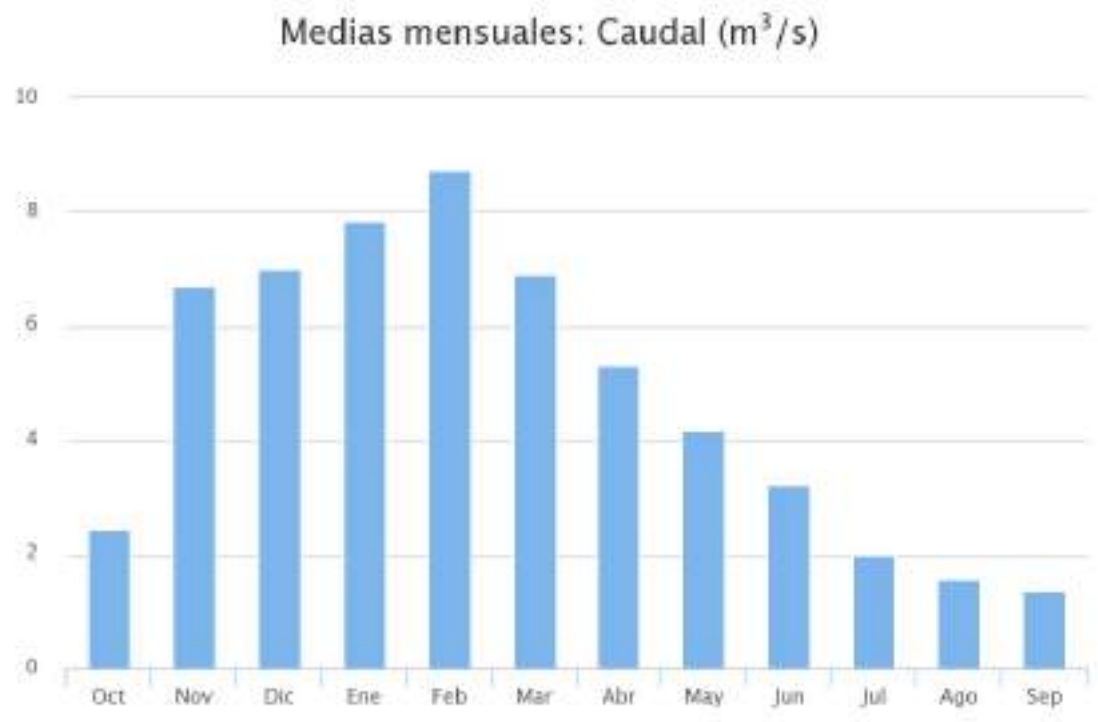


Figura 0.4. Hidrograma del río Leitzaran en Andoain (1995-2018). Fuente: Diputación Foral de Gipuzkoa

En cuanto a la evolución de los caudales medios anuales se aprecia una evolución creciente en el caudal interanual, especialmente por los años hidrológicos de 2012/2013 a 2014/2015 y el último año hidrológico, 2017/18, que presentan los valores más altos de toda la serie, y coinciden con parte de los años de los trabajos de seguimiento geomorfológico al derribo de la presa de Inturia.

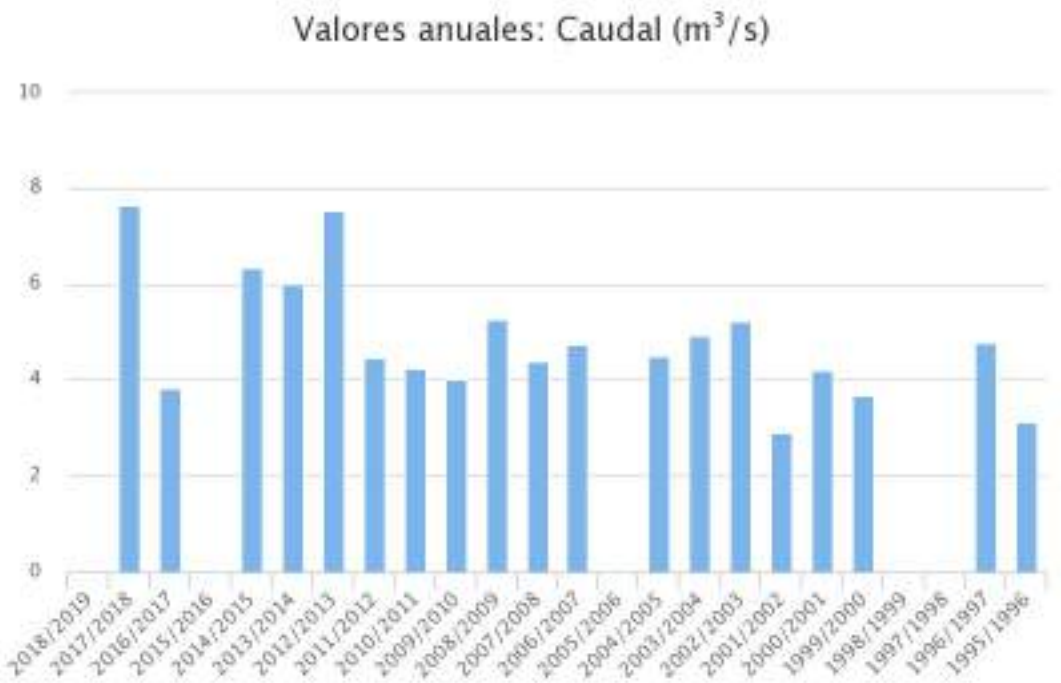


Figura 0.5. Evolución de los caudales medios anuales en la estación de aforo de Leitzaran (1995-2018). Fuente: Diputación Foral de Gipuzkoa

La cobertura vegetal se adapta a la morfología del valle y las características climáticas. Así la pendiente ha limitado la antropización y la presencia de caseríos, la práctica totalidad del mismo está cubierto por una masa de plantaciones forestales, fundamentalmente pino insigne (*Pinus radiata*) y alerce (*Larix sp.*). Pero también se conservan bosques autóctonos de robledal atlántico (*Quercus robur*), así como una estrecha franja de vegetación de ribera formada en su mayor parte por el aliso (*Alnus glutinosa*) (Ormaetxea, 1994).

Dentro de la cuenca del río Leitzaran se ubican pocos núcleos urbanos destacables por su población. La localidad navarra de Leitza es la más importante en la parte alta de la cuenca, con una población que no alcanza por poco los 3000 habitantes (2889 según el padrón del año 2013). Todo el tramo central y bajo del río carece de núcleos de población importantes, discurriendo por zonas sensiblemente encajadas y alejadas de zonas pobladas más allá de edificaciones dispersas si se exceptúa alguna localidad como Areso, no directamente ribereña, aún en Navarra, con 271 habitantes en el año 2013.

Es ya en la zona de desembocadura donde se encuentra el mayor núcleo de población de toda la cuenca, la localidad de Andoain, que tenía en el año 2013 una población de 14630 habitantes, siendo con diferencia la más importante de todo el trayecto del río y multiplicando en su núcleo urbano la población que hay en el resto de la cuenca.

A pesar de presentar un grado bajo de urbanización e industrialización, excepción hecha de la localidad de Leitza y Andoain, la cuenca, y el curso fluvial, presenta desde antiguo un intensivo aprovechamiento forestal, hidráulico y mineral, de ahí el ferrocarril del Plazaola, el aprovechamiento hidráulico de ferrerías y molinos, las centrales hidroléctricas, el aprovechamiento forestal del bosque autóctono y las repoblaciones forestales y la más reciente Autovía A-15.

El trazado del ferrocarril del Plazaola es de inicios del siglo XX -que transportaba el mineral de hierro, pirita de cobre, galena y blenda que se obtenía en la cuenca- y que unía Pamplona con Donostia. Inició su andadura en 1914, tras la concesión otorgada en 1902, hasta que cesó su actividad en 1958 (Ceberio, 1989).

Las ferrerías constituyen uno de los aprovechamientos históricos más reseñables, aprovechando la abundancia de minerales, agua y masa forestal. La actividad de estas ferrerías se constata a través de las edificaciones, pero también de la presencia de escorias entre los sedimentos del cauce. Destacan las siguientes ferrerías: Amasola, Urriondo, Beriñas, Ameraun, Plazaola, Ollokiegi, Inturia, Mustar, Aunzola, Estibar, Eskilto, Eskelzu, Barrenola, Lastebiskar, Mugizalas, Olaberri y Olazar (Ceberio, 1989).

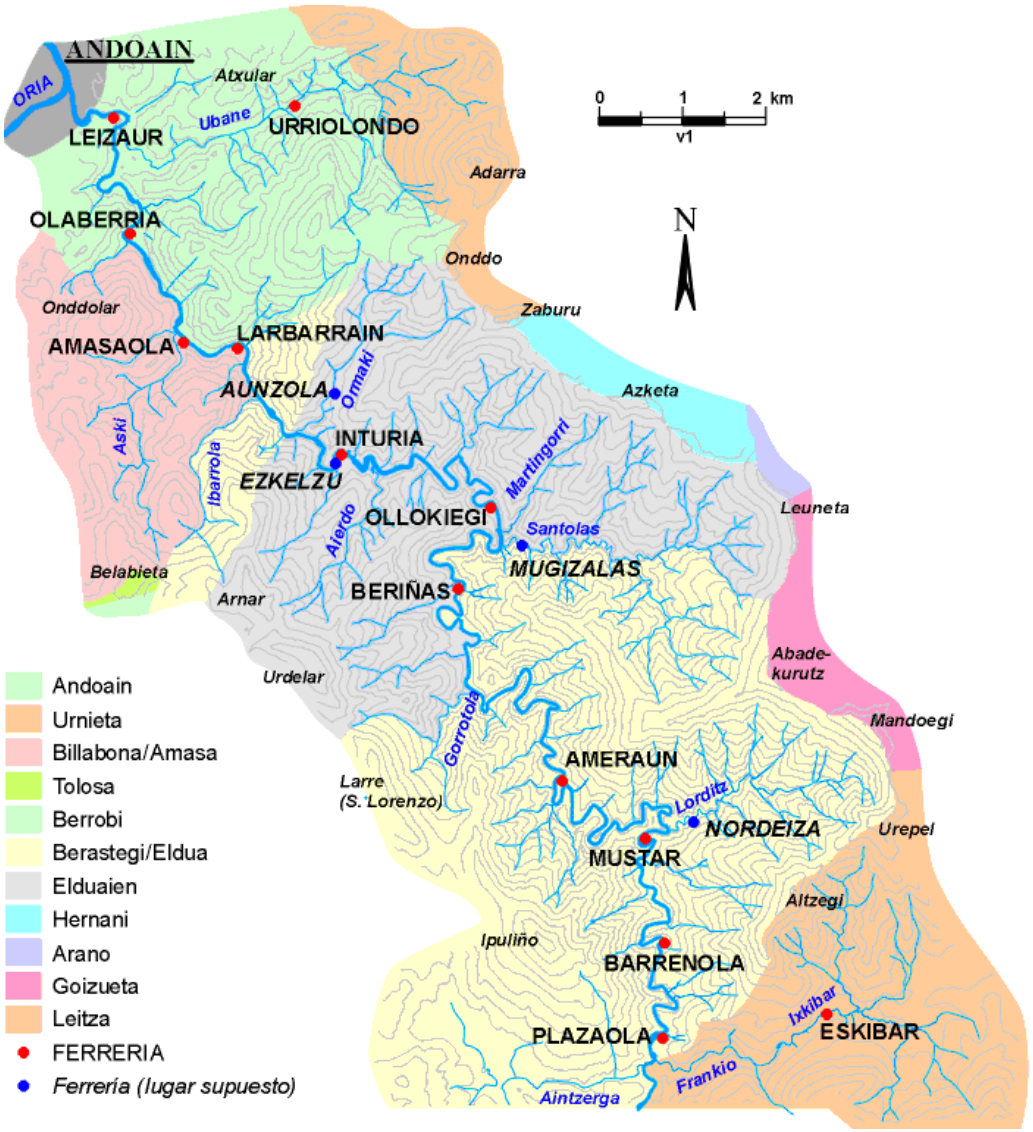


Figura 0.5. Localización de las ferrerías en el valle del río Leitzaran (Fuente: http://www.leitzaran.net)

Destacan por estar situadas cerca del área de estudio las siguientes ferrerías (Ceberio, 1989):

- Ollokiegi. Situada aguas arriba del área de estudio y perteneciente al municipio de Elduaien, y que data al menos del siglo XV. A día de hoy se conservan canales, antepara, taller, pared de horno, la casa del ferrón y una presa, reaprovechada por una central hidroeléctrica.
- Inturia. Situada aguas abajo de la presa, junto al puente y al caserío de igual nombre. Sufrió un incendio en el s. XVIII y a día de hoy solo quedan parte de los estribos de las presas y algunos muros.
- Amasola. Situada en el término municipal de Billabona a 5 km de la desembocadura, en una zona donde el valle se ensancha, conforma una unidad junto con la de Labarrain.
- Olaberria. A 3,3 km de la desembocadura, se situaba en el lugar donde ahora se encuentra la central hidroeléctrica de igual nombre.

- Leizaur. También conocida como de Lizarkola, donde se situó otra central hidroeléctrica, a unos 950 m de la desembocadura.

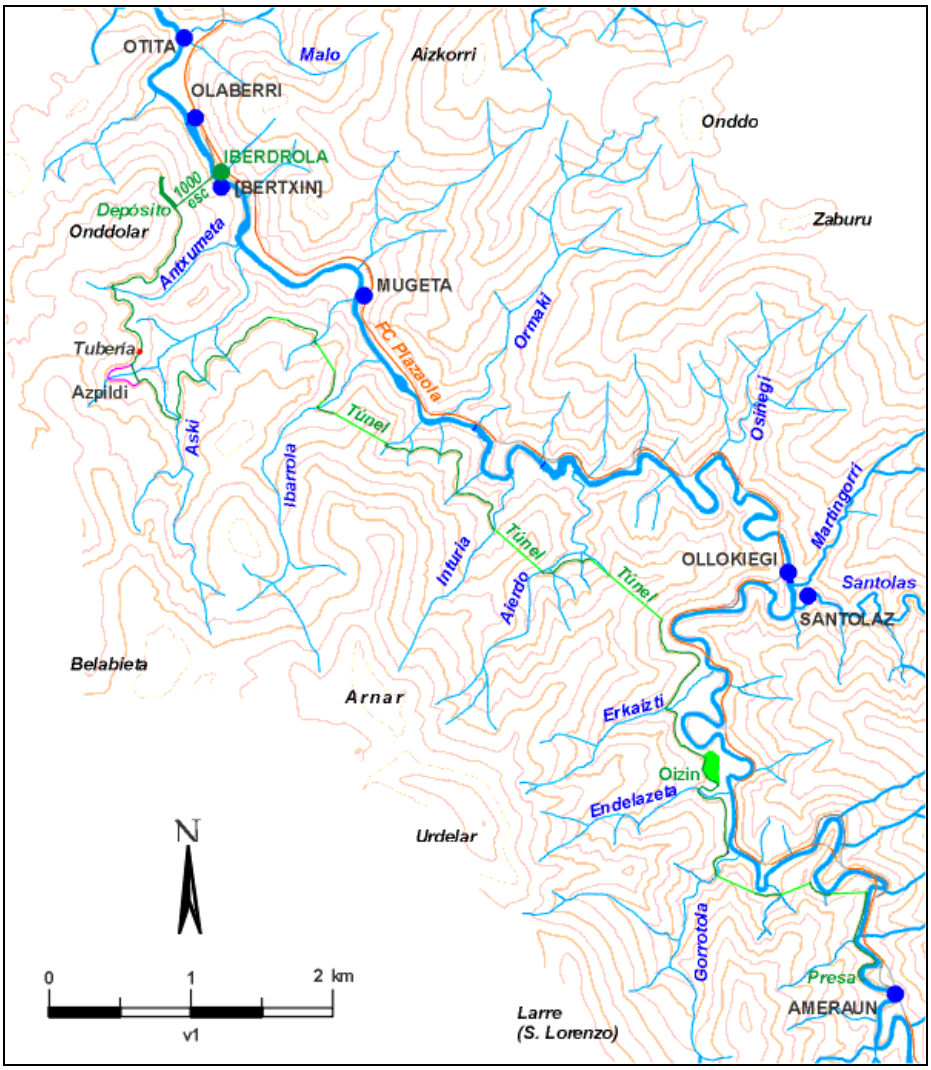


Figura 0.6. Localización de las centrales hidroeléctricas en el valle del río Leitzaran (Fuente: http://www.leitzaran.net)

El río Leitzaran no presenta obras de regulación importantes más allá de puntuales azudes o represas entre las que la de Inturia constituye uno de los ejemplos más importantes. Estos azudes presentan, o presentaban, usos eminentemente energéticos, sirviendo para derivar los caudales y producir saltos aprovechados para la generación de hidroelectricidad. En el área de estudio destacan las de Olloki (concesión de 1000 l/s y Q ecológico de 325 l/s), Inturia (en desuso y ahora objeto de demolición), Mugeta (Abandonada), Bertxin (concesión de 1000 l/s y Q ecológico de 450 l/s), Iberduero (también llamada de Leitzaran o de las 1000 escaleras, con una concesión de 3000 l/s y Q ecológico de 300 l/s y con su presa situada en Ameraun), Olaverri (concesión de 3000 l/s y Q ecológico de 680 l/s) y Otita (concesión de 450 l/s).

0.2. ÁREA DE ESTUDIO

Los trabajos del seguimiento de los procesos geomorfológicos se han realizado a lo largo de prácticamente 3 kilómetros en el caso de la zona de afección de Inturia y de casi 2,4 kilómetros en la de Olloki (Fig. 0.7). A cada una de las zonas de estudio se le añade una zona de control localizada aguas arriba, con el fin de interpretar la magnitud del cambio derivada del derribo de las presas frente a otros procesos.

A ello se añade la identificación de procesos geomorfológicos hasta la desembocadura del río en su colector principal, el río Oria, a realizar al inicio y final del proyecto.

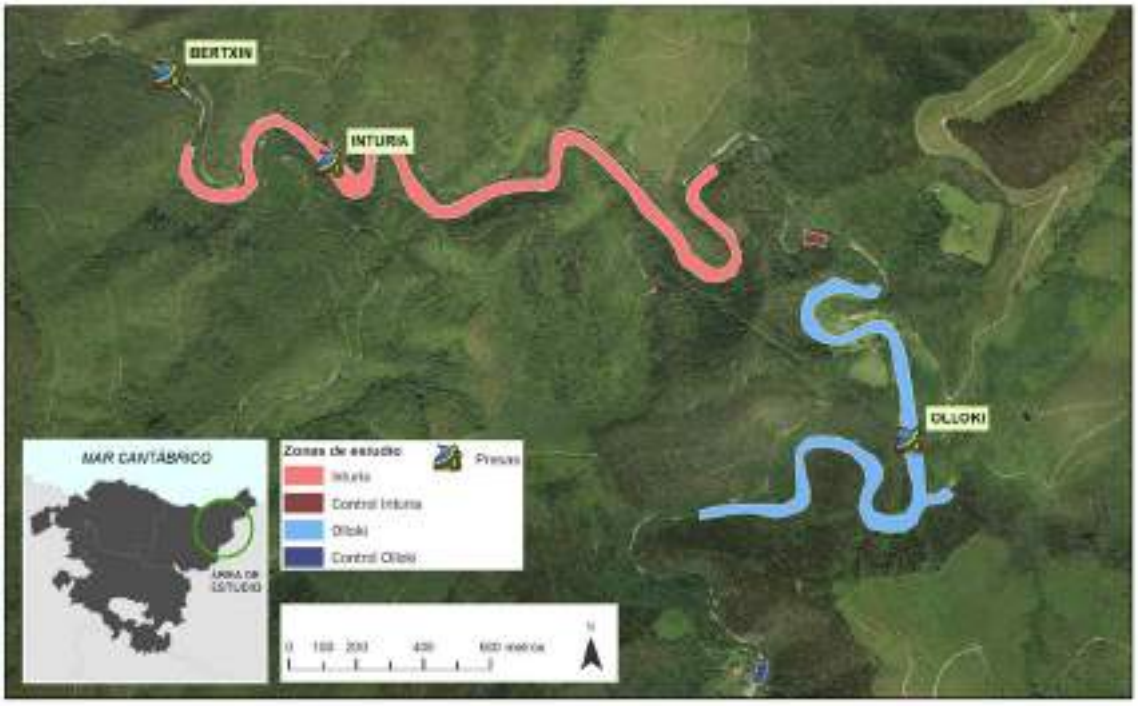


Figura 0.7. Área de estudio de los trabajos de seguimiento geomorfológico.

1. ANÁLISIS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES

1.1. INTRODUCCIÓN

La realización de secciones transversales espaciadas en una determinada zona de estudio, así como su repetición a lo largo del tiempo, especialmente tras eventos dinámicos o bien tras la demolición de obstáculos, como es el caso del azud/presa de Inturia, es una de las bases para conocer la dinámica de un río de forma habitual.

La importancia de estos trabajos en el caso de que se acometa un proyecto de demolición de barreras antiguas es, si cabe, aún mayor. Este es el caso, como se citaba anteriormente, del azud de Inturia, en el que gracias al proyecto europeo ***EFA221/11-GURATRANS. Gestión integral y participativa de los ríos transfronterizos del extremo occidental de los Pirineos***, se inició una demolición por fases que ha sido finalizada en el marco del proyecto ***LIFE IREKIBAI (LIFE14NAT/ES/000186)***. El hecho de eliminar, ya sea en su totalidad, o de forma progresiva, una barrera de origen antrópico cuya construcción data de 1913 supone la activación repentina de una serie de procesos que llevaban años desactivados merced a la presencia de la citada barrera.

Durante el año 2018 se acometió el derribo parcial de la presa de Olloki, 2017 se planteó el derribo definitivo de la presa de Olloki, localizado unos kilómetros aguas arriba de la presa de Inturia, estando prevista su demolición completa durante el año 2019. . la caracterización previa al derribo se realizó durante el año 2017, con una serie de secciones transversales similares a las realizadas en la zona de afección de la presa de Inturia.

La comparación entre secciones de diferentes fechas facilita y posibilita la observación, unido a otro tipo de seguimientos también incluidos en este trabajo, de cuál es la dinámica del río en el periodo de estudio, cómo responde a la demolición de la barrera, en nuestro caso a las sucesivas demoliciones, y cuál puede ser su evolución en el futuro más próximo.

1.2. METODOLOGÍA

Para desarrollar el seguimiento de la dinámica fluvial asociada a la demolición parcial del azud de Inturia, en el río Leitzaran, se realizó una primera visita a la zona en la que se identificaron las posibles ubicaciones de las secciones a realizar, el grado de accesibilidad para su realización y diferentes factores que condicionasen las diferentes campañas de campo necesarias.

Teniendo en cuenta la longitud del tramo a estudiar y las características del azud, una presa de 12 m de altura, la longitud de agua embalsada (longitud del vaso), que alcanza los 1500 metros, así como la pendiente que el río tiene en la zona de estudio, se estableció en la propuesta un número final de secciones cercano a las 30. En este número se incluyen las sucesivas secciones que se elaborarían conforme las demoliciones del azud posibilitasen la disminución en la longitud de la zona embalsada, así como el acceso en condiciones apropiadas a esas zonas para la realización de secciones transversales.

Las campañas realizadas hasta el momento han sido 8, en las que se han realizado las siguientes secciones:

- **Julio de 2013**: Se realizan un total de 19 secciones, 13 de ellas aguas arriba del vaso del azud de Inturia, aún sin demoler, y 6 aguas abajo del mismo.

- **Septiembre de 2013**: Se realizan 3 nuevos perfiles en la zona del vaso que queda al descubierto una vez acometida la primera demolición del azud, de unos 4m. Se repite, como seguimiento, el perfil número 13 realizado en la primera campaña de campo, que es el ubicado justo aguas arriba de la zona embalsada por el azud. El total asciende a 21 perfiles. Días posteriores se realizan otros dos perfiles, en la parte final del vaso actual ligeramente más asentada que en días precedentes.

- **Abril de 2014**: Se repiten todos los perfiles realizados en las dos primeras campañas para proceder a la comparación con las anteriores, previa a la siguiente fase de demolición donde se realizarán nuevos perfiles en la zona que, de nuevo, quede al descubierto en lo que queda de vaso tras la primera fase.

- **Agosto de 2014**: Se repiten los perfiles realizados en la campaña de abril de 2014 para elaborar la comparativa entre estas mediciones y las anteriores. Además, se repite uno de los dos perfiles realizados en los días posteriores a la campaña de septiembre de 2013. Asimismo, se realizan dos nuevos perfiles en la zona que ocupaba el vaso del embalse. En total son 23 mediciones.

- **Junio de 2015**: Se repiten los perfiles realizados en la campaña de agosto de 2014 para elaborar la comparativa entre estas mediciones y las anteriores. En total son 23 mediciones.

- **Septiembre de 2016**: Se repiten los perfiles realizados en la campaña de junio de 2015 para elaborar la comparativa entre esas mediciones y las anteriores. En esta campaña, las dificultades de accesibilidad en algunos perfiles han imposibilitado la realización de varios de ellos, principalmente debido a la caída de árboles, algunos de ellos con el testigo del perfil, o bien por dificultad en acceso debido a la fuerte erosión que, en algunos casos, supera los 3 metros verticales.

- **Julio de 2017**: Se repiten todos los perfiles que son técnicamente posibles con el fin de continuar con las comparativas de evolución post-derribo. En total son 17 mediciones.

- **Junio de 2018:** Se repiten todos los perfiles que son técnicamente posibles con el fin de continuar con las comparativas de evolución post-derribo. En total son 17 mediciones. El perfil 6 no ha podido repetirse por la caída del árbol que contenía la marca.

Las distancias entre secciones no son homogéneas, si bien se ha tratado de espaciarlas de tal forma que se repartan de forma lo más regular posible en el tramo de estudio, partiendo de la zona que, aguas arriba, se considera de forma previa al inicio del trabajo que ya no va a verse afectada por los efectos de la demolición del azud.

De este modo las primeras secciones se encuentran a más de 1 km del cuerpo de la presa, en una zona donde los efectos de la demolición, de darse, no serían inmediatos. Se tomó también, un perfil 0 de control ubicado a más de 2 km de la presa para confirmar, entre la

primera y la última campaña de campo, que no se producen modificaciones en su morfología. La distribución de los perfiles, como se ha dicho no es totalmente homogénea pero sí bastante regular, responde a las dificultades de la topografía del valle, así como a la disponibilidad de puntos fijos en ambas orillas, aspecto más complejo conforme nos acercamos al vaso de la presa, ya que en esa zona los cambios son muy acusados en un corto periodo de tiempo, lo que puede conllevar la caída de árboles u otros elementos que han podido ser utilizados como puntos fijos en las primeras mediciones. De cara a una mejor organización en la redacción, se han denominado los perfiles de Inturia con el código "IN XX", para diferenciarlos de los perfiles de Olloki, que se han denominado "OI XX".

Cada una de estas secciones, por tanto, tiene uno o varios puntos definidos como fijos en cada orilla, o en ocasiones, dependiendo de la morfología del cauce y de la disponibilidad, incluso en la parte central del cauce. Estos puntos son fundamentales a la hora de servir como referencia en los perfiles y poder comparar las mediciones de diferentes campañas de campo.

Figura 1.1. Ubicación de los perfiles transversales de la zona de afección de Inturia.

La representación de cada uno de los perfiles transversales incorpora dos versiones. De una parte, un gráfico limpio en el que se irán superponiendo las secciones realizadas en cada salida de campo con el fin de que pueda apreciarse de un vistazo cuál ha sido la evolución del perfil transversal en cada una de ellas, siendo una herramienta muy útil a la hora de identificar dinámicas y su alcance.

De otra parte, se presentan perfiles ilustrados con la granulometría que en cada uno de los puntos del lecho se fue identificando. En el caso de los perfiles con cambios más significativos se adjunta imagen tanto de la primera como de la última medición, pudiéndose apreciar de forma gráfica los cambios ocurridos, tanto en lo referente a la morfología del cauce como a la granulometría aflorante en el lecho en cada momento de toma de datos.

Figura 1.2. Leyenda de las granulometrías representadas en los perfiles transversales.

Estos perfiles representan las granulometrías básicas en base a la siguiente leyenda. Además, es normal encontrar diversas combinaciones de los mismos en las secciones realizadas.

En el caso de Olloki, teniendo en cuenta la longitud del tramo a estudiar y las características del azud, una presa de 7 m de altura, la longitud de agua embalsada (longitud del vaso), que alcanza los 350 metros, así como la pendiente que el río tiene en la zona de estudio, se estableció en la propuesta un número final de secciones cercano a las 12. En este número se incluyen las sucesivas secciones que se elaborarían conforme las demoliciones del azud posibilitasen la disminución en la longitud de la zona embalsada, así como el acceso en condiciones apropiadas a esas zonas para la realización de secciones transversales.

Hasta el momento se ha realizado una campaña de campo, previa a la demolición, en las que se han realizado las siguientes secciones:

- **Julio de 2017**: Se realizan un total de 12 secciones, 9 de ellas aguas arriba del vaso del azud de Olloki, aún sin demoler, y 4 aguas abajo del mismo. Quedan pendientes las secciones 0 (control), dos en el vaso del embalse y una en la regata Santolaz que se realizarán en el momento del derribo.

- **Junio de 2018**: Se realizan las mismas 12 secciones así con la sección 0 de control, más alejada aguas arriba de la presa.

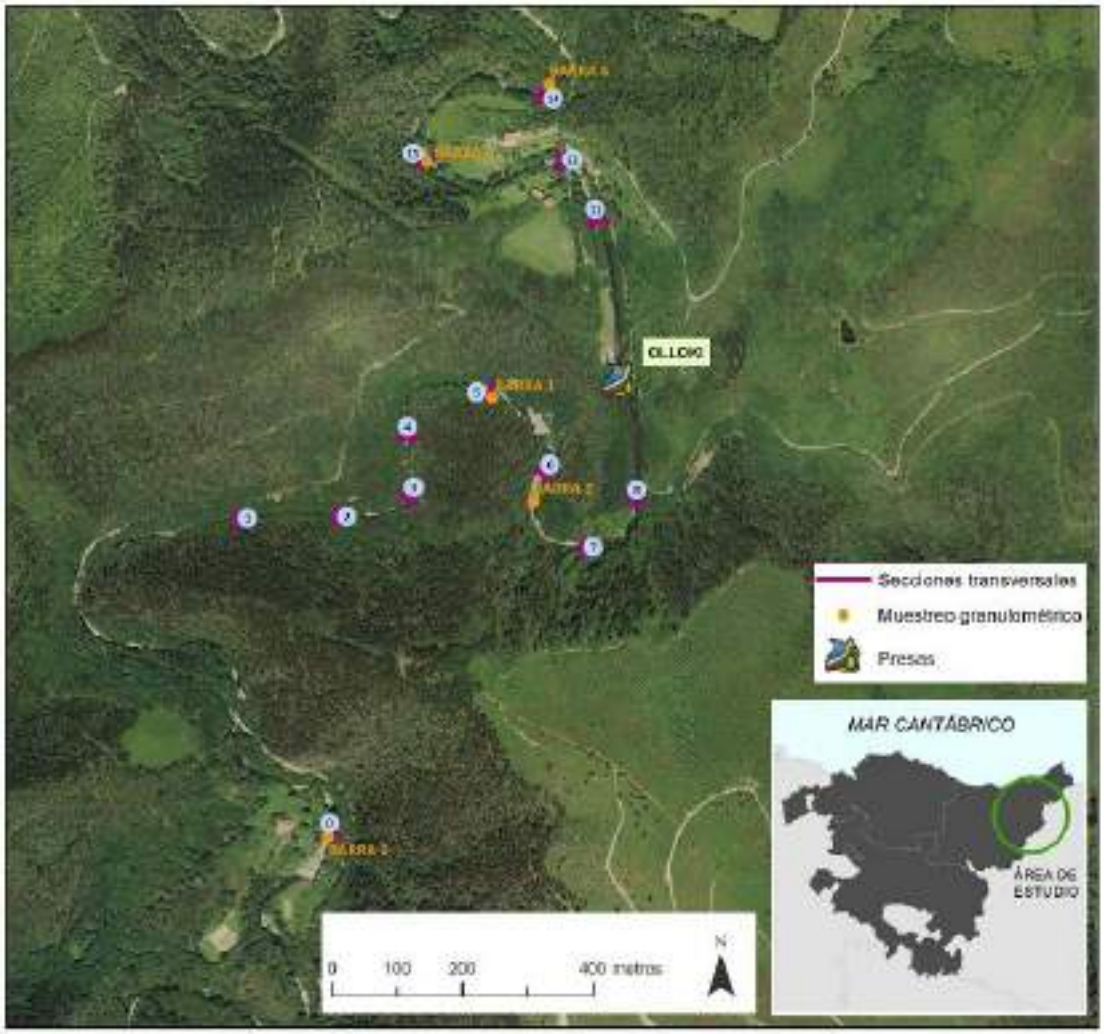


Figura 1.3. Ubicación de los perfiles transversales de la zona de afección de Olloki.

1.3. RESULTADOS

1.3.1. Sección transversal IN 01

La sección IN 01 se encuentra a unos 2.110 m aguas arriba de la presa de Inturia tomando el centro aproximado de cauce y a unos 745m del final de la zona embalsada por la presa antes de la primera de las demoliciones.

Figura 1.4. Ubicación de la sección transversal IN 01.

La primera sección realizada se encuentra en un tramo rectilíneo del río Leitzaran, unas decenas de metros antes de una pronunciada curva de algo más de 90º hacia la izquierda. El cauce se presenta con una anchura del cauce supera por poco los 10, con un fondo bastante regular, aunque con granulometrías gruesas, y una pequeña "llanura de inundación" conformada sobre todo en la margen derecha por un pequeño rellano donde se instaló el visor para la realización del perfil. Una vez superado este exiguo llano que no alcanza los 5m, la ladera se torna mucho más empinada, tal y como sucede de forma directa en la margen derecha entre la transición cauce-ladera.

Como en la práctica totalidad de los perfiles, independientemente de su anchura o complejidad interna, el río discurre encajado en "V" con empinadas laderas que suelen albergar un denso bosque. Como se aprecia en la fotografía aérea sobre este bosque se dan explotaciones más o menos intensas de la madera, visibles por las calvas muy regularizadas que dejan las zonas donde se ha explotado la madera de formas más o menos recientes.

Sobre el pequeño llano de la margen izquierda prolifera una zona de herbáceas y algunos árboles de importante porte. La ladera de la margen derecha presenta una composición más rocosa con árboles dispersos.

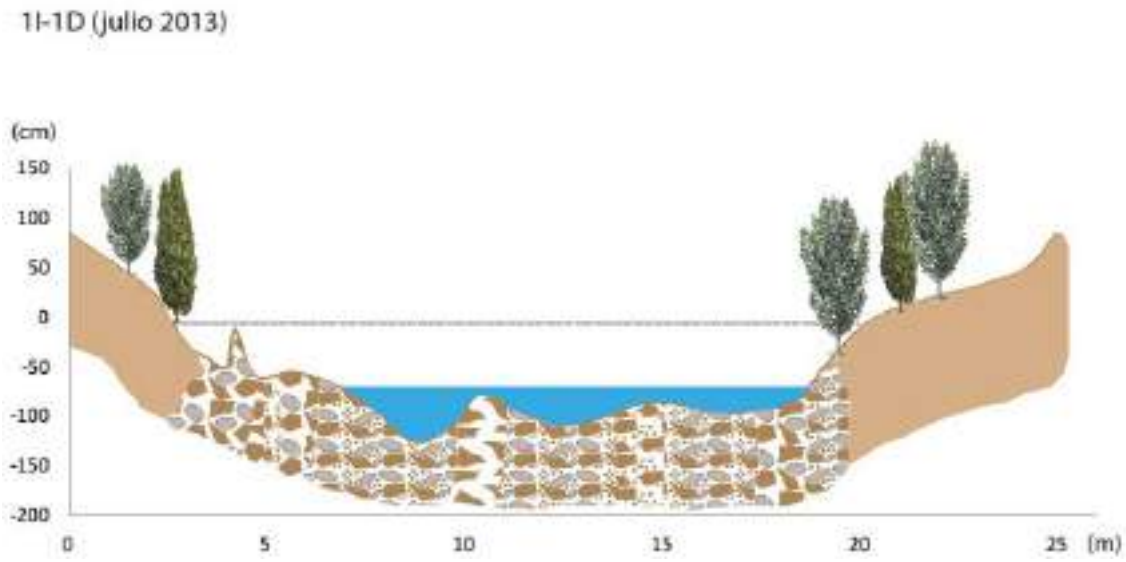


Figura 1.5. Sección transversal IN 01.

La comparativa de las secciones realizadas en diferentes campañas de campo, realizadas tras las distintas fases de demolición del azud y en las campañas de campos posteriores a la finalización de la demolición, deja ver escasos cambios en el perfil transversal de esta primera sección. Prácticamente sólo algunos cambios puntuales debidos a la movilización muy local de algunos bloques de tamaño importante.

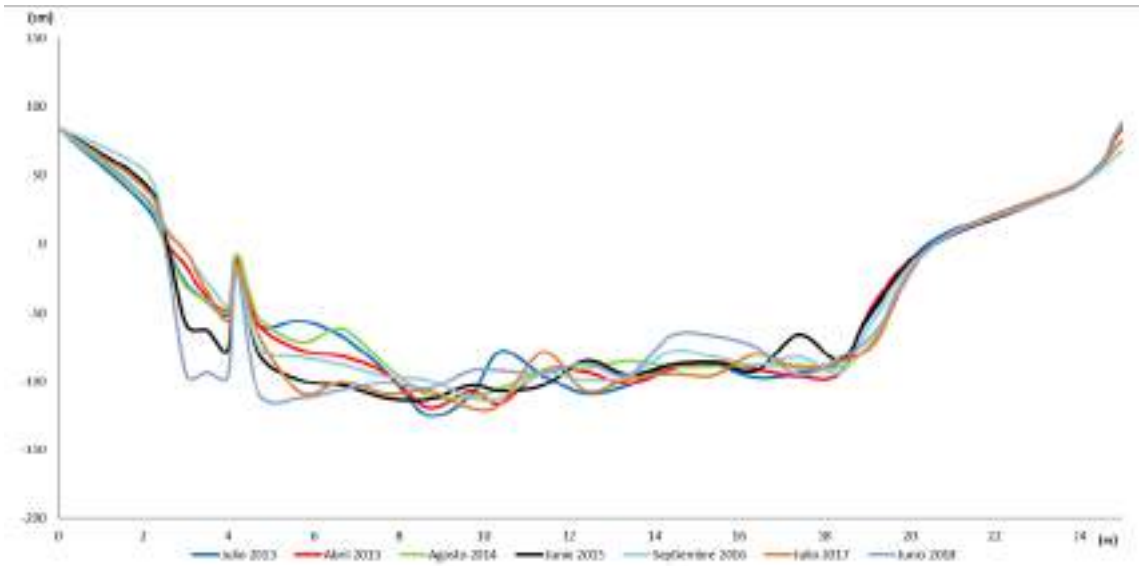


Figura 1.6. Sección transversal IN 01 en las mediciones de julio 2013, abril y agosto 2014, junio 2015, septiembre de 2016, julio de 2017 y junio de 2018.

Esta dinámica se confirma con la última medición, de junio de 2018, el perfil se mantiene con pocos cambios, como es lógico teniendo en cuenta la distancia que hay respecto a la presa y al antiguo vaso de la misma, siendo sus cambios locales efectos de esos eventos de crecida que, a lo largo del estudio, se han ido produciendo. Todo lo más se observan algunas variaciones centimétricas puntuales, pero las diferentes mediciones constatan una nula influencia de las diferentes fases de derribo en esta zona.

Figura 1.7. Sección transversal 1 en la medición de agosto 2013 (arriba izq.), abril 2014 (arriba centro) junio 2014 (arriba dcha.), septiembre 2016 (abajo izq.), julio 2017 (abajo centro) y junio 2018 (abajo dcha.).

1.3.2. Sección transversal IN 02

La sección transversal IN 02 se ubica unos 50 metros aguas abajo de la IN 01, a la entrada del primer meandro o curvatura del cauce dentro de la zona de estudio, hacia la izquierda. Este perfil muestra una morfología diferente al anterior con una amplia barra sedimentaria en la margen izquierda quedando la zona más profunda, por donde discurren los caudales en aguas bajas, en la zona derecha del canal. La transición entre la barra, sin cubrir por al agua en el momento de la realización de los perfiles, y la zona más profunda, es muy progresiva sin descensos bruscos.

Ambas márgenes cierran de forma rápida con pendientes laderas en las que el sustrato más rocoso deja sitio para algunos pies de árboles de porte importante, aspecto común a la mayoría de los perfiles.

Figura 1.8. Ubicación de la sección transversal IN 02.

El trazado del río en esta zona, entrando en la primera curva de la zona de estudio, conlleva una cierta concentración del flujo principal en la margen derecha, parte exterior de la curva, que es la más profunda. En el momento de las mediciones, con caudales bajos que facilitan la entrada en el cauce, el efecto erosivo era mínimo, pero en momentos de crecida, teniendo en cuenta que el río llega a esta curva tras una zona de unos cientos de metros básicamente rectilíneos, sí que se pueden activar procesos erosivos más destacables, aunque la composición rocosa de la ladera no hace indicar que estos procesos pueden conllevar cambios significativos en periodos de tiempo cortos.

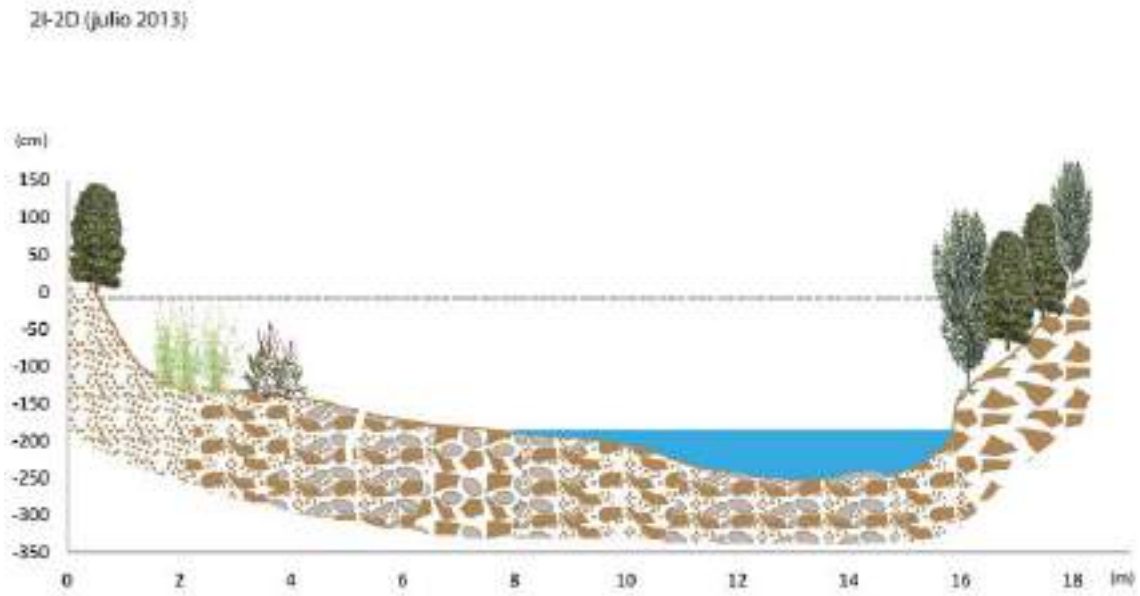


Figura 1.9. Sección transversal IN 02.

No se aprecian cambios notables entre las medidas realizadas en las diferentes campañas de campo. El sustrato, aspecto bastante común en los perfiles no influidos por el efecto de represa del azud, es bastante grueso con dominio de las granulometrías de tipo bloque y canto. Ni las diferentes fases de derribo de la presa de Inturia ni los eventos de crecida que han ocurrido desde el inicio del trabajo han generado cambios significativos en este perfil.

El paso del tiempo desde el derribo total de la presa tampoco está introduciendo cambios en esta zona que se encuentran, aún, muy alejada del antiguo vaso de la presa. La campaña de junio de 2018 continúa refrendando los resultados de las anteriores, sin cambios en la morfología general del perfil y sólo con algunos cambios muy puntuales achacables a la propia dinámica del río.

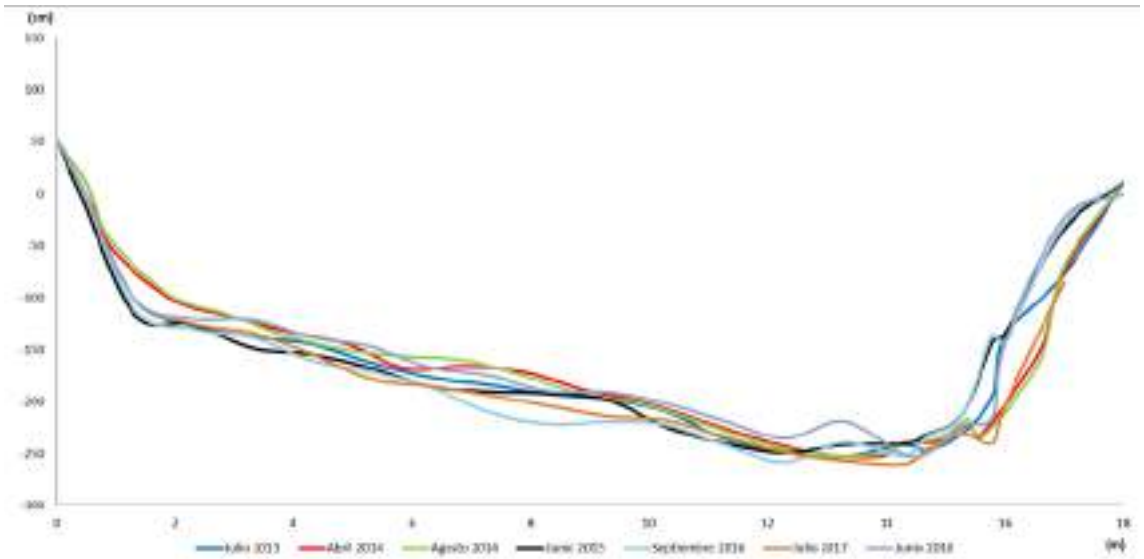


Figura 1.10. Sección transversal IN 02 en las mediciones de julio 2013, abril y agosto 2014, junio 2015, septiembre de 2016, julio de 2017 y junio de 2018.

Figura 1.11. Sección transversal IN 02 en la medición de agosto 2013 (arriba izq.), abril 2014 (arriba dcha.), agosto 2014 (centro izq.), junio 2015 (centro dcha.), septiembre 2016 (abajo izq.), julio 2017 (abajo centro.) y junio 2018 (abajo dcha.).

1.3.3. Sección transversal IN 03

La sección transversal IN 03 se localiza unos 60 metros aguas abajo de la IN 02, tal y como se puede ver en la imagen siguiente. Se ubica unos 1.980 m aguas arriba de la cerrada del azud.

Figura 1. 12. Ubicación de la sección transversal IN 03.

Esta sección transversal se encuentra unos metros aguas abajo de la salida de la primera de las curvas de la zona de estudio un marcado giro hacia la izquierda de más de 90º, dando paso a un sector, hasta la sección IN 04, de algo menos de 200 m prácticamente rectilíneos.

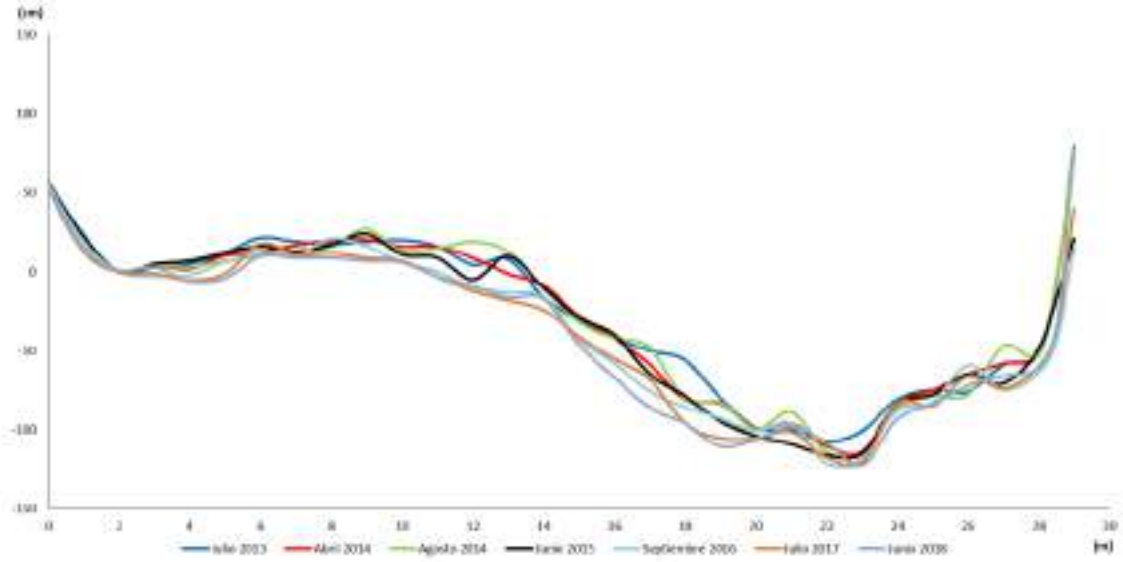


Figura 1.13. Sección transversal IN 03 en las mediciones de julio 2013, abril y agosto 2014, junio, septiembre de 2016, julio de 2017 y junio de 2018.

La morfología del cauce se ensancha, dejando en su mitad izquierda una amplia barra elevada mientras que el cauce menor se desplaza hacia la margen derecha, tal y como sucedía con la zona más profunda de la curva precedente. Sobre la barra aparecen escasas herbáceas y algunos árboles, siendo el sustrato aluvial rocoso, con bloques, el que domina. La zona

cubierta por el agua presenta granulometrías variadas combinando en los mismos puntos presencia de arenas, cantos y bloques de mayor tamaño (más de 20 cm).

El cierre del cauce, incluyendo en este tanto la zona del canal como la barra que sólo se cubre en momentos de crecida, es muy brusco en la margen derecha, dejando a paso a una empinada ladera, siendo algo más progresivo en la margen izquierda. Ambas laderas presentan árboles de importante porte.

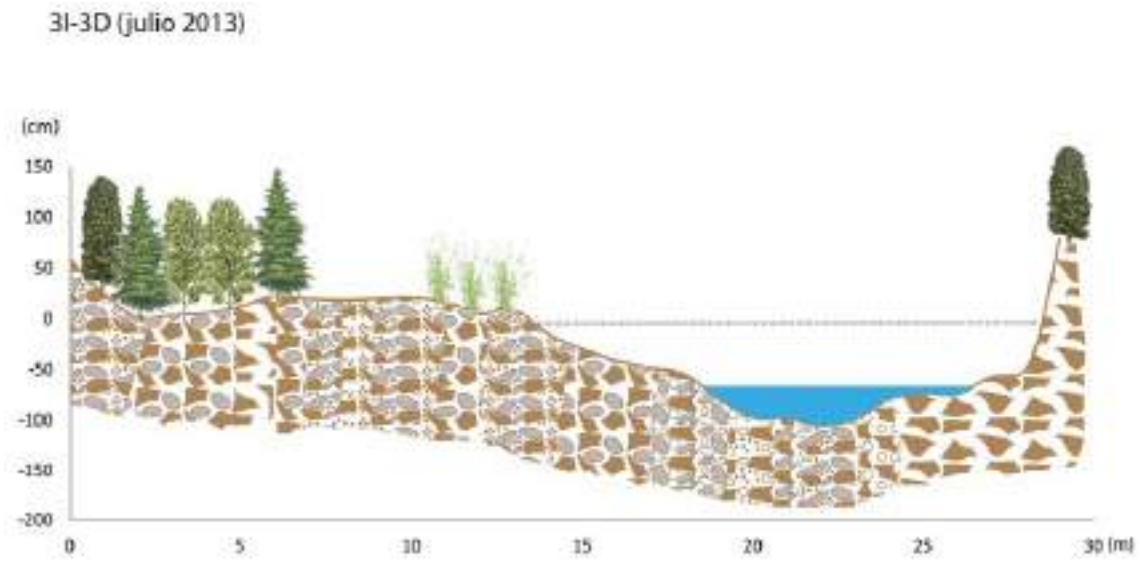


Figura 1.14. Sección transversal IN 03.

Figura 1.15. Sección transversal IN 03 en la medición de agosto 2013 (izq.), abril 2014 (centro arriba), agosto 2014 (centro abajo) y junio 2015 (dcha.).

Al igual que en perfiles superiores, no se aprecian cambios en las medidas realizadas antes y después de cada una de las demoliciones parciales de la presa, ni tampoco pasadas ya varias campañas de campo tras el final de la actuación. Sigue habiendo puntuales y pequeñas diferencias asociadas a pequeños movimientos de bloques en el lecho del río. Continúan sin

generarse cambios que puedan asociarse al derribo de la presa, siendo el comportamiento estable del perfil, como sucede en los dos anteriores que se ubican aguas arriba, la nota dominante. Quizás, analizando la tendencia de las últimas campañas de campo, se puede apreciar una cierta ampliación del cauce menor hacia la margen izquierda, haciendo más brusco el contacto entre la zona ocupada por aguas bajas y la barra aflorada de la mitad izquierda.

Figura 1.16. Sección transversal 3 en la medición de septiembre 2016 (izq.), julio 2017 (centro) y junio 2018 (dcha.).

1.3.4. Sección transversal IN 04

La sección transversal IN 04 dista 110 m de la sección IN 03. Se encuentra a la entrada de una amplia curva que acaba generando un cambio total en la dirección del río Leitzaran. El tramo rectilíneo que une la sección IN 03 y la IN 04 discurre en dirección NW-SE, mientras que, a la salida de la curva citada, hacia la derecha, el río discurre en sentido SE-NW. Esta curva alberga en su trazado dos nuevos perfiles, IN 05 e IN 06, quedando a su salida el perfil IN 07, que da paso a una zona de mayor longitud más rectilínea, con algo más de 500 m.

Figura 1.17. Ubicación de la sección transversal IN 04.

Este perfil replica, en cierto modo, los patrones del IN 03, con una zona de materiales aluviales que en la mitad izquierda del cauce mayor se encuentra elevada respecto a la zona más pegada a la ladera derecha, por donde discurren los caudales en momentos de aguas bajas. Destaca, a la vista del perfil, la pequeña llanura de la margen derecha entre el cauce de aguas bajas y la ladera propiamente dicha, si bien se trata de un rellano de apenas 3 metros de anchura. Más amplia es la zona llana de la margen izquierda tras un pequeño talud más acusado que marca un segundo cauce *bankfull*. Esta llanura superior supera los 6 metros de anchura antes de dejar paso a la ladera izquierda mucho más empinada, como es el caso de la de la margen derecha.

En general todo el recorrido del perfil donde dominan los materiales de tipo aluvial, presenta granulometrías de tipo canto y bloque, aspecto bastante generalizado en todos los perfiles realizados excepto los que se ven más claramente influidos por el efecto de represa del azud, siendo raros los pequeños bancos sedimentarios de arenas incluso granulometrías superiores como las gravas.

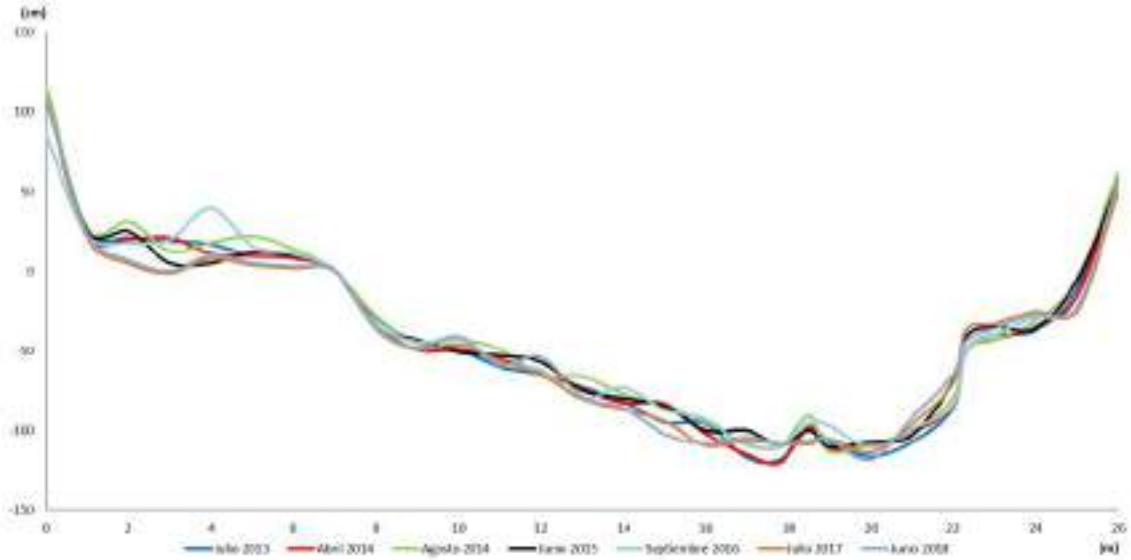


Figura 1.18. Sección transversal IN 04 en las mediciones de julio 2013, abril y agosto 201, junio 2015, septiembre de 2016, julio de 2017 y junio de 2018.

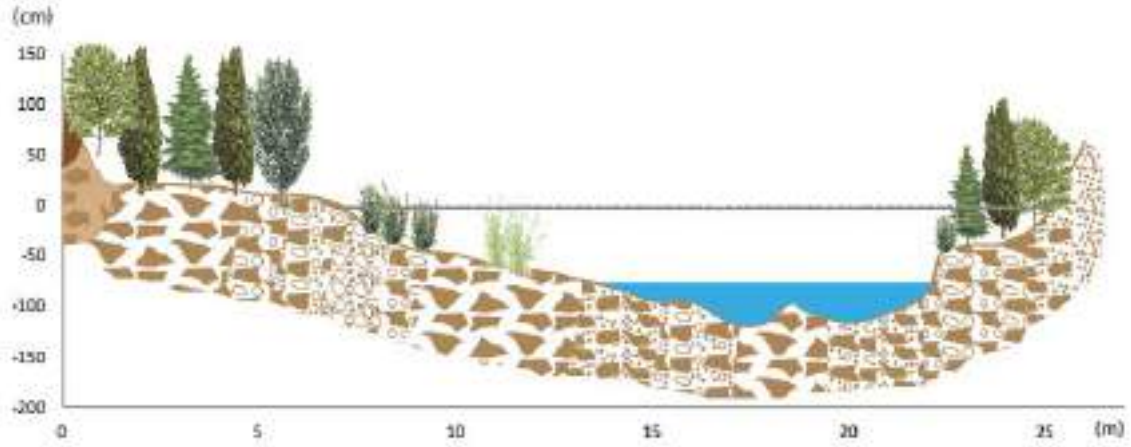


Figura 1.19. Sección transversal IN 04.

No se aprecian cambios significativos en el perfil transversal al realizar la comparativa entre las mediciones pre y post derribo parcial del azud, ni en las sucesivas campañas de campo posteriores a la finalización del derribo. La estabilidad es la nota dominante en el perfil y ni siquiera los eventos de aguas altas ocurridos durante el desarrollo del trabajo han supuesto modificaciones sensibles en la morfología transversal del cauce. Los cambios observados, siempre puntuales y de poca importancia, se deben a pequeñas movilizaciones de bloques o a la propia metodología de toma de medidas, dinámica que se corrobora, una vez más, en la campaña realizada en junio de 2018.

Figura 1.20. Sección transversal IN 04 en la medición de agosto 2013 (arriba izq.), abril 2014 (arriba centro.), agosto 2014 (arriba dcha.), junio 2015 (abajo izquierda), septiembre 2016 (abajo centro) y julio 2017 (abajo dcha.).

Figura 1. 21. Sección transversal IN 04 en la medición de junio 2018.

1.3.5. Sección transversal IN 05

La sección transversal IN 05 se ubica 80 m de la sección IN 04 y a unos 1.790 m de la cerrada de la presa de Inturia. Es la primera de las dos secciones que se encuentran dentro de la curva que se inicia aguas bajo de la sección número IN 04. El río continúa, como en toda la zona de estudio, discurriendo por un valle encajado en "V", con laderas cubiertas por bosques densos de caducifolias.

Figura 1.22. Ubicación de la sección transversal IN 05.

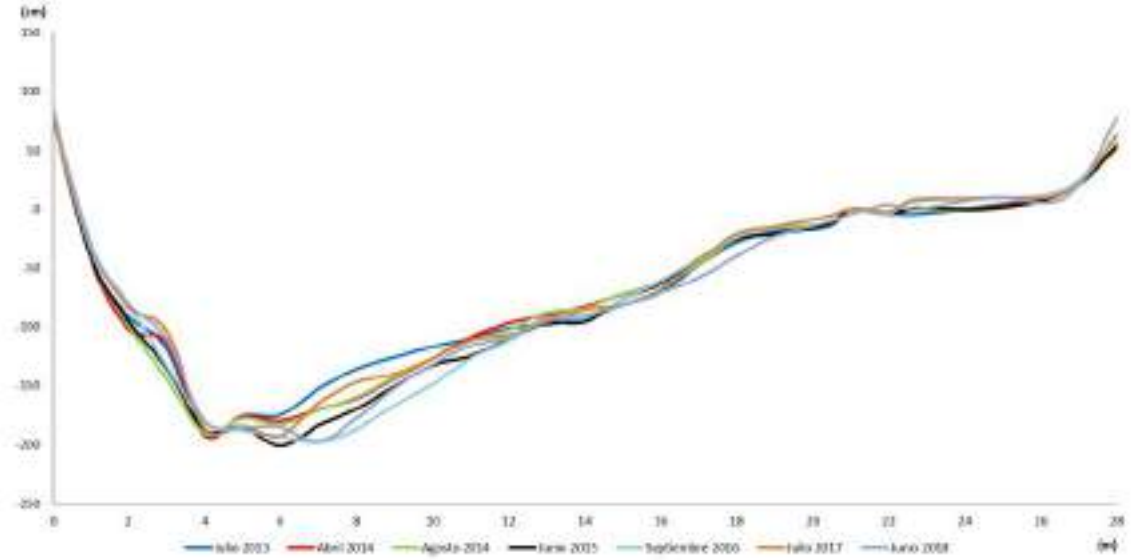


Figura 1.23. Sección transversal IN 05 en las mediciones de julio 2013, abril y agosto 2014, junio 2015, septiembre de 2016, julio de 2017 y junio de 2018.

Al contrario que sucedía con el perfil IN 02, ubicado en un meandro hacia la izquierda, en esta ocasión el sentido contrario de la curva propicia una clara incisión sobre la margen izquierda del cauce, generando un cauce con una barra más o menos amplia en la zona derecha del perfil que va descendiendo de cota de forma progresiva hacia la zona erosiva, ubicada al pie de la orilla izquierda. El contacto de esta zona más profunda con la ladera es directo y con elevada pendiente, aflorando materiales rocosos. Por el contrario, el contacto con la ladera de la margen derecha es mucho más progresivo, con una menor pendiente fruto de su carácter sedimentario, y con un claro decrecimiento en el tamaño de los materiales que componen la barra sedimentaria, pasando del dominio de granulometrías de tamaño de bloque en las zonas más cercanas al agua, al dominio de las arenas conforme nos alejamos del cauce menor funcional.

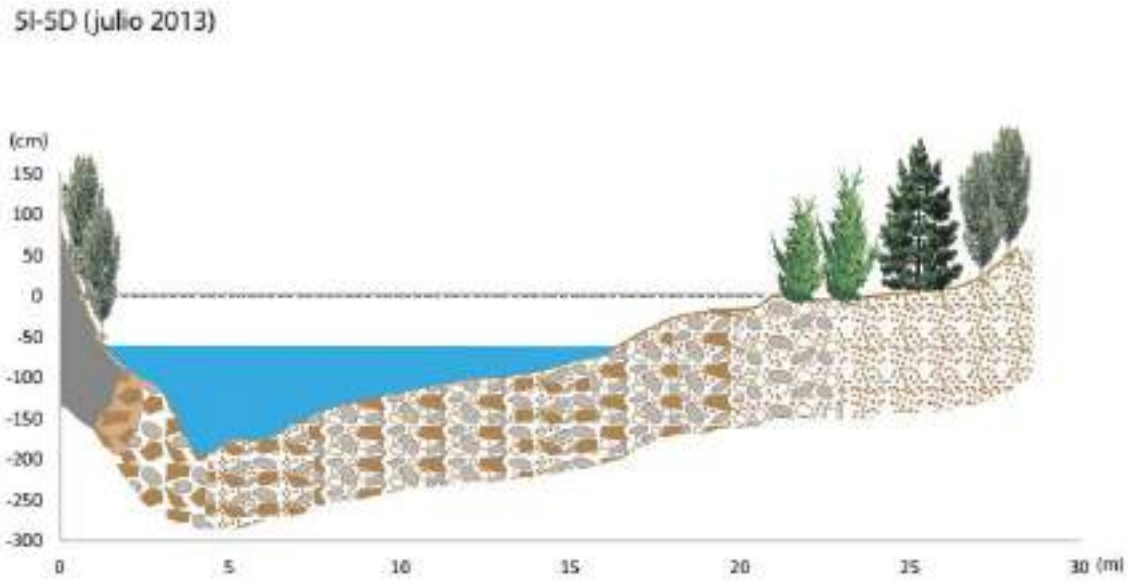


Figura 1.24. Sección transversal IN 05.

Las granulometrías del lecho, tanto cubierto por el agua como en la zona de barra, tienden hacia tamaños grandes (bloques y cantos) siendo muy raras las presencias de finos y arenas, aunque estas sí que aparecen a los pies de la ladera derecha y conforme esta zona se aleja del cauce menor.

Siguen sin apreciarse cambios destacables en la comparación entre la sección transversal realizada antes de las demoliciones del azud y la realizada en fechas posteriores a las mismas, así como en campañas ya posteriores a la finalización de las labores de derribo. Entre 2015 y 2016 parecía haber una cierta tendencia a que la erosión de la zona más profunda pudiese ir migrando hacia la margen derecha, las mediciones de 2017 frenaban este proceso que, en 2018, vuelve a apreciarse, de forma que se da un muy ligero ensanchamiento del cauce menor hacia la margen derecha, haciendo que la zona de mayor profundidad del cauce sea también un poco más amplia.

Figura 1. 25. Sección transversal 5 en la medición de agosto 2013 (arriba izq.), abril 2014 (arriba centro), junio 2015 (arriba dcha.), septiembre 2016 (abajo izq.), julio 2017 (abajo centro.) y junio 2018 (abajo dcha.).

1.3.6. Sección transversal IN 06

La sección transversal IN 06 es la segunda que se encuadra dentro de una pronunciada y amplia curva hacia la derecha que describe el río Leitzaran en la zona alta del tramo de estudio. Esta curva termina por cambiar totalmente la dirección del río, pasando de ser NW-SE a desembocar en una zona recta de dirección SE-NW. La sección IN 06 dista unos 95 m de la IN 05 (en el sentido de la corriente) y se encuentra a unos 1.700 m de la cerrada del azud de Inturia.

Figura 1.26. Ubicación de la sección transversal IN 06.

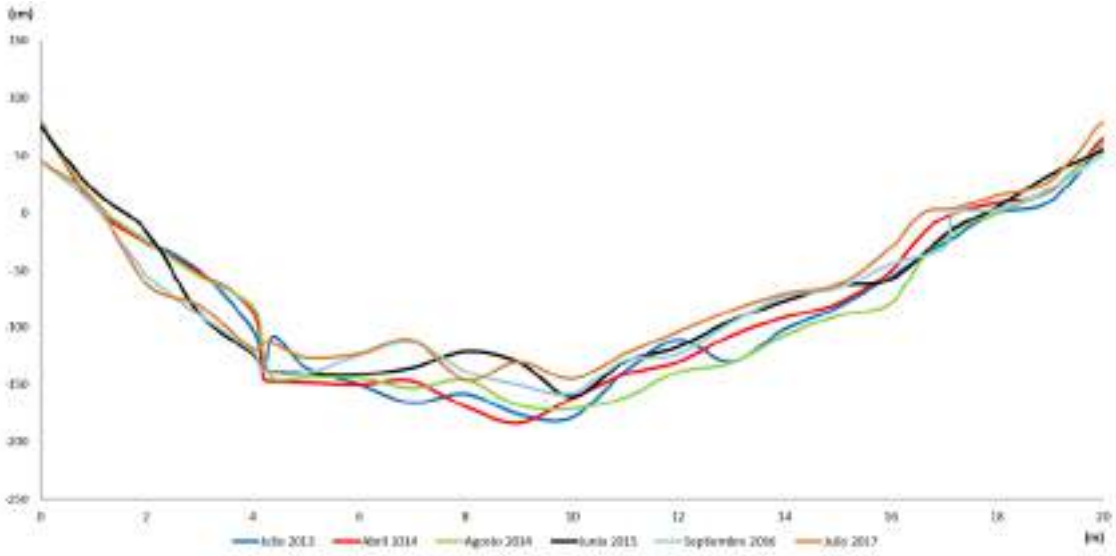


Figura 1.27. Sección transversal IN 06 en las mediciones de julio 2013, abril y agosto 2014, junio 2015, septiembre 2016 y julio 2017.

Al igual que en el caso anterior la corriente y la zona más profunda tiende a adosarse a la margen izquierda fruto de la curvatura del cauce hacia la derecha, generándose una amplia barra de materiales aluviales sedimentados en la zona derecha, en la que arraigan algunos árboles. Es en esta zona de barra donde aparecen materiales de menor calibre con presencia

de arena que se entremezcla con los bloques que, por lo general, dominan en el resto de la sección.

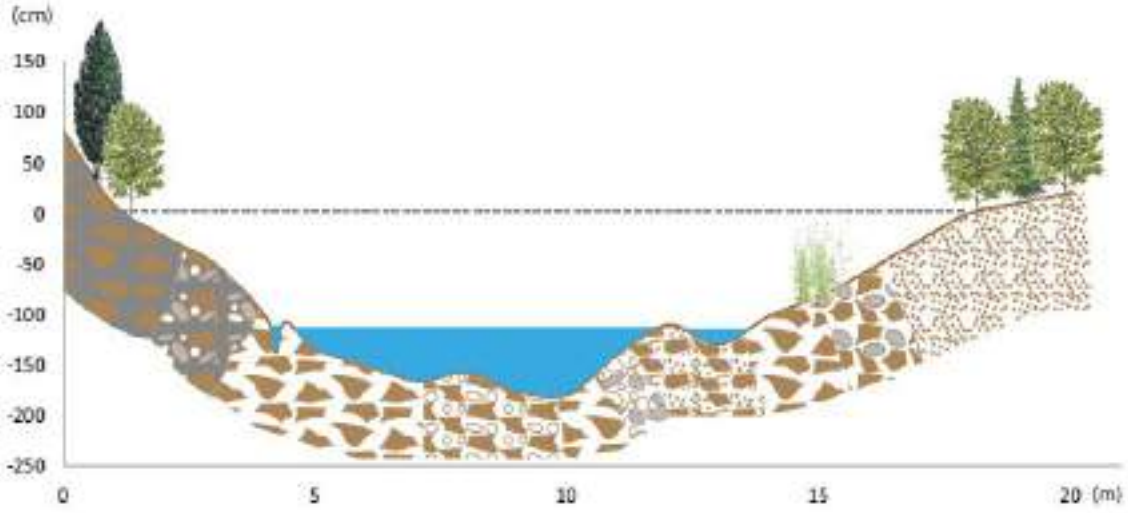


Figura 1.28. Sección transversal IN 06.

La margen izquierda cierra el perfil sobre sustrato rocoso mientras que la derecha posee materiales sensiblemente más finos como corresponde a una margen sedimentaria. En las primeras mediciones, apenas existen cambios significativos en los perfiles. Sin embargo, en la medición de junio de 2015 se pueden ver dos cambios algo más significativos. Por un lado, en la margen izquierda, en la zona de máxima velocidad y con el flujo de agua más importante, existe una erosión en la orilla que puede deberse a un pequeño deslizamiento en esa ladera. Por otro lado, en la margen derecha, se observa una acreción, un aumento del material debido a la acumulación de sedimentos. Esta acumulación es habitual en barras de ese estilo (*point bar*) conforme la barra crece hacia aguas abajo. La acumulación/movilización de estos sedimentos puede deberse a los eventos de crecida del invierno y primavera de 2015 que, del mismo modo, han movilizado material en la zona central del cauce produciendo esa elevación puntual que se aprecia en el último perfil.

La campaña de campo de septiembre de 2016 no introduce novedades en cuanto a la acreción de la barra de la margen derecha, viéndose un ligero desplazamiento de la zona dinámica de la margen izquierda.

En la campaña de 2017 parece mantenerse esa ligera tendencia a la acreción de la barra de la margen derecha, habiendo una decena de cm de diferencia entre la mayor parte de estas zonas respecto a las mediciones anteriores. De este modo, la barra ha ido acumulando materiales, habiendo ya diferencias de 30/40cm respecto al punto inicial de julio de 2013.

En 2018 se perdió el árbol, y las marcas de ambas márgenes, con lo que la realización del perfil no fue posible.

Figura 1.29. Sección transversal IN 06 en la medición de agosto 2013 (arriba izq.), abril 2014 (arriba centro), junio 2015 (arriba dcha.), septiembre 2016 (abajo izq.) y julio 2017 (abajo dcha.).

1.3.7. Sección transversal IN 07

La sección transversal IN 07 se ubica a la salida del meandro que engloba los perfiles IN 05 y IN 06, dando paso a una zona rectilínea de unos 500 metros que finaliza aguas abajo del perfil IN 13, último de la primera campaña de trabajo de campo en la zona ubicada aguas arriba del vaso del azud. La sección dista unos 100 metros de la IN 06, que queda aguas arriba de la misma.

Figura 1.30. Ubicación de la sección transversal IN 07.

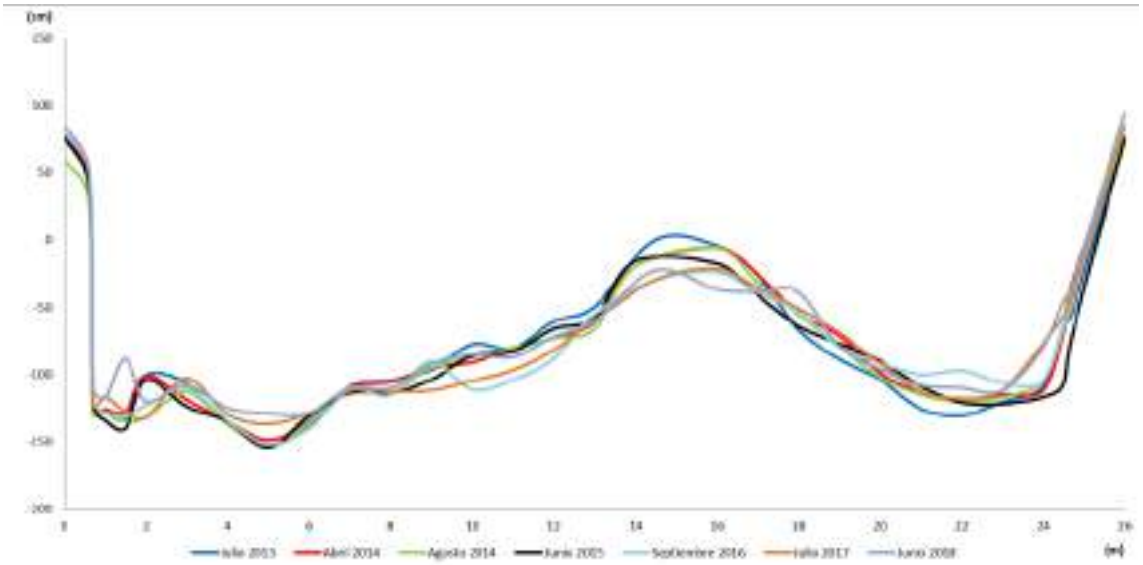


Figura 1.31. Sección transversal IN 07 en las mediciones de julio 2013, abril y agosto 2014, junio 2015, septiembre de 2016, julio de 2017 y junio de 2018.

La sección presenta una barra central elevada en la que aparecen individuos de vegetación arbustiva y algún árbol de mayor porte. Buena parte del canal de la margen izquierda, el que conduce la mayor corriente, ya que la parte derecha en aguas bajas tan sólo muestra algunas acumulaciones de agua remansada, deja al descubierto sustrato rocoso. El resto del canal izquierdo y la barra central tienen dominio de granulometrías gruesas, con bloques y cantos

junto con gravas. El canal derecho, sólo funcional con aguas altas, muestra una apreciable presencia de arenas.

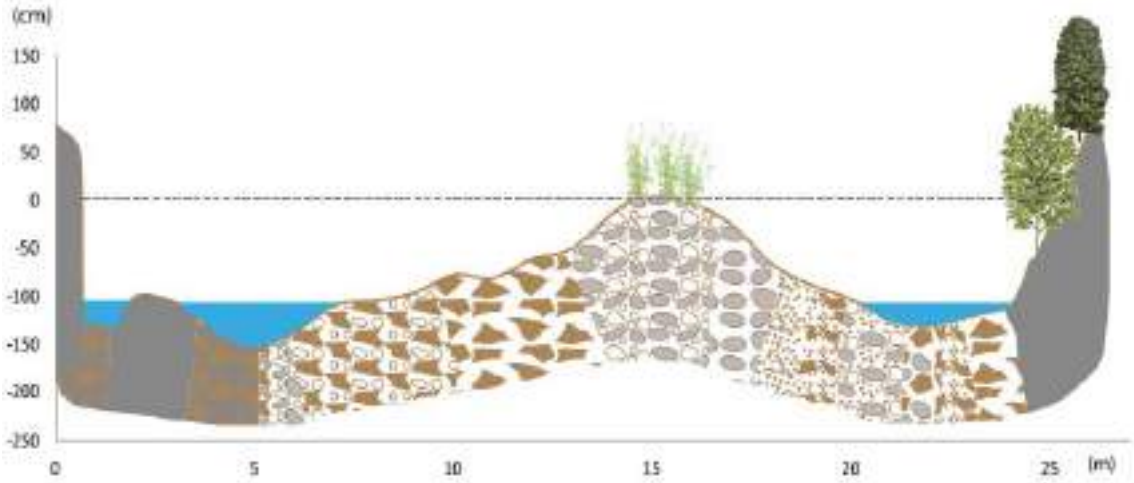


Figura 1.32. Sección transversal IN 07.

Continúa sin ser visible ningún tipo de influencia derivada se los sucesivos derribos realizados en la presa. Las secciones realizadas en fechas posteriores a dichos derribos, y en campañas realizadas una vez finalizado el proceso de derribo de la presa, no muestran cambios significativos respecto a las realizadas anteriormente a cada una de las actuaciones, manteniéndose la morfología del cauce y su sección transversal prácticamente inalterada. Los pocos cambios visibles entre campañas se pueden asociar a los cambios en la pendiente en la zona inmediatamente aguas abajo, originando una mayor incisión, aunque todavía no muy marcada. Tampoco en la campaña de 2018 parecen encontrarse cambios significativos que puedan indicar una tendencia erosiva consolidada en esa zona.

Figura 1.33. Sección transversal IN 07 en la medición de agosto 2013 (arriba izq.), abril 2014 (centro), agosto 2014 (abajo izq.) y junio 2015 (dcha.).

Figura 1. 34. Sección transversal 7 en la medición de septiembre 2016 (izquierda), julio 2017 (centro) y junio 2018 (derecha).

1.3.8. Sección transversal IN 08

La sección transversal IN 08 no ha podido tener un análisis comparativo entre la primera medición de julio de 2013 y la de abril de 2014 ya que algún evento de crecida supuso la pérdida de las marcas que permitían el trazado de los perfiles.

Figura 1.35. Ubicación de la sección transversal nº 8.

En la campaña de campo de abril de 2014 se reubicaron las marcas con clavos en suelo y árboles con el fin de poder monitorizar los cambios posteriores y poder obtener conclusiones más detalladas.

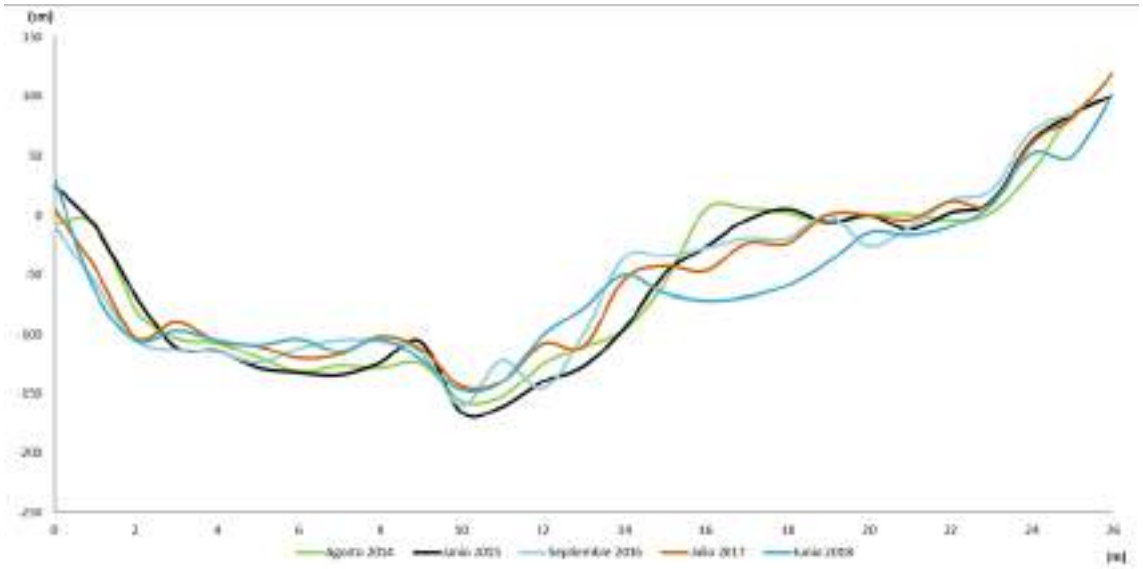


Figura 1.36. Sección transversal IN 08 en las mediciones de agosto 2014, junio 2015, septiembre de 2016, julio de 2017 y junio de 2018

Analizando los perfiles se puede observar que la morfología del cauce es básicamente estable, y no se aprecian cambios significativos en la sección transversal más allá de puntuales movimientos de material en el lecho fruto de alguno de los eventos de aguas altas que se han sucedido entre agosto de 2014 y junio de 2018. La última campaña de campo incide en este diagnóstico si bien aparece una clara pérdida de material en la zona elevada de la margen derecha, así como son visibles pérdidas de árboles.

Figura 1.37. Sección transversal IN 08 en la medición de agosto 2013 (izq.), abril 2014 (centro arriba), agosto 2014 (centro abajo.) y junio 2015 (dcha.).

Sin embargo, los datos referentes a las granulometrías del lecho del cauce sí que permiten atisbar ciertos cambios en la composición del mismo, apareciendo más materiales de tipo arenoso y siendo apreciable en campo cierta movilidad de sedimentos en la barra central que componen el cauce y que deja, en la margen derecha, un pequeño cauce secundario no funcional en el momento de las mediciones. Pese a ello el sustrato dominante, como sucede en perfiles superiores, sigue siendo el de calibre de bloques y cantos, dando lugar a algunos cambios puntuales, ligados al aumento de la pendiente en los tramos superior e inferior. En las últimas campañas de campo, parece ser que los efectos del derribo de la presa y la erosión remontante llega a estas secciones. En cualquier caso, estos efectos del derribo están muy mitigados por la distancia y por la falta de energía para movilizar materiales.

La corriente circula adosada a la margen izquierda del río.

Figura 1.38. Sección transversal 8 en la medición de septiembre 2016 (arriba izquierda), julio 2017 (arriba derecha) y junio 2018 (abajo).

1.3.9. Sección transversal IN 09

La sección transversal IN 09 es la primera que presenta efectos derivados del derribo del azud de Inturia, pese a que en la primera campaña de campo no se encontraba con aguas totalmente remansadas por el vaso del mismo. Se ubica unos 60 metros aguas abajo de la sección IN 08, en la zona central del tramo rectilíneo principal de este tramo alto de la zona de estudio. La distancia hasta la cerrada de la presa de Inturia es de unos 1.450 m.

Figura 1.39. Ubicación de la sección transversal IN 09.

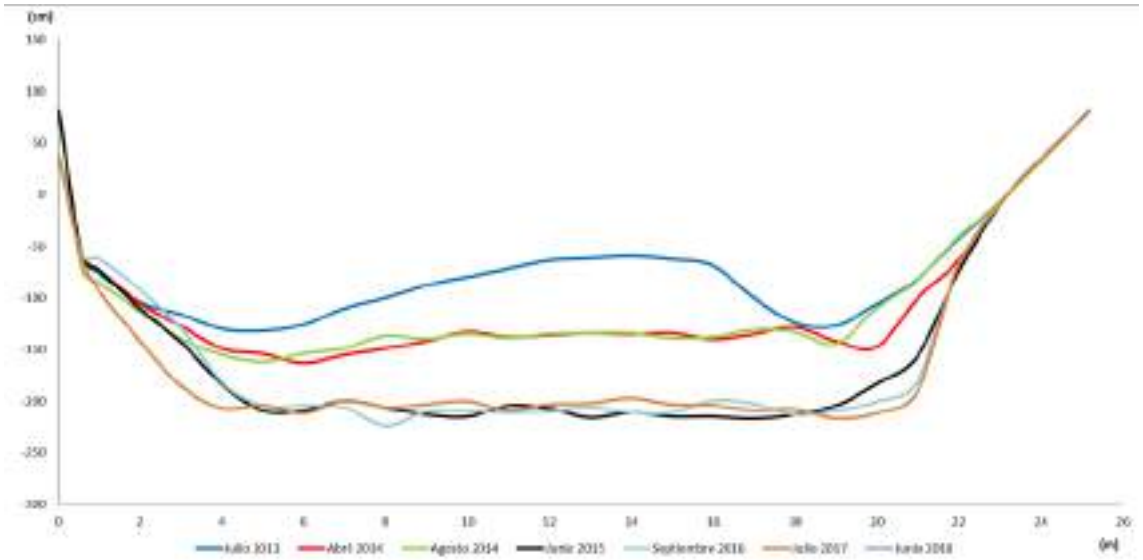


Figura 1.40. Sección transversal IN 09 en las mediciones de julio 2013, abril y agosto 2014, junio 2015, septiembre de 2016, julio de 2017 y junio de 2018.

De nuevo, como sucedía con la sección IN 07, este perfil presentaba en la primera campaña de campo una barra central que dividía el cauce mojado en dos canales, siendo el que discurre pegado a la margen izquierda el que, en aguas bajas, recogía mayores caudales. También se podían ver granulometrías más gruesas en el cauce izquierdo y en la barra central, con dominio

de bloques y cantos que dejaban paso a los cantos y gravas en la zona alta de la barra, quedando el cauce secundario que discurre más a la derecha con materiales más finos, abundando las arenas y gravas, incluso apareciendo zonas con materiales finos.

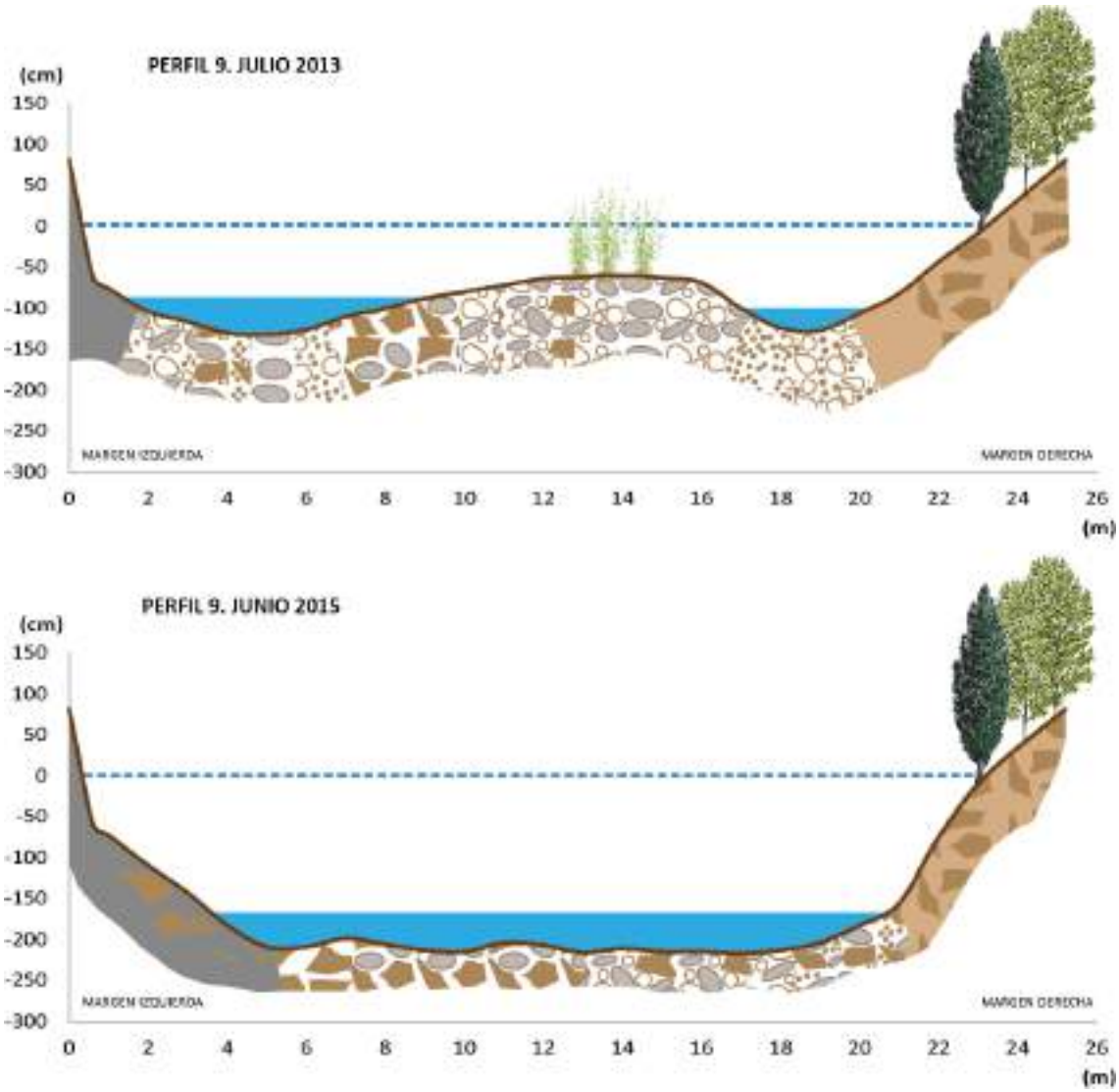


Figura 1.41. Comparación de la sección transversal IN 09 entre julio de 2013 y junio de 2015.

A la vista de los perfiles comparativos entre las tres primeras campañas de campo, y que dejan entre cada una de ellas un derribo parcial de la presa, se aprecia una clara tendencia a la incisión del lecho fluvial que llega a alcanzar hasta los 80 cm en la zona más acusada. Esta incisión superaba, en buena parte de la sección transversal, el medio metro de profundidad. Estos procesos han conllevado una cierta simplificación del perfil, con una menor relevancia de la barra elevada central que pasaba de sobresalir más de 70cm respecto al punto de mayor profundidad antes del derribo del azud, a suponer solo 30cm en el caso del perfil posterior. Pese a la rápida respuesta del cauce al primero de los derribos, en la siguiente campaña de campo, tras al segundo de ellos, no se apreciaron cambios significativos, si bien el tiempo transcurrido, y las variaciones de caudales, fueron mínimas, lo que aconsejaba una siguiente campaña de campo tras el periodo de agua altas.

Sobre una superficie *bankfull* original, en la primera medición, de unos 7,56 m^2, se produjo una incisión que afectó a unos 8,3 m^2, es decir, la superficie erosionada fue superior a la propia sección *bankfull* original.

Figura 1.42. Sección transversal IN 09 en la medición de agosto 2013 (arriba izq.), abril 2014 (arriba dcha.) y agosto 2014 (abajo).

Estamos, pues, ante la primera sección con una clara influencia y consecuencias del derribo de los 3 m de la presa de Inturia. A falta de posibles procesos de erosión remontante que influyesen en secciones superiores, se puede fijar la zona de influencia clara de este derribo a una distancia de unos 1450 m respecto de la cerrada de la presa.

Con el análisis de la campaña de campo junio de 2015 se pudo observar que el fenómeno de erosión, que ya se constató en las campañas anteriores, se incrementó de forma notable. El perfil pasó de tener un aspecto convexo a ser opuesto, con una marcada concavidad. En términos absolutos, se puede ver que la erosión llegó a ser de unos 150 cm en la zona de la barra central que se midió en la primera campaña.

La superficie erosionada entre la penúltima y la última campaña de campo ronda los 11 m^2, lo cual supone una mayor superficie que la que se había erosionado hasta entonces.

La estabilidad de perfiles entre abril y agosto de 2014 nos hace ver que, al menos en esta zona del río –y como veremos también en el resto-, los procesos erosivos están muy ligados a periodos de aguas altas, mientras que en periodos de estiaje o con caudales más bajos, no hay una capacidad erosiva y de movilización de materiales tan clara.

La campaña llevada a cabo en septiembre de 2016 muestra una estabilización muy sensible en el cauce, prácticamente sin cambios. Esta tendencia se consolida en la campaña de julio de 2017, que con pequeños cambios puntuales introduce cambios apreciables sobre el perfil que, parece, en proceso de estabilización.

Las mediciones de la campaña de 2018 tampoco muestran cambios sustanciales, siendo la estabilidad en el perfil la nota dominante.

Figura 1.43. Sección transversal IN 09 en la medición de junio 2015 (arriba izq.), septiembre 2016 (arriba dcha.), julio 2017 (abajo izq.) y junio 2018 (abajo dcha.).

1.3.10. Sección transversal IN 10

La sección transversal IN 10 se localiza unos 90 m aguas abajo de la sección IN 09 y 50 m aguas arriba de la IN 11. Dista un total de unos 1365 metros de la cerrada de la presa de Inturia. Se trata de la primera sección que tenía las aguas remansadas por el efecto de la presa, si bien la presencia de abundantes sedimentos hacía posible la elaboración de perfiles ya que la profundidad era limitada, tal y como sucedía con las sucesivas secciones IN 11, IN 12 y IN 13, todas ellas aún dentro del tramo más rectilíneo que se inició en la sección número 7.

Figura 1.44. Ubicación de la sección transversal IN 10.

El efecto de la presa, manteniendo las aguas remansadas antes del derribo, repercute de forma sensible en la granulometría del lecho que, frente a secciones anteriores en las que los bloques y los cantos eran dominantes, presenta granulometrías más pequeñas en la mayor parte de la sección, con dominio de las arenas, las gravas y algunos cantos. Los bloques quedan relegados a zonas más profundas y con mayor flujo, sobre todo en las márgenes del cauce.

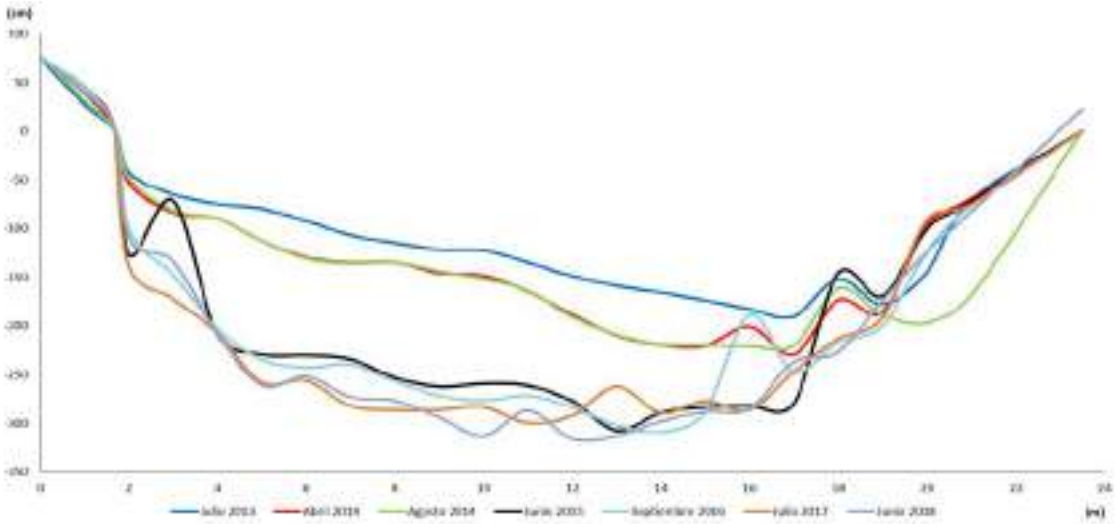


Figura 1.45. Sección transversal IN 10 en las mediciones de julio 2013, abril y agosto 2014, junio 2015, septiembre de 2016, julio de 2017 y junio de 2018.

Al igual que sucedía en la sección anterior la incisión fue muy destacable una vez acometida la primera fase del derribo de la presa de Inturia y mucho menos notable tras la segunda de las actuaciones. Este primer derribo conllevó la incisión en la práctica totalidad de la anchura del cauce en esta sección IN 10. En general la incisión rondó los 20/30cm haciéndose más acusada en la mitad derecha del cauce, donde alcanzó los 50 cm de forma puntual. La presencia de bloques en el pie de ambas márgenes limita la incisión justo a los pies de las laderas, donde abundan los árboles de buen porte. Los cambios entre la segunda y la tercera campaña de trabajo de campo fueron menores, dejando clara la relevancia de las crecidas en la generación de dinámica fluvial. Entre la tercera y cuarta campaña de campo se observa un descenso del perfil, una erosión en prácticamente la totalidad del cauce, especialmente en la margen izquierda, con una tendencia a igualar el nivel del lecho quedando cada vez más cerca de ser horizontal. La erosión ocasionada por los eventos de crecida del invierno y primavera de 2015, el proceso de regularización de la pendiente al nuevo nivel base, unido al material sedimentario de pequeño tamaño, fácilmente transportable, son los que propician estos cambios tan destacados en esta zona, empezando en la sección anterior y continuando de aquí hacia aguas abajo.

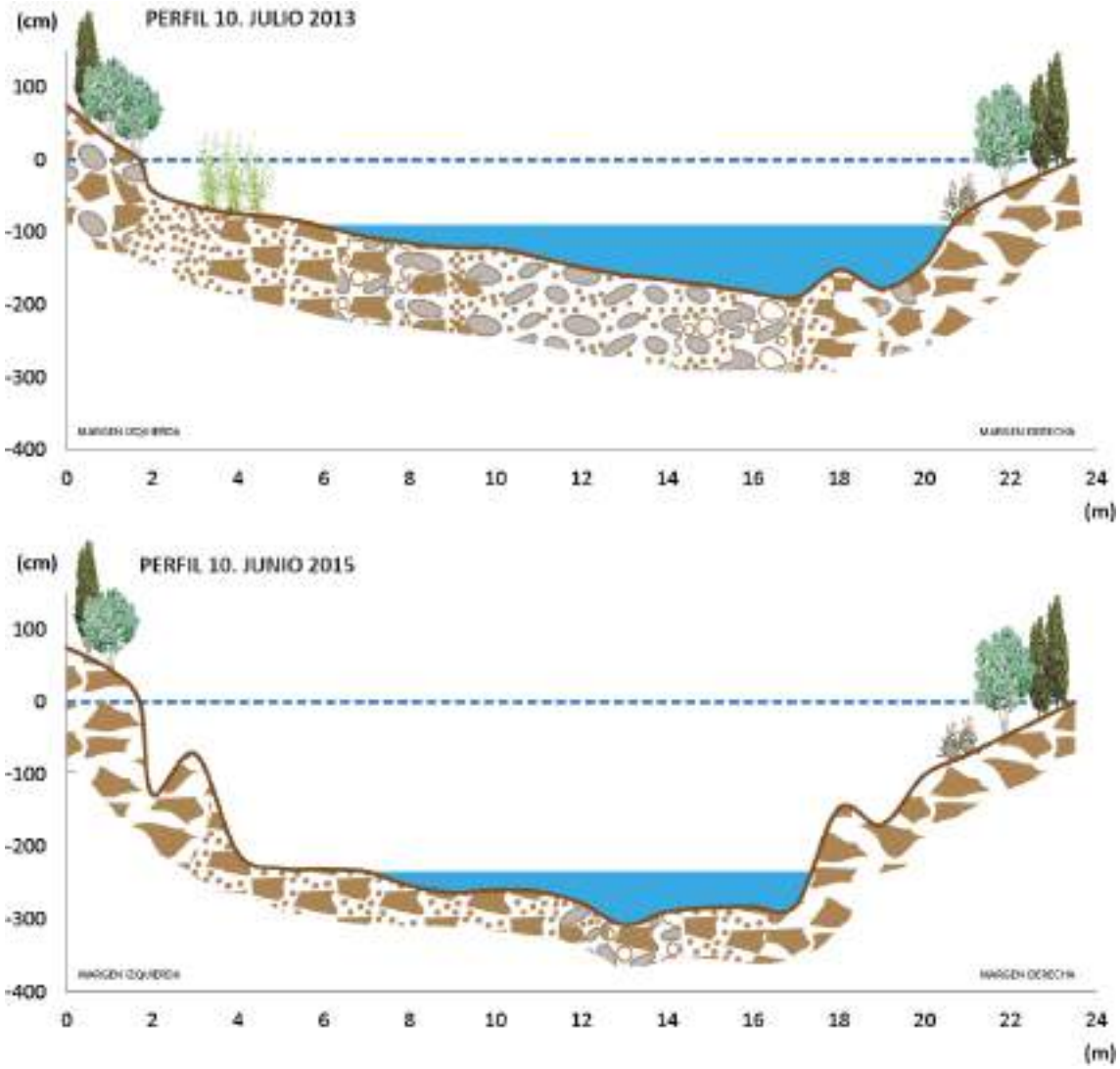


Figura 1.46. Comparación de la sección transversal IN 10 entre julio de 2013 y junio de 2015.

Como sucedía en el perfil anterior, en el lapso de tiempo entre la campaña de junio de 2015 y la llevada a cabo en septiembre de 2016, no se aprecian cambios significativos, siendo el perfil, exceptuando algunos cambios locales ligados a la movilización de bloques, muy similar al que se encontró un año antes. En la última campaña de campo, de 2017, se ha observado un aumento de la incisión en esta sección, y una tendencia a la erosión en la margen izquierda, como se puede ver en la secuencia de fotografías de campo.

La campaña de 2018 no muestra grandes cambios, si bien se aprecian algunos cambios puntuales en la mitad derecha, especialmente cerca de la margen, quizá debido a la caída de árboles.

La sección *bankfull* previa al derribo rondaba los 11,4 m^2, siendo la superficie erosionada tras el derribo de unos 4,9 m^2, lo que supone un 43% de la superficie *bankfull* original. Entre las dos campañas intermedias y la última medición de junio de 2015 se han erosionados otros 13,2 m^2, lo que supone más superficie que en la fase dinámica anterior y evidencia que la capacidad erosiva del río no da síntomas de haberse agotado por el momento.

Figura 1.47. Sección transversal IN 10 en la medición de agosto 2013 (arriba izq.), abril 2014 (arriba dcha.), agosto 2014 (abajo izq.) y junio 2015 (abajo dcha.).

Con las diferentes secciones obtenidas en las campañas de campo, se puede estimar la magnitud de la erosión. En vertical se aprecia que hay zonas en las que se ha excavado el lecho del orden de 100 a 140 cm. La magnitud de los cambios en el último periodo de aguas altas es

superior a la medida en el periodo anterior, por lo que es muy probable que la incisión tenga aún margen de aumento en este sector del cauce.

Figura 1.48. Sección transversal IN 10 en la medición de julio 2017 (derecha) y junio 2018 (derecha).

1.3.11. Sección transversal IN 11

Esta sección IN 11, continuando en la zona remansada por el vaso del azud y dentro del sector rectilíneo que engloba las secciones precedentes, ya presentaba un perfil muy condicionado por la acumulación de sedimentos fruto del efecto de la presa antes de su demolición. La granulometría del lecho también revela la clara influencia del azud ya que la presencia de arenas y gravas es mayoritaria, apareciendo zonas de deposición de materiales más finos. Los bloques quedan relegados al pie de ladera de la margen derecha.

La sección IN 11 se encuentra a unos 1.320 metros aguas arriba de la presa, situándose unos 50 m aguas abajo de la sección IN 10.

Figura 1.49. Ubicación de la sección transversal IN 11.

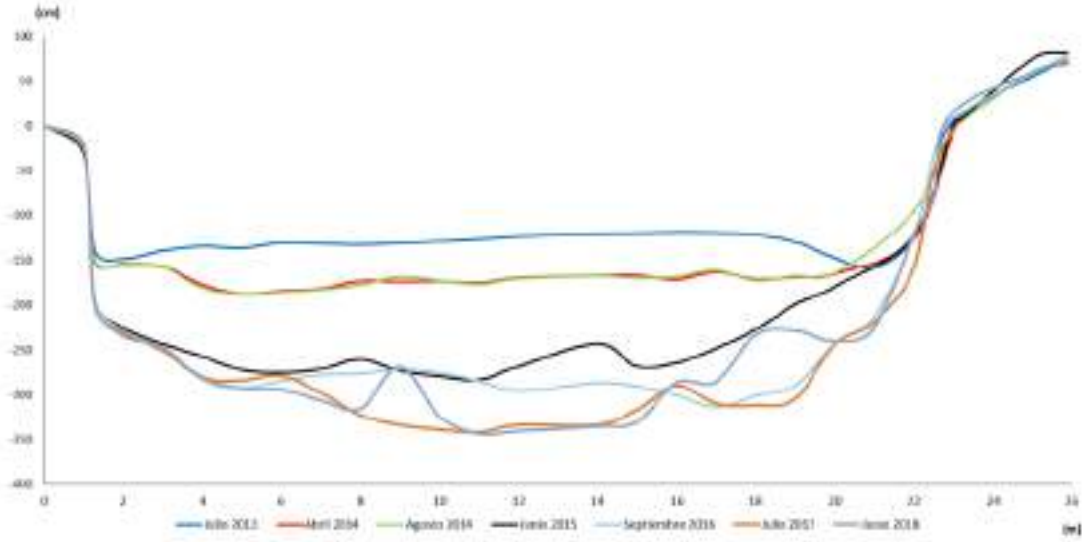
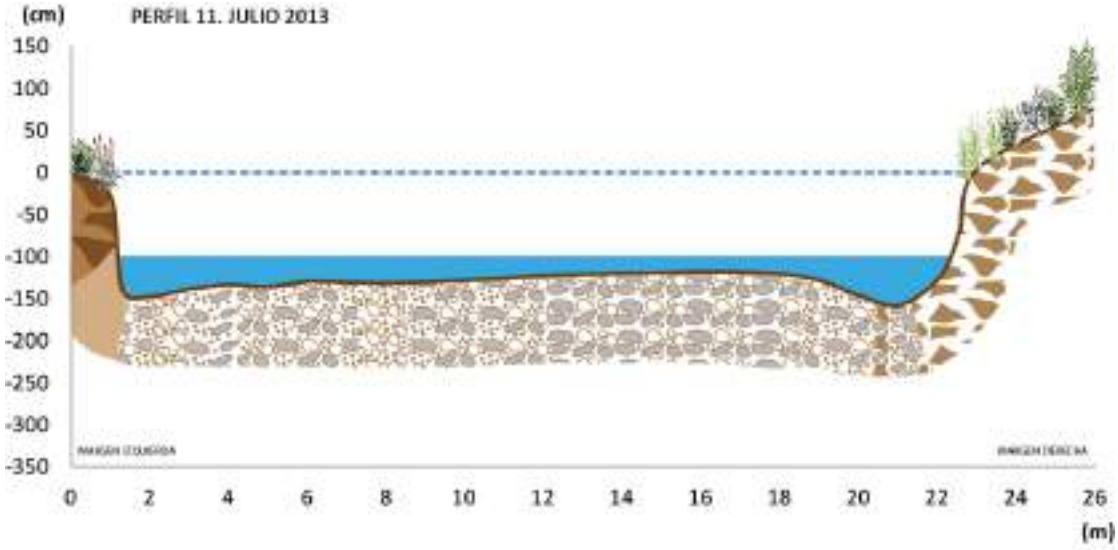


Figura 1.50. Sección transversal IN 11 en las mediciones de julio 2013, abril y agosto 2014, junio 2015, septiembre de 2016, julio de 2017 y junio de 2018.



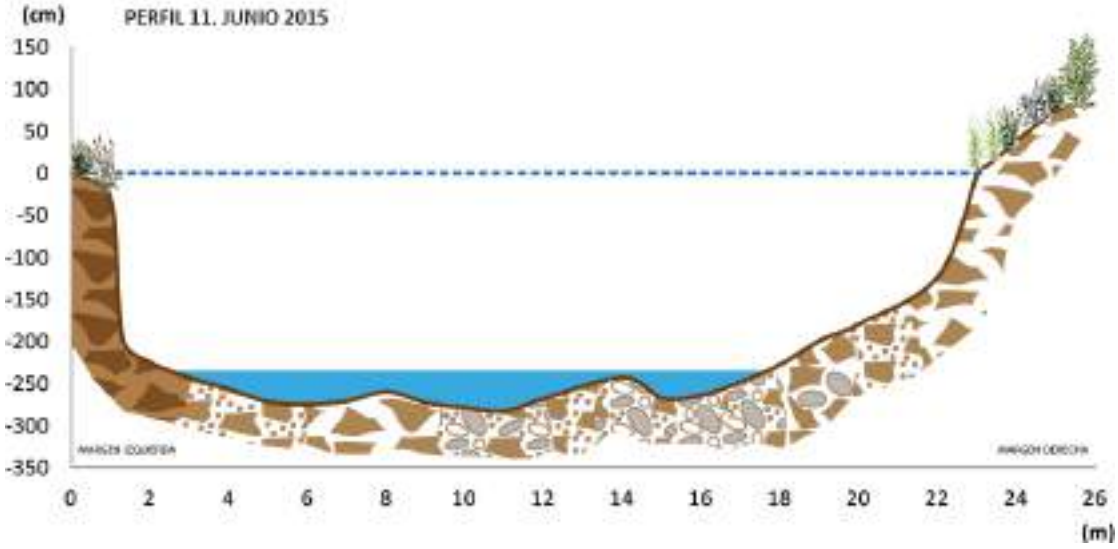


Figura 1.51. Comparación de la sección transversal IN 11 entre julio de 2013 y junio de 2015.

Como sucedía con las dos secciones anteriores, también con influencia y cambios significativos tras el derribo de la barrera que supone la presa de Inturia, la incisión es muy destacable en esta sección IN 11, y especialmente acusada tras el primero de los derribos.

Se dio una clara incisión en la práctica totalidad del lecho del río. Esta incisión rondó los 40/50 cm de forma homogénea exceptuando el extremo derecho del cauce donde en la primera campaña de campo se encontraba la zona más profunda con afloramiento de bloques al pie de la orilla y ladera, y que sufrió escasos cambios entre ambas campañas de campo.

Inmediatamente después del segundo de los derribos no se registró cambio alguno por no haber discurrido ni caudales ni tiempo para darse la reacción en ese punto.

Respecto a la sección *bankfull* original previa al derribo, que rondaba los 19,9 m², se produjo una incisión de unos 7,3 m², lo que equivale al 36,7%.

Al igual que en la sección anterior, el periodo de aguas altas entre agosto de 2014 y junio de 2015 supuso una notabilísima nueva incisión prácticamente generalizada que llega, incluso, a superar los 100 cm de material evacuado. Al igual que se señalaba en la sección precedente, esta magnitud de capacidad de incisión que muestra el río hace suponer que este proceso no se haya completo, y que el río continuará incidiéndose en busca del perfil de equilibrio.

Figura 1.52. Sección transversal IN 11 en la medición de agosto 2013 (arriba izq.), abril 2014 (arriba centro.), junio 2015 (arriba dcha.), septiembre 2016 (abajo izq.) y julio 2017 (abajo dcha.).

En el año 2016, en la campaña del mes de septiembre, se ha constatado que, al contrario que en perfiles anteriores, aquí sí que continúa la incisión en la mitad derecha del cauce, alcanzando incisiones de más de 50cm y continuando la tendencia a simplificar el trazado de la sección, con un fondo más plano.

En el periodo que va entre agosto de 2014 y junio de 2015 se evacuaron más de 15 m^2 de material del lecho del cauce, lo que supone más que doblar la incisión y erosión que se había producido en la anterior fase incisiva.

La campaña de julio de 2017 volvió a mostrar una sensible incisión en la parte central del perfil, donde el lecho llegó a incidirse incluso más de 60cm. Esta incisión no se detecta en las zonas de margen dentro del lecho, que permanecen básicamente estable entre septiembre de 2016 y julio de 2017.

La campaña de 2018 apenas introduce cambios en el perfil en relación con la anterior de 2017, siendo muy parecidos sin tendencias ni erosivas ni de acumulación. Los cambios encontrados son muy puntuales y en relación con la inestabilidad de laderas que producen la caída de árboles, como es el caso de la acreción de la margen derecha.

El fondo del lecho fluvial se mantenía entre 2015 y 2016 bastante homogéneo en su trazado, con escasos cambios en la profundidad de la sección. En julio de 2017 se observaba una incisión apreciable en el lecho creándose una especie de pequeño canal dentro el mismo. En 2018, esa zona más incidida se ha rellenado de nuevo, quizá con parte del material de las orillas, que han quedado más inestables por la erosión basal de las márgenes.

Figura 1. 53. Sección transversal IN 11 en la medición de junio 2018.

1.3.12. Sección transversal IN 12

La sección transversal IN 12 es la penúltima de las ubicadas aguas arriba de la presa de Inturia que se realizó en la primera campaña de trabajo de campo. Se ubica unos 1.250 m aguas arriba de la cerrada de la presa y unos 70 m aguas abajo de la sección IN 11. Continúa dentro del sector rectilíneo iniciado en la sección IN 07, de unos 500 m de longitud.

Figura 1.54. Ubicación de la sección transversal IN 12.

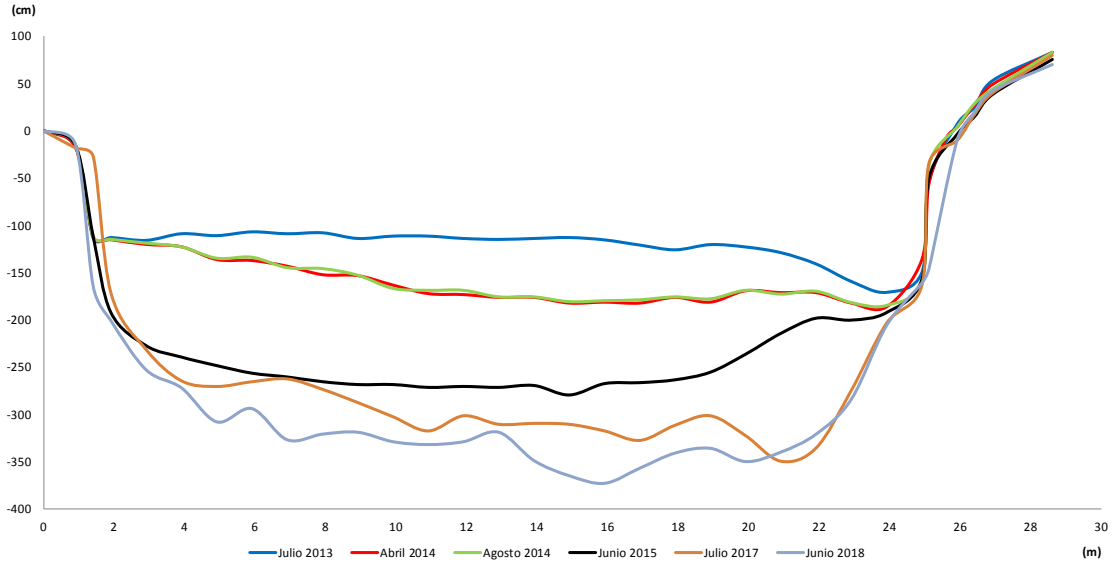


Figura 1.55. Sección transversal IN 12 en las mediciones de julio 2013, abril y agosto 2014, junio 2015, julio 2017 y junio 2018.

La sección presentaba características muy similares a las situadas inmediatamente aguas arriba. El lecho era muy homogéneo tanto en su sección transversal como en su granulometría, con presencia dominante de arenas, gravas y cantos. El agua cubría la totalidad de la sección con poca profundidad en general. Los bloques eran muy puntuales conforme nos acercábamos a la margen derecha que, como sucedía en la sección IN 11, presentaba una mayor incisión,

atenuada tras el derribo. El cauce estaba delimitado por taludes que conforman las orillas, prácticamente verticales y con evidencias de cierta socavación basal.

De nuevo, los cambios fueron mucho más acusados tras el primero de los derribos que tras el segundo, cuando el río todavía no mostraba procesos que conlleven cambios apreciables.

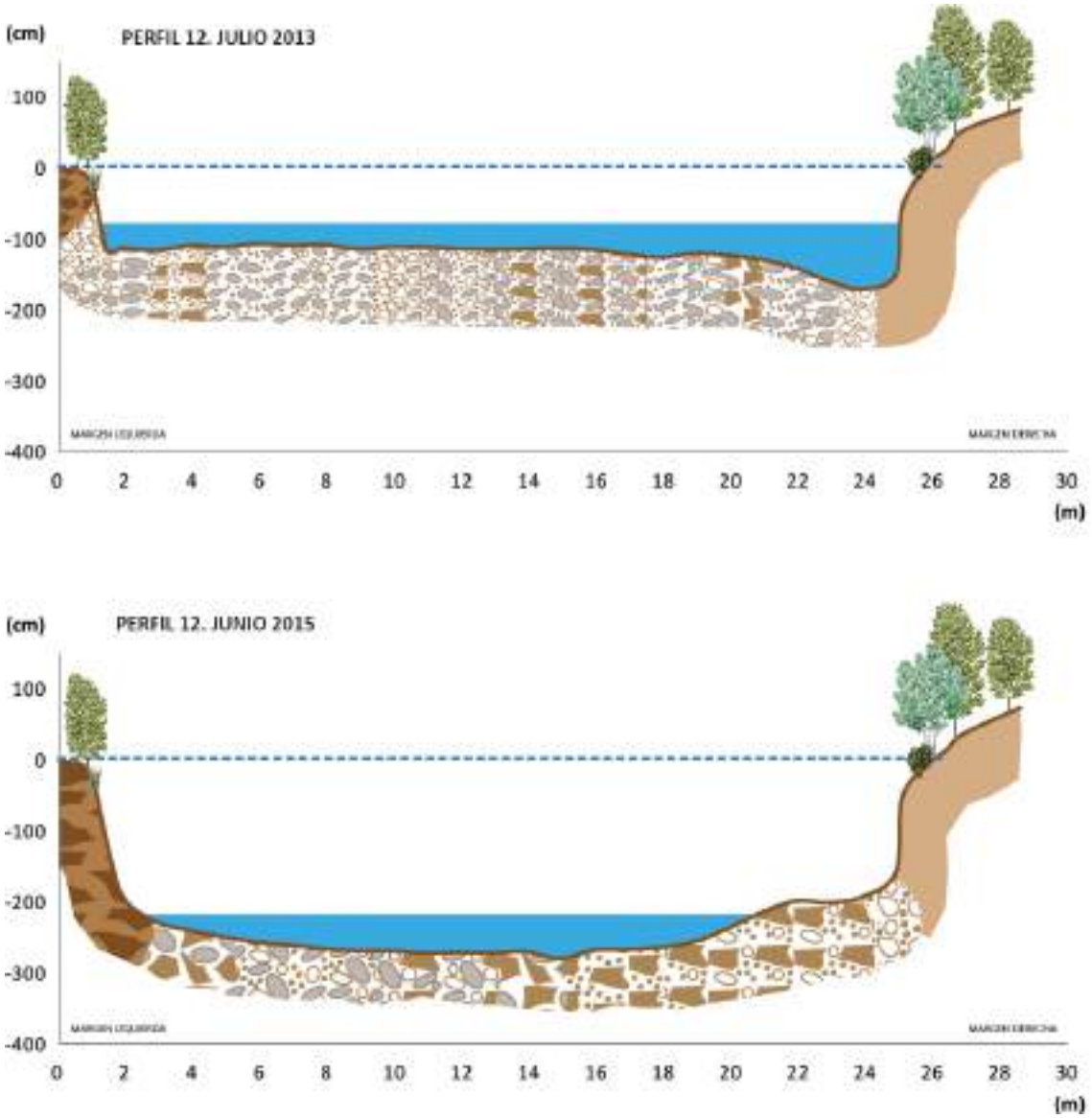


Figura 1.56. Comparación de la sección transversal IN 12 entre julio de 2013 y junio de 2015.

Tras el derribo de 3 m de la presa de Inturia, de nuevo se generó una incisión bastante homogénea, aunque más acusada en la zona central del cauce. Se llegaron a perder más de 50cm de material en el lecho central, y entre 40/50 cm los 15m centrales de la sección, que presenta una anchura estable de casi 25m. Esta incisión y el desplazamiento del agua hacia la margen derecha han propiciado el afloramiento de una amplia zona de materiales aluviales en la mitad izquierda del cauce, concentrándose la corriente y teniendo una mayor capacidad erosiva.

Las márgenes mostraban un claro escalón en ambos lados, apareciendo un pequeño rellano en la margen derecha, mientras que en la izquierda el contacto es casi directo con la ladera que alberga un denso bosque incluyendo un pequeño rellano donde se ubica la estación de medida.

En la campaña de campo, tras el periodo de aguas altas invernal, se constata una evolución similar a los perfiles inmediatamente superiores. Es decir, una muy importante incisión generalizada del lecho, llegando a superarse los 120cm de incisión. Se consolida la formación de un pequeño escalón en la zona de la margen derecha, con un cauce bastante homogéneo que, como también sucedía en perfiles superiores, parece tender a concentrar las mayores profundidades en la zona central del mismo.

Respecto a la sección *bankfull* obtenida tras la primera de las mediciones, y que presenta una superficie de 25 m^2, se produjo, entre julio de 2013 y abril de 2014, coincidiendo con las aguas altas, una intensa incisión que llegó a profundizar el cauce en unos 10 m^2 más, suponiendo un 40% de incremento en la sección.

Figura 1. 57. Sección transversal IN 12 en la medición de agosto 2013 (arriba izq.), abril 2014 (arriba centro), junio 2015 (arriba dcha.), septiembre 2016 (abajo izq.) y julio 2017 (abajo dcha.).

Este proceso, como ocurría en secciones precedentes, se ha visto sensiblemente incrementado en el periodo que va entre agosto de 2014 y junio de 2015, cuando se han evacuado materiales que suponen una sección de casi 19 m^2, lo que hace que casi se duplique la incisión registrada en el primer periodo y hace poco probable que, por el momento, se haya alcanzado una estabilidad en la dinámica de incisión del río. Durante la campaña de 2016 no se realizó este perfil.

En 2017, como sucedía en el perfil anterior, se ha producido una nueva incisión sobre el lecho anteriormente regularizado. En algunos puntos, sobre todo en la margen derecha, incluso más de 1 m de incisión. Si bien, lo más habitual, en la zona central, son incisiones de unos 40cm, que son aún menores o inexistentes en la margen izquierda.

La campaña de junio de 2018 muestra que continúa habiendo un claro proceso erosivo en esa zona, constándose de nuevo incisiones que alcanzan puntualmente el medio metro, pero suelen estar entre los 20 y 30 cm. Son frecuentes en la práctica totalidad de la anchura del perfil. La zona de mayor profundidad se desplaza desde la margen derecha hacia el centro del cauce.

Figura 1. 58. Sección transversal IN 12 en la medición de junio 2018.

1.3.13. Sección transversal IN 13

La sección transversal IN 13 es última de las ubicadas aguas arriba de la presa de Inturia que se realizó en la primera campaña de trabajo de campo. Se ubica unos 1170 m aguas arriba de la cerrada de la presa y unos 80 m aguas abajo de la sección IN 12. Continúa dentro del sector rectilíneo iniciado en la sección IN 07, siendo la última de este tramo ya que la siguiente sección, denominada IN 14, que fue realizada tras la primera fase de demolición del azud, ya se ubica en una acusada curva hacia la izquierda, estando dentro del originario vaso del azud.

Figura 1.59. Ubicación de la sección transversal IN 13.

La sección IN 13, ya claramente dentro del vaso originario del azud de Inturia, ha sufrido sustanciales cambios tras su demolición. Mientras que antes de esta la zona más profunda se ubicaba en la zona derecha del cauce, aunque fuese con un desnivel y profundidad muy limitada respecto a la zona izquierda, pasó a situarse de forma nítida en la zona izquierda del canal para, posteriormente, acabar por homogeneizar el lecho siendo la zona más profunda la parte central del mismo.

Se produjo una acusada incisión en la margen izquierda tras el primero de los derribos, que evacuó de forma puntual hasta más de 150 cm de materiales generando una clara zona de corriente principal a los pies de la orilla izquierda. Esta zona se configuró como la más profunda de un cauce que se incidió en la totalidad de su anchura, si bien en menor medida cuanto más hacia la margen derecha, donde esta incisión llegó a suponer unos 20/30 cm respecto a la situación previa al derribo.

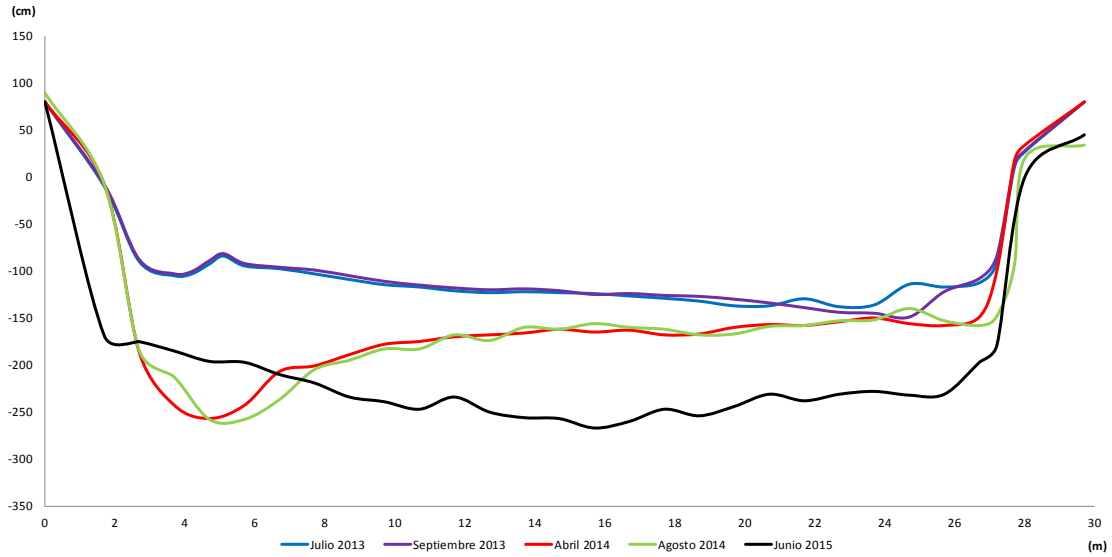


Figura 1.60. Sección transversal IN 13 en las mediciones de julio y septiembre 2013, abril y agosto 2014 y junio 2015.

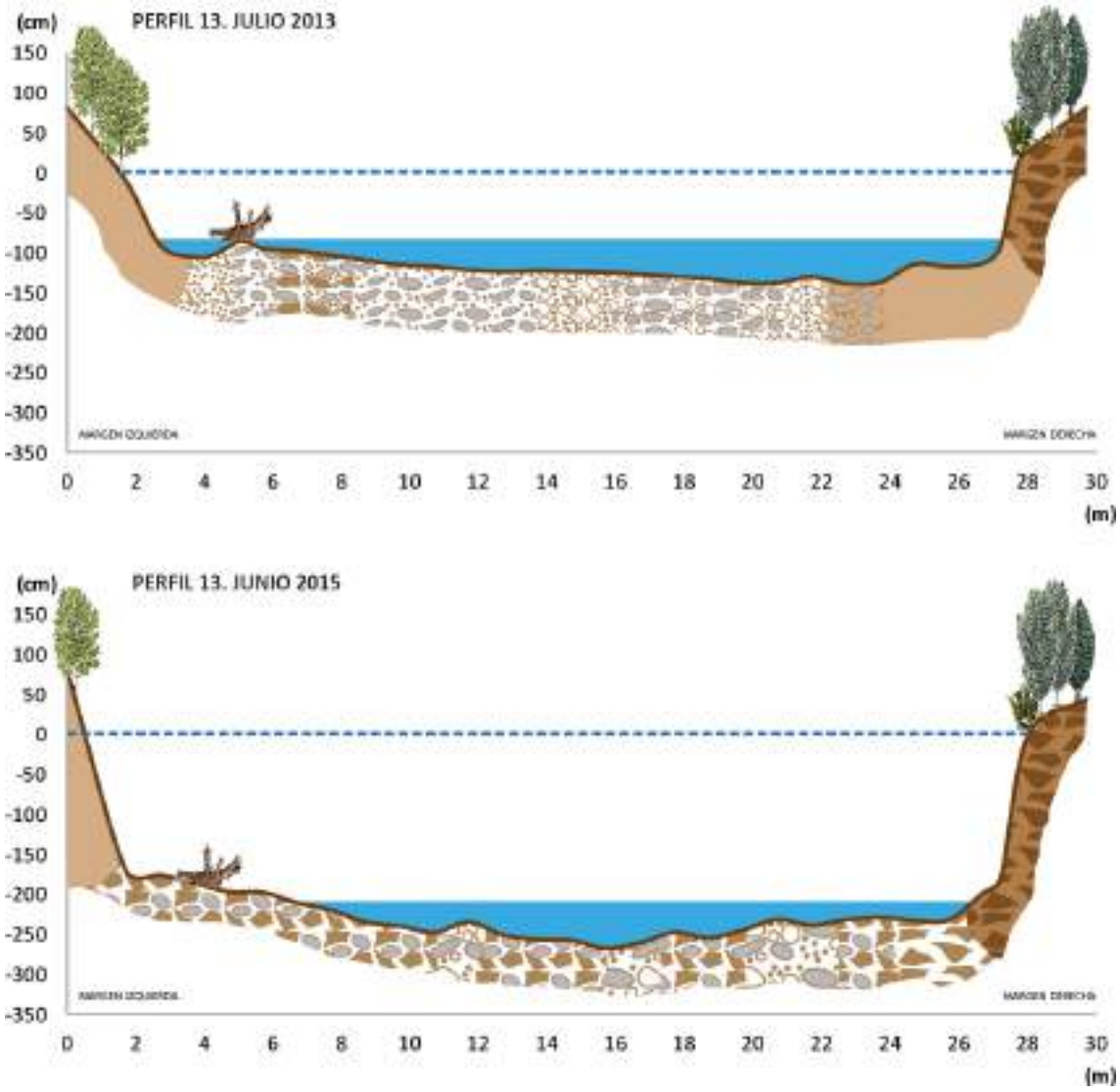


Figura 1.61. Comparación de la sección transversal IN 13 entre julio de 2013 y junio de 2015.

La sección tomada como *bankfull* tras la primera medición tenía una superficie de 32,1 m^2. Tras la demolición inicial de la presa está sección se vio incrementada en 13,4 m^2 debido a la importante incisión que se produjo.

Figura 1.62. Sección transversal IN 13 en la medición de julio de 2013 (arriba), septiembre de 2013 (centro izq.), abril de 2014 (centro dcha.) y agosto de 2014, desde la margen derecha (abajo).

Tras las escasas variaciones entre las campañas de abril y agosto de 2014 –periodo de aguas bajas-, de nuevo se produce una importante incisión entre esas fechas y junio de 2015. Esta incisión ronda los 100 cm en las zonas más acusadas, y supera el medio metro en la mayor parte de la anchura del cauce. Hay una pequeña zona de acreción en la margen izquierda,

donde se concentraba el flujo al menos hasta agosto de 2014, que se ha rellenado para junio de 2015. De nuevo el perfil, como sucedía en los inmediatamente superiores, tiende a tener la zona más profunda en el tramo central del cauce.

Cuantitativamente la superficie evacuada en este último intervalo de estudio ronda los 15 m^2, lo cual muestra una intensidad similar a la que se apreció entre las campañas de junio/septiembre de 2013 y abril/agosto de 2014, poniendo de manifiesto, una vez más, la importancia de la ocurrencia de crecidas para la movilización efectiva de sedimentos y el cambio en la morfología del cauce.

De nuevo, al igual que sucede en los perfiles precedentes influenciados o dentro de la zona represada por el azud, son las granulometrías menores al tamaño de canto las que predominan, con presencia importante de zonas de finos. Una vez derribado el azud se aprecia un lavado de estas granulometrías menores y el paso a un dominio de granulometrías de tamaño de cantos y bloques.

Figura 1.63. Erosión en las orillas a la altura de la sección transversal IN 13 en la medición de junio 2015.

En la campaña de campo de 2017 se observó que el árbol de la margen izquierda en la que se asentaba el punto fijo para la medición del perfil había caído sobre el cauce, arrastrando gran parte del material de la orilla, por lo que no se pudo realizar la medición y comparativa en este punto. En 2018, la situación es similar a la del año 2017, con algo más de material del margen izquierdo depositado en el cauce.

1.3.14. Sección transversal IN 14

Esta sección es la primera realizada dentro del vaso original de la presa de Inturia. Se trata de un perfil que se ubica a unos 1080 m de la cerrada de la presa, y a unos 90 m aguas abajo del perfil transversal IN 13. La fecha de realización de este perfil, al igual que los siguientes IN 15 y IN 16, es el mes de septiembre de 2013. Posteriormente se realizó una nueva medición en la campaña de campo llevada a cabo en abril de 2014, con el fin de comprobar la dinámica de

estas secciones justo después de los derribos del azud y pasados unos meses de esa actuación y otra posterior en agosto de 2014, tras el segundo de los derribos.

Figura 1.64. Ubicación de la sección transversal IN 14.

La sección IN 14 se ubica ya dentro de la curvatura que el río Leitzaran realiza hacia la izquierda una vez pasado el sector rectilíneo más largo de la zona de estudio, con más de 500m sin sinuosidades destacables, y en el que se integran las secciones transversales que van entre la IN 07 y la IN 13, ambas incluidas.

La sección, al igual que las ubicadas aguas arriba con clara influencia del azud, presentaba en la primera medición de septiembre de 2013 un dominio de materiales finos, con arenas y gravas en muchas zonas del perfil, que dejaban paso a materiales más gruesos en la zona más profunda y con mayor corriente, ubicada en la zona derecha del cauce. Esta zona se encuentra jalonada por un muro de mampostería que busca limitar la erosión.

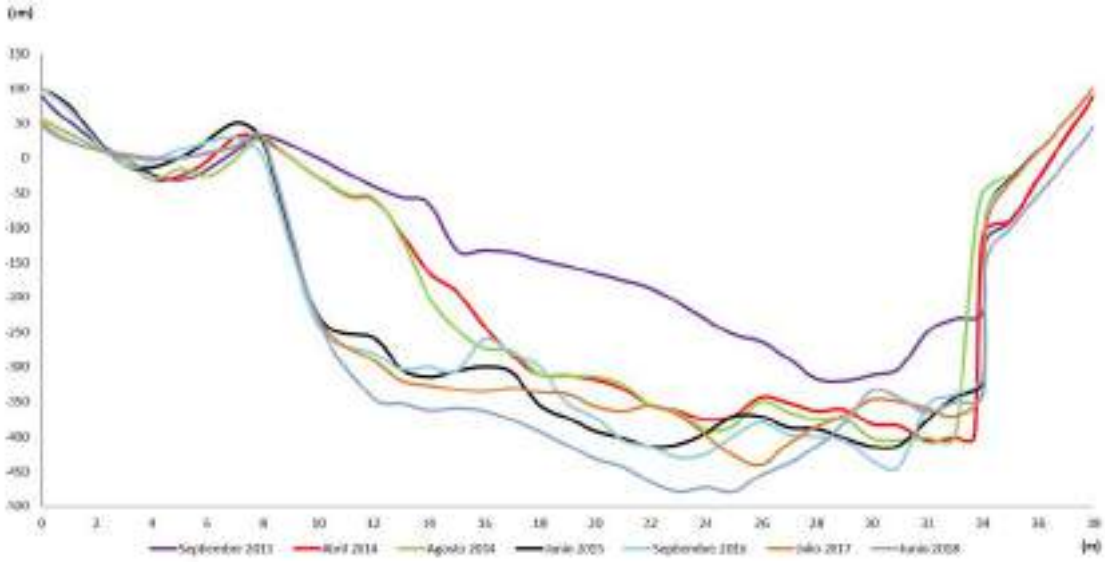


Figura 1.65. Sección transversal IN 14 en las mediciones de septiembre 2013, abril y agosto 2014, junio 2015, julio 2017 y junio 2018.

Una vez derribados los 3 m culminantes de la presa de Inturia, el perfil, al igual que los ubicados aguas arriba, sufrió una clara y muy sensible incisión que ha llegado a alcanzar la evacuación de más de 150 cm de materiales de forma local, estando por encima de los 100 cm en buena parte del cauce más funcional. La presencia de materiales finos ayuda a que estos se movilicen de forma mucho más súbita que en perfiles ubicados aguas arriba, donde los procesos, además de ser más progresivos por la mayor lejanía de la presa, también se ven limitados por la granulometría más gruesa de su lecho. Sin embargo, la morfología del perfil varió en mucha menor medida tras el segundo de los derribos, siendo los cambios poco apreciables.

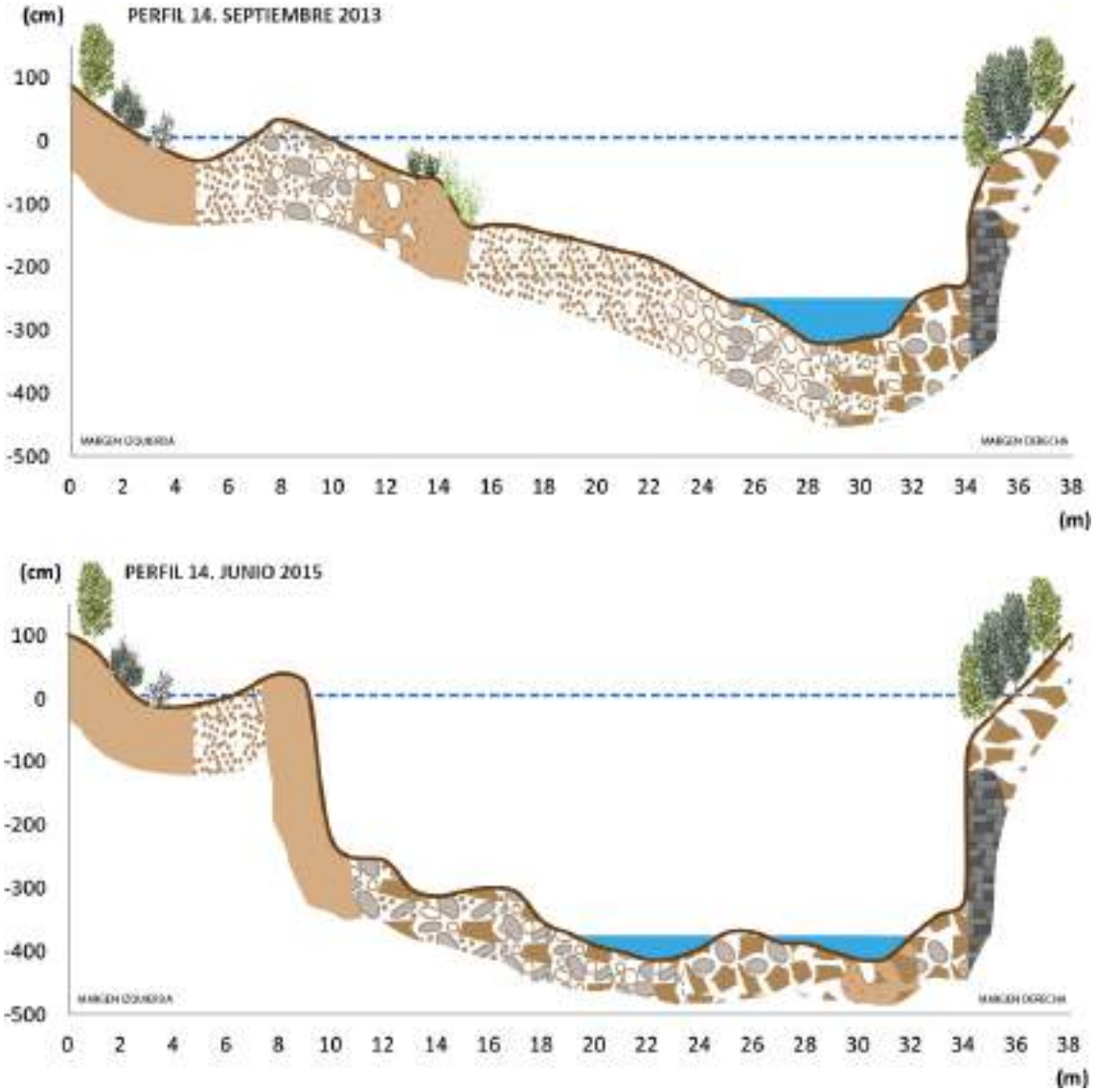


Figura 1.66. Comparación de la sección transversal IN 14 entre septiembre de 2013 y junio de 2015.

La sección *bankfull* en la primera medición de abril de 2013 era de 21,57 m². Tras el derribo de la presa la sección se ha ampliado, merced a la erosión del lecho, en otro 22,7 m², lo que supone más que doblar la superficie.

En la campaña de campo de 2015 continuó la incisión en este sector del río, con una ampliación del lateral izquierdo del cauce por la progresiva caída del talud vertical que lo cierra mientras que la zona erosiva de la curva en la que se ubica, en la margen derecha, se muestra más estable y con menores cambios. La presencia de un muro de mampostería limita su movilidad lateral, ya limitada por lo escarpado del terreno en esa zona.

La mediación de 2016 mostró una mayor estabilidad con la regularización de la barra en la margen derecha y el mantenimiento, normal por la morfología en curva, de la zona más profunda y de paso de aguas bajas en la margen derecha.

La campaña de campo de 2017 sigue mostrando cierto dinamismo en esta sección, si bien no se aprecian procesos claros de incisión. Se combinan zonas con una cierta acreción, sobre todo en la barra de la margen derecha, y algunos cambios puntuales en las zonas de mayor profundidad, pero sin marcase unos patrones claros.

En junio de 2018 se aprecia cómo sigue el descenso de la cota de forma casi generalizada en el perfil, tanto en la zona de barra de la margen izquierda como en la zona del cauce menor, si bien en el extremo derecho, ya pegando con un muro que sostiene parte de la ladera, se ha producido un ascenso de la cota fruto de la acumulación de bloques. Por el momento el río Leitzaran muestra continuidad en los procesos erosivos en esta zona.

Figura 1. 67. Sección transversal IN 14 en la medición de agosto 2013 (arriba izq.), abril 2014 (arriba dcha.) y agosto 2014 (abajo).

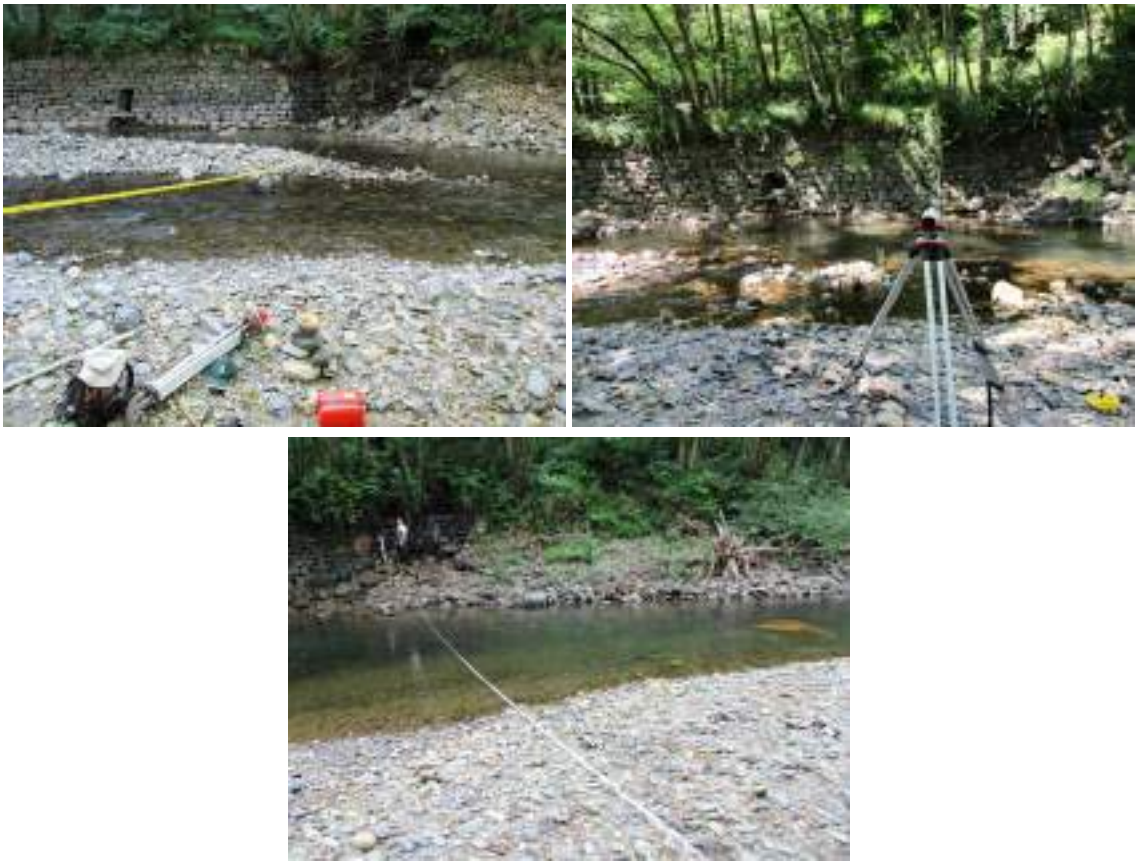


Figura 1.68. Aumento de la erosión en la zona de la sección transversal IN 14 en la medición de junio 2015 (arriba izquierda), julio 2017 (arriba derecha) y junio 2018 (abajo).

1.3.15. Sección transversal IN 15

Esta sección es la segunda de las que se realizaron dentro del vaso original de la presa de Inturia. El perfil se ubica a unos 925 m de la cerrada de la presa y unos 155 m aguas abajo de la sección transversal IN 14. La primera medición se realizó en el mes de septiembre de 2013, una vez demolidos los 3 m de la presa de Inturia, siendo la segunda campaña de campo la de abril de 2014 y la tercera en agosto de ese mismo año, y replicándose la medición en la campaña de campo de junio de 2015.

La sección IN 15 se encuentra en el ápice de una nueva curva del río Leitzaran hacia la derecha, casi enlazada con la anterior curva en la que se ubica el perfil IN 14. Esta nueva sinuosidad da paso a una zona básicamente rectilínea de unos 300 m, en la que se ubica la sección IN 16.

De nuevo las granulometrías más pequeñas, especialmente gravas en la zona más cercana al cauce actual, y finos en los taludes y zonas cercanas a estos, son las dominantes, y fruto de ello, y de encontrarse ya cientos de metros dentro del antiguo vaso del azud, conllevaron significativos cambios en la morfología del perfil entre la primera y la segunda campaña de campo. Hay que señalar que en la margen izquierda existe una llanura más o menos amplia, superior a los 10/12 m.

Figura 1.69. Ubicación de la sección transversal IN 15.

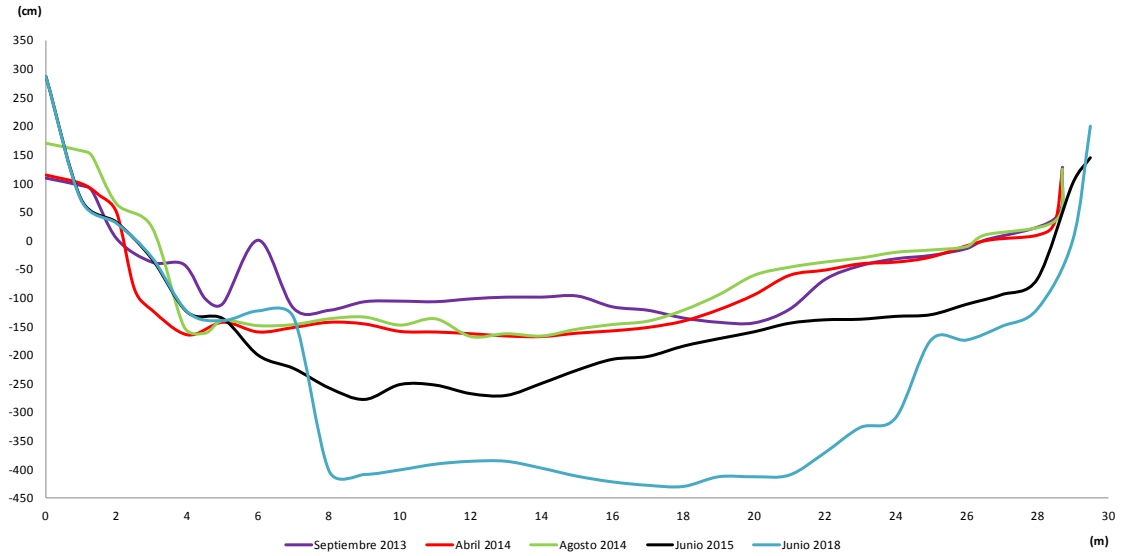


Figura 1.70. Sección transversal IN 15 en las mediciones de septiembre 2013, abril y agosto 2014, junio 2015 y junio 2018.

Además de la sensible incisión del cauce, que superó los 50 cm alcanzando incluso a los pies de la orilla izquierda los 150 cm, se apreciaba una concentración del flujo hacia ese pie de talud de la margen izquierda, mientras que la barra sedimentaria del lóbulo interior del meandro se mantenía más estable.

Entre la segunda y la tercera medición, entre las que media el segundo derribo, vuelven a no apreciarse cambios sustanciales, aspecto común a la práctica totalidad de los perfiles que sí que presentan cambios en algún momento del estudio, y muy relacionado con la ausencia de crecidas estivales.

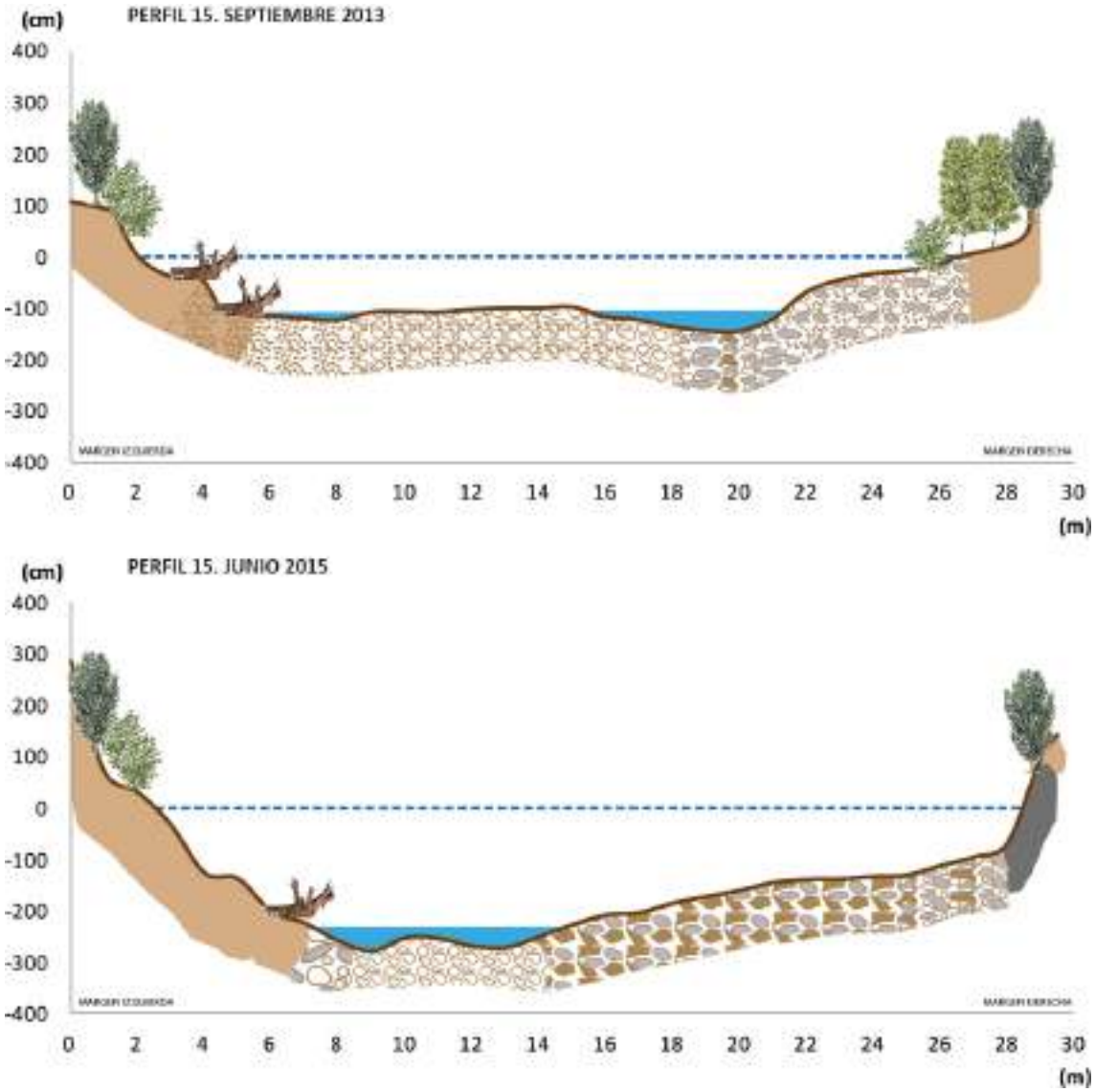


Figura 1.71. Comparación de la sección transversal IN 15 entre septiembre de 2013 y junio de 2015.

Sí que hay cambios, sin embargo, es en la última campaña de medición, cuando el cauce se incide de forma casi generalizada, especialmente con un cauce menor más profundo y con una pérdida de material en la gran barra de la margen derecha. Esta incisión y pérdida de material de la barra alcanza el metro entre las campañas intermedias y la última realizada en junio de 2015.

La sección inicial en *bankfull*, aunque muy alterado por el represamiento, era de 13,4 m^2, siendo la superficie erosionada tras el derribo de 8 m^2, si bien hay una parte de acreción de en torno a 1 m^2.

La granulometría sí que muestra un lavado de los tamaños más pequeños, siendo habitual la presencia de arenas en la medición inmediatamente posterior a la demolición parcial de la presa, mientras que en el mes de abril de 2014 la presencia de arenas es mucho menor, siendo más habitual el dominio de las gravas y los cantos, incluso aflorando algunos bloques, sobre todo en la margen derecha.

Figura 1. 72. Sección transversal IN 15 en la medición de septiembre 2013 (arriba izq.), abril de 2014 (arriba dcha.), junio 2015 (abajo izq.) y septiembre 2016 (abajo dcha.).

En las campañas de campo de 2016 y 2017 no se pudieron realizar mediciones por la elevada erosión del talweg, así como de la erosión lateral en ambas orillas, especialmente en la izquierda, donde el material depositado era mucho más fino. Las comparativas que se pueden realizar son tan solo de carácter visual, como se puede ver en las imágenes de este perfil.

En 2018 sí que se realizó la medición tratando de ajustarse lo más posible pese a que el desnivel respecto a la toma de datos inicial ya supera los 4 m. En general, en todos estos años, se da una clara incisión del lecho, con el transporte de los sedimentos de tamaño arena y canto, de tal forma que aflora más sustrato rocoso en la margen izquierda, alejando la lámina de agua del talud izquierdo. No se aprecian grandes cambios en la zona derecha donde continúa habiendo grandes árboles caídos, lo cual, en cierta medida, puede limitar la incidencia de la corriente y la movilización de los materiales que forma un talud casi vertical.

Figura 1. 73. Sección transversal IN 15 en la campaña de campo de julio 2017 (izquierda) y junio 2018 (derecha).

1.3.16. Sección transversal IN 16

La sección IN 16 es la última de las realizadas dentro del antiguo vaso del azud de Inturia antes de la campaña de campo de agosto de 2014. Se ubica unos 140 m aguas abajo de la sección transversal 15, y a unos 785 m de la cerrada de la presa.

Después de la curva hacia la izquierda, de casi 90º, que traza el río Leitzaran y en la que se ubica la sección transversal IN 16, el río realiza un tramo groseramente rectilíneo de unos 300 m. En esta zona, ya antes de la demolición del azud, son frecuentes los árboles caídos desde las orillas y zonas cercanas al cauce funcional actual, anteriormente vaso del azud.

Figura 1.74. Ubicación de la sección transversal IN 16.

La sección IN 16 presenta un lecho amplio en el que al cauce actual da muestras de movilidad con el ensanchamiento de la zona cubierta por la corriente de agua. La granulometría sigue siendo fina, como en las secciones transversales IN 14 e IN 15, insertas dentro del antiguo vaso del azud, si bien aquí la presencia de finos en zonas cercanas a las márgenes es más destacable. Hay que señalar, del mismo modo, que aparecen grietas de descompresión en

estas márgenes, con caída de secciones de estos materiales. Por tanto, la evolución de estos tramos tras el derribo no está ni mucho menos completa aún, siendo más que probable que en próximas campañas de campo continúen los cambios, así como una tendencia a la evacuación de los materiales más finos y hacia el dominio de las gravas y los cantos, tal y como se ha visto en las secciones inmediatamente superiores.

La falta de crecidas tras el segundo de los derribos condicionó que la dinámica de este perfil, como en anteriores casos, fuese mucho menor entre las dos últimas mediciones, con cambios muy poco apreciables.

La campaña de 2016 constató, sin medición, la continuidad en la evacuación de los materiales sedimentarios, con abundante componente vegetal, que se encontraban adosados a las márgenes y que, de forma rápida, han ido siendo desalojados por los sucesivos episodios de aguas altas. En este sentido, esta sección ya llega a mostrar incisiones superiores de los 3m, lo que ha hecho que buena parte de las márgenes hayan quedado muy colgadas, dificultando sobre medida el mantenimiento de los puntos de referencia de las medidas.

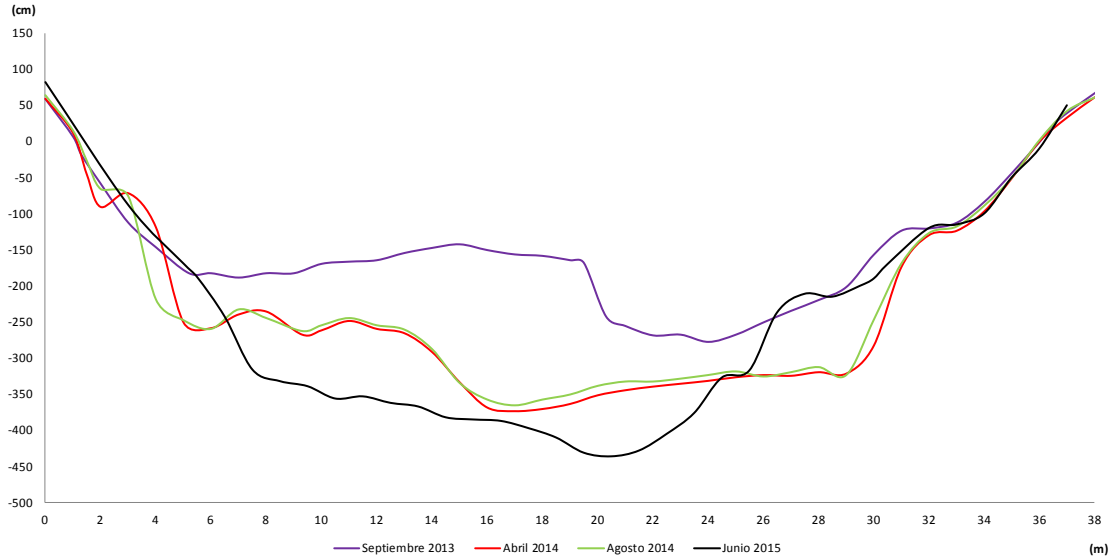


Figura 1.75. Sección transversal IN 16 en las mediciones de septiembre 2013, abril y agosto 2014 y junio 2015.

Y es que los cambios en el transcurso del invierno 2013/2014 fueron muy significativos en esta sección, como en las anteriores. La incisión fue generalizada, superando los 50cm de material evacuado con facilidad y alcanzando zonas con incisiones de más de 200cm de material evacuado. Paralelamente, en el perfil de abril de 2014, el cauce menor, la zona por la que, al menos temporalmente, circulaba la corriente en aguas bajas, se ensanchó, pasando de poco más de 10 m en septiembre de 2013 a casi 15 m en abril de 2014. Estos cambios, como se ha señalado, no tuvieron continuidad tras el segundo de los derribos, a la espera de nuevas crecidas que pudiesen suponer una aceleración de la dinámica del cauce.

En el periodo posterior a los derribos se produjo una incisión entre la sección original post-derribo, que tenía una superficie de 19,7 m^2 en *bankfull*, de hasta 29,4 m^2, lo que supone que los procesos incisivos han sido muy rápidos y muy acusados en su importancia.

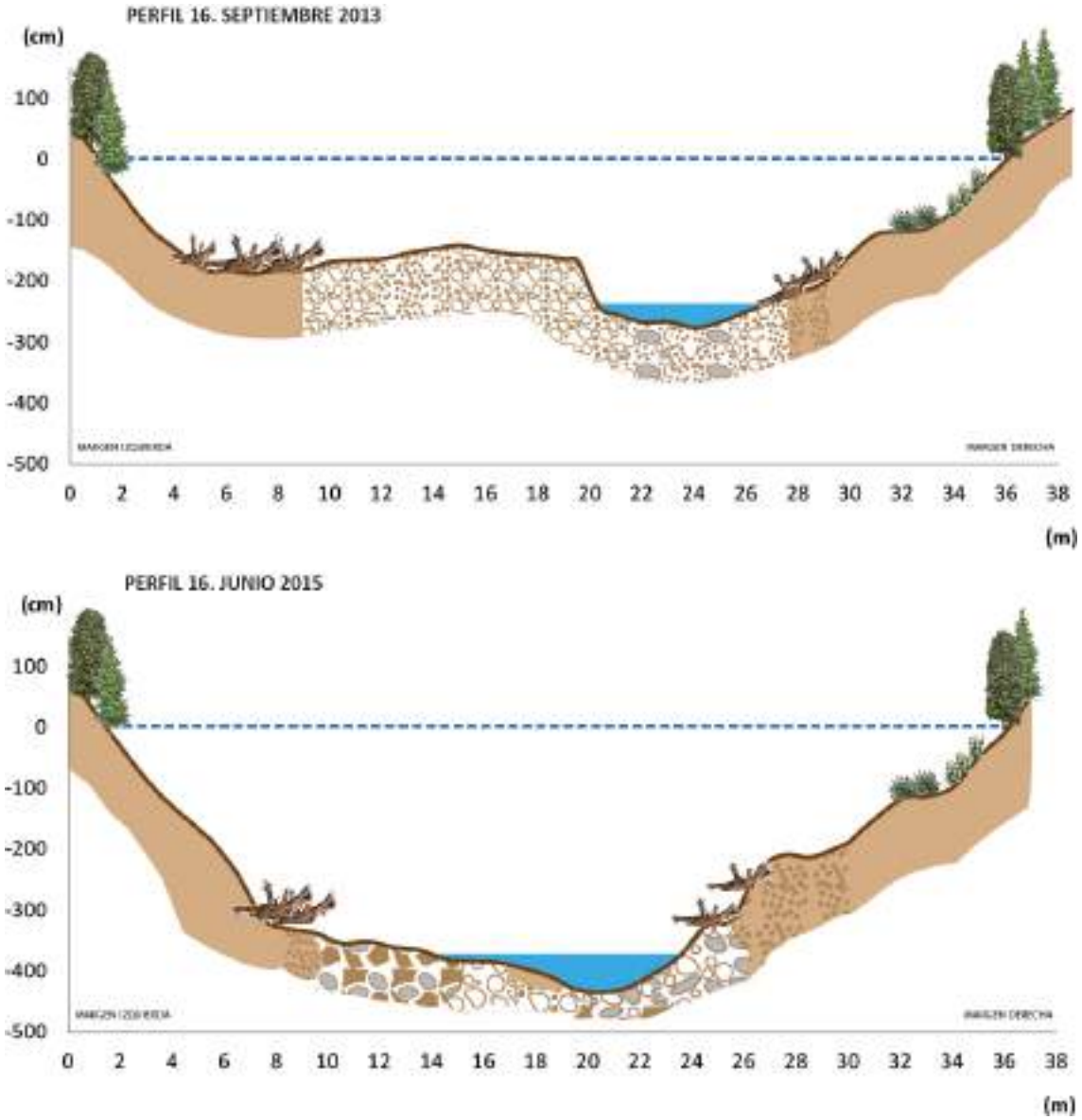


Figura 1.76. Comparación de la sección transversal IN 16 entre septiembre de 2013 y junio de 2015.

Al igual que en los perfiles anteriores la erosión producida hasta la campaña de campo, en junio de 2015, fueron muy importante, siendo "lavados" gran parte de los sedimentos que aún quedaban en el cauce. De este modo el cauce se ha incidido más de 1 m en buena parte de su lecho. Destacaba la acreción en la margen derecha fruto de un deslizamiento de antiguos materiales sedimentados en el vaso de la presa, y que poco a poco iban siendo evacuados por la corriente. En este sentido, y como ocurre en los perfiles más cambiantes, resulta muy visible cómo tras caudales altos se han registrado cambios drásticos en la morfología del cauce, mientras que los caudales bajos presentan menor capacidad dinámica.

En este, como en perfiles anteriores, pero especialmente desde esta zona, es muy visible la presencia de árboles caídos que, en ocasiones, dificultan avanzar por el cauce del río entre perfil y perfil.

En la campaña de 2016, 2017 y 2018 no se han podido realizar las secciones debido al fuerte encajamiento del cauce y a la erosión en las orillas que hace imposible el acceso y la localización de los testigos dejados para las mediciones. Ambos puntos de control se han perdido y la zona de toma ha quedado con unos desniveles que imposibilita la continuidad de las medidas. La caída de árboles ha sido muy frecuente y la pérdida de testigos fijos ubicados en el cauce también ha sido frecuente.

Figura 1.77. Sección transversal IN 16 en la medición de septiembre 2013 (izq.), abril de 2014 (arriba dcha.) y agosto de 2014 (abajo dcha.).

Figura 1. 78. Sección transversal IN 16 en la medición de junio 2015, que presenta una erosión muy marcada.

En las campañas posteriores al derribo, sobre todo a partir de 2016, lo que se ha observado es un descenso del material más fino, de menor tamaño, y el afloramiento en el cauce de material de mayor tamaño, incluyendo bloques y zonas de sustrato. En la imagen siguiente, de la campaña de campo de 2018 se puede ver el notable cambio respecto a las imágenes de años anteriores.

Figura 1. 79. Entorno de la sección transversal IN 16 en junio 2018.

1.3.17. Sección transversal IN 17

La sección transversal IN 17 es una de las zonas con más problemas de todas las analizadas. La zona en cuestión se ha incidido tras la retirada del azud y, además, ha sufrido la caída de numerosos árboles de las laderas, dificultando la toma de datos, y haciendo imposible la comparación de las secciones. En la figura siguiente se puede ver dónde se localiza esta sección.

Figura 1.80. Ubicación de la sección transversal IN 17.

Esta sección, a la que sólo pudo accederse tras las primeras fases de derribo, ya muestra la forma de "cajón", fruto de la rápida evacuación de los materiales sedimentados cuando la presa ejercía como freno a la circulación de finos. No se ha podido realizar más que una medición debido al encajamiento e incisión y a la imposibilidad de acceder a las laderas.

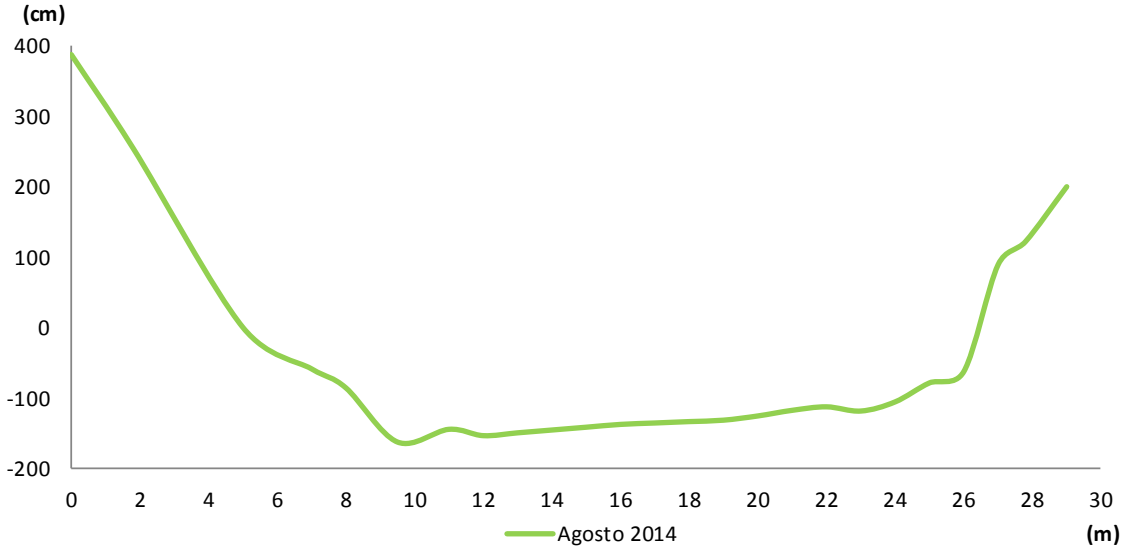


Figura 1.81. Sección transversal IN 17 en la medición de agosto 2014.

1.3.18. Sección transversal IN 18

La sección IN 18 es la primera de las dos realizadas en el antiguo vaso de la presa de Inturia una vez que se procedió a la segunda campaña de derribo. Se ubica al inicio de una recta de unos 150m que lleva al río a trazar dos meandros enlazados a izquierda y derecha antes de la cerrada de la presa.

Figura 1.82. Ubicación de la sección transversal 18.

La sección IN 18 tiene una anchura de 21 m, acabando su margen izquierda en un afloramiento rocoso mientras que la margen derecha conecta con un talud de materiales más blandos y finos y cobertura herbácea. El acceso a la zona fue posible una vez acometida la segunda fase de derribo del azud quedando muy limitada la zona de aguas represada por lo que queda de presa, si bien el grado de humedad que aún retenían los materiales aluviales anteriormente depositados en el vaso inundado hacían que de forma puntual las mediciones fuesen complicadas.

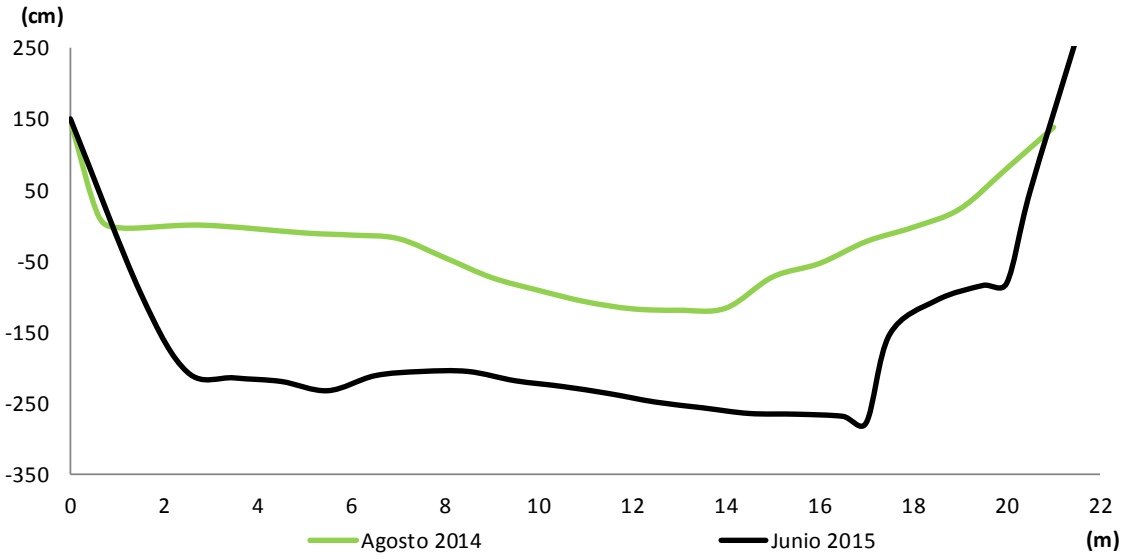


Figura 1. 83. Sección transversal IN 18 en agosto 2014 y junio 2015.

La sección se compone de una barra amplia, de unos 7 m, con materiales más de tipo canto e inferiores, predominantes también en la zona del canal actual cubierto por agua. La margen derecha, como se ha mencionado, presenta materiales más finos, de tipo arena o inferior, así como muy colonizado por hierbas en los últimos 3 o 4 metros del perfil.

Figura 1.84. Sección transversal IN 18 en agosto 2014 (izq.) y en junio 2015 (dcha.).

En la comparativa de las dos figuras siguientes se puede ver cómo la erosión ha sido superior a los 2 metros. Se han marcado tres zonas (cada una con un color) en ambas imágenes, tomadas en las campañas de agosto 2014 y junio 2015, para poder ver las zonas estables, los puntos fijos y, con la referencia de la escala de la mira telescópica, hacerse una idea gráfica de la capacidad erosiva del río.

En los perfiles se aprecia cómo la práctica totalidad del cauce ha visto evacuados materiales llegando a incidirse entre 1,5 y 2 metros, lo que supone una movilización muy importante de materiales.

Figura 1.85. Sección transversal IN 18. Detalles de la erosión entre las campañas de agosto 2014 (izq.) y junio 2015 (dcha.).

Se hace necesario un seguimiento posterior para ver hasta qué punto esta evacuación de material puede tener continuidad o bien si, por la relativa cercanía de la presa, ha generado un proceso más rápido y, en esta zona, el cauce podría tender a estabilizarse en cuanto a su perfil longitudinal.

La comparación de imágenes con zonas fijas se puede ver en la figura siguiente, entre las imágenes de 2015, 2017 y 2018. La incisión queda patente en esa zona, con más de 5,5 metros. Parece que entre 2017 y 2018 los cambios no son tan visibles, aunque continúa apareciendo sustrato en la margen izquierda del río, en la confluencia con la pequeña regata que llega por esa zona.

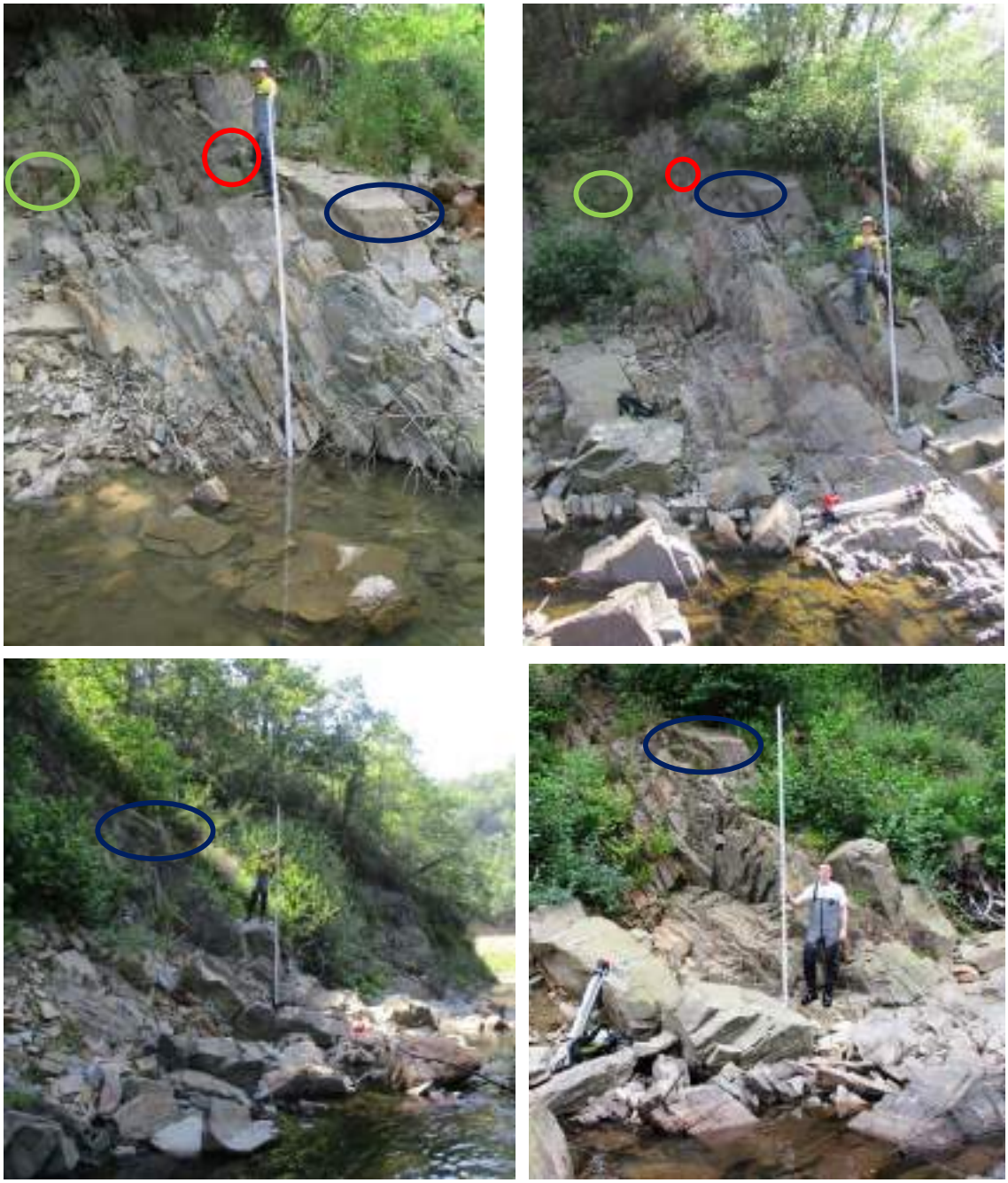


Figura 1.86. Sección transversal IN 18. Detalles de la erosión entre las campañas de campo de junio 2015 (arriba izquierda), julio 2017 (arriba derecha y abajo izquierda) y junio 2018 (abajo derecha).

1.3.19. Sección transversal IN 19

La sección transversal IN 19 se encuentra unos 100 m aguas abajo de la sección IN 18, en un acusado meandro hacia la izquierda cuyo vértice derecho contacta con una pequeña zona de aparcamiento a la salida de un túnel que parte desde las cercanías de la presa.

Figura 1.87. Ubicación de la sección transversal IN 19.

En el momento de la realización de la sección transversal, en el mes de agosto de 2014, los materiales del lecho dificultaban el paso debido a que todavía retenían gran cantidad de humedad y resultaban muy inestables, especialmente en la zona más cercana a la actual lámina de agua.

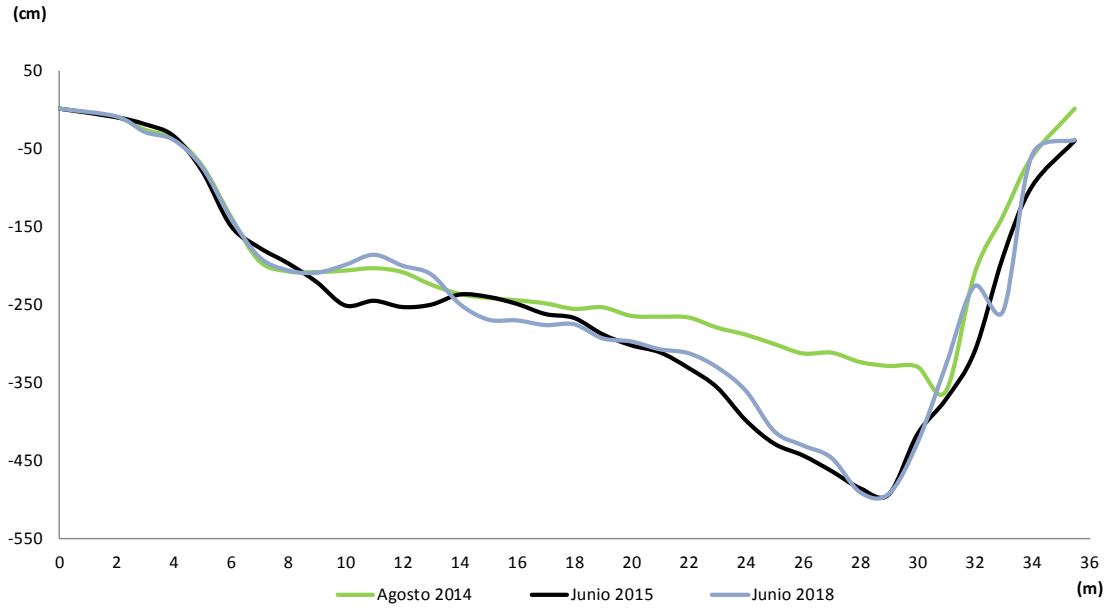


Figura 1.88. Sección transversal IN 19 en agosto 2014, junio 2015 y junio 2018.

En junio de 2015 el perfil presentaba su mayor profundidad en la margen derecha, en el vértice externo de la curva que incide sobre un muro que posibilita el paso de la pista de

acceso (antiguo ferrocarril). Hacia la margen izquierda, sedimentaria, se configura una amplia barra de algo más de 15m, que da paso, mediante un talud más acusado, a un rellano que se encuentra por encima del antiguo nivel de la lámina de agua embalsada por la presa.

Figura 1.89. Sección transversal IN 19 en agosto 2014 (izq.) y en junio 2015 (dcha.).

La composición de la barra, de materiales de tipo grava o menores, con abundante presencia de arenas, así como de las márgenes con abundantes materiales finos, continúa siendo similar en la última campaña e campo, siendo menor la presencia de materiales finos. Tal y como se preveía, ha sido la zona más profunda del cauce la que en mayor medida ha ido sufriendo la erosión, incidiéndose.

En la campaña de junio de 2015 se aprecia esta especial incisión en la zona por la que discurre la corriente, llegando a profundizarse el cauce más de 1 m de forma puntual. No se aprecian, sin embargo, grandes cambios en la barra lateral izquierda que tapiza esa margen del río.

Eran muy visibles los efectos erosivos de la corriente sobre la zona de aparcamiento de la vía verde que discurre paralela al río y que han provocado la caída de algunos muros por efecto de la socavación basal y que se ha agudizado hasta la fecha, habiendo colapsado la práctica totalidad del muro como se aprecia en la siguiente fotografía tomada el 14 de julio de 2015.

Figura 1.90. Zona de erosión en entorno de la sección IN 19.

En la campaña de campo de 2016 se observó el arreglo producido en la zona de la pista, con una rectificación completa del meandro y una afección en ambas márgenes, quedando así totalmente reperfilados los taludes. En la siguiente imagen se puede ver la margen derecha y la regularización de la ladera, junto con la defensa en la zona baja, junto al cauce. Esta modificación en la zona hace imposible cualquier comparativa de la sección transversal IN 19 debido a la magnitud de la modificación.

Se estima, eso sí, que la cantidad de material evacuado, la incisión vertical, ha superado en esta zona los 4 m, a la espera del posible tratamiento de datos recogidos mediante laser-escáner.

Figura 1. 91. Laderas regularizadas en la zona de la sección IN 19 en 2016.

Entre las dos campañas últimas, y sin tener en cuenta la margen derecha reperfilada, se observa en el cauce del río cómo ambos perfiles son muy similares, sin variaciones significativas.

Figura 1. 92. Sección transversal IN 19 en junio 2018.

Sección transversal IN 20

La sección transversal número IN 20 es la primera que, durante la primera campaña de trabajo de campo llevada a cabo a finales de julio de 2013 se encuentra debajo del azud de Inturia. La sección se ubica unos 70 m aguas abajo de la cerrada del azud de Inturia, en una pequeña zona rectilínea que conduce al río hacia una amplia curva hacia la izquierda, con un puente en su ápice.

Figura 1.93. Ubicación de la sección transversal IN 20.

Al igual que el resto de los perfiles ubicados aguas arriba de la presa, el río discurre sensiblemente encajado en un valle estrecho y, con una visión de conjunto, trazando numerosos meandros más o menos amplios que dejan algunas zonas rectilíneas que raramente alcanzan los 500 m de longitud.

Frente a lo que sucede con los perfiles inmediatamente superiores, ubicados fuera del actual vaso del azud (tras la crecida) los materiales finos tenían muy poco protagonismo en este perfil. Los efectos de retención de la presa contribuían a la deposición de esos materiales en el vaso dejando salir agua con un escaso aporte de finos, lo que conllevaba que los bloques y cantos fuesen el sustrato predominante aguas abajo de la misma, con claros síntomas de lavado del lecho (*armouring*). Ni siquiera la demolición de 3 m de la presa supuso una apreciable deposición de materiales finos arrastrados en esa operación.

Sin embargo, y en confrontación con los perfiles ubicados aguas arriba, sí que se dio un claro cambio tras la segunda demolición, siendo muy sensible la acumulación de finos en buena parte del cauce, llegando a engrosarse el lecho hasta con acumulaciones de 50cm de materiales finos. Esto se produjo, de forma más nítida, en la zona derecha del perfil, aunque las acumulaciones entre los bloques y la aparición de una pátina de material fino sobre las rocas es generalizada.

La campaña de trabajo de campo de junio de 2015 no mostró cambios claros en esta sección. Se combinaban algunas zonas con cierta incisión mientras que en otras hay puntuales sectores

con acreción. En cualquier caso, en comparación con los perfiles ubicados aguas arriba de la presa, la dinámica era mucho menor.

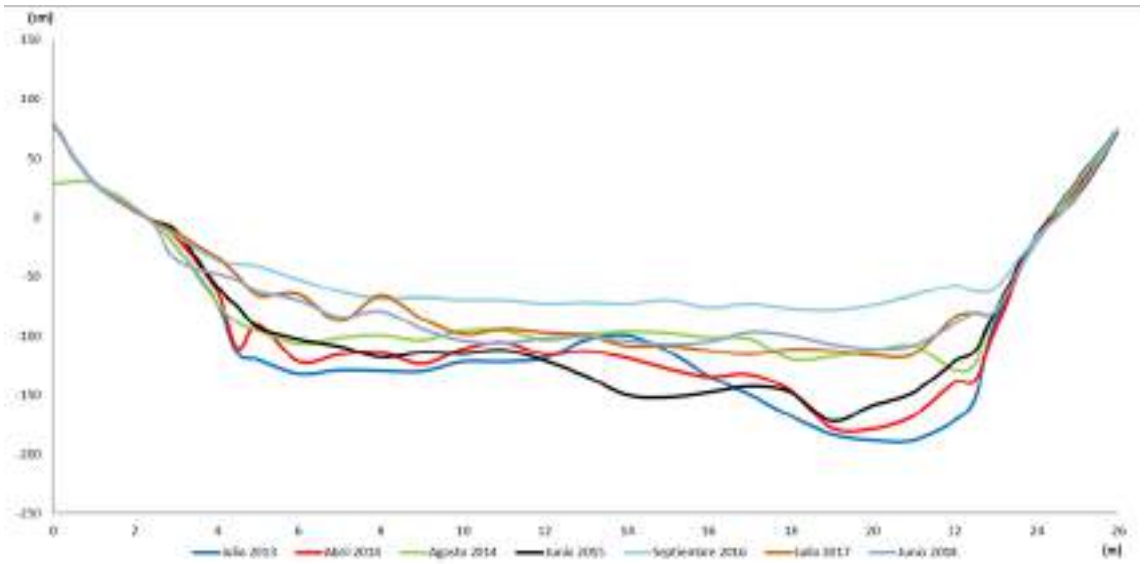


Figura 1.94. Sección transversal IN 20 en las mediciones de julio 2013, abril y agosto 2014, junio 2015, julio 2017 y junio de 2018.

Sin embargo, la campaña de septiembre de 2016 dejó resultados más dinámicos, especialmente por la considerable acreción del lecho, que se elevó de forma generalizada, en algunos puntos cercanos a la margen derecha hasta más de 100cm. Se completa, en esa fecha, un cauce de trazado simple, con dominio de granulometrías finas fruto de la deposición de parte de los sedimentos evacuados aguas arriba de la presa.

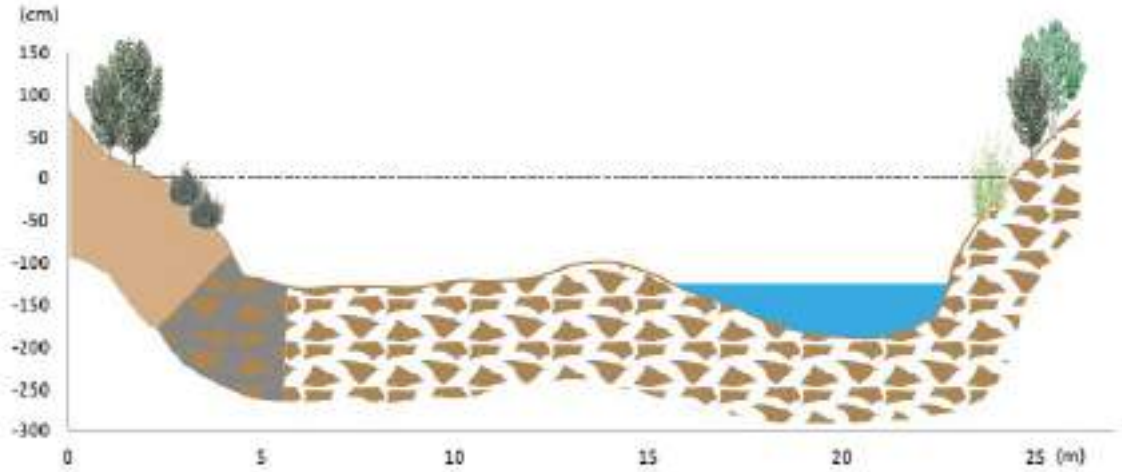


Figura 1.95. Sección transversal IN 20.

La campaña de julio de 2017 volvió a mostrar un importante dinamismo en esta sección que se ubica justo aguas abajo de la cerrada de la presa de Inturia. Entre 2016 y 2017 se produjo una importante movilización de los materiales finos que habían elevado el fondo del cauce, volviendo el perfil a características similares a las de agosto de 2014. Respecto a 2016 se produjo una incisión que, en buena parte del perfil, sobre todo en el centro y la margen derecha, ronda o supera los 50cm de material evacuado. La margen izquierda, con lecho aflorante de cantos y algunos bloques, se mantiene con menos cambios. Es decir, se vuelve a

producir una concentración del flujo en la margen derecha y zona central del cauce, a la vez que desaparecen buena parte de los materiales más finos que había en la campaña anterior. Este dinamismo no aparece en la última campaña, de junio de 2018, quedando el perfil muy similar al del año anterior, con algunos cambios puntuales poco significativos, presentando el cauce ahora un perfil muy homogéneo con un fondo plano.

Figura 1.96. Sección transversal IN 20 en la medición de agosto 2013 (arriba izq.), abril 2014 (arriba dcha.) y junio 2015 (abajo izq.) y septiembre 2016 (abajo dcha.).

Figura 1.97. Sección transversal IN 20 en la medición de julio 2017 (izquierda) y junio 2018 (derecha)..

1.3.20. Sección transversal IN 21

La sección transversal IN 21 se ubica pocos metros por encima de un antiguo vado hoy inutilizado que daba acceso a la margen izquierda del río.

Por ausencia del clavo de referencia no se dispone de comparativa entre la primera medición y la efectuada después del derribo de los 3 metros cimeros de la presa, si bien la dinámica de las secciones superiores e inferiores, junto con la presencia de ese antiguo vado conformado por grandes bloques, indica que en este caso tampoco ha habido cambios en la morfología.

Figura 1.98. Ubicación de la sección transversal IN 21.

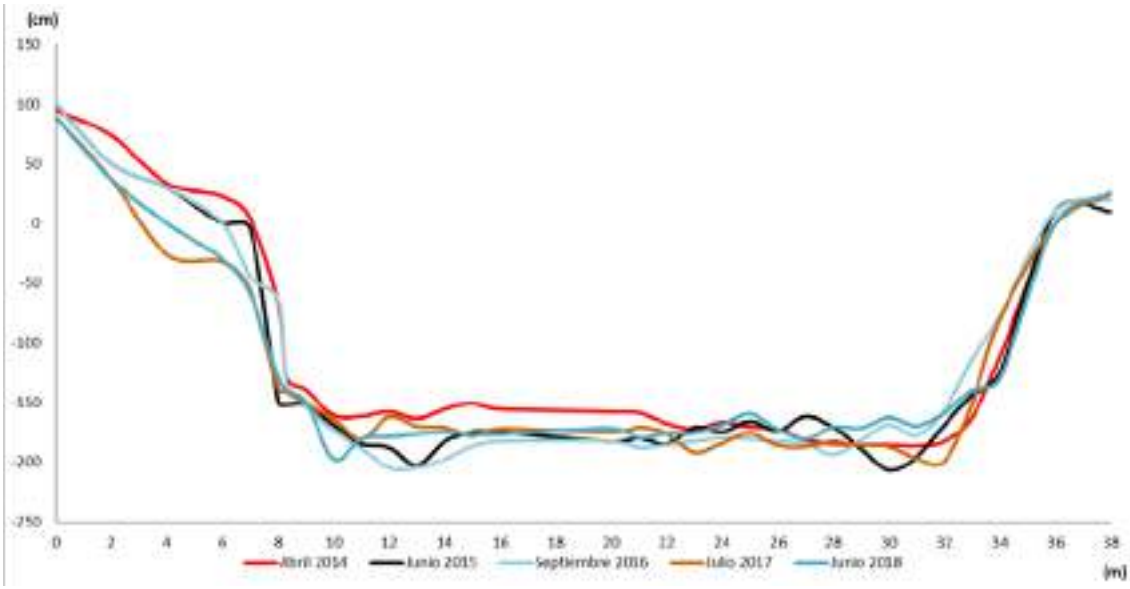


Figura 1.99. Sección transversal IN 21 en la medición de abril 2014, junio 2015, septiembre de 2016, julio 2017 y junio de 2018.

Figura 1.100. Sección transversal IN 21 en la medición de abril 2014 (arriba izq.), junio 2015 (arriba dcha.), septiembre 2016 (abajo izq.) y julio 2017 (abajo dcha.).

Se realizó una medición en junio de 2015 tras fijar nuevos puntos de referencia constatando que no había habido cambios significativos en el perfil transversal. Esto se relaciona bien con la estabilidad que mostraban perfiles superiores e inferiores, así como con la presencia de muchos bloques que forman el antiguo paso para vadear el río, lo que supone, aún más, un freno para un posible incremento de la dinámica local del río.

En la campaña de 2016 tampoco se apreció una tendencia clara, aunque sí es cierto que aparecieron más sedimentos finos (arenas, gravas y finos) tapizando el lecho. Posiblemente, la ausencia de crecidas importantes fue la causa principal.

Sin embargo, la campaña de julio de 2017 tampoco introdujo novedades en esta sección, ya que la estabilidad sigue siendo la nota dominante, más allá de puntuales movimientos de materiales que pueden introducir algunas modificaciones en el perfil. Pero, la norma general en todas las campañas, es el mantenimiento de un perfil con algo de acreción en la parte central y una ligera erosión en las orillas, pero bastante estable si se compara con los resultados analizados en el perfil aguas arriba y aguas abajo.

La campaña de 2018 se reafirma en esta situación de estabilidad, con cambios puntuales de escasa importancia en el perfil, con algo más de incisión en la margen izquierda, y una pequeña acreción en la derecha.

Figura 1. 101. Sección transversal IN 21 en la medición de junio 2018.

1.3.21. Sección transversal IN 22

La sección transversal IN 22 se encuentra 70 m aguas abajo de la IN 21, una veintena de metros después de un puente que, en el ápice de un meandro que forma el río Leitzaran al girar hacia la izquierda, da acceso desde la pista principal de acceso a la margen izquierda.

Figura 1.102. Ubicación de la sección transversal IN 22.

El río continúa discurriendo sensiblemente encajado en un valle estrecho, si bien en esa zona llega a aparecer una barra, bastante estable por la presencia de árboles y vegetación herbácea, que divide el cauce en dos, circulando la mayor parte del caudal en aguas bajas por el canal que discurre más cercano a la ladera de la margen derecha.

El cauce presentaba escasas variaciones entre las distintas mediciones realizadas en las salidas de campo hasta el año 2015. No había tendencia ni a la incisión ni a la acreción pese a la mayor distancia que sección tras sección se va adquiriendo respecto a la presa. En esta ocasión, y frente a lo visto en el perfil número 20, el primero aguas abajo del azud, tampoco se encontraba una especial incidencia de la sedimentación de finos, procesos que parece mucho más importante hasta el puente que cruza el río unos cientos de metros aguas abajo de la presa.

No se apreciaban, tampoco, cambios significativos en la morfología del lecho del cauce. Había una cierta incisión en la margen izquierda del cauce, relativamente compensada por una débil acreción en la zona derecha por donde discurría el agua en junio de 2015. En cualquier caso, frente a lo observado en los perfiles anteriores a la presa de Inturia, los cambios hasta junio de 2015 eran muy poco significativos.

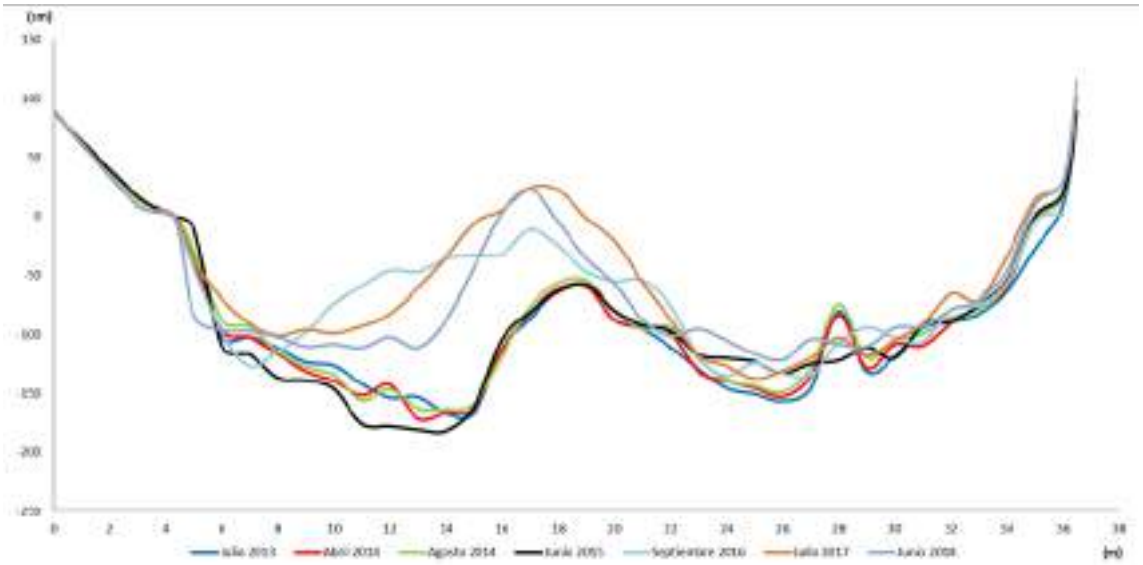


Figura 1.103. Sección transversal IN 22 en las mediciones de julio 2013, abril y agosto 2014, junio 2015 y septiembre de 2016, julio 2017 y junio 2018.

Sin embargo, la campaña de campo de septiembre de 2016 mostró un cambio significativo en el perfil, con una más que notable acreción de la parte izquierda del cauce, casi desapareciendo el canal secundario de esta margen. De forma puntual se llegaron a acumular más de 150 cm de sedimentos, ampliando en buena medida la barra central que, en septiembre de 2016, sólo dejaba un pequeño canal en su margen izquierda. La zona derecha del cauce, por donde discurría con mayor frecuencia el agua, mantuvo escasos cambios en su morfología.

La campaña de julio de 2017 prolonga este proceso de acreción en la zona central. Se ha creado una importante barra central que aún se ha elevado unos 40cm más en su punto culminante respecto a la campaña de septiembre de 2016. El canal derecho, por donde circula todo el caudal en agua bajas, sigue manteniéndose básicamente estable.

En junio de 2018 continúa con los cambios en la barra central, manteniendo su cota máxima, pero perdiendo anchura por ambos flancos. El cauce izquierdo, generalmente sin agua, se

incide levemente, en relación con el proceso erosivo de esa parte de la barra central, mientras que el cauce derecho, generalmente el único que lleva agua en aguas bajas, presenta pocas modificaciones, quizás con una cierta tendencia a la acreción, especialmente en su mitad izquierda.

El sustrato no ha variado en cuanto a su composición, siendo los bloques el tamaño más abundante durante la totalidad de la sección. Las granulometrías menores aparecen en la barra central, junto con zonas de herbáceas o arbustos, muy poco densas.

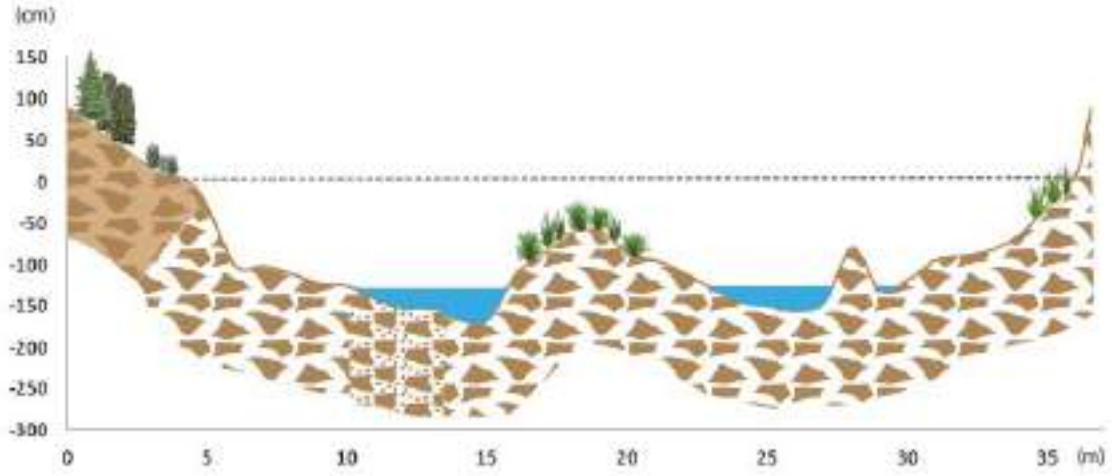


Figura 1.104. Sección transversal IN 22.

Las laderas, como en todas las secciones, presentan un denso bosque de arbóreas junto con sustrato arbustivo con abundantes helechos, si bien la cercanía de una zona de prados parece influir en la mayor presencia de zarzas.

Figura 1. 105. Sección transversal IN 22 en la medición de julio 2013 (izq.), abril 2014 (arriba centro), agosto 2014 (abajo centro) y junio 2015 (derecha).

Figura 1.106. Sección transversal IN 22 en la medición de septiembre 2016 (izquierda), julio 2017 (centro) y junio 2018 (derecha).

1.3.22. Sección transversal IN 23

La sección transversal IN 23, última de las que disponen de estudio comparativo de las dos jornadas de campo, se encuentra unos 300 m aguas abajo de la IN 22. Se accede a ella por una pequeña pista forestal casi perdida que lleva a un vado en muy malas condiciones.

El perfil se encuentra en pleno amplio meandro que traza el río hacia la derecha ya a pocos metros aguas arriba de la zona represada por el azud de Bertxin, ubicado aguas abajo del de Inturia, objeto de este estudio.

El perfil dibuja una barra con materiales muy gruesos en la margen derecha, donde se instala el equipo de medición, mientras que el cauce también presenta granulometrías muy gruesas. Pesa a estar cerca de la presa de Bertxin y de los efectos de retención de materiales que causa su vaso sigue predominando la granulometría de tipo bloque en buena parte del perfil.

Figura 1.107. Ubicación de la sección transversal IN 23.

Continuó sin haber cambios destacables en el perfil entre la medición anterior al derribo de parte de la presa y la medición posterior, así como tampoco tras el segundo de los derribos. Los materiales son de gran calibre lo cual imposibilita su movilización, al menos con las crecidas poco caudalosas que sucedieron durante el intervalo que medió entre las mediciones de campo.

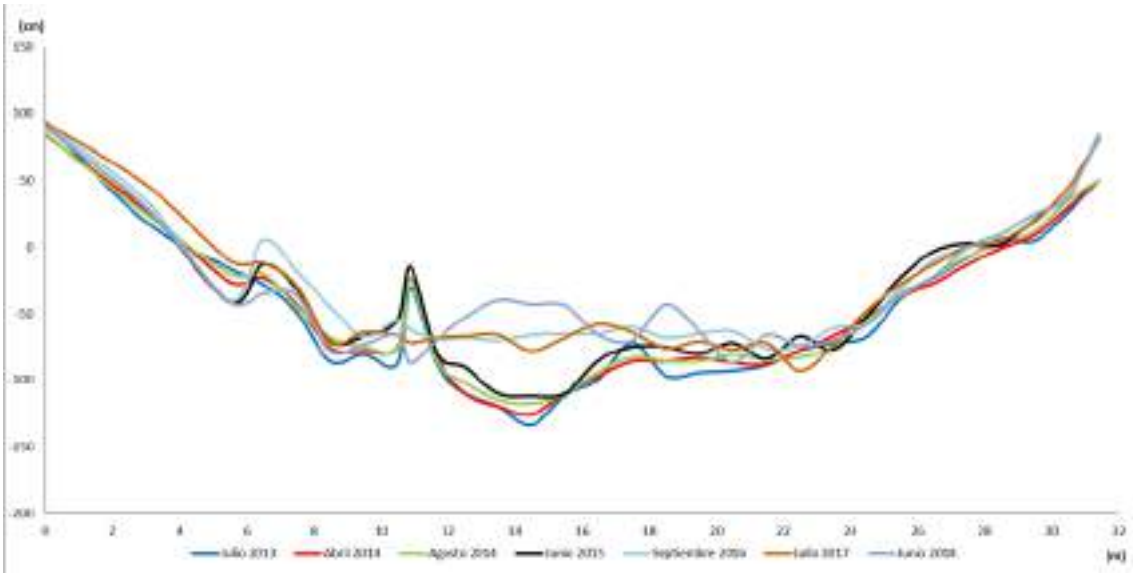


Figura 1.108. Sección transversal IN 23 en las mediciones de julio 2013, abril y agosto 2014, junio 2015, septiembre 2016, julio 2017 y junio de 2018.

Tampoco tras los eventos de crecida del invierno de 2014/2015, se han dado cambios significativos en este perfil, siguiendo con la tónica observada en los perfiles que se ubican aguas abajo de la presa de Inturia.

La campaña de septiembre de 2016 mostró una importante sedimentación en la zona central del cauce, donde puntualmente se daban acreciones de 50 cm de material, quedando las márgenes con menos cambios. Las mediciones de julio de 2017 presentaron escasos cambios en el perfil respecto a lo constatado un año antes, tan sólo mostrando puntuales cambios fruto de pequeños movimientos de materiales. Sin embargo, en junio de 2018 se produce una acreción de material en la zona central del perfil transversal, con puntales incisiones en las márgenes, menos notables, consolidándose así, la tendencia a la elevación del lecho en relación con las primeras mediciones de 2013, 2014 y 2015.

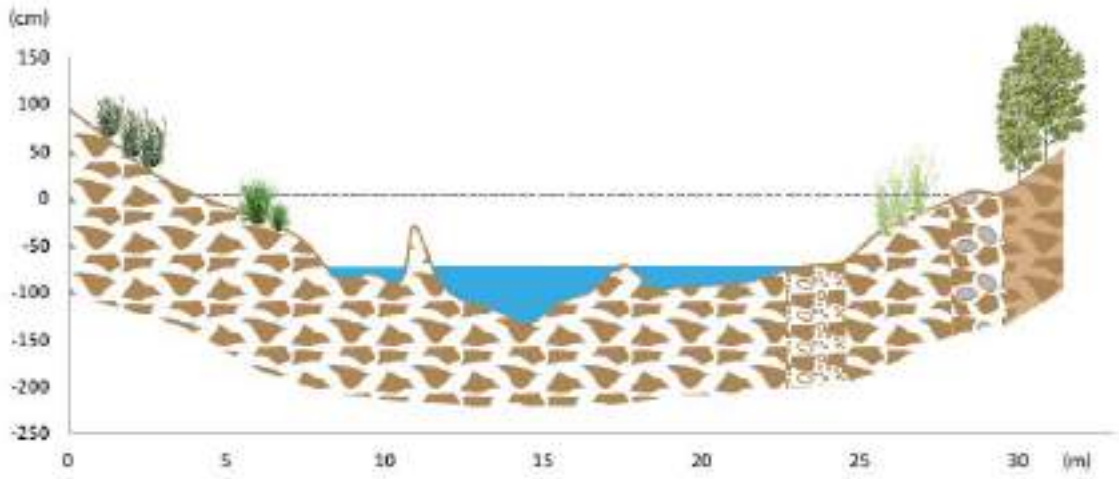


Figura 1.109. Sección transversal IN 23.

Figura 1.110. Sección transversal IN 23 en la medición de julio 2013 (arriba izq.), abril 2014 (arriba dcha.), agosto de 2014 (abajo izq.) y junio 2015 (abajo dcha.).

Figura 1. 111. Sección transversal IN 23 en la medición de septiembre 2016 (izquierda) y julio 2017 (derecha).

Figura 1. 112. Sección transversal IN 23 en la medición de junio 2018.

1.3.23. Sección transversal IN 0

En la primera de las jornadas de campo, en el mes de julio de 2013, se realizó una sección transversal IN 0, muy alejada de la zona de la presa, en la que se consideraba que, bajo ningún concepto, iban a poder darse cambios tras el derribo del azud, y por tanto considerada de control.

Figura 1.113. Ubicación de la sección transversal IN 0.

A la vista de los resultados anteriormente expuestos, es obvio que en ningún modo el derribo del azud ha llegado a esa zona, ya que ninguna de las 8 primeras secciones realizadas y analizadas anteriormente muestra cambios significativos.

En cualquier caso, se muestra el perfil de julio de 2013 y el realizado en junio de 2015, para corroborar que no hay cambios significativos en la morfología del perfil transversal de esta zona que dista más de 3 km de la presa de Inturia.

Ello corrobora el hecho de que los cambios detectados en el resto de secciones transversales responden a los efectos del derribo y no a otros factores como crecidas acontecidas durante el periodo de estudio.

Esta medición no se repitió en las campañas de campo de 2016 y 2017, pero sí en 2018, siendo el resultado muy similar al obtenido en campañas anteriores, demostrando que la distancia hasta la cola de la presa es lo suficientemente grande como para que no se aprecie ninguna influencia tras el paso de los años posteriores al derribo de la presa de Inturia.

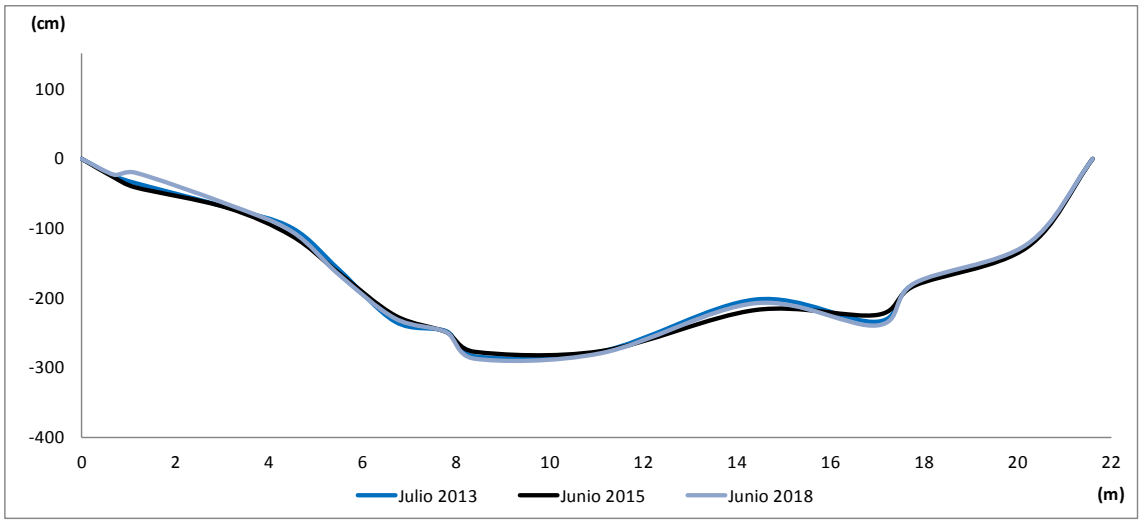


Figura 1.114. Sección transversal IN 0 en la medición de julio 2013, junio 2015 y junio de 2018.

Figura 1.115. Sección transversal IN 0 en julio 2013 (izquierda) y junio 2018 (derecha).

1.3.24. Sección transversal OI 01

La sección OI 01 se encuentra a unos 1.280 m aguas arriba de la presa de Olloki tomando el centro aproximado de cauce y a unos 930m del final de la zona embalsada por la presa antes de la primera de las demoliciones.

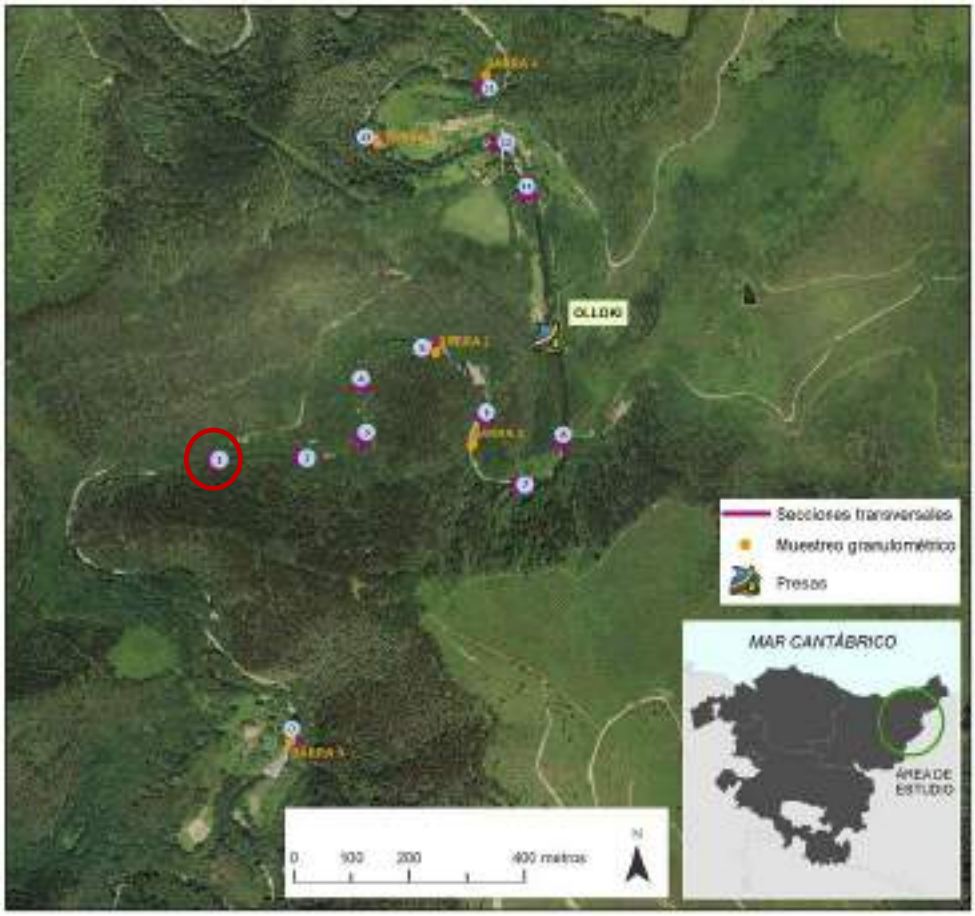


Figura 1.116. Ubicación de la sección transversal nº 1.

La primera sección realizada se encuentra en un tramo rectilíneo del río Leitzaran, enlazando una pronunciada curva de 180º hacia la derecha que culmina unos 160 m aguas arriba del perfil y que finaliza en una curva de 90º hacia la derecha, unos 270 m después, ya aguas abajo del perfil OI 02, que también se encuentra en este tramo más rectilíneo que totaliza unos 380 m.

El cauce presenta una anchura que ronda los 25 m, bastante homogénea en este tramo rectilíneo. El contacto con las laderas es bastante directo, con mucha presencia de vegetación, tanto arbustiva como herbácea y arbórea, con portes importantes.

En esta zona, en la ladera de la margen izquierda, discurre la pista forestal correspondiente a la vía verde que circula sobre el trazado del antiguo ferrocarril de Plazaola. En perfiles inferiores esta vía se distancia más del cauce, pero en esta zona rectilínea discurre más pegada al mismo, aunque sin llegar a suponer una afección sensible.

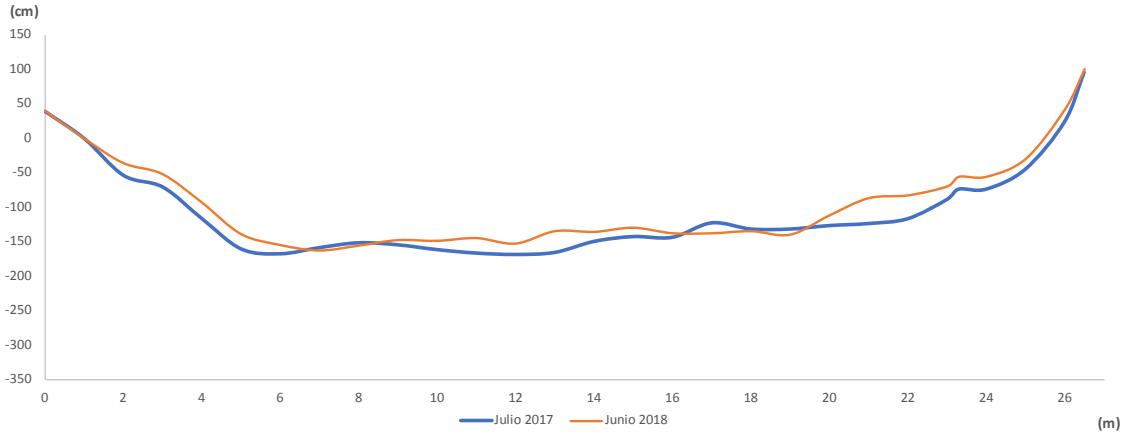


Figura 1.117. Sección transversal OI 01 en las mediciones de julio 2017 y junio 2018.

El primer perfil de esta sección realizado en julio de 2017, nos muestra un cauce de fondo amplio, de algo más de 15m, con una rápida conexión con las laderas que conforma un valle en "v", bastante cerrado en este tramo rectilíneo.

La segunda campaña de campo revela cambios poco significativos en el perfil transversal con alternancia de pequeñas ganancias en la cota junto con zonas muy ligeramente más incididas. Estos cambios son un poco más significativos en la margen derecha, con puntuales fenómenos de incisión y acreción cercanos a los 30 cm.

Figura 1.118. Sección transversal OI 01 en las mediciones julio 2017 (izquierda) y junio 2018 (derecha).

1.3.25. Sección transversal OI 02

La sección OI 02 se encuentra a unos 1.130 m aguas arriba de la presa de Olloki tomando el centro aproximado de cauce y a unos 760m del final de la zona embalsada por la presa antes de la primera de las demoliciones.

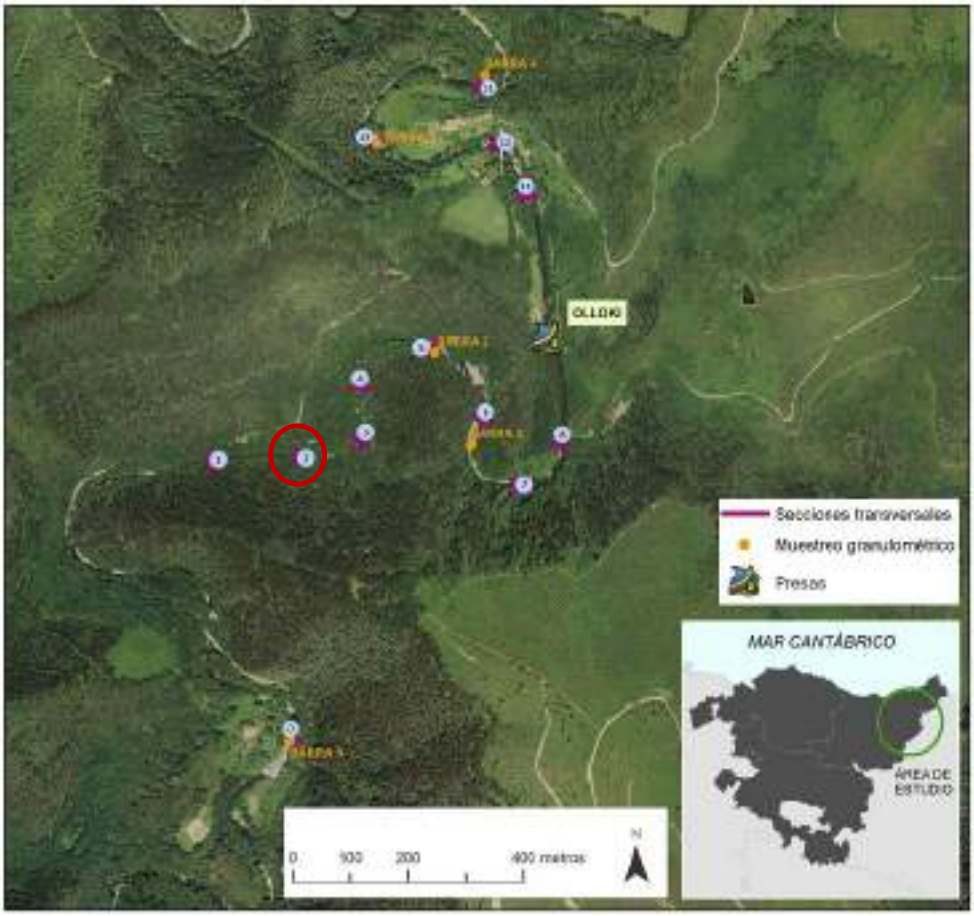


Figura 1.119. Ubicación de la sección transversal OI 02.

Esta segunda sección se encuentra en el mismo tramo rectilíneo del río Leitzaran descrito en la sección OI 01, unos 75 m antes del inicio de la curva de 90º hacia la izquierda.

El cauce menor se estrecha un poco respecto a la primera sección con una anchura de unos 15m. En la margen derecha se genera un pequeño rellano elevado de unos 13m de anchura antes de conectar con la ladera derecha, con notable pendiente y abundante vegetación. El contacto en la margen izquierda el más directo, siendo la pendiente de la ladera importante hasta el paso de la pista forestal que bordea el río por la margen izquierda.

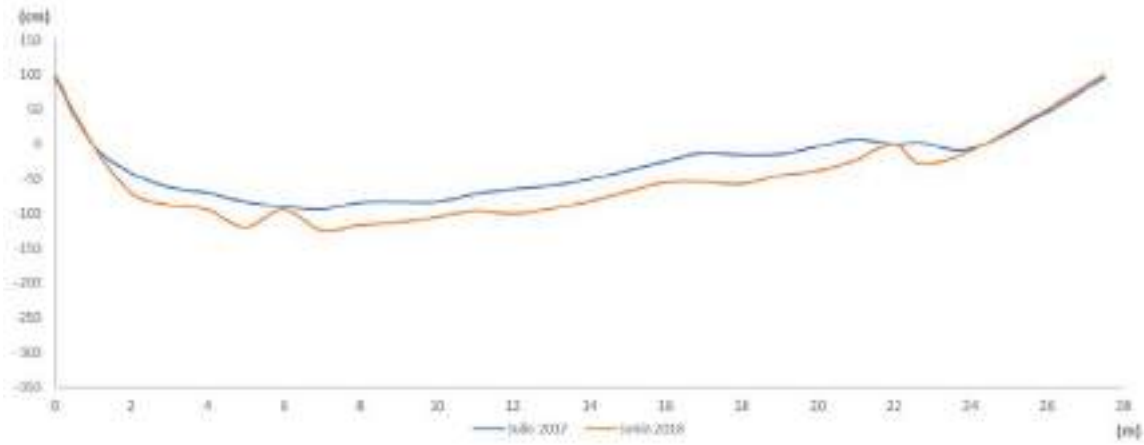


Figura 1.120. Sección transversal OI 02 en las mediciones de julio 2017 y junio 2018.

El perfil de la sección número 2 muestra cómo la corriente se concentra hacia la margen izquierda, la zona más deprimida, mientras, como se ha señalado, la margen derecha crea un pequeño rellano sólo ocupado en aguas altas, donde coloniza la vegetación apareciendo algunos árboles de buen porte.

En este caso los cambios entre una campaña y otra (julio de 2017 y junio de 2018) sí que son más significativos y homogéneos a lo ancho del perfil, siendo casi generalizada una incisión que ronda los 20-30 cm. La zona más profunda sigue estando claramente en la mitad izquierda del cauce, quedando la mitad derecha como una paulatina transición hacia el contacto con la ladera.

Figura 1.121. Sección transversal OI 02 en las mediciones julio 2017 (izquierda) y junio 2018 (derecha).

1.3.26. Sección transversal OI 03

La sección OI 03 se encuentra a unos 1.000 m aguas arriba de la presa de Olloki tomando el centro aproximado de cauce y a unos 630m del final de la zona embalsada por la presa antes de la primera de las demoliciones.

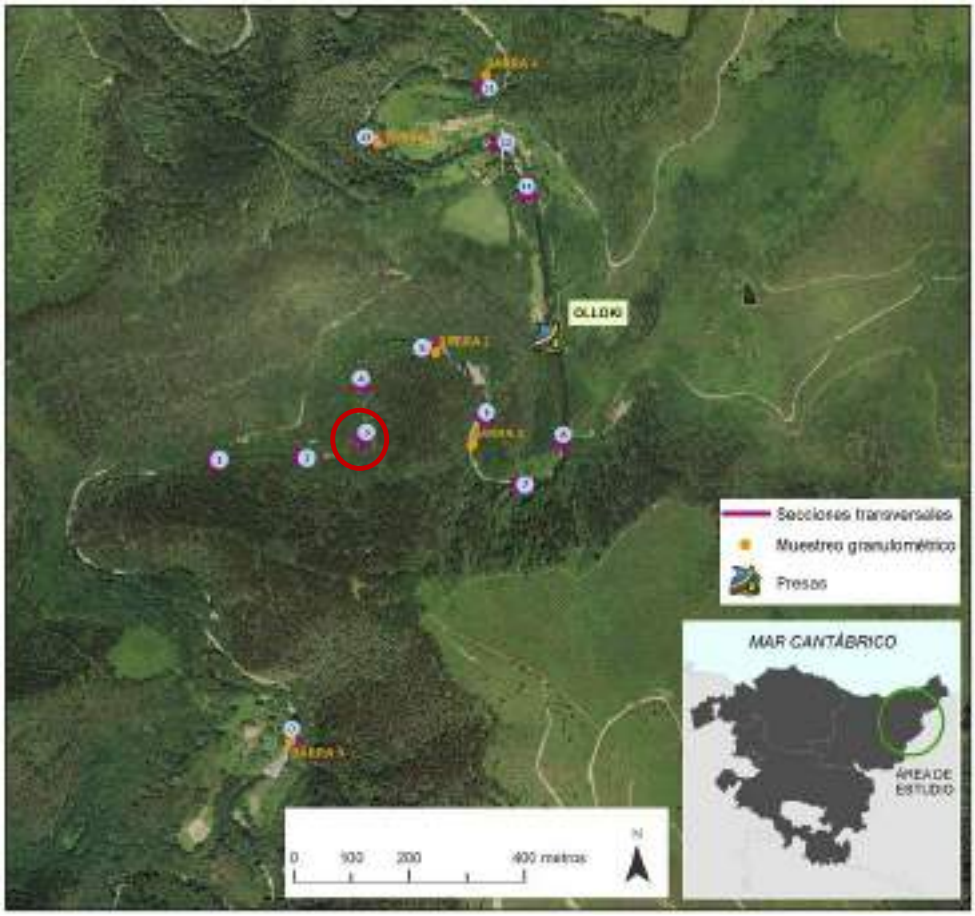


Figura 1.122. Ubicación de la sección transversal OI 03.

La sección OI 03 se encuentra en la curva de 90º hacia la izquierda que traza el río al final del tramo más rectilíneo en el que se encuentran las secciones OI 01 y OI 02. Esta curva da paso, sin solución de continuidad, a un pronunciado meandro cuyo vértice marca el norte topográfico y que hace girar al río Leitzaran 180 grados, encadenando otro meandro de 180º hacia la izquierda que ya desemboca en el vaso de la presa de Olloki.

La morfología del cauce, como es lógico al pasar de una zona rectilínea a una curva pronunciada, cambia de forma sensible respecto a los perfiles OI 01 y OI 02. Hay una importante presencia de sedimentos en la zona interior de la curva, en margen izquierda, llegando a formas una importante barra elevada. El lecho también presenta acumulaciones de materiales de tipo grava, canto y bloque que llegan a formar dos canales diferenciados, ambos con funcionamiento en aguas bajas.

En la zona central, así como en la barra de la margen interna del meandro, la izquierda, aparece vegetación de tipo arbóreo y arbustivo.

Figura 1.123. Sección transversal OI 03 en las mediciones de julio 2017 y junio 2018.

La conexión con la margen derecha es muy abrupta, como corresponde a la zona erosiva del meandro, siendo prácticamente vertical y sobre sustrato rocoso. En la margen izquierda la transición es menos brusca, con mayor presencia de vegetación sobre los depósitos de sedimentos, así como zonas de rellanos a diferentes niveles.

Los cambios que se aprecian entre los perfiles de julio de 2017 y de junio de 2018, ambos previos al derribo, son muy escasos. De nuevo hay una combinación de zonas con ligera erosión, sobre todo cercanas a la margen derecha, y cierta acreción en el canal principal, cerca de la margen izquierda. En ambos casos, de forma puntual, los procesos se aproximan a cambios de 30 cm en los casos más reseñables. La estructura de dos canales secundarios dentro del cauce, se mantiene inalterada.

Figura 1.124. Sección transversal OI 03 en las mediciones julio 2017 (izquierda) y junio 2018 (derecha).

1.3.27. Sección transversal OI 04

La sección OI 04 se encuentra a unos 860m aguas arriba de la presa de Olloki tomando el centro aproximado de cauce y a unos 490m del final de la zona embalsada por la presa antes de la primera de las demoliciones.

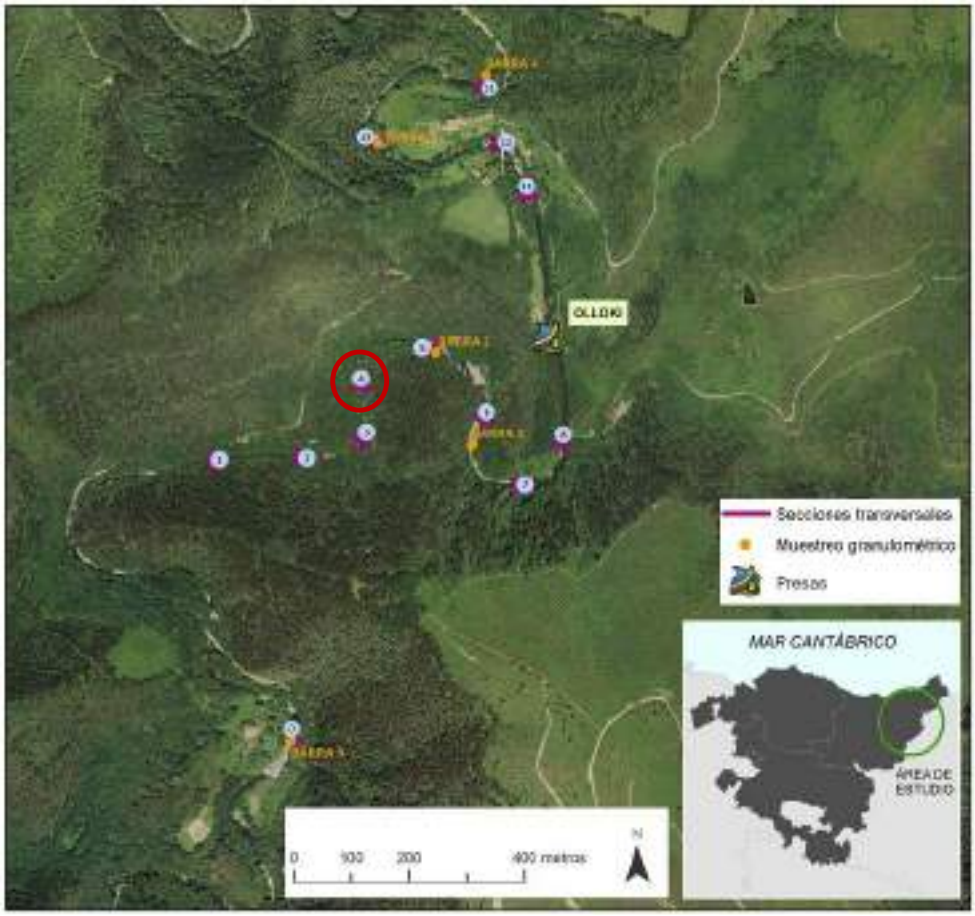


Figura 1.125. Ubicación de la sección transversal OI 04.

La sección OI 04 se encuentra justo antes del meandro que mediante un giro de 180 grados cambia el sentido de la corriente del río Leitzaran de circular hacia el norte a hacerlo hacia el sur.

El cauce adopta una típica morfología de cauce en meandro, con la zona más profunda muy pegada a la margen erosiva, en este caso la margen izquierda, y un perfil progresivamente más elevado conforme se acerca hacia la margen derecha, sedimentaria.

La conexión con la ladera es más brusca en la margen erosiva, donde la pista forestal del antiguo trazado del ferrocarril, en encuentra muy cercana, mientras que poco a poco se torna menos brusca en la margen derecha, conforme el río avanza en el pronunciado meandro.

La presencia de vegetación es abundante en ambas laderas, también en la margen derecha más tendida. Las zonas de barras, que van adquiriendo más protagonismo conforme se avanza en la curva, siempre en la parte interna (*point-bar*). Estos depósitos están muy escasamente colonizados, fruto de la dinámica natural del río y la frecuencia de eventos de crecida más o menos importantes.

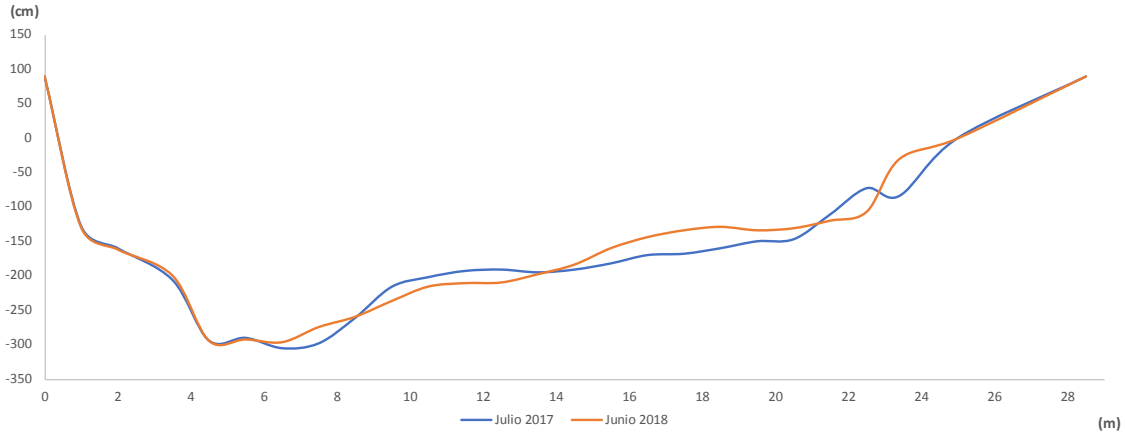


Figura 1.126. Sección transversal OI 04 en las mediciones de julio 2017 y junio 2018.

La conexión con la margen derecha es muy abrupta, como corresponde a la zona erosiva del meandro, siendo prácticamente vertical y sobre sustrato rocoso. En la margen izquierda la transición es menos brusca, con mayor presencia de vegetación sobre los depósitos de sedimentos, así como zonas de rellanos a diferentes niveles.

De nuevo, como en secciones anteriores, no hay cambios significativos entre las campañas de julio de 2017 y junio de 2018. El cauce sigue teniendo la zona más profunda directamente pegada a la margen izquierda, siendo el resto del cauce, hacia la margen derecha, una rampa más o menos homogénea. Se detectan puntuales acreciones, más cerca de la margen derecha, en la barra que aflora sin agua salvo en momentos de crecida, mientras que hay pequeñas incisiones entorno a los 10 m de perfil, en la zona cubierta por aguas bajas que conduce al sector de mayor profundidad.

Figura 1.127. Sección transversal OI 04 en las mediciones julio 2017 (izquierda) y junio 2018 (derecha).

1.3.28. Sección transversal OI 05

La sección OI 05 se encuentra a unos 670m aguas arriba de la presa de Olloki tomando el centro aproximado de cauce y a unos 300m del final de la zona embalsada por la presa antes de la primera de las demoliciones.

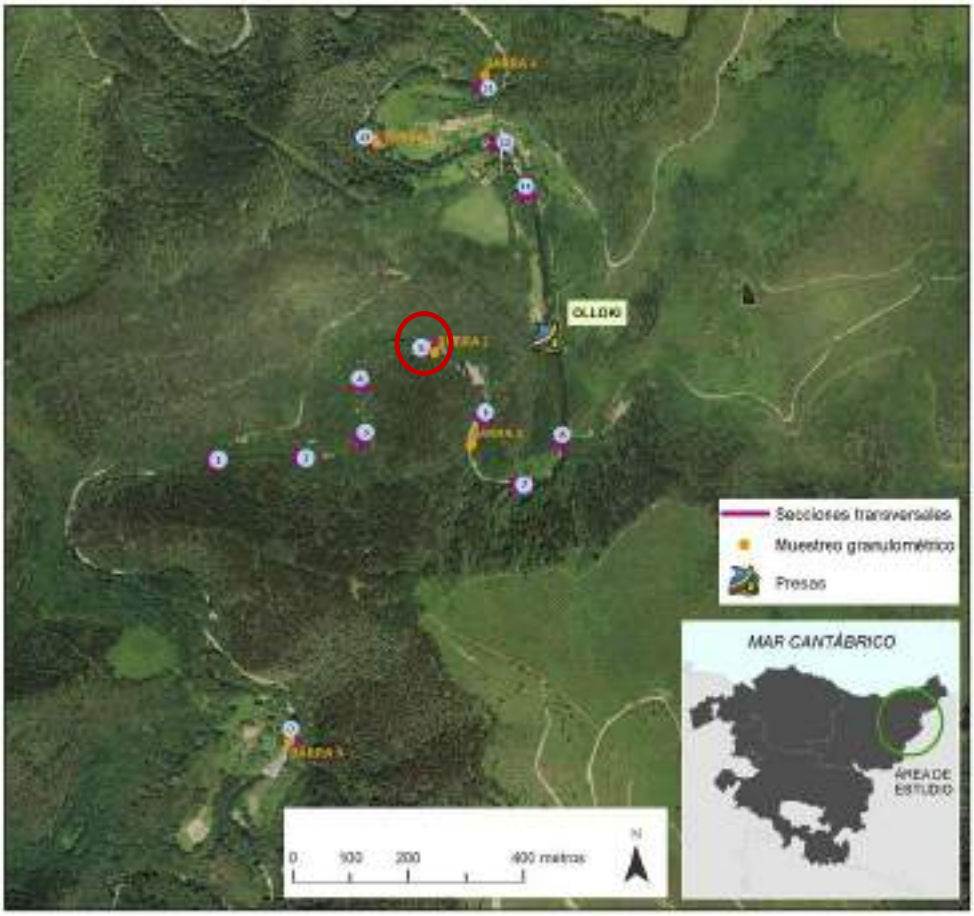


Figura 1.128. Ubicación de la sección transversal OI 05.

La sección número 5 se ubica unas decenas de metros aguas abajo del ápice del meandro marcado que cambia bruscamente la dirección del río Leitzaran.

El cauce sigue teniendo la zona de mayor profundidad desplazada hacia su orilla izquierda, apareciendo de nuevo una barra sedimentaria en la margen derecha, que acaba contactando con la ladera del valle.

La margen izquierda conecta de forma abrupta con la ladera, de forma casi vertical y con materiales rocosos, mientras que la conexión en la margen derecha es mucho más suave.

La conexión con la ladera es más brusca en la margen erosiva, donde la pista forestal del antiguo trazado del ferrocarril, en encuentra muy cercana, mientras que poco a poco se torna menos brusca en la margen derecha, conforme el río avanza en el pronunciado meandro.

La presencia de vegetación es abundante en ambas laderas, también en la margen derecha más tendida. Las zonas de barras, que van adquiriendo más protagonismo conforme se avanza en la curva, siempre en la parte interna (*point-bar)*. Estos depósitos están muy escasamente

colonizados, fruto de la dinámica natural del río y la frecuencia de eventos de crecida más o menos importantes.

Figura 1.129. Sección transversal OI 05 en las mediciones de julio 2017 y junio 2018.

Como se aprecia en el perfil que muestra los resultados de las campañas de julio de 2017 y junio de 2018, hay muy pocos cambios destacables. Tan sólo una ligera acreción entre los metros 8 y 18 del perfil. Esta elevación del fondo del cauce a duras penas llega a superar los 10 cm en la mayor parte de los puntos de medida.

Figura 1.130. Sección transversal OI 05 en las mediciones julio 2017 (izquierda) y junio 2018 (derecha).

1.3.29. Sección transversal OI 06

La sección OI 06 se encuentra a unos 490m aguas arriba de la presa de Olloki tomando el centro aproximado de cauce y a unos 120m del final de la zona embalsada por la presa antes de la primera de las demoliciones.

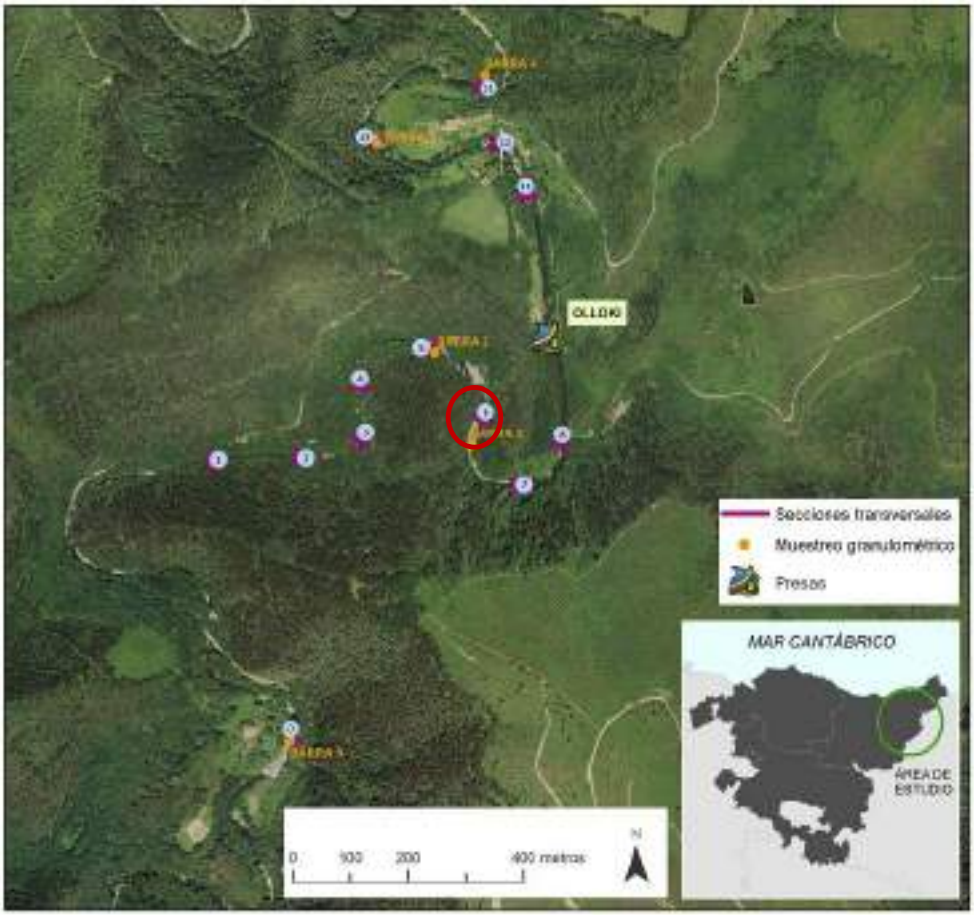


Figura 1.131. Ubicación de la sección transversal OI 06.

La sección OI 06 se ubica en la zona de cambio entre dos meandros muy marcados, aguas arriba el que conduce al río Leitzaran de circular dirección norte a hacerlo dirección sur, y otro que hace el trayecto en el sentido contrario, desembocando ya en el vaso de la presa de Olloki.

Esta sección se ubica justo en el punto en el que las barras sedimentarias cambian de margen, pasando de haber sedimentos en la margen derecha, la zona interna del primer meandro, a empezar a desarrollar depósitos en la zona izquierda, que se va configurando como margen interna del segundo meandro.

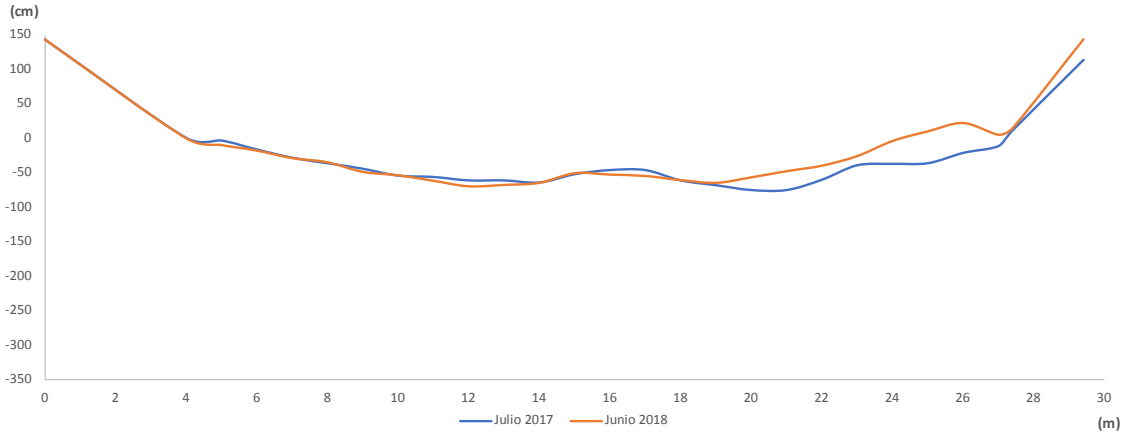


Figura 1.132. Sección transversal OI 06 en las mediciones de julio 2017 y junio 2018.

En la zona del perfil el cauce discurre con la zona de mayor profundidad en el centro, conectando de forma gradual con las laderas en ambas márgenes. En la margen izquierda aparece sustrato rocoso muy próximo a la superficie, con zonas de afloramiento unos metros aguas arriba de la zona del perfil.

La vegetación arbórea de ladera sigue siendo muy frondosa, con árboles de importante porte muy cerca del cauce. Parecen algunos ejemplares en las barras conforme se van consolidando y ganando amplitud, si bien suelen estar, en general, escasamente colonizadas, como ocurría en perfiles superiores, mostrando el buen dinamismo del sistema fluvial.

Destaca, en la comparativa entre perfiles en las campañas de campo de julio de 2017 y junio de 2018, la acreción en la margen derecha, sobre todo teniendo en cuenta que el resto del cauce se mantiene prácticamente idéntico. En la margen derecha la elevación del cauce alcanza, de forma puntual, los 50 cm.

Figura 1.133. Sección transversal OI 06 en las mediciones julio 2017 (izquierda) y junio 2018 (derecha).

1.3.30. Sección transversal OI 07

La sección OI 07 se encuentra a unos 320m aguas arriba de la presa de Olloki tomando el centro aproximado de cauce y en la parte final de la zona remansada la presa antes de la primera de las demoliciones.

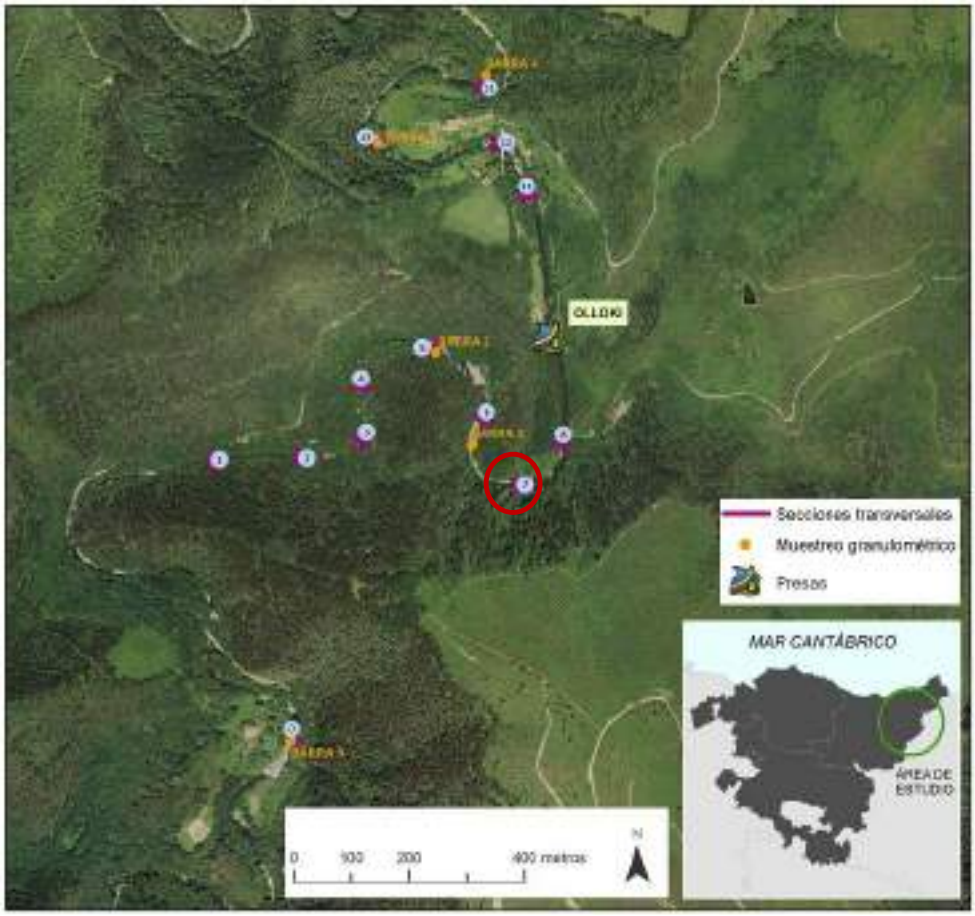


Figura 1.134. Ubicación de la sección transversal OI 07.

El perfil se ubica en la zona final de la represa de unos 300m creada por la presa de Olloki, justo en el ápice del meandro que, con un giro de 180º, hace cambiar la dirección del flujo de circular hacia el sur a encarar un tramo rectilíneo más prolongado, con dirección norte, en el que se inserta la presa de Olloki.

Fruto de esta ubicación el perfil presenta una zona claramente más profunda directamente adosada a la orilla derecha, la zona erosiva del meandro, que conecta de forma directa con la ladera, aflorando sustrato rocoso, mientras que conforme se avanza hacia la margen izquierda se va perdiendo profundidad sobre un lecho de materiales sedimentarios que configuran una barra que da paso a una zona llana más amplia que conecta con la llanura de inundación en el lóbulo interno del meandro.

Esta llanura de inundación de la margen izquierda presenta un sotobosque de poca densidad, pero abundantes árboles de diferente porte. El sustrato es eminentemente fino, con presencia de arenas que denotan la funcionalidad de esta zona en momentos de crecida.

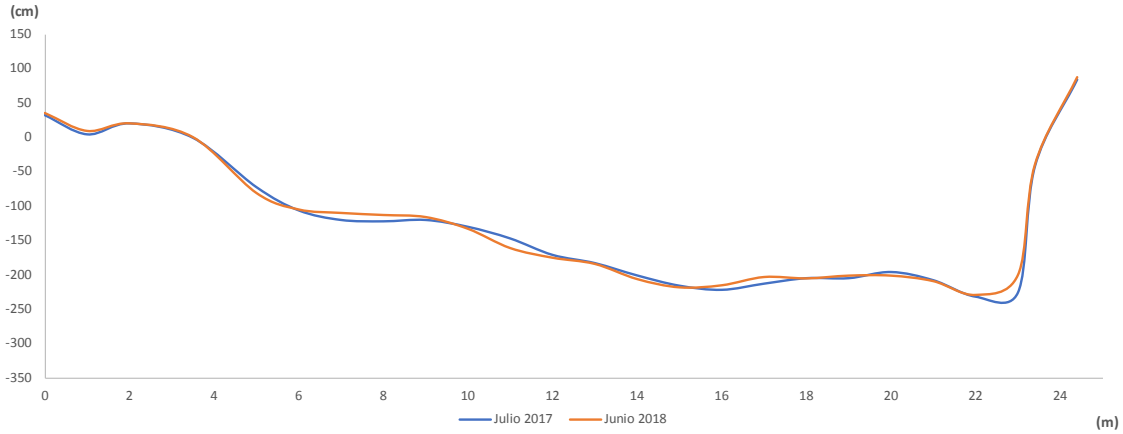


Figura 1.135. Sección transversal OI 07 en las mediciones de julio 2017 y junio 2018.

La comparativa entre la sección tomada en julio de 2017 y la realizada en junio de 2018 prácticamente no arrojan cambios, siendo la estabilidad la nota dominante en toda su amplitud.

Figura 1.136. Sección transversal OI 07 en las mediciones julio 2017 (izquierda) y junio 2018 (derecha).

1.3.31. Sección transversal OI 08

La sección OI 08 se encuentra a unos 190m aguas arriba de la presa de Olloki tomando el centro aproximado de cauce y ya netamente en la zona de aguas remansadas por la presa.

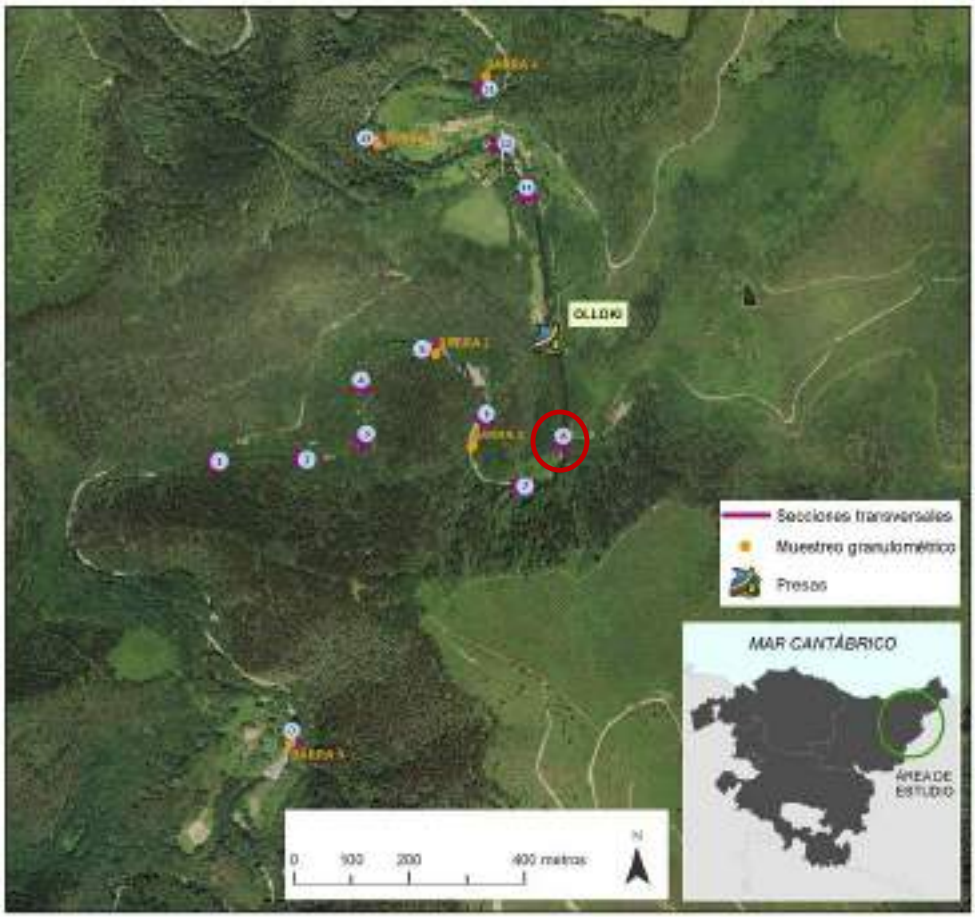


Figura 1.137. Ubicación de la sección transversal OI 08.

Se ha realizado la sección justo agua arriba de la confluencia con una pequeña regata, la regata Santolaz, que afluye al río Leitzaran por la margen derecha, creando un pequeño valle en el que se encuentra la central hidroeléctrica de Santolaz.

La morfología rectilínea que adquiere el trazado del cauce, así como los efectos de represa sobre los sedimentos arrastrados por el río condicionan tanto la morfología del cauce como la morfometría de los sedimentos del lecho. El cauce presenta un fondo más plano que los ubicados en curvas anteriores, generalmente con materiales finos, fruto de la represa de Olloki. Destaca la zona llana con algunos desniveles en la margen izquierda, continuación del lóbulo de meandro anterior, sobre la que se asienta vegetación arbustiva y arbórea. Los materiales en esta zona de inundación son finos, fruto de la deposición en momentos de crecida.

El contacto con las laderas en esta margen izquierda es muy progresivo haciendo una relativamente amplia zona de llanura. En la margen derecha el contacto es mucho más brusco, incluso apareciendo zonas de rocas/sustrato rocoso, si bien aguas abajo del perfil se recibe el

barranco tributario, lo que abre un tanto el valle y genera un pequeño delta sedimentario en el vaso de la presa de Olloki.

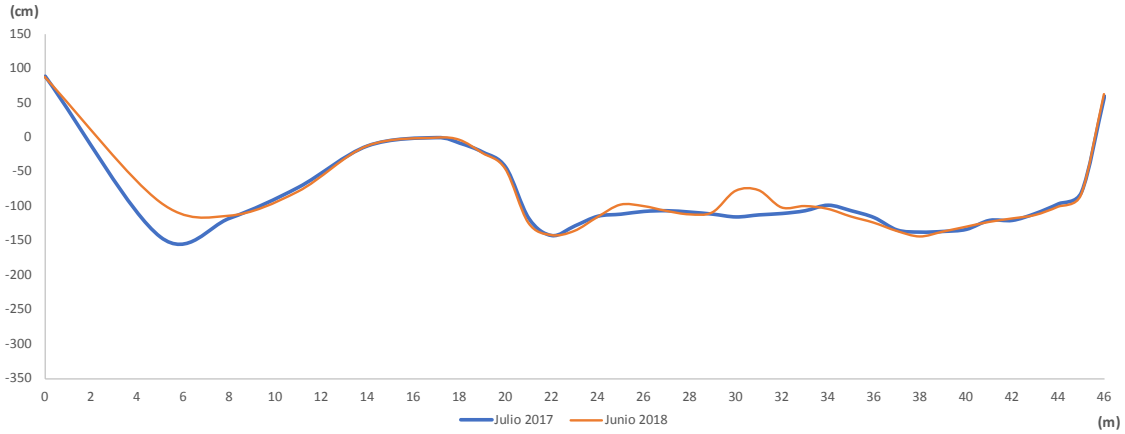


Figura 1.138. Sección transversal OI 08 en las mediciones de julio 2017 y junio 2018.

De nuevo, como en el perfil anterior, prácticamente no hay cambios en la sección entre julio de 2017 y junio de 2018. Sólo de forma muy puntual, o alejada del cauce menor, se registran algunos cambios, siendo la estabilidad, como es normal en una zona ya con claros ejemplos de represa por la presencia de la barrera de la presa de Olloki.

Figura 1.139. Sección transversal OI 08 en las mediciones julio 2017 (izquierda) y junio 2018 (derecha).

1.3.32. Sección transversal OI 11

La sección OI 11 se encuentra a unos 220 m aguas abajo de la presa de Olloki tomando el centro aproximado de cauce. Es la primera sección bajo la presa.

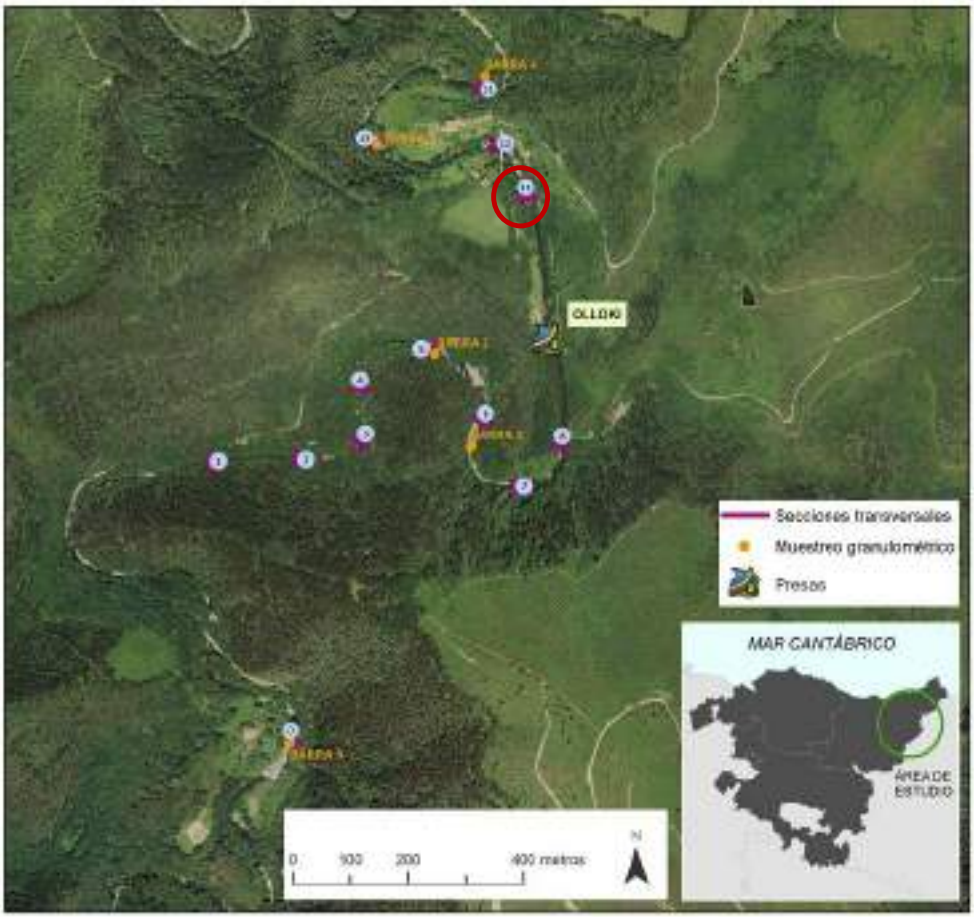


Figura 1.140. Ubicación de la sección transversal OI 11.

La sección OI 11 se encuentra ya mediado el tramo rectilíneo que hay entre la presa y vaso de Olloki y una curva de 90º hacia la izquierda, sobre la que se instalan dos puentes, el actual por el que pasa la vía verde del antiguo ferrocarril, y otro más antiguo, aguas arriba.

El cauce muestra cambios significativos sobre la morfología aguas arriba de la presa. Hay muchos menos materiales finos, incluso aflorando con frecuencia el sustrato en el lecho. Además, las márgenes se encuentran más alteradas, incluso aguas arriba del perfil, hay unas decenas de metros canalizados, que parten desde la propia presa de Olloki, con lo que el perfil transversal en esa zona está más modificado.

En el propio perfil, y aguas arriba, aparecen materiales de construcción o partes de una antigua solera de hormigón en el cauce.

El contacto con las márgenes es bastante brusco en el caso de la margen derecha, en la que enseguida se alcanza la pista que conduce a la presa, y esta limita con una abrupta ladera. La margen izquierda es un tanto más progresiva, dando paso a algunos campos, en general de diente, que se ubican en la zona junto con las antiguas dependencias de la presa y otras infraestructuras, ahora en desuso.

La ladera derecha presenta una menor cobertura arbórea que en zonas anteriores. Aguas abajo hay un importante deslizamiento que ha afectado a la pista forestal y ha depositado materiales en el cauce del río.

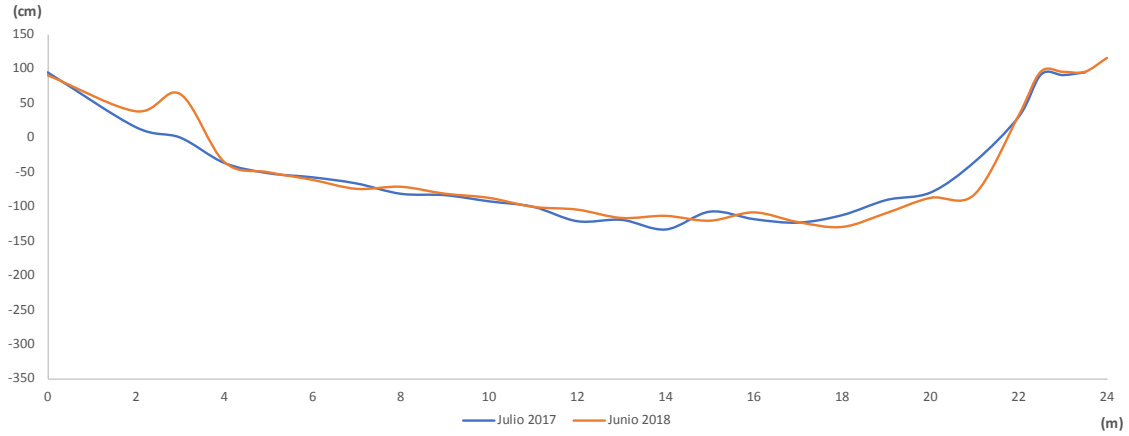


Figura 1.141. Sección transversal OI 11 en las mediciones de julio 2017 y junio 2018.

El primero de los perfiles aguas abajo de la presa de Olloki no muestra cambios significativos en las dos campañas realizadas de forma anterior al derribo de ese obstáculo. Conviene citar que en la margen izquierda se produjo la caída de un gran árbol que obligó a recolocar los testigos laterales en esa zona. Las variaciones entre perfiles son muy escasas y no presentan un patrón concreto.

Figura 1.142. Sección transversal OI 11 en las mediciones julio 2017 (izquierda) y junio 2018 (derecha).

1.3.33. Sección transversal OI 12

La sección OI 12 se encuentra a unos 330 m aguas abajo de la presa de Olloki tomando el centro aproximado de cauce. Dista unos 110 m de la sección OI 11, inmediatamente aguas arriba.

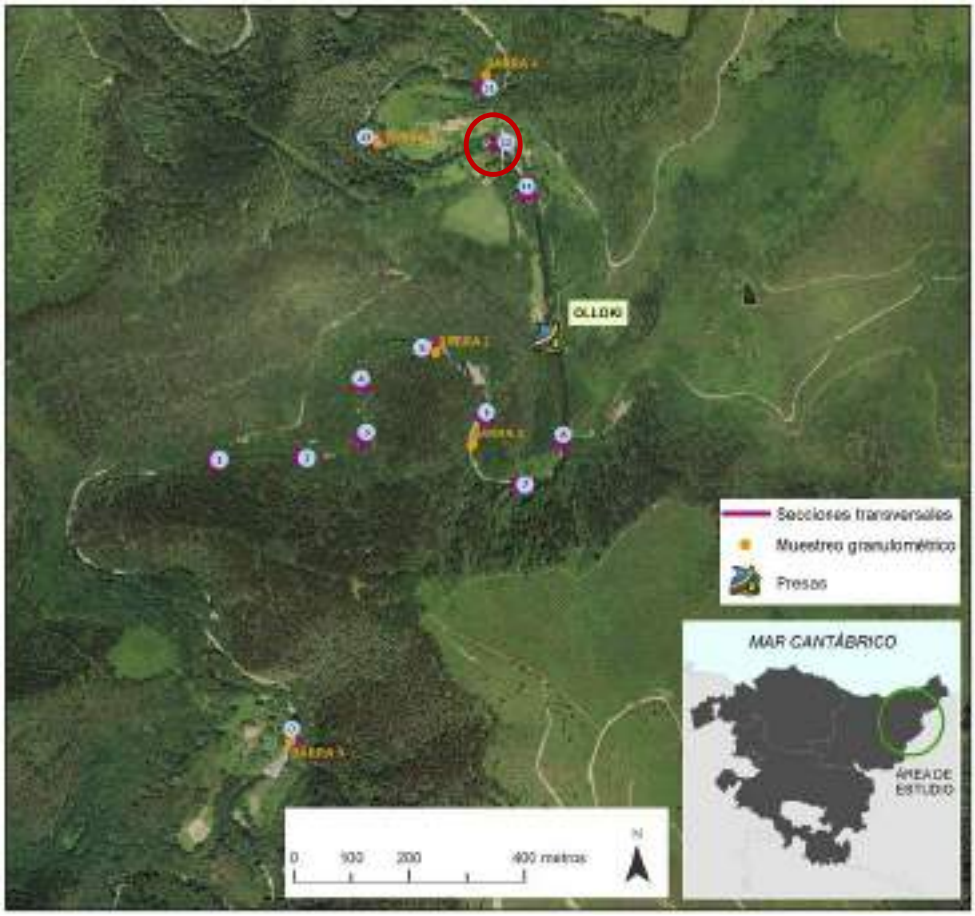


Figura 1.143. Ubicación de la sección transversal OI 12.

La sección OI 12 se ubica justo a la salida de la curva de 90º hacia la izquierda que traza el río Leitzarán tras unos cientos de metros de recorrido rectilíneo, en el que se incluye la propia presa de Olloki. Esta curva es, en realidad la entrada a otro meandro de 180º en el que el río pasa de circula hacia el oeste a hacer en dirección este.

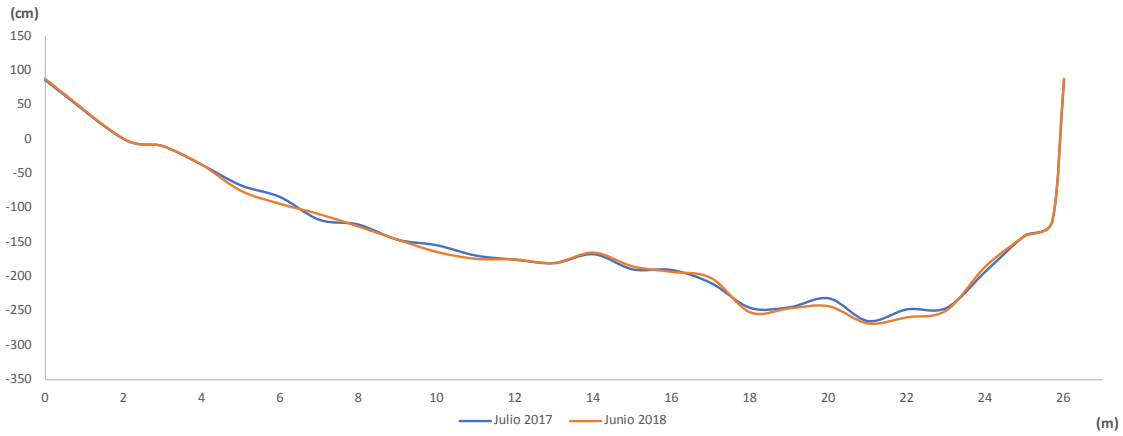


Figura 1.144. Sección transversal OI 12 en las mediciones de julio 2017 y junio 2018.

El cauce, como sucedía en zonas de curva aguas arriba, tiene su zona más profunda en la margen erosiva, en este caso la derecha, remontando poco a poco hacia la margen izquierda donde forma una barra de materiales sedimentarios, generalmente de tamaño de gravas y cantos. En las zonas más profundas y en la margen derecha aparecen zonas de sustrato.

En ambas márgenes hay muretes y construcciones defensivas relacionadas con el puente de la vía verde que, aunque no canalizan de forma total el cauce, ya que queda un cierto espacio para las comentadas barras y la presencia de vegetación, sí que suponen una cierta alteración en la posible dinámica.

Un poco más alejados se encuentran prados de pastos y algunos senderos o antiguos caminos jalonados por muertes de piedra y con árboles de buen porte en sus márgenes.

La comparativa entre el perfil realizado en julio de 2017 y el resultado de la campaña de campo de junio de 2018 arroja dos perfiles prácticamente idénticos, siendo los cambios muy poco considerables y muy puntuales.

Figura 1.145. Sección transversal OI 12 en las mediciones julio 2017 (izquierda) y junio 2018 (derecha).

1.3.34. Sección transversal OI 13

La sección OI 13 se encuentra a unos 580m aguas abajo de la presa de Olloki tomando el centro aproximado de cauce. Dista unos 230m de la sección OI 12, inmediatamente aguas arriba.

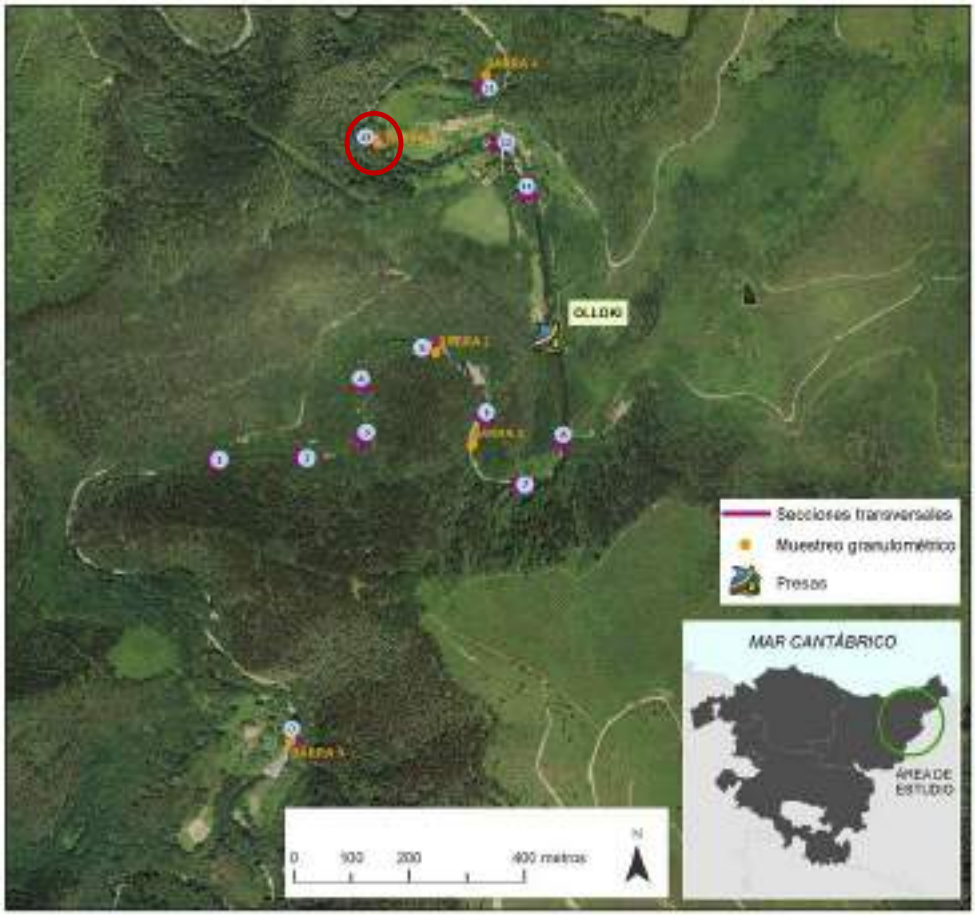


Figura 1.146. Ubicación de la sección transversal OI 13.

La sección OI 13, penúltima de las realizadas en esta fase del trabajo se ubica casi en el vértice del señalado meandro que traza el río Leitzaran creando una marcada curva de 180º que supone un cambio en el trazado más o menos rectilíneo que desarrollaba el río en la zona de la presa de Olloki y que, de hecho, enlazaría con la zona de salida del meandro, que vuelve a tener, durante unas decenas de metros, esa misma dirección hacia el norte.

La zona interna del meandro, con una sensible elevación, alberga un caserío y campos de siega y pasto con algunos frutales. De hecho, este caserío se ubica unos 20 m sobre el nivel del río lo que, teniendo en cuenta que dista del cauce tan sólo unos 45 m en la zona más cercanas a este, da idea de la pendiente que tiene el relieve en este tramo del meandro.

El cauce muestra un doble canal, ambos con circulación de agua, si bien la mayor parte del caudal, en aguas bajas, circula por el canal más externo, el que circula pegado a la margen izquierda, que es la erosiva del meandro. Entre ambos canales se forma una barra sedimentaria, con materiales de calibre considerable, con coraza de bloques y cantos. Esta

barra alberga, a lo largo de su superficie, algunos ejemplares arbóreos de buen porte, así como zonas de vegetación arbustiva.

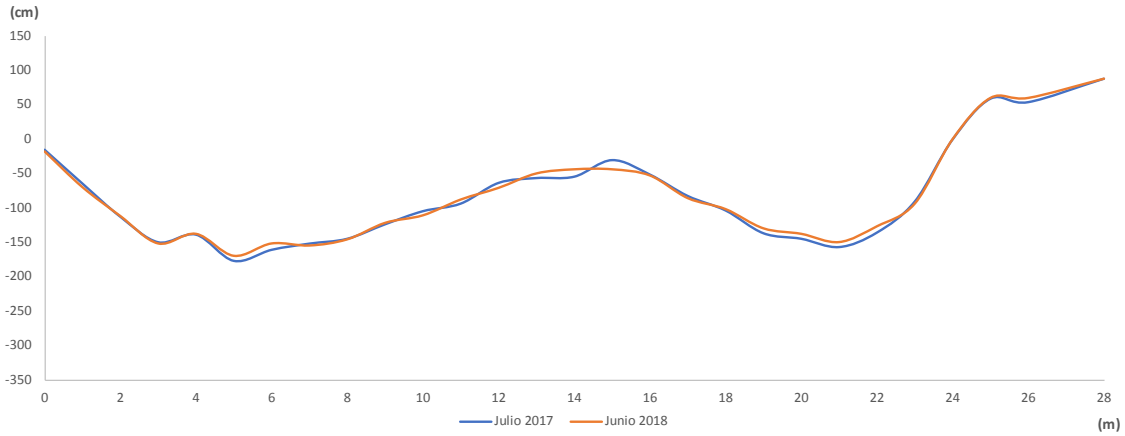


Figura 1.147. Sección transversal OI 13 en las mediciones de julio 2017 y junio 2018.

El contacto con las márgenes es diferenciado, siendo la margen izquierda más abrupta, como corresponde a la margen erosiva, aflorando el sustrato rocoso y dando paso enseguida a vegetación de ladera, con un bosque frondoso. La margen izquierda es más tendida, aunque enseguida se encuentra un murete de piedras que da paso a las zonas de pasto y siega de la parte interna del meandro.

El igual que las secciones anteriores, los cambios entre el perfil realizado en julio de 2017 y el hecho en junio de 2018 son imperceptibles. No ha habido cambios durante esos casi 12 meses.

Figura 1.148. Sección transversal OI 13 en las mediciones julio 2017 (izquierda) y junio 2018 (derecha).

1.3.35. Sección transversal OI 14

La sección OI 14 se encuentra a unos 780m aguas abajo de la presa de Olloki tomando el centro aproximado de cauce. Dista unos 260m de la sección OI 13, inmediatamente aguas arriba.

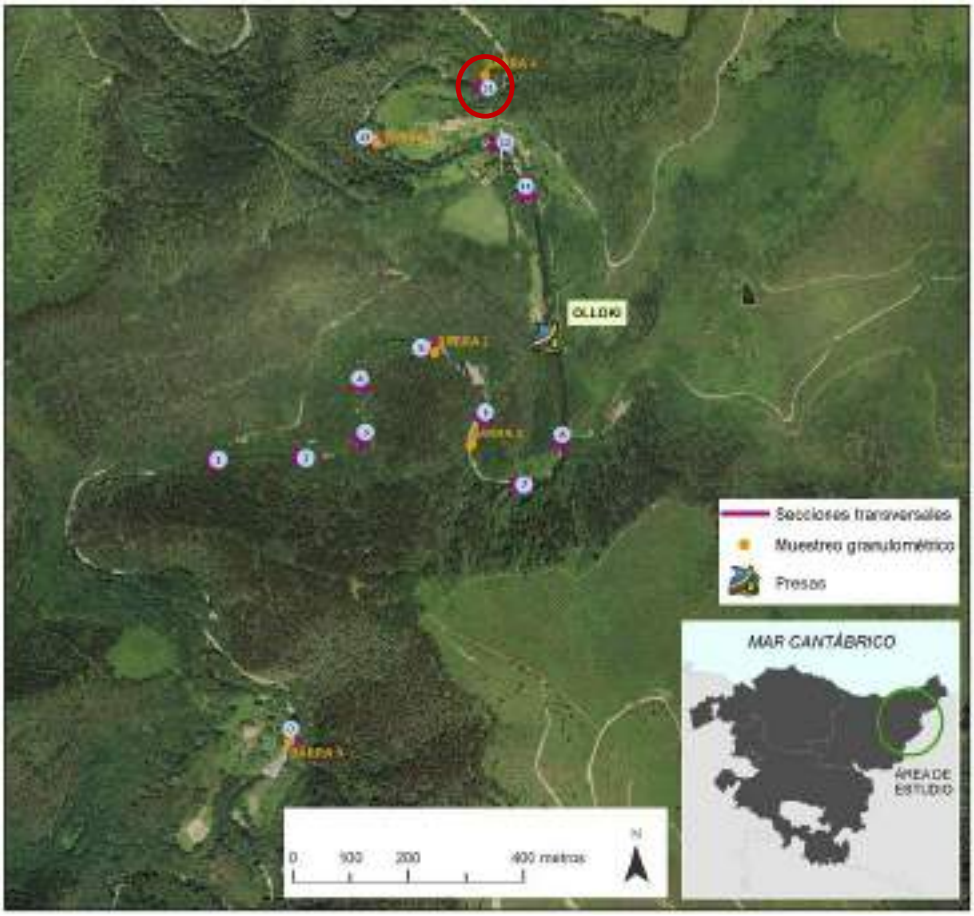


Figura 1.149. Ubicación de la sección transversal OI 14.

La sección OI 14 es la última de las realizadas en esta fase del trabajo. Se ubica justo a la entrada de la curva cerrada que traza el río Leitzaran hacia la izquierda para dejar el pronunciado meandro que dibuja aguas arriba. Justo aguas abajo de la sección se ubica la barra nº4, donde se realizan muestreos superficiales y subsuperficiales.

Esa barra se ubica en la margen izquierda, la orilla sedimentaria del meandro, siendo el contacto en la margen derecha mucho más abrupto y con un apreciable desnivel que conduce, en una empinada ladera, a la pista que sigue el trazado del antiguo ferrocarril que, justo en este punto, traza un túnel para evitar el importante desnivel que conforma la espina dorsal del meandro que ha trazado el río en el tramo superior. Ambas laderas presentan una densa cobertura vegetal, tanto de sotobosque arbustivo como de porte arbóreo.

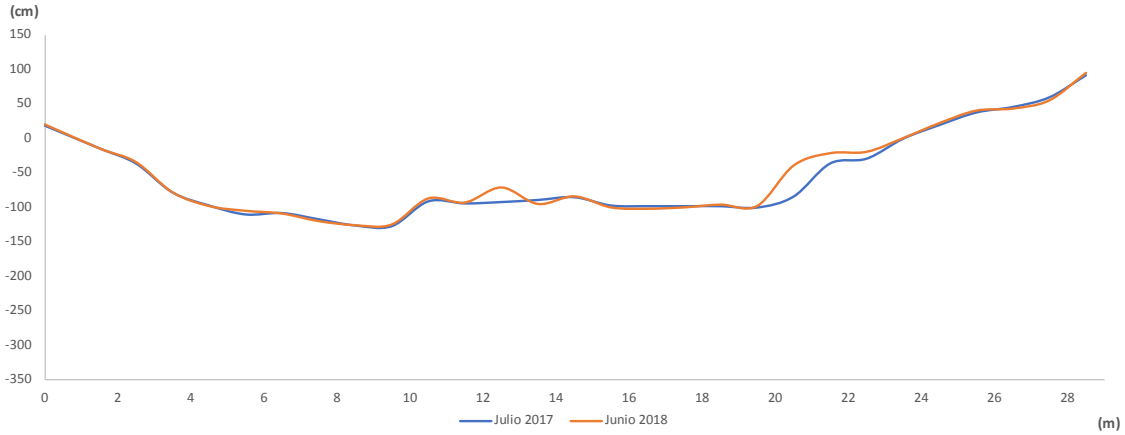


Figura 1.150. Sección transversal OI 14 en las mediciones de julio 2017 y junio 2018.

El cauce, dado que el perfil se ubica justo a la entrada de la curva, no presenta una clara diferencia de profundidad entre sus dos mitades. Los materiales del lecho combinan afloramientos del sustrato con granulometrías de tamaño bloque y canto. Con poco material de granulometrías menores. En la margen derecha, aunque no llegue a apreciarse en la imagen del perfil, enseguida aparece el sustrato y se torna más vertical, mientras que la margen izquierda, siendo también abrupta, tiene una transición un tanto menos brusca.

El último de los perfiles realizado para el seguimiento de la dinámica del río Leitzaran en el entorno de la presa de Olloki muestra cambios poco significativos y puntuales, siendo el más llamativo una cierta acreción en el extremo derecho del perfil, ya en contacto con la zona de ladera. En campo no se aprecia una relación directa con la dinámica fluvial, sino con la propia dinámica de ladera.

Figura 1.151. Sección transversal OI 14 en las mediciones julio 2017 (izquierda) y junio 2018 (derecha).

1.4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El análisis de los datos de evolución de los perfiles obtenidos durante las diferentes campañas de trabajo de campo posibilita la obtención de cuatro dinámicas diferentes dependiendo de la zona donde nos encontremos:

Figura 1.152. Ubicación de las secciones transversales.

Las 6 primeras secciones (Figura 146), ubicadas a más de 1500 m de distancia de la cerrada de la presa de Inturia, y a unos 400 m de los efectos de represamiento visibles en la lámina de agua. En esta zona los efectos de la demolición de la presa de Inturia no han sido visibles. No se aprecia una tendencia clara a la incisión, siendo la estabilidad la nota dominante. Esta ausencia de cambios significativos afecta tanto a las zonas rectilíneas como a las pronunciadas curvas que, como en el resto de la zona de estudio, traza el río con un cauce bastante encajado. La granulometría del lecho en todo este sector está dominada por los materiales gruesos, siendo muy abundante la presencia de cantos y bloques, en ocasiones mucho mayores de los 20 cm que limitan su denominación.

Tras la última campaña de campo, en el mes de junio de 2018, se confirma la estabilidad de este sector, siendo los cambios en los perfiles muy de detalle o bien achacables a la propia dinámica natural del río, sin relación con el derribo de la presa. Esto es una constante desde el inicio del estudio, siendo en perfiles ubicados más agua abajo donde empiezan a verse los cambios.

En las primeras campañas de campo, esta zona estable se detectó en los 8 primeros perfiles, pero, como sucedió en la campaña de 2017, se aprecian algunos cambios en los perfiles 7 y 8, (Figura 147), sobre todo con los cambios de pendiente, generando un cambio que bien puede ser interesante de controlar en las campañas de campo posteriores. Se ha hecho un grupo con estos dos perfiles, de cara a reflejar ese comportamiento ligeramente diferente de los perfiles más estables (1 – 6). En este sentido, la campaña de junio de 2018 sigue marcando ese mayor dinamismo respecto a secciones superiores, si bien no hay una tendencia clara y homogénea a la incisión.

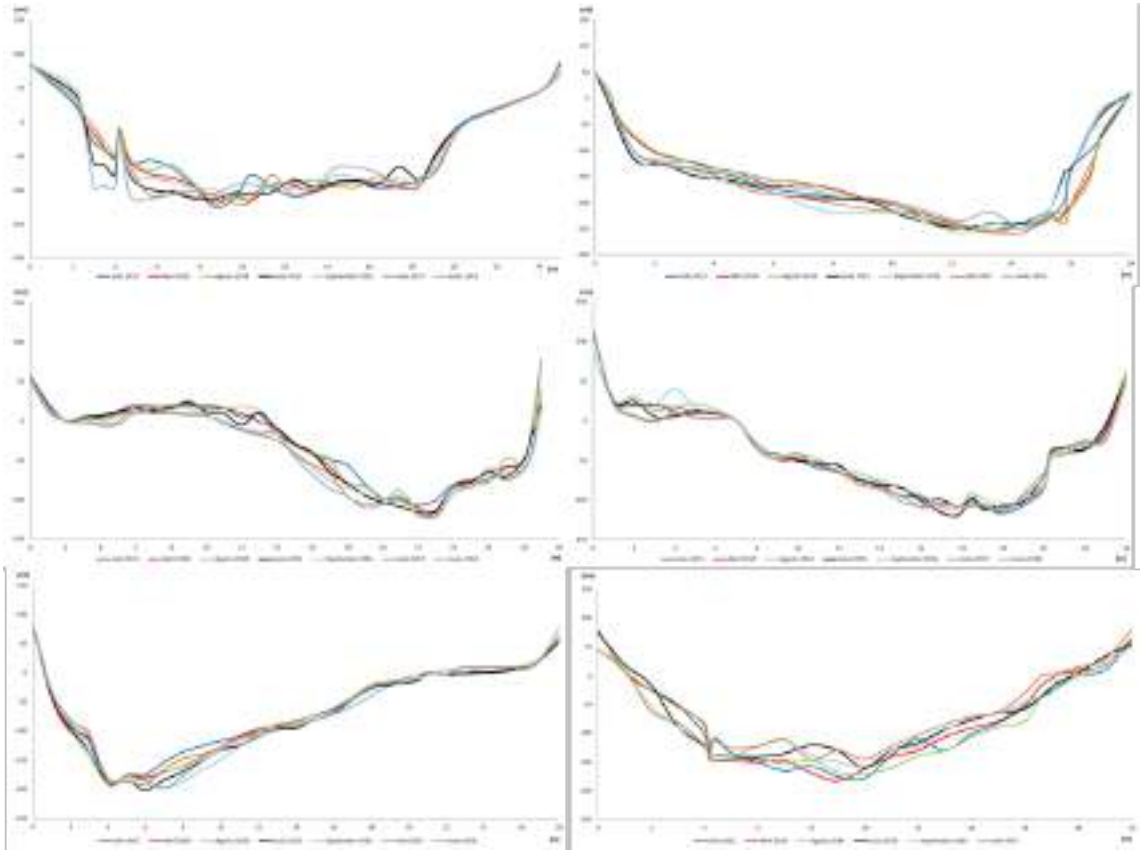


Figura 1.153. Secciones transversales de características similares, grupo 1 (secciones 1, 2, 3, 4, 5 y 6).

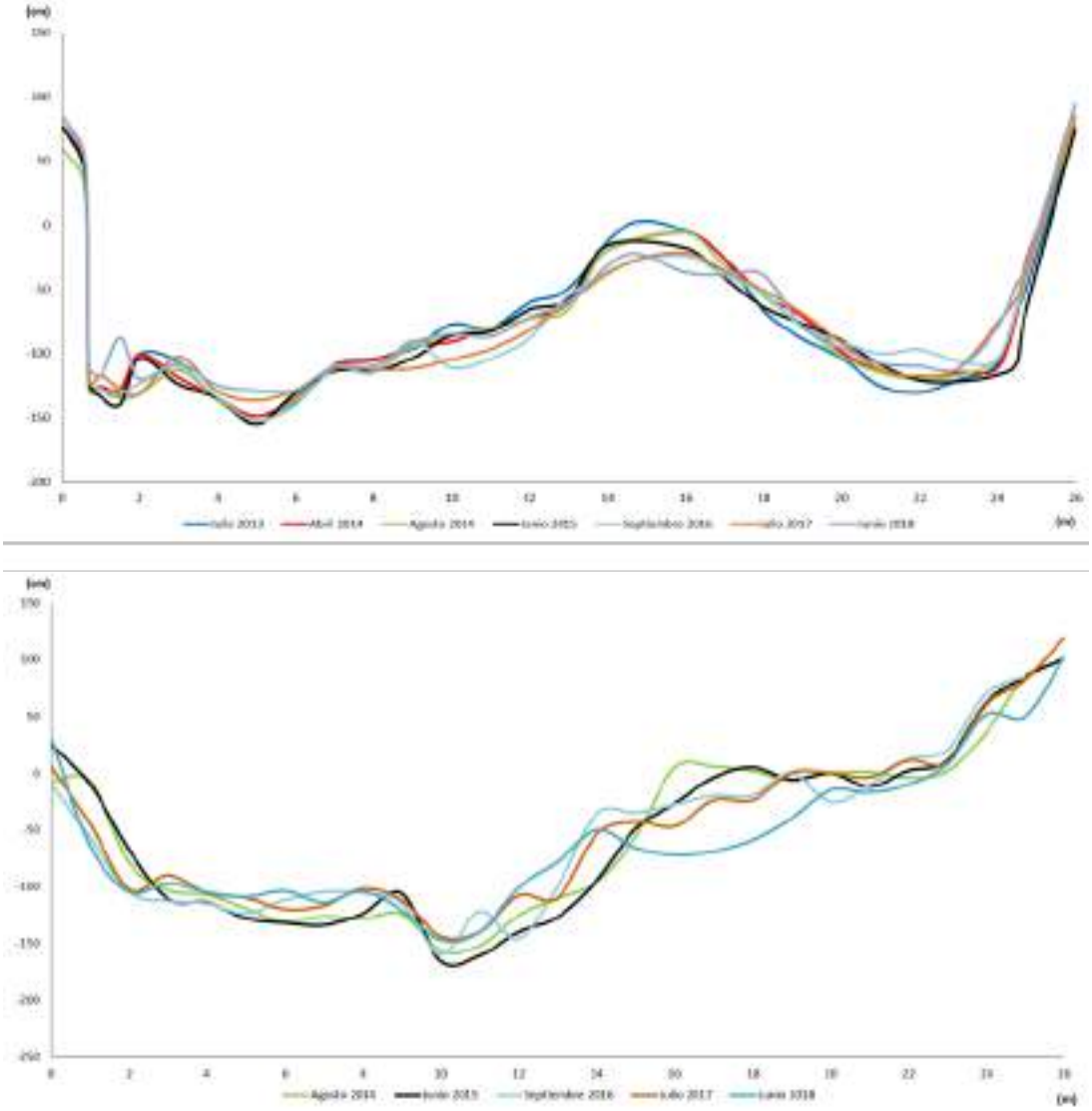


Figura 1.154. Secciones transversales de características similares, grupo 2 (secciones 7 y 8).

Las secciones desde la 9 hasta la 13 (Figura 148), están ubicadas en la zona de influencia del vaso del azud original, sin llegar a estar en la zona remansada por el mismo -si bien la sección 13 ya presentaba escasa corriente-. Se encuentran entre los 1150 m y 1500 m aguas arriba del azud de Inturia.

En esta zona las secciones comparadas de la primera y la segunda campaña de trabajo de campo, llevadas a cabo en julio de 2013 y abril de 2014, muestran una significativa tendencia a la incisión en la práctica totalidad de la sección, llegándose a superar incisión de más de 100 cm de zonas concretas. Esta incisión acarrea un encajamiento del río entre sus orillas, quedando unos marcados taludes que, teniendo en cuenta la presencia de árboles adosados a las orillas -plataneros en su mayoría- puede acarrear la progresiva caída de esto, así como la desestabilización puntal de las orillas con colapsos puntuales. En las campañas posteriores, hasta la última de 2018, se ha incrementado el proceso erosivo en todas estas secciones, si

bien algunas de ellas ya no se inciden más, y más parece que quedan en un proceso de ajuste, con pequeñas variaciones.

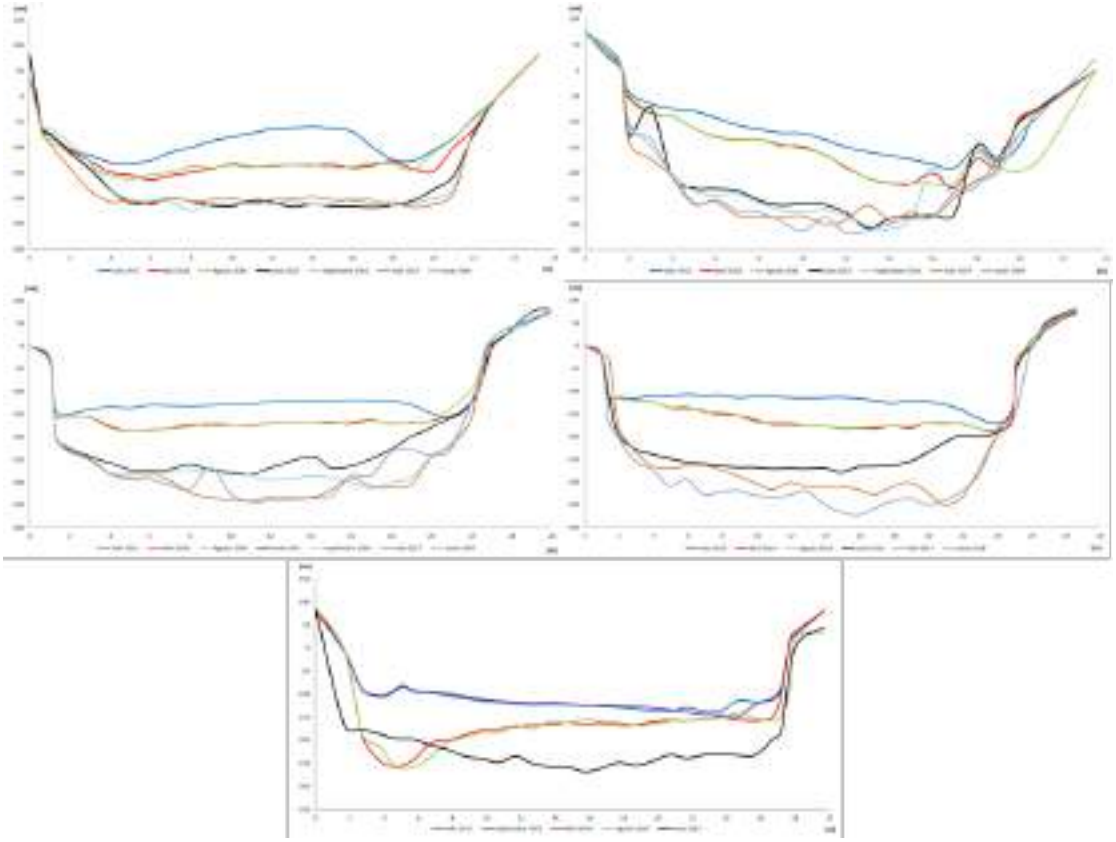


Figura 1.155. Secciones transversales de características similares, grupo 3 (secciones 9, 10, 11, 12 y 13)

La granulometría del lecho tiende a ser más gruesa, con dominio de gravas y cantos frente a la mayor presencia de arenas anteriores al derribo. Los taludes laterales, fruto de la incisión del cauce, tienden a ser más acusados y a inestabilizarse.

La incisión es muy importante superando con frecuencia el metro de profundidad respecto a lo recogido en la campaña de campo del año 2014, e incrementándose notablemente en algunos perfiles, que han quedado muy incididos. Como se ha citado, ya en 2017, y continuando en 2018, parece que el proceso de incisión se ha desacelerado de forma muy sensible, especialmente en los primeros perfiles del sector, que escasamente varían.

En general los nuevos perfiles se muestran muy homogéneos y con tendencia a ubicar la zona de mayor profundidad en el centro del cauce, especialmente en los que se localizan en las zonas rectilíneas, que son la mayoría de este grupo. Quizá destaca el perfil 12, donde se nota una mayor incisión en las márgenes y no tan focalizadas en el centro del cauce, si bien la campaña de 2018 sigue mostrando que la incisión todavía no se ha estabilizado aquí en la medida en la que sí que parece haberlo hecho en los perfiles superiores de este grupo. Hay que destacar que los cambios se activan y se producen en periodos de aguas altas y con presencia de crecidas, siendo muy menores en caso de que sólo circulen caudales de estiaje o bajos.

Las secciones 14, 15 y 16 insertadas en el antiguo vaso de la presa de Inturia y cuyas primeras mediciones se realizaron una vez demolidos los 3 m culminantes de esta barrera ya que

anteriormente no se podía acceder con el detalle necesario. En estas secciones se constata una acelerada incisión, así como la desestabilización de los márgenes y taludes que se encontraban adosadas a la lámina de agua estable que se veía remansada por la presa. En la actualidad los procesos de evacuación de materiales finos continúan y los cambios en la morfología del cauce son acusados y muy probablemente tengan un mayor recorrido temporal que el que se ha podido analizar hasta el momento.

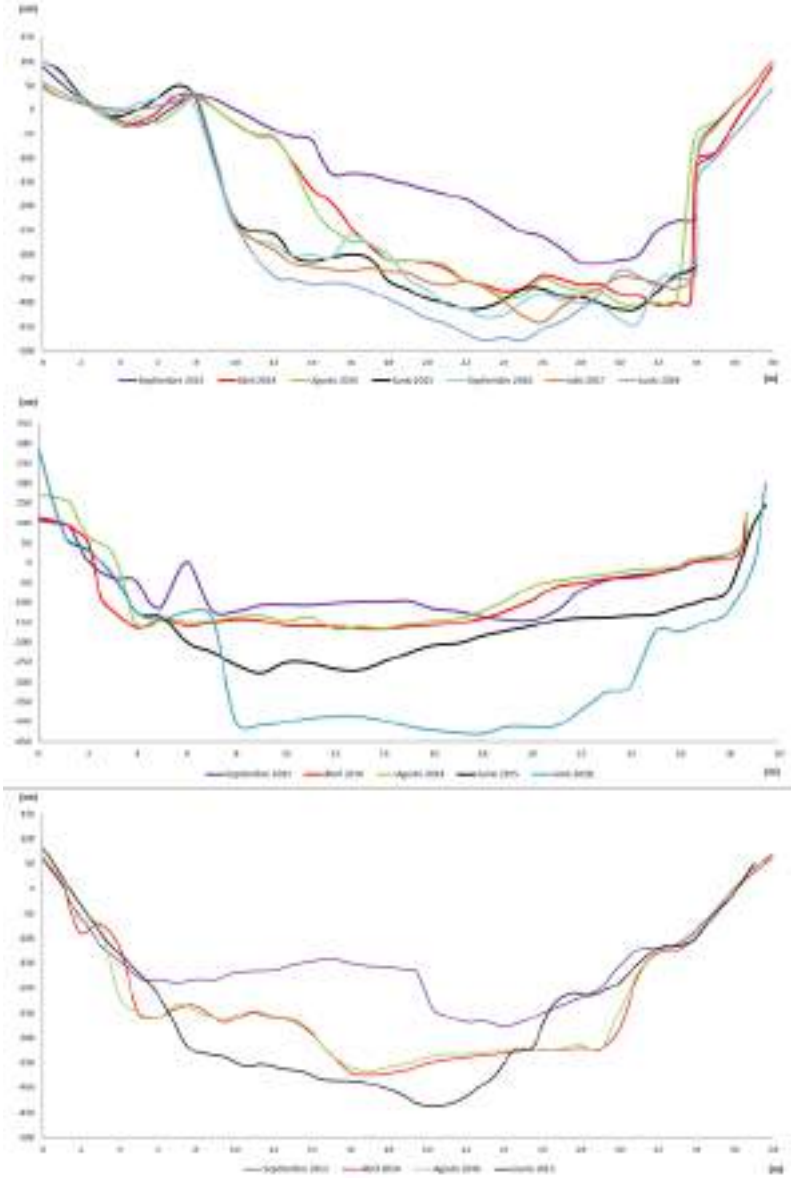


Figura 1. 156. Secciones transversales de características similares, grupo 4 (secciones 14, 15 y 16)

La última de las medidas, en 2018, allí donde se ha podido realizar, ha constatado que son, al igual que en el grupo anterior, los periodos de aguas altas los que movilizan el material de forma más rápida y eficaz, mientras que las campañas entre las que no han ocurrido crecidas no han conseguido suponer cambios significativos.

De la sección 17 tan solo se tiene una medición. De las secciones 18 y 19 (Figura 157), más aguas abajo de las anteriores y ya cercanas a la cerrada de la presa de Inturia, se dispone de

dos mediciones, la realizada en agosto de 2014, y la realizada en junio de 2015. Y del perfil 19, una nueva realizada en junio de 2018.

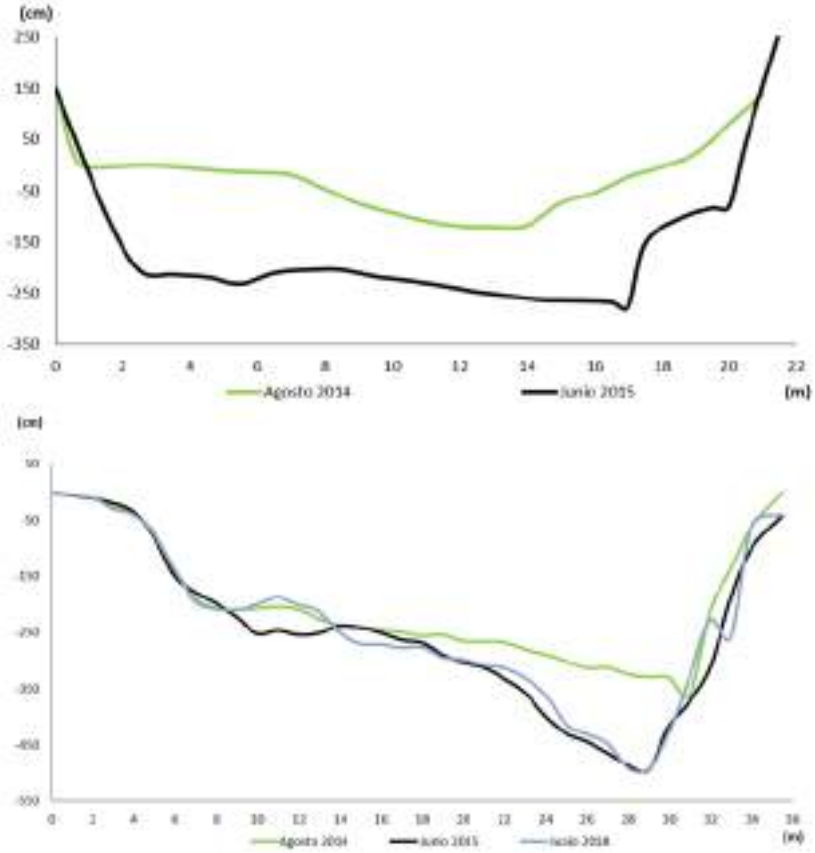


Figura 1. 157. Secciones transversales de características similares, grupo 5 (18 y 19).

Como era de esperar por la evolución de los perfiles ubicados inmediatamente aguas arriba de estos, el río ha erosionado muy rápidamente gran cantidad de sedimentos que tapizaban y colmataban el vaso de la presa. Este proceso, ya activado en la campaña de 2014, deberá ser seguido en nuevas campañas con el fin de poder ver el grado de evolución que presenta, si bien, como sucedía con perfiles anteriores, el gran cambio detectado entre la penúltima y la última campaña de campo, hace suponer que el proceso de incisión y evacuación de materiales va a continuar.

En el mismo sentido se han detectado procesos de margen más acusados que en perfiles anteriores, con caída de árboles, y deslizamientos de los materiales que componen las laderas y el antiguo fondo sedimentario del vaso de la presa.

La morfología de las márgenes y de los depósitos aún no evacuados indican que los procesos de cambio no están, ni mucho menos, finalizados.

De hecho, en la zona cercana a la antigua presa ha sido necesaria la actuación sobre la curva erosiva de un meandro marcado, donde se estaban dando procesos erosivos importantes. Se ha creado una escollera en la zona erosiva con el fin de proteger la pista forestal -vía verde- que recorre el valle del río en esta zona. También se excavó parte del lóbulo interno del

meandro, margen izquierda, desplazando el cauce hacia esa orilla. Dado que tras la construcción de la escollera, la dinámica propia del meandro, erosiva en la margen cóncava, proseguía con su proceso de erosión lateral y socavación, se ha reforzado con un muro krainer.

En esta zona, la campaña de 2018, muestra una estabilización del conjunto del perfil, sin incisiones apreciables, si bien la alteración al perfil en los trabajos de fijación de la margen derecha, supuso la regularización del perfil y su estabilización al frenar la erosión de la margen derecha.

De lo expuesto anteriormente se deduce que la retirada parcial de la presa de Inturia ha conllevado una clara activación de los procesos verticales y también, en buena parte de la zona de estudio. De los 19 perfiles que se han hecho aguas arriba de la presa hasta 10 muestran evidentes cambios, muy acusados, tras el derribo y, muy posiblemente, su evolución no esté ni mucho menos completada, siendo probable que acabe por alcanzar a algún perfil más aguas arriba por procesos de erosión remontante.

Las secciones aguas abajo del azud (Figura 151) muestran un comportamiento diferente a las localizadas aguas arriba del azud. En un primer momento, y pese a la demolición de 3 m de azud del total de 12 m que tenía la presa, no se apreció ninguna tendencia en esta zona, probablemente porque el tamaño de la presa y la retención de sedimentos que ha ejercido durante décadas ha ido limpiando este tramo de materiales finos, hasta la cola del azud de Bertxin, quedando un lecho acorazado con bloques y algunos cantos que presentan resistencia a la incisión o la acreción. Sin embargo, tras el segundo de los derribos los aportes de finos sí que han sido sensibles, especialmente en los primeros cientos de metros tras la presa.

En la última campaña de campo, de junio de 2018, se constata que los cambios en la morfología del cauce siguen siendo frecuentes, especialmente relacionados con la movilización de finos y con cambios más sustanciales en el caso de la sección 22, donde se ha acumulado una gran cantidad de material heterogéneo, provocando una sensible acreción que, aunque menor, también se aprecia en el perfil número 23. Bien es cierto que la campaña de 2018, la última llevada a cabo, parece mostrar una cierta ralentización de estos cambios, así como una menor presencia de finos, probablemente ya menos disponibles en el conjunto una vez que se han evacuado, en buena medida, los sedimentos retenidos durante décadas en el vaso de la presa.

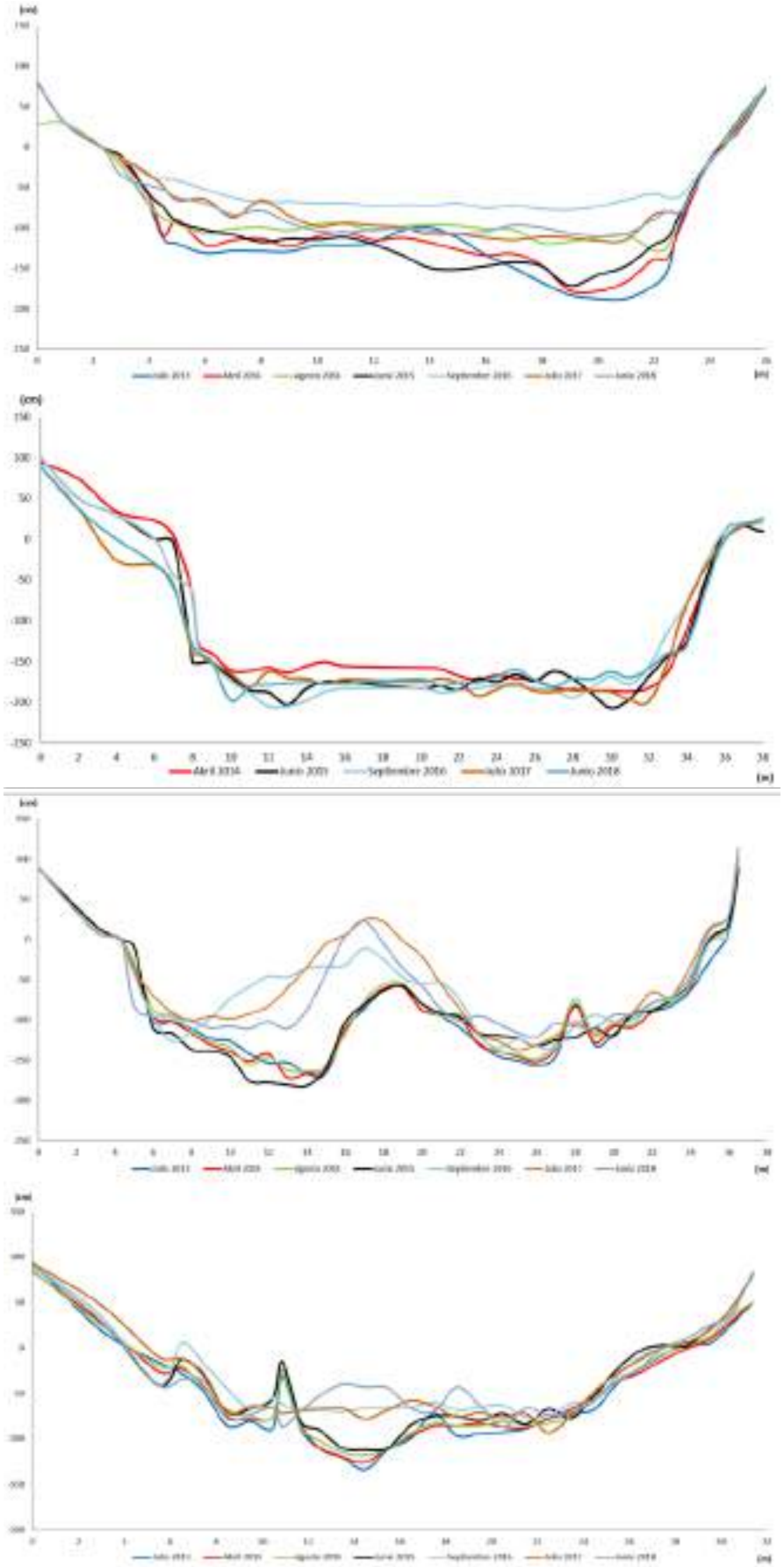


Figura 1.158. Secciones transversales de características similares, grupo 6 (secciones 20, 21, 22 y 23)

2. PERFIL LONGITUDINAL Y PENDIENTE LOCAL

Una de las consecuencias más importantes que se producen tras el derribo de un obstáculo de las características de la presa de Inturia es la modificación del perfil longitudinal, de la pendiente del lecho fluvial. Los materiales sedimentados en el lecho del vaso del embalse son propensos a movilizarse aguas abajo, modificando el talweg (zona más profunda del valle) y pudiendo cambiar de forma local la morfología en planta del cauce.

Con la ayuda de las batimetrías realizadas en el embalse de Inturia (en 2009 y en abril de 2014) y de Bertxin (en primavera de 2013 y abril de 2014) se han elaborado sendos perfiles longitudinales. Dado que el detalle del fondo del valle no permite una precisión inferior a 1 metro, estos perfiles se han calculado entre la sección transversal 7 (ver capítulo anterior) y el azud de Bertxin. En todo caso, la zona más dinámica está comprendida entre las dos secciones.

El perfil longitudinal se ha realizado por el talweg del valle. Para ello, se ha digitalizado un curso fluvial detallado y, posteriormente, se han extrapolado los datos de altitud con ayuda del modelo digital del terreno y el TIN construidos para la tarea. El resultado es un curso fluvial de 2798 metros

El perfil longitudinal previo al derribo de la primera fase de la presa de Inturia es el que se puede ver en el gráfico inferior. Sobre él se han colocado los puntos de medición de las secciones transversales de las campañas de julio y septiembre de 2013.

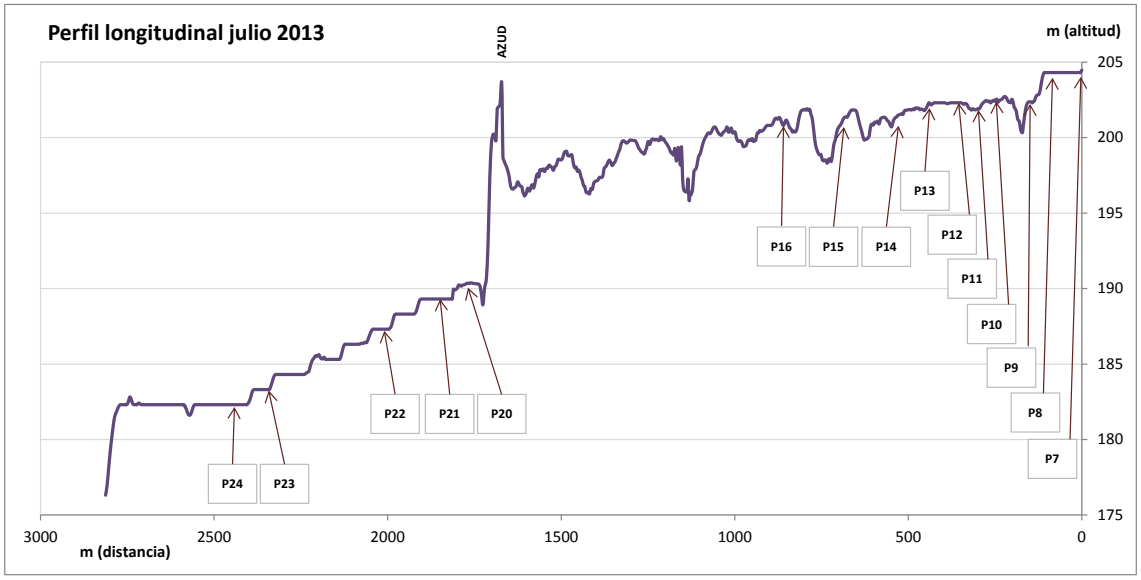


Figura 2.1. Gráfico del perfil longitudinal previo a la primera fase de demolición de la presa de Inturia.

Las zonas comprendidas entre el perfil 7 y 8, así como entre el perfil 20 y 23 tienen un menor detalle porque las batimetrías no incluían esas zonas, con lo que el detalle de información topográfica tuvo que ser completado con la información LIDAR de precisión 1m. Se pueden ver claramente las zonas de pozas que existían en el vaso del azud, con profundidades de más de 4 metros.

Para el año 2014, se han utilizado los datos de la batimetría realizada a tal efecto, previa a la segunda fase de derribo de la presa de Inturia. Se ha procedido a dibujar un nuevo curso fluvial de detalle que, en este caso, ha resultado ser de 2.872 metros. Tanto el inicio como el final de este curso fluvial y el realizado para 2013 es el mismo. La explicación para el aumento de 74 metros en la longitud del río reside en que, en la zona del antiguo vaso del embalse, el río ha generado pequeñas sinuosidades en los materiales del fondo, por lo que el río es sensiblemente más largo en este análisis.

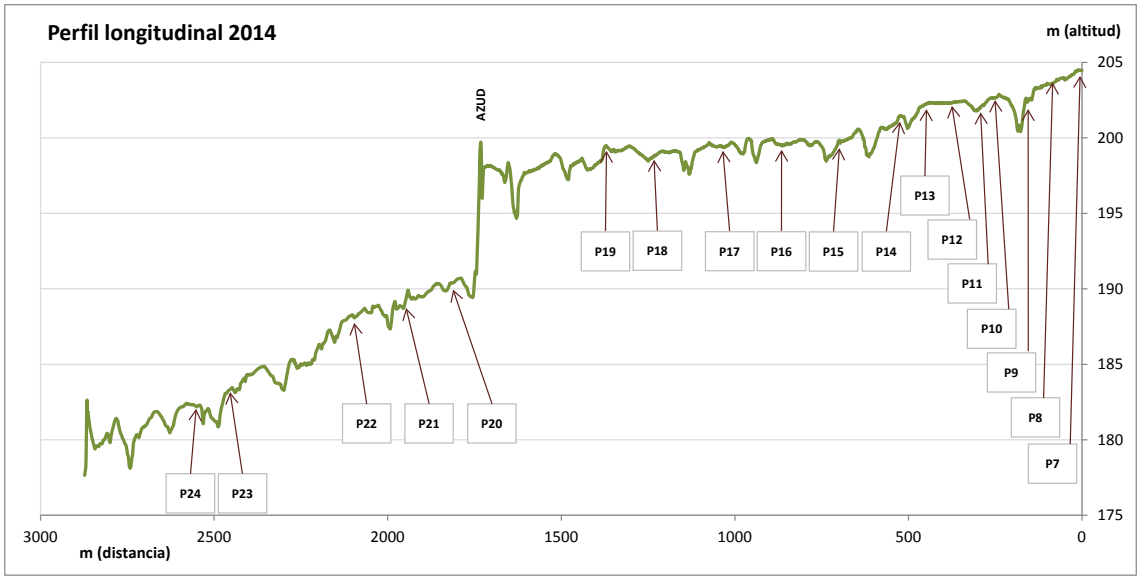


Figura 2. 2. Gráfico del perfil longitudinal previo a la segunda fase de demolición de la presa de Inturia.

En este caso, los datos abarcan toda la zona, desde la sección transversal 7 hasta el azud de Bertxin, con lo que no ha sido necesario completar el archivo. Se puede observar un mayor detalle en las zonas que no tenían tanto en el perfil anterior.

A la vista de los dos gráficos, se observa un relleno de las zonas más profundas del antiguo vaso del embalse, por ejemplo, entre la sección 15 y 16 o en la zona entre el azud y la sección 18, con lo que parece una movilización de material hacia aguas abajo, pero que no llega a sobrepasar en su totalidad la presa actual. Es decir, que se rellenan las pozas con material, pero no se evacúa completamente del vaso del embalse.

Otro gráfico quizá algo más explicativo es el que se muestra a continuación, donde solo se han localizado las mediciones de las secciones transversales y la presa, para poder comparar de una forma visual el comportamiento del perfil longitudinal en estas zonas. Las secciones superiores, entre la 7 y la 14 apenas tienen modificación entre 2013 (antes de la demolición) y 2014 (tras la primera demolición). Sin embargo, en 2015 (tras la segunda demolición) se aprecia la incisión entre la sección 9 y 12. Las secciones 15 a 19, dentro del vaso del embalse, quedan claramente en un nivel topográfico inferior respecto a las mediciones pre derribo ya en 2014, acentuándose en 2015. Aguas abajo del azud, se detecta una zona de acreción a la altura del perfil 22.

Este análisis ha de ser una parte complementaria del capítulo anterior, el de comparativa de las secciones transversales, dado que es en esas mediciones locales donde realmente se pueden comparar los datos con una mayor precisión y exactitud.

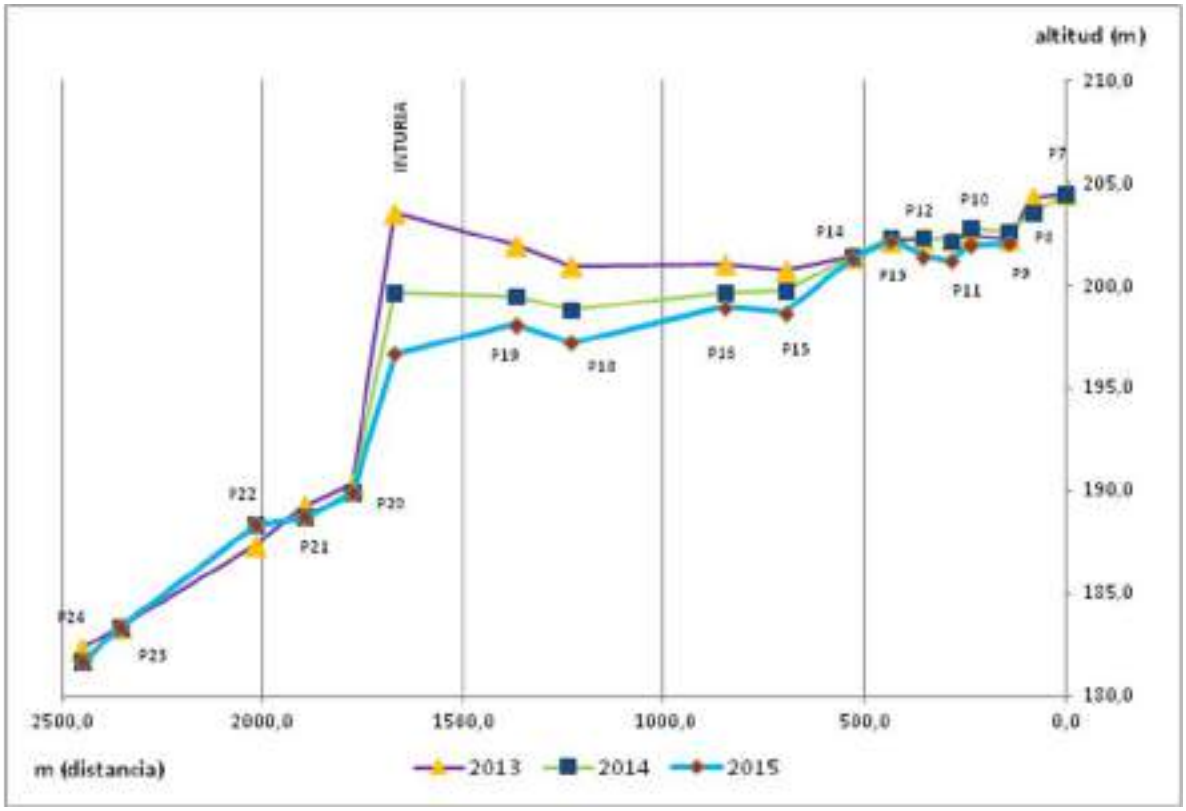


Figura 2. 3. Gráfico del perfil longitudinal comparando las zonas de secciones transversales entre la primera y segunda y tras la segunda fase de demolición de la presa de Inturia.

Además de los datos del perfil longitudinal, se han tomado datos de la pendiente local en las diversas campañas de campo realizadas hasta la fecha, de tal forma que se dispone de un valor de pendiente local para cada ubicación de las secciones. Este dato es importante también para los cálculos de granulometría del capítulo siguiente. La pendiente local se toma aguas arriba y aguas abajo de las secciones transversales.

Figura 2. 4. Medición de la pendiente local y perfil longitudinal en el campo.

En la campaña de abril de 2014, una vez producidos los cambios derivados de la demolición de los 3 m superiores del azud, se procedió a la realización de un perfil longitudinal continuo. Posteriormente, en agosto de 2014, se realizó la misma tarea, es decir, una medición continua entre el perfil 1 y el 19, metodología completada también en junio de 2015.

Sin embargo, los datos no resultan concluyentes o comparables al 100% debido a la modificación puntual de la toma de datos, lo cual introduce cambios en los valores que impide su comparación puntual. Sí que puede afirmarse que la pendiente se ha incrementado en la zona de cola del embalse, aunque la morfología del río actual en la zona se resuelve con amplias pozas -tremendos- y puntual saltos -rápidos- que son los que acumulan un mayor desnivel.

Probablemente una actualización de la batimetría podría reflejar con una mayor precisión este aumento de la pendiente derivada del derribo de la presa y de procesos de erosión remontante.

3. ANÁLISIS MEDIANTE LÁSER ESCÁNER

3.1. METODOLOGÍA

La toma de datos con el escáner láser es un proceso aparentemente sencillo ya que en apenas unos minutos es posible visualizar un complejo modelo 3D. Sin embargo, en proyectos de cierta envergadura, como es este, es necesario planificar y ejecutar correctamente las siguientes fases de cara a obtener el producto final deseado.

3.1.1. Planificación de las posiciones del escáner y de las dianas

Las barras que se han documentado tienen una longitud que oscila entre los 55 y los 500 metros. Aunque las especificaciones técnicas del escáner empleado indican que éste puede llegar a alcanzar los 300 metros en la medida de puntos, es recomendable no llegar a estos extremos y utilizar únicamente las medidas que se realizan en torno a los 25-40 metros ya que es en estas distancias donde el instrumento mejor se comporta en cuanto a precisión y ruido. Esto implica que para documentar cada barra no será posible hacerlo desde un solo escaneo, sino que serán necesarios varios posicionamientos del equipo láser. Además, la propia orografía del terreno provoca que en determinadas zonas se formen sombras, es decir, zonas donde el rayo láser no llega porque se encuentran ocultas por otro elemento y que habrá que tratar de evitar en la medida de lo posible haciendo cuantos escaneos sean necesarios.

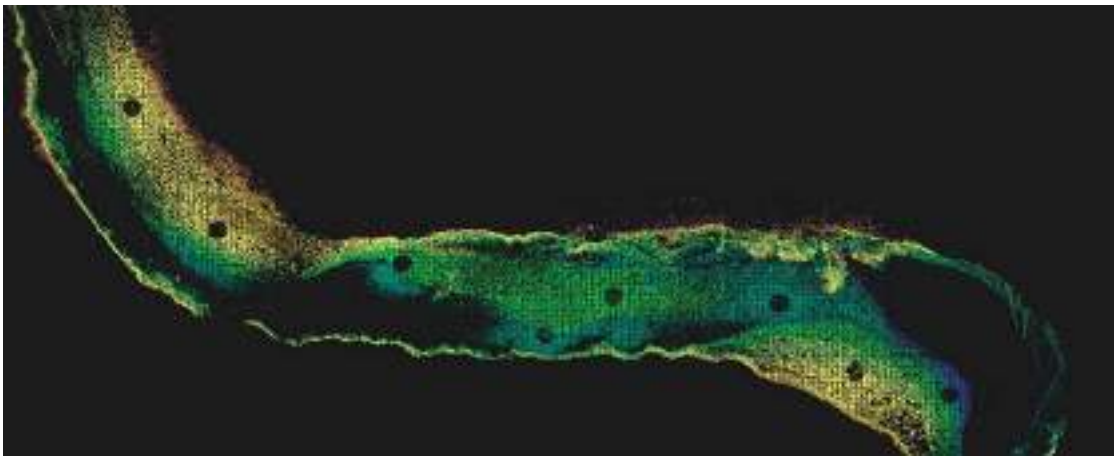


Figura 3.1. Vista en planta de las distintas posiciones del escáner para el registro completo de una de las barras. Cada círculo negro que aparece, representa un estacionamiento del escáner. Debido a las especificaciones técnicas del instrumento, la zona que queda debajo del trípode es una zona muerta, de ahí la ausencia de puntos.

Figura 3.2. Distintas ubicaciones de las dianas.

La forma más efectiva de unir posteriormente estos escaneos que se realizan de una misma zona es mediante un Helmert 3D para lo cual es necesario disponer, en el caso de no tener apoyo topográfico, al menos de n+3 puntos comunes (siendo n el número de escaneos que se quiere unir). En caso de que estos puntos dispongan de coordenadas en algún sistema de referencia, se pueden reducir su número a n+1. Lógicamente esto es válido siempre y cuando las señales que se empleen no estén alineadas y procurando que éstas ocupen posiciones a distintas alturas.

Existen proyectos en los que es relativamente fácil encontrar puntos comunes a dos escaneos y fácilmente identificables, por ejemplo cuando se documenta una pared de sillería, pero en la mayoría de las ocasiones se emplean unas dianas que el fabricante del escáner proporciona y que aseguran una alta precisión, en torno a unos pocos milímetros, en la fase de registro posterior.

Por tanto, antes de comenzar con el escaneo propiamente dicho, además de planificar las distintas ubicaciones del escáner para que dé cobertura a toda la zona, es imprescindible definir la posición que han de tener estas señales, colocándolas de tal forma que sean visibles desde el escáner, y además asegurándonos de que permanecen inalterables el tiempo que dura el trabajo de campo.

3.1.2. Realización de los escaneos

Una vez planificadas las distintas tomas, se está en disposición de comenzar con los escaneos. Los distintos equipos láser permiten al usuario configurar la resolución a la que se realizará el barrido, es decir, definir la separación entre puntos tanto en sentido vertical como horizontal. En este proyecto se han hecho dos ensayos, documentando algunas de las barras con una resolución de 100m@0.1m y otras a la mitad. Esto implica que en las barras con mayor resolución, a una distancia de 10 metros, la separación entre punto y punto será de 1 cm, y en las de menor detalle la separación será de 2 cm.

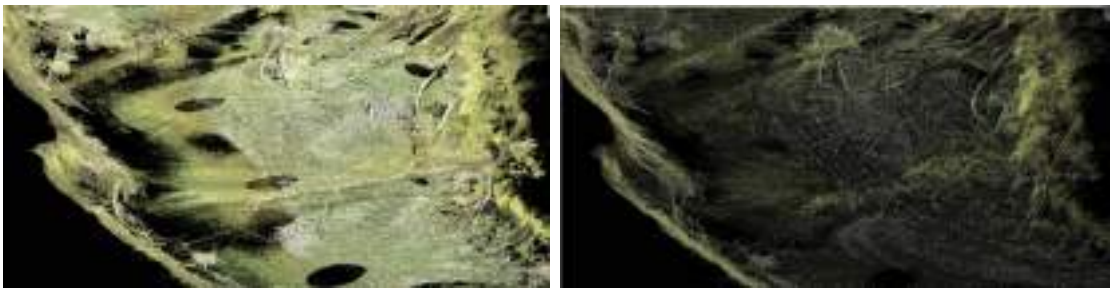


Figura 3.3. Escaneo con resolución 100m@0.1m y con 100@0.2m. A pesar de la reducción de puntos, el modelo sigue siendo suficientemente detallado.

Esta diferenciación se ha hecho de cara a poder evaluar dos aspectos de la nube de puntos. Por un lado está analizar el tiempo que requiere hacer cada barrido y por otro verificar si la densidad de puntos es suficiente o no para el resultado final que se requiere. Lógicamente las características geomorfológicas de las propias barras también influirán en esta decisión.

Figura 3.4. Ejemplo de dos barras documentadas con características geomorfológicas completamente diferentes.

Aun así, en el caso de escaneos de menor resolución, para una barra de 85 metros, se registran 6 millones de puntos, documentación de gran detalle, difícilmente conseguible con cualquier otra metodología.

Otra de las opciones configurables es la bóveda de escaneo, es decir, la zona en la que el escáner es capaz de registrar datos. Con el equipo C10 de Leica empleado es posible medir puntos 360º en el sentido horizontal y 270º en el vertical, de tal forma que todos aquellos

elementos que se encuentren en el alcance del instrumento, a excepción del cono que forma el trípode, aparecerán en el barrido.

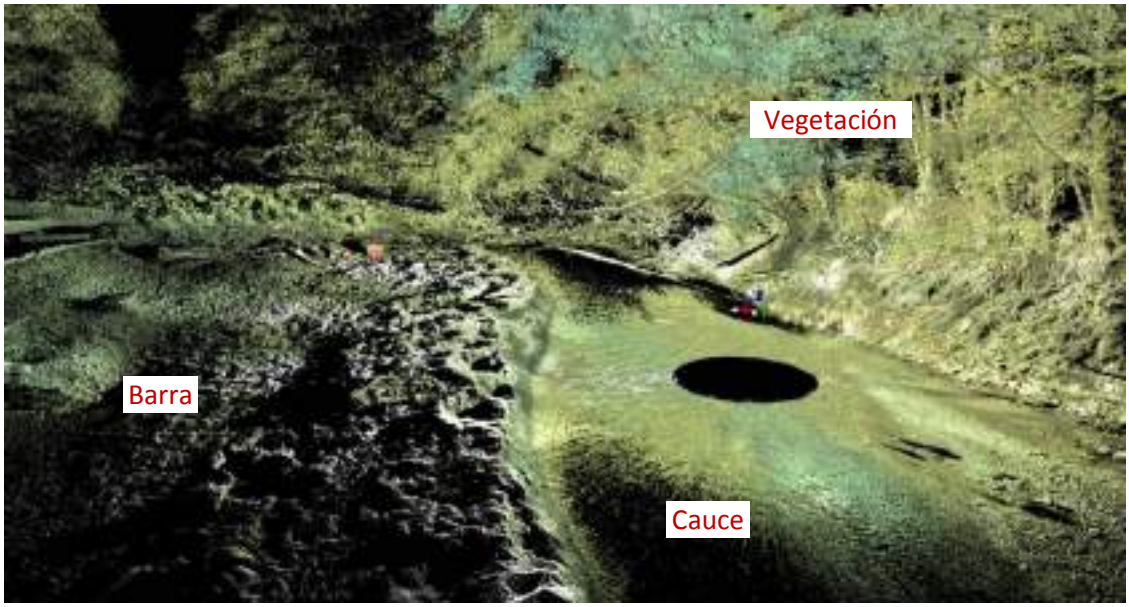


Figura 3.5. Ejemplo de la nube de puntos obtenida desde un solo escaneo.

Por último, cabe destacar que junto con la posición XYZ de cada punto, es posible obtener su valor RGB, es decir, el propio escáner dispone de una cámara de fotos interna y de la misma forma que escanea la escena, realiza una fotografía de alta resolución ya que obtiene 260 imágenes de 3 mega píxeles cada una, lo que da lugar finalmente a una única imagen de 780 MB. De la misma manera que se han hecho pruebas en cuanto a la resolución también se han hecho con las imágenes. Se obtengan o no fotografías del elemento documentado, la precisión y la geometría de la nube es exactamente la misma, luego es interesante analizar la necesidad o no de disponer de imágenes para la caracterización del río.

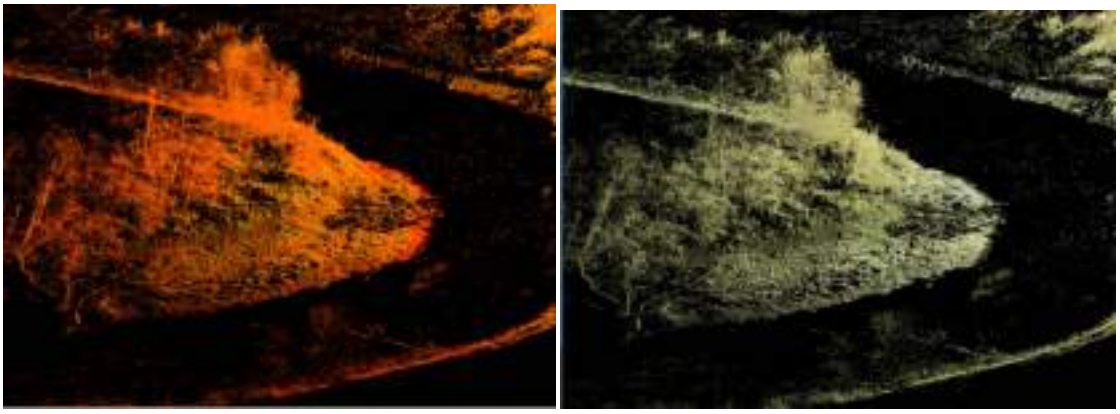


Figura 3.6. Barra registrada únicamente con intensidades, y a la derecha la misma barra con el color de las fotografías aplicado.

Tal y como se ha comentado anteriormente el equipo empleado para los escaneos ha sido el C10 de Leica, cuyas especificaciones técnicas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3.1. Especificaciones técnicas del instrumento empleado.

Leica ScanStation C10	
Precisión de medida aislada	
Posición (1-50m)	6 mm
Distancia (1-50m)	4 mm
Ángulo (horizontal/vertical)	60 µrad / 60 µrad (12” / 12”)
Precisión (ruido en superficie modelada)	2 mm
Adquisición de objetivo	2 mm de desviación estándar
Compensador de eje doble	Resolución 1”,alcance dinámico +/- 5’, precisión 1.5”
Clase de láser	3R (IEC 60825-1) Verde, longitud de onda = 532 nm
Alcance	300 m a 90%; 134 m a 18% albedo (alcance mínimo 0,1 m)
Resolución de escaneo	
Tamaño de punto	De 0 – 50 m: 4,5 mm (basado en FWHH); 7 mm (basado en Gaussian)
Resolución	Espaciado mínimo de <1 mm, en todo el rango
Campo de visión	
Horizontal	360° (máximo)
Vertical	270° (máximo)

3.1.3. Trabajos topográficos

En la fase de escaneo es recomendable disponer de más dianas o señales de referencia de las estrictamente necesarias ya que hay que evitar que si una de ellas desaparece el trabajo quede inutilizable. Una forma de reforzar la posición de estos puntos es realizando trabajos topográficos que complementen el levantamiento. De esta forma al proceder a hacer el registro de los escaneos las coordenadas de cada una de estas dianas se comportarán como un constreñimiento más, lo que fortalecerá el ajuste.

Las coordenadas de las dianas se obtendrán por radiación a partir de bases topográficas repartidas por la zona de trabajo. Inicialmente se intentó trabajar con un equipo GPS submétrico (TOPCON GRS-1) para dar coordenadas a estas bases pero debido al encajonamiento del río resultó imposible la recepción de señales. Finalmente se optó por un

navegador GPS para el posicionamiento absoluto de al menos dos bases en cada una de las barras, obteniendo de esta forma la orientación y posición aproximada de las mismas. A partir de ahí se fueron realizando poligonales abiertas colgadas aplicando el método de Bessel y Moinot, evitando de esta forma posibles errores sistemáticos de la estación total empleada, y aumentando la precisión de las medidas realizadas, ya que cada distancia se mide 4 veces y cada ángulo 2.

Figura 3.7. Toma de datos con la estación total.

En cuanto al sistema de referencia empleado, tanto las bases como las dianas se han calculado en ED-50 y en ETRS-89, ya que si bien aunque hasta 2015 se podrá seguir produciendo datos georeferenciados en el ED-50 (*RD 1071/2007, del 27 de julio, por el que se regula el sistema geodésico de referencia oficial en España*), prácticamente la totalidad de los documentos cartográficos actuales están ya en el nuevo sistema ETRS-89.

Durante la primera campaña de trabajo en cada una de las barras documentadas se colocaron bien clavos o bien estacas que materializaban los puntos de estacionamiento para los trabajos topográficos de apoyo al escáner y que estaban dotadas de coordenadas absolutas. Con el paso del tiempo la mayoría de estas señales ha desaparecido, lo que supone un hándicap a la hora de afrontar las siguientes fases del trabajo. Si se necesita, como es el caso, hacer comparaciones entre el estado de las barras en cada fase, es imprescindible que los escaneos de ambos momentos estén en el mismo sistema de coordenadas. La inexistencia de estas estacas, se suplió mediante la realización de intersecciones inversas, es decir, mediante la medición de una serie de puntos externos a las barras a los que se dio coordenadas anteriormente y que perduraban en el tiempo. De esta forma, aunque las coordenadas de las barras no sean absolutamente precisas, sí que están referidas siempre al mismo origen, tanto planimétricamente como absolutamente.

Los trabajos topográficos se han realizado con la estación total Leica TS02 cuyas especificaciones técnicas son las siguientes:

Tabla 3.2. Especificaciones técnicas de la estación total empleada

Leica FlexLine plus TS02	
Precisión angular	7”
Compensador	Cuatro ejes
Rango de distancias	3.500m (con prisma circular) 500m (medida directa, sin prisma)
Precisión en la distancia	1.5mm±2.0ppm (con prisma) 2.0mm±2.0ppm (sin prisma)
Aumentos	30X

3.1.4. Registro de los escaneos

Finalizada la fase de campo y calculadas las coordenadas de todos los puntos, es necesario unir los distintos escaneos que forman cada barra, denominándose este proceso registro. Tal y como comentábamos anteriormente se dispone de las coordenadas de las bases en los dos sistemas de referencia actuales ED50 y ETRS89 por lo que se ha procedido a hacer este cálculo en ambos. Al haber empleado durante los barridos dianas de la propia casa comercial del escáner los resultados de este proceso han sido bastante satisfactorios alcanzando en el peor de los casos una precisión de 12 mm.

Con los datos recogidos hasta el momento las recomendaciones para el escaneo de las barras en siguientes campañas podrían ser:

- Escaneo de bóveda completa
- Resolución 100m@0.1m
- Color
- Empleo de dianas HDS 6” que dispongan de coordenadas

3.2. RESULTADOS OBTENIDOS

3.2.1. Características de la información registrada

Tal y como se ha señalado al comienzo del texto, el objetivo de emplear el láser escáner en el proyecto era poder documentar en primer lugar las barras que van surgiendo en los márgenes del río, y siempre que fuera posible, también el cauce del mismo.

El fundamento de trabajo de estos equipos reside en la medición del tiempo que tarda la luz en recorrer una determinada distancia. Conocida la velocidad de propagación de la luz en los distintos medios, y medido el tiempo, la distancia entre el emisor de luz y el reflector será *D=ct/2*, siendo *c* la velocidad de la luz en el aire, y *t* el tiempo que tarda la señal en ir y volver. A la conocida velocidad de propagación de la luz en el vacío, habrá que aplicarle el correspondiente índice de refracción en función del medio en el que se encuentre.

Este último aspecto es especialmente importante para el proyecto. La señal láser pasará por dos medios completamente diferentes, aire y agua, produciendo un desvío en la posición teórica de los puntos medidos.

Tras varias pruebas lo que queda constatable es que los puntos medidos dentro del agua aparecen más alejados del escáner y generalmente más altos de lo que deberían. Esta desviación depende en gran medida del ángulo de incidencia del láser y de la profundidad del agua. La corrección planimétrica será algo mayor que la mitad de la profundidad, mientras que la altimétrica será aproximadamente una décima parte.

Los puntos que se han medido en este proyecto no han sido corregidos de esta desviación, ya que dicha corrección ha de hacerse punto a punto, y el algoritmo con el que se está trabajando está diseñado para condiciones idóneas de medición. Por tanto, en el proyecto lo verdaderamente importante del registro mediante el láser escáner, será la definición de las barras.

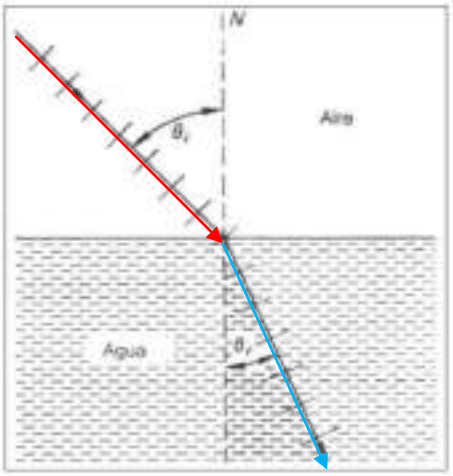


Figura 3.8. Refracción del rayo láser al pasar del aire al agua.

Una vez que se ha procedido a hacer el registro de los escaneos, es el momento de obtener diferentes documentos o productos que ayuden a entender los cambios geomorfológicos que se están produciendo en el río. Antes de proceder a su generación, es importante limpiar las nubes y eliminar todos aquellos puntos que no aportan información y que sin embargo entorpecen el trabajo. En este caso, tal y como se puede ver en la siguiente figura, toda la vegetación que hay a ambos márgenes del río, se ha eliminado quedándonos únicamente con la información relativa a las barras y su entorno más inmediato.

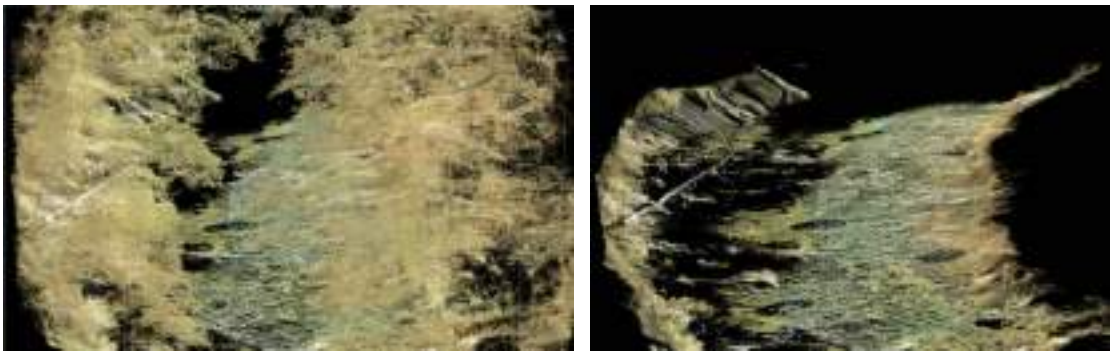


Figura 3.9. Barra con vegetación y ya limpia.

3.2.2. Perfiles transversales

Las nubes de puntos son ficheros extremadamente pesados en muchas ocasiones y difíciles de trabajar, lo que nos obliga a generar productos más fácilmente manipulables y de los cuales se pueda extraer información de cara a la valoración de los procesos geomorfológicos.

Uno de estos documentos, serán los perfiles transversales. Estos perfiles van a tener una doble finalidad, y es que por un lado se podrá ver la evolución de la barra en el espacio, y por otro lado la evolución de la barra en el tiempo, ya que se podrán comparar los perfiles obtenidos en las distintas campañas de trabajo. Para ello, como ya se ha comentado, es necesario que los escaneos estén siempre referidos al mismo sistema de coordenadas, que si bien puede no ser absoluto, si que ha de ser el mismo siempre, tanto planimétricamente como altimétricamente.

3.3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.3.1. Inturia

Tal y como se refleja en la siguiente tabla, los trabajos de campo de este año abordaron el registro topográfico de la totalidad de barras que se han venido registrando en distintas campañas desde que comenzara el proyecto en 2013.

Tabla 3.3. Barras escaneadas en cada campaña

BARRA	07-2013	09-2013	05-2014	08-2014	05-2015	09-2016	07-2017	07-2018
01	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓
02	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓
03	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
04	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓
05	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓

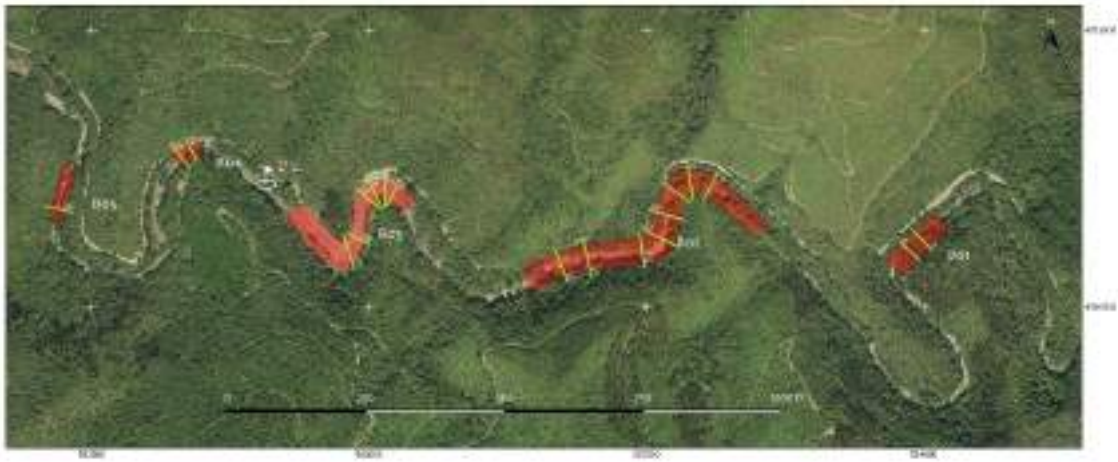


Figura 3.10. Ortofotografía con la localización de las barras escaneadas en relación a la presa de Inturia y perfiles transversales realizados.

3.3.1.1. Barra 01

Esta barra, localizada 2 km aguas arriba de la presa, es la que está actuando como barra de control, y durante los registros realizados en las distintas campañas no ha mostrado variaciones significativas.

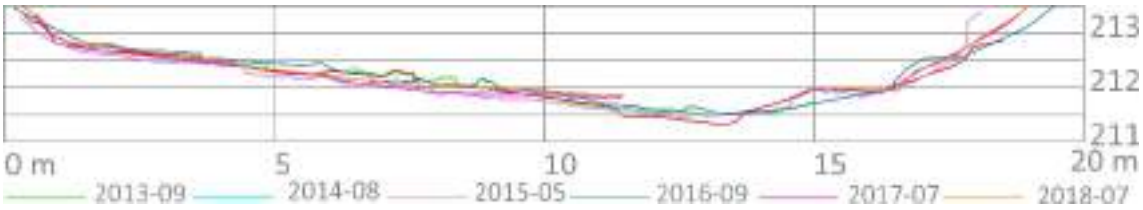


Figura 3.11. Barra 01, perfil 2

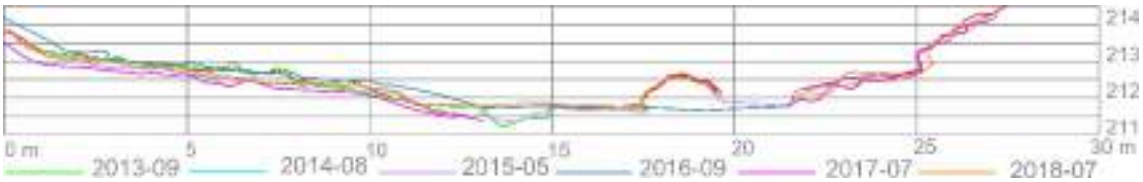


Figura 3.12. Barra 01, perfil 4

3.3.1.2. Barra 02

Esta barra es la de mayor longitud de las escaneadas, con cerca de 500 metros de barra registrada y localizada 700 metros aguas arriba de la presa de Inturia. Si bien los primeros años podíamos apreciar cómo la superficie de la barra prácticamente era continua a lo largo de todo su recorrido, en estas últimas campañas, en muchas partes, el material ha sido arrastrado por el río no apreciándose restos de barra y no pudiendo obtenerse un perfil para compararlo con los anteriores. Este año hemos realizado 8 perfiles cuyo análisis se muestra a continuación.

- Perfil 7: De toda la barra, es en este perfil donde mayor rebaje se aprecia esta campaña; en torno a 35 cm. Desde 2014 la cota de la barra se ha reducido de media 2,20 m.

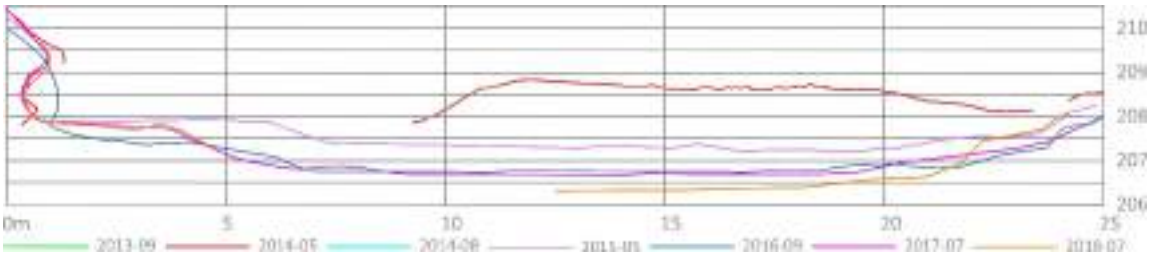


Figura 3.13. Barra 02, perfil 7

- Perfil 8: Se aprecia un ligero rebaje de unos 15 cm fundamentalmente en el margen derecho. Desde 2013 en la orilla izquierda se ha producido una incisión cercana a los 3,50 m, mientras que en el derecho este valor se aproxima más al 1,70 m.

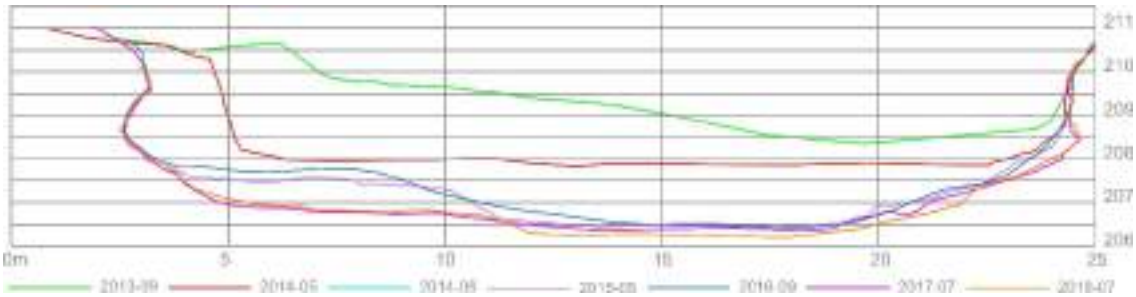


Figura 3.14. Barra 02, perfil 8

- Perfil 9: Durante estos años, en esta zona la mayor erosión se ha producido en el margen derecho con 4,20 m de rebaje acumulado. Durante este último año la orilla derecha se ha definido un poco más, pero no hay una variación de material significativa.

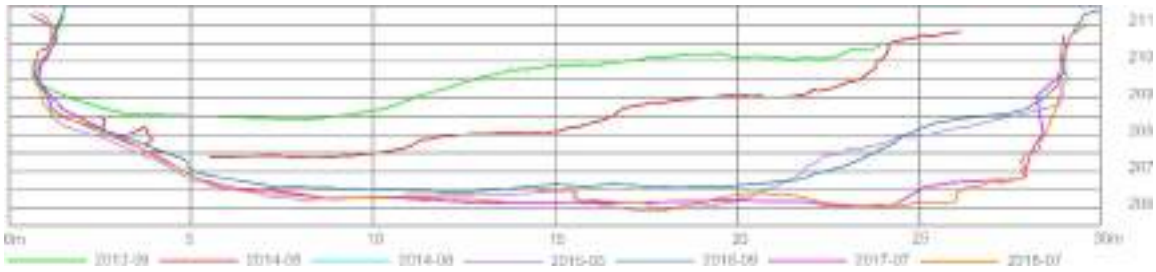


Figura 3.15. Barra 02, perfil 9

- Perfil 10: Este año se aprecia una acreción del lecho en torno a 30 cm en el margen izquierdo así como una ligera erosión lateral de la misma orilla.

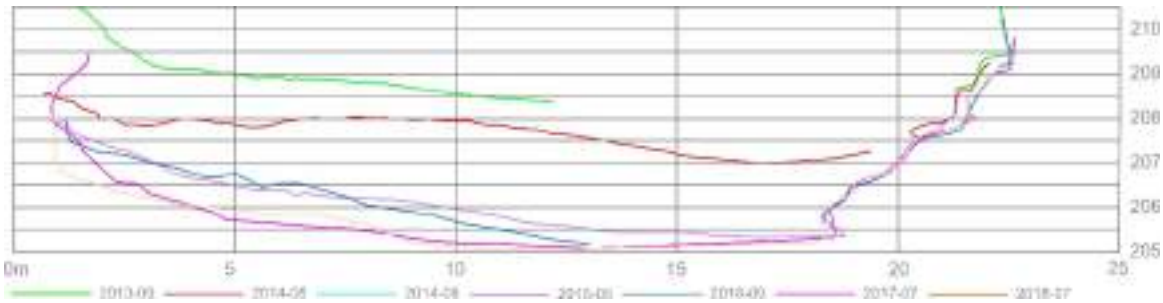


Figura 3.16. Barra 02, perfil 10

- Perfil 11: Se aprecia la misma evolución que en el perfil anterior, una acreción en torno a 15-20 cm en el lecho de la margen izquierda así como un mayor grado de erosión lateral de la misma orilla.

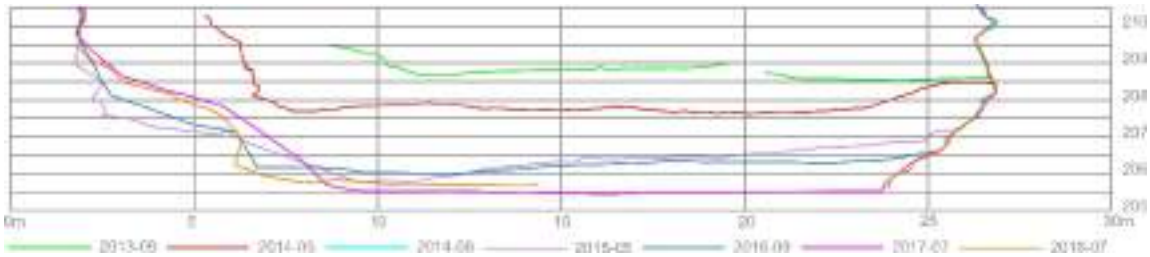


Figura 3.17. Barra 02, perfil 11

- Perfil 12: Se aprecia una ligera acumulación de material, en torno a 15 cm a lo largo de todo el lecho del río.

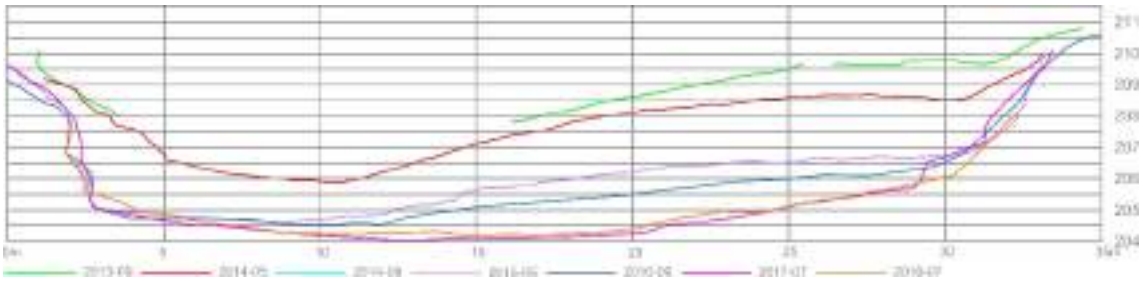


Figura 3.18. Barra 02, perfil 12

- Perfil 14: Apenas hay variaciones perceptibles con respecto a la toma de datos realizada en 2017.

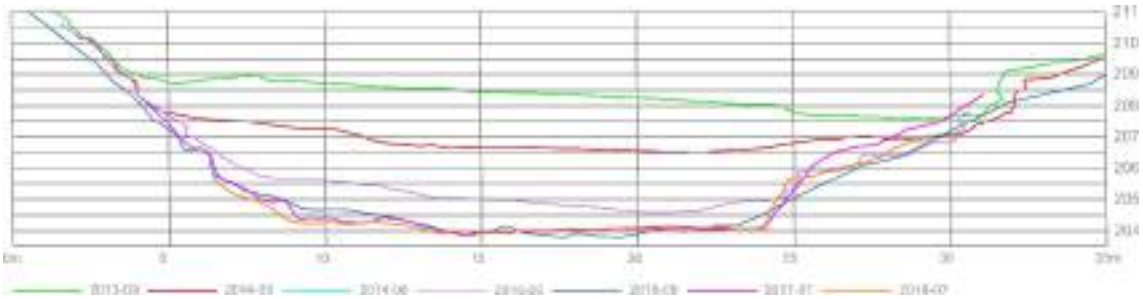


Figura 3.19. Barra 02, perfil 14

- Perfil 15: Apenas hay variaciones perceptibles con respecto a la toma de datos realizada en 2017.

Figura 3.20. Barra 02, perfil 15

3.3.1.3. Barra 03

Esta barra se localiza inmediatamente aguas arriba de la presa de Inturia. En esta barra cuando más cambio se ha apreciado es tras la actuación en 2016 en esa zona, una vez se produjo el derrumbe del terraplén derecho y la pista, que ha consistido en la realización de un perfil regular, con una orilla derecha tendida y defendida con muros en la base y bloques de escollera en toda la ladera hasta la pista, la excavación del lóbulo interno del meandro, desplazando el cauce hacia la margen izquierda. En este caso en todos los perfiles realizados

en 2018 se observa el mismo comportamiento y es que apenas hay variación respecto del año anterior. La única diferencia que se aprecia es un rebaje en la orilla izquierda, con valores de entre 40 y 60 cm. De modo que parece que se ha estabilizado respecto a los procesos de años anteriores. En la ladera derecha la elevación de la cota que se observa, es probable que sea fruto del crecimiento de la vegetación, formación de suelo que se deriva de la plantación que se realizó junto con las obras de modificación y estabilización del meandro. Así mismo también se construyo un muro krainer en el pie de dicha ladera para evitar la erosión lateral y migración del meandro. Ello ha podido favorecer que el caudal haya actuado erosionando ligeramente el depósito de point bar de la orilla sedimentaria. Cuestión que se seguirá observando en las siguientes campañas de seguimiento.

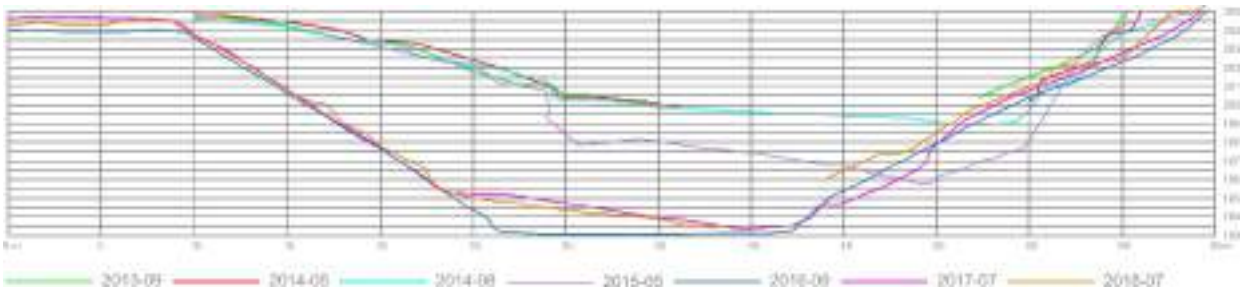


Figura 3.21. Barra 03, perfil 16

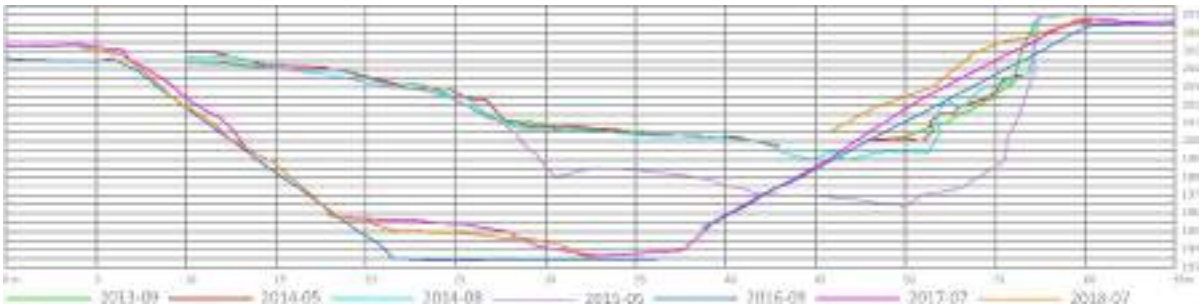


Figura 3.22. Barra 03, perfil 17

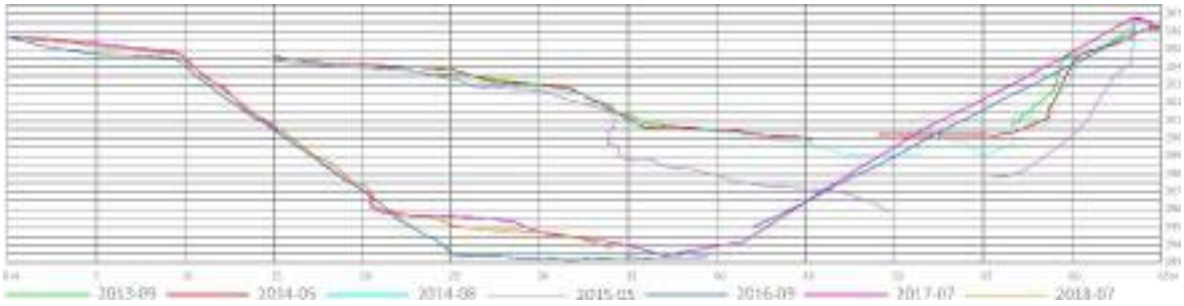


Figura 3.24. Barra 03, perfil 18

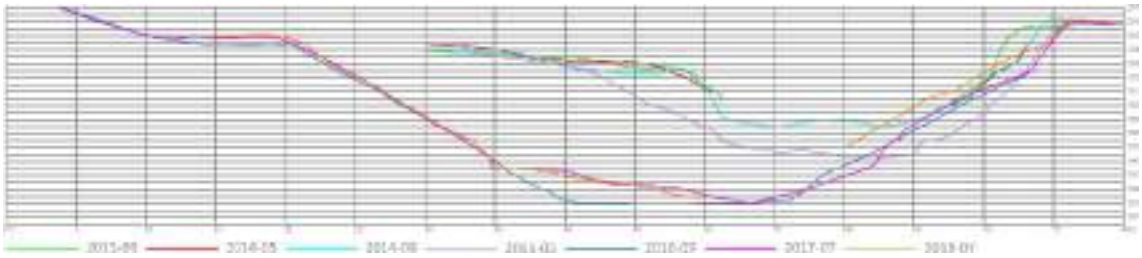


Figura 3.25. Barra 03, perfil 19

3.3.1.4. Barra 04

Esta barra se localiza bajo el puente, a escasos 200 metros aguas abajo de la presa de Inturia. Mientras que en el perfil número 24, el localizado más cerca de la presa, no existe variación alguna respecto del año anterior.

Figura 3.26. Barra 04, perfil 24

En el perfil 25, localizado a 20 m del anterior, sí que se aprecia un rebaje de cerca de un metro en la cota de la barra de la margen izquierda.

Figura 3.27. Barra 04, perfil 25

3.3.1.5. Barra 05

Esta barra, de unos 180 metros de longitud, y localizada medio kilómetro aguas abajo de la presa de Inturia se corresponde con el vaso y la cola del embalse de Bertxin. Se trata de la zona donde mayor acumulación de material se aprecia, con un total de 1,8 metros desde julio de 2013. La acumulación correspondiente a este último año ha sido de 25-30 cm, tal y como se aprecia en el perfil 20. En esta campaña, en el momento en que se realizaron los escaneos de la barra, prácticamente todo el lecho del río estaba ocupado por el agua, siendo prácticamente inexistente la superficie de barra, lo que ha imposibilitado la realización de los correspondientes perfiles transversales que veníamos presentando en anteriores informes. Podemos apreciar esta situación en las imágenes de la Figura 3.29.

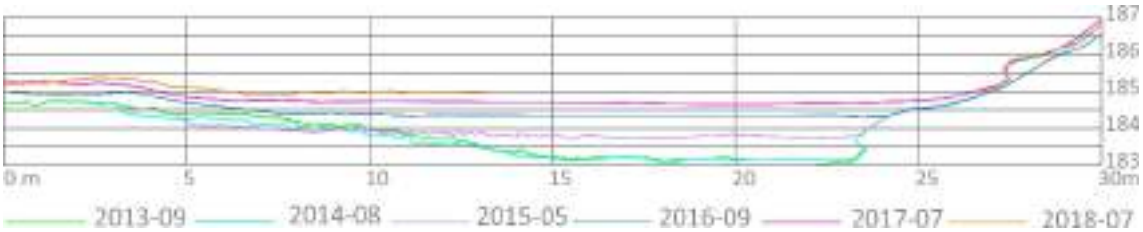


Figura 3.28. Barra 05, perfil 20

Figura 3.29. Aspecto de la barra 05 en julio, momento en el que se documentó.

3.3.2. Olloki

Durante este año 2018, aun no habiéndose derribado en la fecha en que se hicieron los escaneos la presa de Olloki, dado el invierno tan lluvioso acontecido, se decidió volver a documentar todos los tramos seleccionados en 2017 y analizar si se han producido diferencias significativas. Así, tendremos perfiles en tres zonas bien diferencias: una de ellas a 2 km aguas arriba de la presa y que actuará como barra de control (B00), otra más, también agua arriba, a 650 m de la presa (B01) y una última 350 m aguas abajo (B03) (Figura 3.20).

Tabla 3.4. Barras escaneadas en cada campaña

BARRA	07-2017	07-2018
00	✓	✓
01	✓	✓
03	✓	✓

Figura 3.20. Ortofotografía con la localización de las barras escaneadas en relación a la presa de Olloki y perfiles transversales realizados.

Los escaneos se realizaron con las mismas características que se hicieron en 2017, es decir, una resolución de 10 cm a los 100 m, junto con toma de fotografías. A partir de estas nubes de puntos se obtuvieron los perfiles transversales correspondientes.

Como se puede apreciar en las figuras que siguen, en todos los tramos en los que se ha actuado no ha habido variaciones en la morfología de estos. Si bien en los taludes puede verse alguna diferencia, éstas son mínimas y fundamentalmente ocasionadas por la vegetación acumulada en los mismos.

3.3.2.1. Barra 0 –control

En esta barra el lecho del cauce presenta un fondo plano y una disimetría en las orillas. Siendo la margen derecha más pendiente, dado que al tratarse de un meandro se corresponde con la orilla cóncava que choca contra la ladera. De hecho en esa orilla son constatables taludes erosivos de depósitos fluviales previos de tipo decantación y alguna pequeña terraza. La margen izquierda, con menor pendiente se corresponde con un nivel de terraza, sin alcanzar a registrarse hasta la ladera del límite del valle.

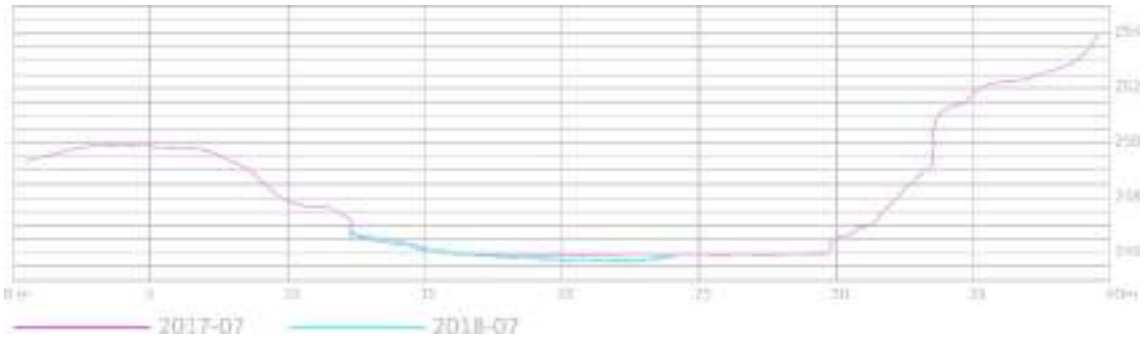


Figura 3.21. Barra 00, perfil 101

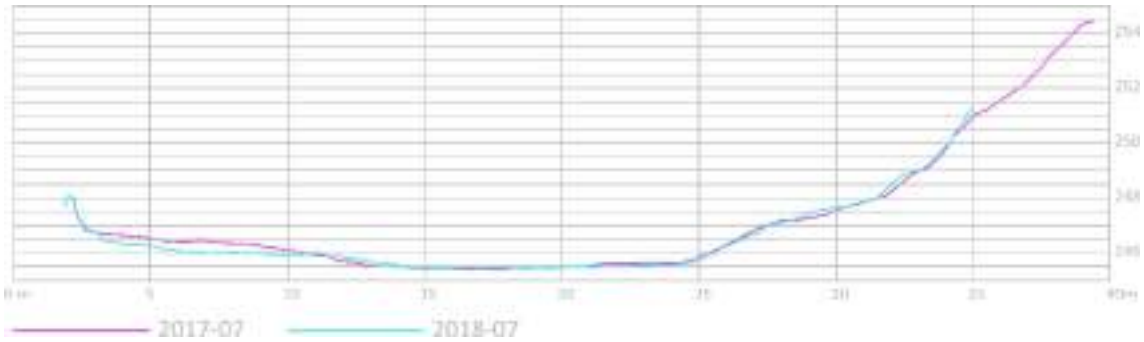


Figura 3.22. Barra 00, perfil 102

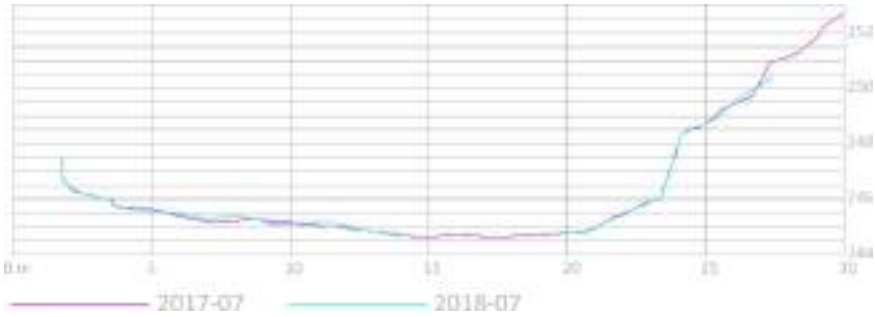


Figura 3.24. Barra 00, perfil 103

3.3.2.2. Barra 1 –aguas arriba

Esta barra está localizada aguas arriba de la presa de Olloki y próxima a la cola del embalse. Se trata de una zona con una importante acumulación de material. El talweg se localiza a la izquierda del cauce, aunque a medida que se progresa hacia aguas abajo el lecho presenta un fondo casi plano. La margen izquierda alcanza rápidamente el talud de la pista correspondiente a la vía verde del antiguo trazado del Plazaola, mientras que la margen derecha presenta una pendiente más suave hacia la ladera del valle.

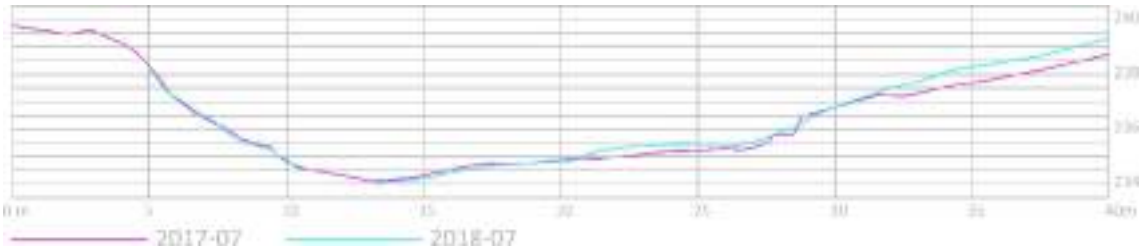


Figura 3.25. Barra 01, perfil 104

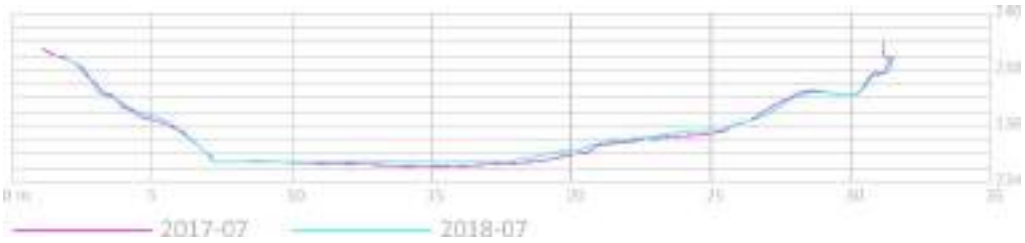


Figura 3.26. Barra 01, perfil 105

Figura 3.27. Barra 01, perfil 106

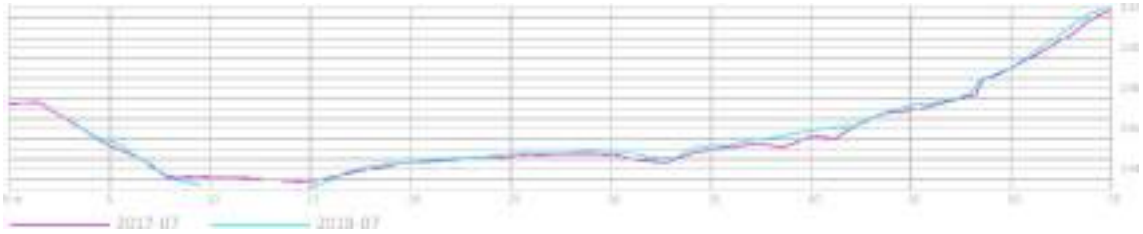


Figura 3.28. Barra 01, perfil 107

3.3.2.3. Barra 3 – aguas abajo

Esta barra se localiza aguas abajo de la presa de Olloki, en un meandro hacia el oeste tras el tramo recto de pie de presa, donde un viaducto de la vía verde atraviesa el cauce, e inmediatamente aguas abajo del puente de Olloki. Siguiendo el perfil característico de los meandros el flujo se concentra en la margen cóncava, la derecha en este caso, creando un perfil de orilla vertical y donde se aprecia cierta socavación. Mientras que la margen convexa, izquierda, presenta un perfil de orilla tendida.

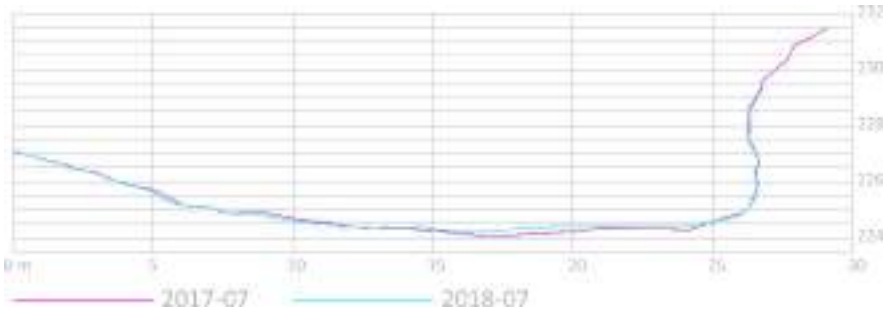


Figura 3.29. Barra 03, perfil 108

Por lo tanto puede concluirse que no ha habido ningún tipo de cambio en ambas campañas. A partir del seguimiento a realizar en 2019 se podrá observar cómo responde al derribo parcial realizado en otoño de 2018.

4. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

4.1. INTRODUCCIÓN

Uno de los elementos de mayor relevancia para caracterizar el funcionamiento geomorfológico de un sistema fluvial es la forma y tamaño de los sedimentos. Un análisis exhaustivo de su tamaño, transporte y sus formas de deposición es un indicador de la dinámica y permite conocer variables de importancia en el comportamiento del sistema.

En este sentido, el objetivo del análisis ha sido conocer estos parámetros en las zonas de afección de las presas de Inturia y Olloki, así como su evolución posterior a la demolición de ambas presas.

4.2. METODOLOGÍA

El análisis de los sedimentos se ha realizado en 9 campañas de muestreo y en 10 barras de sedimentos, para el seguimiento de la zona de afección de la presa de Inturia, y en 2 campañas de campo y 5 barras de sedimentos para el seguimiento de la zona de afección de la presa de Olloki. En cada campaña se ha llevado a cabo:

i) **muestreo superficial longitudinal** por conteo de 100 partículas (repartidas en 2 o 3 líneas -A, B y/o C- a lo largo de cada barra, de aguas arriba a aguas abajo), tomando una partícula cada metro y midiendo su eje b;

ii) **muestreo superficial de la coraza**, delimitando y pintando un cuadro de 30 cm de lado, donde se han contabilizado todas las muestras pintadas con medición de su eje b y peso;

iii) **muestreo subsuperficial**, una vez medida y extraída la coraza del cuadrado delimitado, tomando una muestra de material de entre 2 y 6 kg. Se ha tratado en laboratorio mediante método volumétrico, calculando los porcentajes en peso de cada clase granulométrica.

En los tres tipos de análisis se ha medido el eje menor del elipsoide imaginario, que es el que mejor representa la partícula y que se denomina “eje b”. La medida de dicho eje es la que determina que una partícula pase por un tamiz de paso de malla igual a b (Martín Vide, 2006).

En el caso del análisis de la coraza y del material subsuperficial también se ha computado el peso de cada una de las partículas para calcular los porcentajes en peso comprendidos en cada clase granulométrica y así obtener la curva granulométrica. El pesado de las partículas superficiales se ha realizado mediante una báscula portátil.

El muestreo de material superficial longitudinal se ha realizado en las diferentes campañas de muestreo desde los mismos puntos geolocalizados al inicio de la investigación. No obstante, si la morfología de la barra había sido modificada, en campañas de muestreo posteriores se han adaptado las líneas de medición a la nueva morfología de la barra, ampliando o reduciendo el número de líneas de muestreo o la localización final e inicial de dichas líneas de muestreo.

El muestreo de granulometría superficial (coraza) y subsuperficial se ha realizado durante las diversas campañas de campo: 29, 30 y 31 de julio de 2013 (muestreo 1 **M1**), 23 de septiembre

de 2013 (muestreo 2 **M2**), 8 y 9 de abril de 2014 (muestreo 3 **M3**), el 26 de agosto de 2014 (muestreo 4 **M4**), el 4 y 5 de junio de 2015 (muestreo 5 **M5**), el 29 y 30 de septiembre de 2015 (muestreo 6 **M6**) y el 24 de septiembre de 2016 (muestreo 7 **M7**), el 4 y 5 de julio de 2017 (muestreo 8 **M8**) y los días 15, 20 y 26 de junio de 2018 (muestreo 9 **M9**). Además, en Olloki, la presa localizada a 4 kilómetros aguas arriba de la de Inturia, se ha realizado una campaña previa al derribo, durante el 13 y 14 de julio de 2017 (muestreo 1 **MO1**) y un segundo muestreo los días 14 y 21 de junio de 2018 (muestreo 2 **MO2**).

Figura 4.1. Proceso de medición y recogida de sedimentos.

En el entorno de la presa de Inturia se han analizado 10 barras, si bien los muestreos 1 y 2 se complementaron, es decir, en el muestreo 1 se trabajaron 6 barras (0, 1, 2, 3, 6, 7 y 8) y en el muestreo 2, otras 2 barras diferentes (4 y 5). En el muestreo 3 se realizaron los muestreos de las barras 1 a 7, mientras que en los muestreos 4 y 5 se realizaron muestreos entre las barras 0 y 7, en el muestreo 6, se analizaron de la barra 1 a la barra 7. En el muestreo M7, se trabajó entre las barras 0 y 7, aunque en este último muestreo no se realizó estudio del material subsuperficial sobre la barra 3, dado que la barra ya no existe como tal. No obstante, se realizó un análisis del material superficial. En el muestreo 8, en 2017, se han analizado las barras 1, 2, 4, 5, 6 y 9. La barra 3 no existe, ha desaparecido completamente. Por otro lado, se ha realizado el análisis de una nueva barra, barra 9, dada la magnitud de la misma y situada en lo que era el vaso del embalse, un point bar aflorado con el derribo de la presa, en el meandro aguas arriba de la presa de Inturia. En esta curva se actuó mecánicamente debido a la socavación y descalce de la pista, al reactivarse la dinámica fluvial del meandro. De esta manera se cuenta con información de otro depósito más, situado en la zona que ha permanecido con embalsamiento prácticamente hasta el derribo de la última fase de Inturia. En la campaña de campo de 2018, muestreo 9, se han analizado las barras 0, 1, 2, 4, 6, 7 y 9. Las barras 3 y 8 no existían en la campaña de 2017 y la barra 5 ha desaparecido por la incisión en la zona.

El motivo por el que se realizó el muestreo de esta manera fue porque en el muestreo 1 todavía no se había procedido a la demolición de parte de la presa de Inturia y las 2 barras del muestreo 2 no estaban todavía conformadas. Asimismo, en el muestreo 1 se seleccionó una barra de referencia por encontrarse localizada en un punto alejado de la influencia geomorfológica de la retirada de la presa.

En total, durante las 9 campañas de campo en Inturia, se han medido 6080 partículas en los muestreos de material superficial longitudinal y 3394 partículas en el muestreo superficial de la coraza. En cuanto al peso, se han recogido un total de 540,24 kg de partículas en los muestreos superficiales de la coraza y 219,47 kg en los muestreos de material subsuperficial.

En Olloki, los datos recogidos en las campañas son 1600 partículas en los muestreos de material superficial longitudinal y 1433 partículas en el muestreo superficial de la coraza. En cuanto al peso, se han recogido un total de 328,4 kg de partículas en los muestreos superficiales de la coraza y 53,07 kg en los muestreos de material subsuperficial.

De cara a establecer resultados comparativos el muestreo superficial longitudinal aporta unos valores que se asemejan más a la realidad de cada barra, ya que la selección de las partículas se realiza a lo largo de la misma. De esta forma, el muestreo superficial longitudinal es un indicador que permite comparar los resultados y la evolución entre las diferentes barras.

Si bien el muestreo superficial de coraza también es comparativo entre las diferentes barras, los resultados tienen como objetivo principal observar las diferencias con el material subsuperficial. De este modo, a la hora de seleccionar los puntos donde medir la coraza superficial se han buscado espacios representativos y homogéneos, evitando realizarlos en zonas donde hubiera partículas de gran tamaño (cantos) si no se ajustan a las características de la barra.

Es por ello que en los muestreos superficiales de coraza se obtienen resultados de tamaños medios inferiores a los muestreos superficiales longitudinales, donde la diversidad de muestras es mayor por la metodología de medición de las partículas.

Figura 4.2. Localización de las barras donde se ha realizado el análisis granulométrico.

La ubicación de los muestreos responde a diferentes criterios. Uno de los principales ha sido conocer las características granulométricas de las diferentes barras, de modo que existieran

datos representativos de las barras próximas a la presa. Se han seleccionado ocho barras, cinco situadas aguas arriba de la presa y otras tres aguas abajo, no obstante, la barra 8 sólo ha sido muestreada en el muestreo 1, dado que está influenciada por la cola de la lámina de agua del azud de Bertxin.

La numeración de las barras se ha realizado en orden descendente, de aguas arriba a aguas abajo, con la excepción de la barra 9 que se muestreó por primera vez en la campaña de julio de 2017.

Figura 4.3. Localización de las barras de trabajo en la presa de Olloki.

4.3. ANÁLISIS

La clasificación de la granulometría superficial consiste en agrupar los valores medidos del "eje b" en clases de medida, siendo conveniente que estas clases sean las mismas que las utilizadas en el tamizado de las muestras volumétricas en laboratorio.

El tamizado y clasificación de las partículas de material subsuperficial se ha realizado en el Laboratorio de Ciencias Histórico-Geográficas de la Universidad de Zaragoza.

Los resultados del análisis granulométrico se han dividido en las clases mostradas en la Tabla 4.1.

La frecuencia de partículas en cada clase es la cantidad de material que se encuentra dentro de esa clase, calculada como el peso total de partículas comprendidas en esa clase partido por el peso total de la muestra. Por lo cual, supone el porcentaje de peso retenido en el tamiz respecto del peso total de la muestra (Martín Vide, 2006).

Tabla 4.1. Distribución de clases de los muestreos subsuperficial y superficial.

Granulometría subsuperficial		**Granulometría superficial de la coraza**	
Clases	**Nombre**	**Clases**	**Nombre**
x < 0,062 mm	Fino	-	-
0,062mm >x< 2 mm	Arena	-	-
2 mm >x< 20 mm	Gravilla	2 mm >x< 20 mm	Gravilla
20 mm >x< 64 mm	Grava	20 mm >x< 64 mm	Grava
64mm > x	Canto	64mm > x	Canto

Una vez divididas las muestras por clases se ha realizado el cálculo del diámetro medio (D_m), los percentiles del 50%, 16% y 84% (D_{50}, D_{16} y D_{84}), la desviación típica granulométrica y el índice de acorazamiento. La media aritmética se ha calculado como la suma de los productos de la frecuencia por el punto medio divididos por la frecuencia acumulada total. Los percentiles han sido calculados mediante la siguiente fórmula, donde P_m es el percentil deseado, *n* es el número total de observaciones, *L* el límite inferior de la clase donde está el percentil, *f* la frecuencia de la clase que contiene el percentil, *F* la frecuencia acumulada de la clase anterior a la que contiene el percentil y *C* el intervalo de clase.

$$P_m = L + \frac{\frac{(m * n) - F}{100}}{f} * C$$

El cálculo de la desviación típica granulométrica se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\sigma g = \sqrt[2]{D_{84}/D_{16}}$$

Esta información ha sido utilizada por autores como Martín Vide (2006) y Vericat et al. (2006) y constituye una medida adimensional de la dispersión. Para Martin Vide (2006), si **σg>3** se dice que la granulometría es extendida y el material está bien distribuido (bien graduado), sin embargo, si **σg<3** se dice que la granulometría es uniforme o que el material está mal distribuido (mal graduado).

Por otro lado, el Índice de Acorazamiento se calcula con la siguiente fórmula (Lisle y Madej, 1992):

$$\mathrm{Ac} = \mathrm{D}_{50}\ (\mathrm{s})\ /\ \mathrm{D}_{50}\ (\mathrm{ss})$$

s: superficial; ss: subsuperficial

Los valores de este índice reflejan intervalos donde, por debajo del umbral 1,5 el río no tiene bien organizado el material y no es muy competente a la hora de mover los sedimentos, entre 1,5 y 3, el acorazamiento es normal en un río con una buena dinámica, mientras que, por encima de 3, el acorazamiento comienza a ser importante (Bunte y Abt, 2001). Estos intervalos pueden variar en función de la tipología de río, por lo que es importante analizar los resultados en el conjunto del río, comparando los análisis de las diferentes muestras entre sí.

4.3.1. Barra de referencia (Barra IN 0)

Es la barra, situada aguas arriba de la presa de Inturia, que se encuentra más alejada de ésta. Es una barra de muy complicado acceso, situada a casi 2 kilómetros de la presa de Inturia. Esta barra se considera de control, y así se ha denominado como 0, dado que se presupone que queda fuera de la influencia de la demolición, y así se puede valorar si los cambios sucedidos en las siguientes barras son exclusivamente fruto de la reactivación de los procesos derivados de la demolición de la presa de Inturia o de otros procesos que pudieran darse en la cuenca. En este sentido también cobra interés esta barra puesto que se sitúa entre las zonas de afección de Olloki e Inturia, con lo que podrá valorarse el efecto de los procesos de la primera y la posible influencia también en la zona de afección de Inturia cuando se proceda con la demolición de la presa de Olloki. Se han llevado a cabo muestreos en julio de 2013 (M1), agosto de 2014 (M4), junio de 2015 (M5), septiembre de 2016 (M7) y junio de 2018 (M9).

Figura 4.4. Comparativa fotográfica de la evolución de la barra 0 (IN 0) entre julio de 2013 (arriba izquierda), junio de 2015 (arriba derecha) y septiembre de 2016 (abajo).

El material se dispone de forma caótica, dando una apariencia muy heterogénea a la barra, con variedad de clases granulométricas. Dado su reducido tamaño el muestreo superficial longitudinal se ha realizado sobre 3 transectos longitudinales de diferente tamaño (A, B y C). En la campaña de campo se hicieron tan solo dos tiradas de 40 metros de longitud (80 muestras).

El muestreo superficial longitudinal indica, además del tamaño elevado de las partículas de la barra, cierta estabilidad en los resultados obtenidos en los diversos muestreos realizados.

La evolución muestra valores semejantes en el tamaño de los sedimentos superficiales de la coraza en los muestreos llevados a cabo, con valores que aumentan en M4 pero que luego son muy similares en el resto de campañas.

Figura 4. 5. Barra de control IN 0 en la campaña de campo de 2018.

Por otro lado, los valores del muestreo subsuperficial disminuyen considerablemente entre M1 y M4 y se incrementan ligeramente en M5 y M7, asemejándose más en estas últimas campañas al resultado obtenido en el muestreo superficial de coraza. En la campaña de M9, los valores se asemejan más a la campaña M4.

Las variaciones que se han indicado en los muestreos superficiales de coraza y subsuperficiales pueden estar ocasionadas únicamente por la elección de la superficie de muestreo en las distintas campañas, ya que en los datos de muestreo superficial longitudinal reflejan valores similares en los 5 muestreos, denotando así una cierta estabilidad en la barra. Además, visualmente no se observan grandes cambios en la morfología de la barra.

Tabla 4.2. Evolución del D_m y del D_{50} (barra IN 0)

	Barra IN 0	Muestreo superficial longitudinal	Muestreo superficial de la coraza	Muestreo subsuperficial
M1	**D_m (mm)**	103,16	42,39	86,71
	D_{50} (mm)	75,15	23,52	55,17
M4	**D_m (mm)**	110,96	71,38	12,38
	D_{50} (mm)	90,50	69,73	8,29
M5	**D_m (mm)**	143,73	49,21	30,67
	D_{50} (mm)	93,40	32,65	12,34

M7	**Dm (mm)**	132,92	35,09	45,58
	D_{50} (mm)	105,90	24,60	14,38
M9	**Dm (mm)**	79,51	33,78	5,29
	D_{50} (mm)	96,50	33,00	11,00

4.3.2. Barra 1 (Barra IN 01)

Barra situada en la margen izquierda, de gran longitud y pendiente. Los tamaños obtenidos en la primera campaña son generalmente más reducidos que en la barra de referencia en los tres tipos de muestreo.

Entre el M1 y el M9 se producen algunos cambios significativos. Si se atiende a la evolución, disminuye el tamaño del material superficial en los muestreos longitudinales. Entre M1 y M3 se produce un importante descenso del tamaño medio y algo menor del mediano, manteniéndose los valores con pequeñas oscilaciones hasta el M7 donde el tamaño medio se incrementa superando el valor de M1, mientras que el mediano mantiene el valor de M6. En la campaña de 2017, M8, los valores caen muy considerablemente. Sin embargo, en la campaña M9, los valores son similares a la anterior, aunque un poco más elevados. En lo que a los valores de la coraza se refiere se produce un importante incremento a partir de M4, mostrando una tendencia a la disminución de tamaño hasta alcanzar en M8 valores similares a los de M1. Se observa claramente la diferencia que hay entre los valores obtenidos del material superficial (entre el longitudinal y la coraza), por lo que se trata de una barra muy heterogénea.

Tabla 4.3. Evolución del D_m y del D_{50} (barra IN 01).

	Barra IN 01	Muestreo superficial longitudinal	Muestreo superficial de la coraza	Muestreo subsuperficial
M1	**D_m (mm)**	103,43	28,02	12,93
	D_{50} (mm)	76,30	21,50	8,70
M3	**D_m (mm)**	80,93	30,14	72,36
	D_{50} (mm)	62,08	25,36	40,31
M4	**D_m (mm)**	83,77	58,32	13,64
	D_{50} (mm)	68,00	42,50	8,71
M5	**D_m (mm)**	86,00	40,81	36,93
	D_{50} (mm)	48,25	31,45	12,16
M6	**D_m (mm)**	82,44	47,20	16,74
	D_{50} (mm)	52,50	29,50	11,36

M7	**D_m (mm)**	109,46	36,27	75,51
	D_{50} (mm)	51,32	33,85	21,57
M8	**D_m (mm)**	48,12	28,62	6,69
	D_{50} (mm)	42,00	29,00	12,00
M9	**D_m (mm)**	58,16	23,66	13,52
	D_{50} (mm)	53,00	24,00	17,00

Figura 4.6. Comparativa fotográfica de la evolución de la barra 1 (IN 01) entre julio de 2013 (arriba izquierda), abril de 2014 (arriba derecha), agosto de 2014 (centro izquierda), junio de 2015 (centro derecha), septiembre de 2016 (abajo izquierda) y julio de 2017 (abajo derecha).

En lo que al material subsuperficial se refiere se producen una serie de altibajos. Se inicia con un importante incremento en M3, volviendo a retomar en M4 los valores de M1. En M5 se produce otro incremento de una magnitud inferior al de M3, valores que vuelven a disminuir en M6. El material sufre en M7 un acentuado incremento con respecto a M6, ofreciendo unos valores notablemente superiores a todas las campañas anteriores y similares a M3, pero en M8 cae notablemente y sigue la misma tendencia, aunque no tan acusada, en M9. Sin embargo, la diferencia, si se tiene en cuenta el D_{50}, es muy poco acusada, salvedad hecha de los muestreos de las campañas M3 y M7. Esta variabilidad puede deberse a una inadecuada localización de la muestras realizadas en M3 y M7, algo que es difícil de saber cuándo se trata de material subsuperficial, ya que no es visible hasta que no se extrae y se trabaja posteriormente en laboratorio. En este sentido, la localización de los muestreos de coraza y subsuperficial responde a criterios subjetivos, cuyo objetivo es realizar el muestreo en una ubicación que sea una muestra identificativa del espacio y que, a su vez, pueda dar respuesta al proceso de acorazamiento. No obstante, la granulometría superficial longitudinal es la que indica el tamaño medio real de la barra.

Figura 4. 7. Detalle del tipo de material que aparece en la coraza de la barra IN 01, tomada en 2018.

4.3.3. Barra 2 (Barra IN 02)

Barra situada en la margen derecha, situada en el lóbulo interno de un amplio meandro. El muestreo se ha realizado en todas las campañas al inicio de la barra, en la zona donde hay una mayor actividad. El área situada aguas abajo presenta una mayor estabilidad y en ella se desarrolla vegetación de porte arbóreo.

Con respecto al muestreo superficial longitudinal, la evolución temporal del D_{50} es el más continuo de todas las barras estudiadas, con unos los valores que muestran una tendencia decreciente en tamaño, especialmente en los dos últimos años.

Entre el M1 y M5 los cambios son poco significativos, aumenta levemente el tamaño de los muestreos superficiales y se reduce de forma poco significativa el tamaño del material subsuperficial. No se observan cambios relevantes, si bien las diferencias se atisban valorando

el D_m, pero no el D_{50}, cuyos valores son muy similares en casi todos los muestreos. La evolución general tiende a la estabilidad.

Sin embargo, entre el M5 y M8 sí que parece existir una tendencia similar a la observada en la barra anterior, con una reducción del D_m en el muestreo subsuperficial, pero valores similares en el D_{50}, tanto en la coraza como en el subsuperficial. En cuanto al tamaño medio de la muestra longitudinal, también se observa una reducción del valor calculado. La tendencia observada en la última campaña de campo, la M9, son similares a la del año anterior, manteniendo así la tendencia más o menos en una misma línea de evolución hacia unos tamaños más pequeños en general.

Tabla 4.4. Evolución del D_m y del D_{50} (barra IN 02).

	Barra IN 02	Muestreo superficial longitudinal	Muestreo superficial de la coraza	Muestreo subsuperficial
M1	**D_m (mm)**	65,48	32,20	40,49
	D_{50} (mm)	51,01	26,81	16,47
M3	**D_m (mm)**	75,61	44,36	24,87
	D_{50} (mm)	52,25	39,53	14,55
M4	**D_m (mm)**	96,33	46,31	39,89
	D_{50} (mm)	48,67	37,00	13,60
M5	**D_m (mm)**	100,22	40,37	42,70
	D_{50} (mm)	61,85	29,83	14,00
M6	**D_m (mm)**	66,54	42,61	15,93
	D_{50} (mm)	50,50	32,00	10,67
M7	**D_m (mm)**	75,51	35,36	31,80
	D_{50} (mm)	49,75	26,54	13,01
M8	**D_m (mm)**	49,30	24,14	10,49
	D_{50} (mm)	40,50	23,00	13,00
M9	**D_m (mm)**	30,09	37,05	6,12
	D_{50} (mm)	32,50	33,50	10,00

Figura 4.8. Comparativa fotográfica de la evolución de la barra 2 (IN 02) entre julio de 2013 (arriba izquierda), abril de 2014 (arriba derecha), agosto de 2014 (centro izquierda), junio de 2015 (centro derecha), septiembre de 2016 (abajo izquierda) y julio de 2017 (abajo derecha).

Figura 4. 9. Barra IN 02 durante la medición del muestreo 9 en junio de 2018.

4.3.4. Barra 3 (Barra IN 03)

Barra situada en la margen derecha, de morfología central y adosada en su parte inicial a una ladera de gran pendiente, con un acceso también complejo. Al contrario que en las otras barras presentaba un aspecto muy homogéneo donde destacaba el material tamaño grava y la imbricación del material. Sin embargo, a partir del M5 la barra desaparece. Se entiende que los últimos episodios de aguas altas durante el invierno previos a ese muestreo modificaron la dinámica de la zona, arrastrando el sedimento. De hecho, se ha ido observando una progresiva desaparición de la misma, reduciéndose de izquierda a derecha en cada muestreo, aspecto que se apreciaba en todos los muestreos realizados, independientemente del caudal.

A pesar de su desaparición en M5, tanto en M5, M6 y M7 se ha continuado llevando a cabo muestreo longitudinal en la misma zona, pero no se han realizado ni muestreos de coraza ni de material superficial. Destaca la diferencia de tamaño en el muestreo entre antes (M1-M4) y después de que la barra despareciera (M5-M7), ya que se produce un punto de inflexión, incrementándose notablemente el tamaño del sedimento. Asimismo, entre M5 y M6 continúa el aumento del calibre del material si se considera el valor medio, pero se reduce sensiblemente si se tiene en cuenta el D_{50}. En M7, el valor D_{50} se mantiene con respecto a M6, aunque el tamaño medio de los sedimentos se reduce.

Tabla 4 5. Evolución del D_m y del D_{50} (barra IN 03).

	Barra IN 03	Muestreo superficial longitudinal	Muestreo superficial de la coraza	Muestreo subsuperficial
M1	**D_m (mm)**	49,94	36,28	56,22
	D_{50} (mm)	43,57	31,25	26,74
M3	**D_m (mm)**	57,60	35,37	27,38
	D_{50} (mm)	51,79	28,80	15,17

M4	**D_m (mm)**	50,73	40,36	15,79
	D_{50} (mm)	45,71	35,43	10,78
M5	**D_m (mm)**	84,67	-	-
	D_{50} (mm)	83,59	-	-
M6	**D_m (mm)**	116,19	-	-
	D_{50} (mm)	71,50	-	-
M7	**D_m (mm)**	68,83	-	-
	D_{50} (mm)	69,12	-	-

Observando la evolución general, uno de los datos más destacable es el tamaño del material subsuperficial, dado que en M1 es mayor que la coraza (en el D_m no en el D_{50}), lo que no sucede normalmente. El material superficial longitudinal aumenta ligeramente para volver a disminuir en M4 y aumentar en mayor medida en M5, mientras que el superficial de la coraza tiene valores muy estables en los 3 muestreos. El material subsuperficial disminuye entre M1 y M3 para reducirse de nuevo en M4, aunque esa disminución se aprecia más en el D_m.

Figura 4.10. Comparativa fotográfica de la evolución de la barra 3 (IN 03) entre julio de 2013 (arriba izquierda), abril de 2014 (arriba derecha), agosto de 2014 (abajo izquierda) y junio de 2015 (abajo derecha).

A partir de la campaña de campo de 2017, no se realizaron ningún tipo de muestreos dado que la barra ya no existe, como se puede apreciar en la Figura 4.11.

Figura 4.11. Lugar donde se ubicaba la barra 3 (IN 03) en la campaña de campo de septiembre 2016 (izquierda) y julio de 2017 (derecha).

4.3.5. Barra 4 (Barra IN 04)

Barra situada en la margen izquierda, en la orilla convexa de un meandro. Es una barra de creación posterior al derribo de la presa, ya que se localiza en el tramo que constituía el vaso del embalse. Se observan cambios significativos en la morfología y extensión de la barra debido a las fuertes modificaciones geomorfológicas que se están generando en esta zona entre M2 y M9.

De forma visual se observa la reducción de la superficie de la barra entre el M2 y M9 por la acción del curso fluvial, así como un incremento de las variaciones topográficas por las mismas causas.

Tabla 4.6. Evolución del D_m y del D_{50} (barra IN 04).

	Barra IN 04	Muestreo superficial longitudinal	Muestreo superficial de la coraza	Muestreo subsuperficial
M2	**D_m (mm)**	23,33	26,05	22,24
	D_{50} (mm)	16,6	23,39	10,60
M3	**D_m (mm)**	41,75	38,55	30,55
	D_{50} (mm)	41,10	34,16	10,33
M4	**D_m (mm)**	49,59	51,28	21,89
	D_{50} (mm)	49,42	47,54	16,10
M5	**D_m (mm)**	65,73	41,16	24,61
	D_{50} (mm)	58,01	26,70	12,03
M6	**D_m (mm)**	62,59	48,05	17,33
	D_{50} (mm)	46,50	42,50	11,48

M7	**D_m (mm)**	70,37	42,64	48,93
	D_{50} (mm)	66,33	34,50	15,96
M8	**D_m (mm)**	65,92	32,25	6,24
	D_{50} (mm)	67,00	31,00	11,00
M9	**D_m (mm)**	41,43	33,22	7,48
	D_{50} (mm)	40,00	31,50	16,00

A su vez, los cambios en la granulometría son evidentes, aunque con un comportamiento irregular. Lo que sí parece más o menos claro es el incremento del tamaño medio en el muestreo superficial longitudinal, entre M2 y M8, debido seguramente al lavado del material más fino que deja al descubierto los materiales más groseros. En el M9 sí que hay un tamaño menor en el muestreo longitudinal, con valores similares a M3. El curso fluvial se ha desplazado a la margen derecha, incidiendo en esa orilla, y dejando esta barra algo más elevada. En el caso de los muestreos superficiales de la coraza se observa mayor homogeneidad en el tamaño a lo largo de la escala temporal de los muestreos.

A diferencia de otras barras, no se aprecian variaciones considerables en el tamaño de los sedimentos durante los últimos muestreos longitudinales y de coraza, el crecimiento es evidente, pero ocurre gradualmente, lo que se aprecia entre M3 y M5. De alguna manera se está alcanzando un equilibrio en el que los tamaños del material superficial de la barra 4 son similares a los de otras barras, algo que en M2 no ocurría.

En lo que respecta a los valores de granulometría subsuperficial, se observa que el material sedimentario, como es lo habitual, es ligeramente superior en la coraza. La evolución del tamaño mediano es muy poco significativa en los diferentes muestreos. En M7, el valor del Dm es notablemente superior a otras campañas, aunque el D_{50} de este muestreo se asemeja a los previos, algo similar sucede en M3. Los valores de M9 son muy similares a los de la campaña M8.

Figura 4. 12. Barra en la campaña de campo de 2018.

Figura 4.13. Comparativa fotográfica de la evolución de la barra 4 (IN 04) entre septiembre de 2013 (arriba izquierda), abril de 2014 (arriba derecha), agosto de 2014 (centro izquierda), junio de 2015 (centro derecha), septiembre de 2016 (abajo izquierda) y julio de 2017 (abajo derecha).

4.3.6. Barra 5 (Barra IN 05)

Era la última de las barras situadas aguas arriba de la presa de Inturia, en la margen izquierda del curso fluvial, antes de la realización de un nuevo muestreo (barra IN 09) en la campaña de campo de julio de 2017 (M8). Al igual que la barra 4, es otra de las que se han formado una vez se retiró parte de la presa y que, por tanto, se localiza en lo que anteriormente era el vaso del embalse. Tanto en la barra 4 como en la barra 5 se aprecia cierta similitud en su evolución temporal, tanto en la evolución de los tamaños de las partículas como en los cambios en la morfología y extensión de la barra, que son también acusados, sobre todo entre los dos últimos muestreos.

Al igual que sucedía en la barra 4, en la barra 5 se aprecia un aumento paulatino del tamaño de los sedimentos en la granulometría longitudinal desde M1 hasta M8. Esta evolución es similar en la granulometría de coraza hasta M6, a partir de entonces la tendencia se invierte y se produce una disminución gradual en M7 y M8 retornando a valores similares a los de M3.

De la misma forma que se ha explicado en el caso de la barra 4, el incremento que se ha ido produciendo en el tamaño de las barras ha equiparado los valores al resto de las barras situadas aguas arriba de la presa.

Durante la campaña de campo M9 se ha eliminado la barra por el encajamiento del río y el afloramiento de sustrato, por lo que no se ha realizado análisis en este punto.

Tabla 4.7. Evolución del D_m y del D_{50} (barra IN 05).

	Barra IN 05	Muestreo superficial longitudinal	Muestreo superficial de la coraza	Muestreo subsuperficial
M2	**D_m (mm)**	36,18	25,75	49,21
	D_{50} (mm)	32,62	21,25	15,74
M3	**D_m (mm)**	40,23	33,70	14,89
	D_{50} (mm)	39,42	30,63	9,79
M4	**D_m (mm)**	43,40	35,49	14,75
	D_{50} (mm)	37,26	32,38	10,02
M5	**D_m (mm)**	66,54	40,92	44,28
	D_{50} (mm)	56,24	36,78	14,77
M6	**D_m (mm)**	71,05	59	14,46
	D_{50} (mm)	64	51	9,61
M7	**D_m (mm)**	72,52	52,50	19,17
	D_{50} (mm)	58,50	40,00	13,48
M8	**D_m (mm)**	72,99	31,64	5,37
	D_{50} (mm)	70,00	30,00	6,50

El tamaño del material subsuperficial disminuye ya tras el primer muestreo post primera fase de derribo, M3. En M5 se incrementa notablemente el tamaño medio, aunque no el mediano, lo que puede deberse a la influencia de un clasto concreto de tamaño extremo que haya influido en el valor aritmético. En M8, los valores del material subsuperficial descienden de forma notable.

Figura 4. 14. Comparativa fotográfica de la evolución de la barra 5 (IN 05) entre septiembre de 2013 (arriba izquierda), abril de 2014 (arriba derecha), agosto de 2014 (centro izquierda), junio de 2015 (centro derecha), septiembre de 2016 (abajo izquierda) y julio de 2017 (abajo derecha).

En lo referente a la diferencia del material entre la coraza y el subsuperficial, se observa que inicialmente no había coraza, y que esta estaba formada por materiales finos de la decantación del vaso del embalse que sepultaban los materiales aluviales originales del río. Sin embargo, rápidamente, una vez esta zona vuelve a recuperar la dinámica fluvial la relación entre ambos materiales (coraza y subsuperficial) tiende a asemejarse al resto de las barras, como puede apreciarse en M3, al año de la primera fase de derribo. En M5 vuelve a invertirse la situación, pero debido a que los materiales medios del tamaño subsuperficial se incrementan considerablemente, alcanzando los valores iniciales. Sin embargo si comparamos los tamaños medianos, vuelve a aparecer la coraza, por lo que ese valor medio no puede considerarse válido a efectos comparativos.

Figura 4. 15. Zona donde se localizaba la barra IN 05 en la campaña de campo de 2018.

La tendencia de esta barra es muy similar a la anterior. Se ve cómo el material superficial en el conteo longitudinal aumenta, tanto en el D_m como el D_{50}, mientras que la tendencia en el subsuperficial es a reducirse en tamaño, tal y como ocurría en la barra 4 (IN 04). El encajamiento del río en los sedimentos del antiguo vaso del embalse favorece el lavado del material más fino superficial, dejando partículas de tamaño mayor en la parte superior depósitos fluviales previos al anegamiento por el embalse.

4.3.7. Barra 6 (Barra IN 06)

La barra 6 se localiza en la margen izquierda, aguas abajo de la presa de Inturia, sin tener influencia de la lámina de agua del azud de Bertxin. La evolución de la morfología de la barra, su extensión y tipo de material ha cambiado drásticamente a lo largo de la escala temporal de trabajo. No obstante, los valores del tamaño de los sedimentos del muestreo superficial longitudinal se han mantenido similares a lo largo de los muestreos, si bien en M5 experimentó una reducción importante, que en M7 ha vuelto a repetirse tras el incremento en M6. En M8, el incremento de los valores es muy poco significativo, mientras que en M9 se observan unos tamaños ligeramente más pequeños.

El cambio de tamaño de los materiales en M5 seguramente fue favorecido por la disposición de diferentes troncos, ramas, y otros elementos sobre la propia barra (seguramente transportados por el último episodio de aguas altas), mientras que la reducción significativa del tamaño de los sedimentos en M7 probablemente esté condicionada por la recepción de material fino del antiguo embalse de Inturia, una vez se derribó del todo la presa.

En el trabajo de campo en la campaña M7 se pudo observar áreas de deposición de sedimentos de clase arena. Los valores del D_m de esta barra han sido considerablemente más elevados que en el resto de las estudiadas a lo largo de todas las campañas de campo, si bien en M7 muestra valores por debajo de los obtenidos en las barras localizadas aguas arriba.

Tabla 4.8. Evolución del D_m y del D_{50} (barra IN 06).

	Barra IN 06	Muestreo superficial longitudinal	Muestreo superficial de la coraza	Muestreo subsuperficial
M1	**D_m (mm)**	86,89	34,37	61,64
	D_{50} (mm)	62,50	28	21,81
M3	**D_m (mm)**	110,76	63,20	54,11
	D_{50} (mm)	90,66	50,32	18,35
M4	**D_m (mm)**	116,03	80,01	14,92
	D_{50} (mm)	108,26	58,50	8,74
M5	**D_m (mm)**	76,34	36,74	19,91
	D_{50} (mm)	56,67	28,22	13,88
M6	**D_m (mm)**	116,19	72,52	22,28
	D_{50} (mm)	71,50	76,00	16,37
M7	**D_m (mm)**	50,54	35,79	32,36
	D_{50} (mm)	47,25	29,50	25,97
M8	**D_m (mm)**	58,07	42,12	7,42
	D_{50} (mm)	52,50	40,00	15,00
M9	**D_m (mm)**	35,90	17,79	13,73
	D_{50} (mm)	45,50	18,50	18,00

La gran variabilidad entre el muestreo superficial longitudinal y el muestreo de la coraza en M6 se equilibra en M7 y se mantiene en M8. Asimismo, la diferencia de valores entre la coraza y el subsuperficial es muy elevada en todos los muestreos, salvo en M3, M5 y M7. Esta heterogeneidad posiblemente se deba a que es una barra que, por localizarse a escasa distancia aguas abajo de la antigua presa de Inturia, está afectada directamente por las sucesivas fases de derribo. Entre M4 y M5 el tamaño de las partículas del material superficial (tanto el longitudinal como la coraza) se ha reducido prácticamente a la mitad, asemejándose los valores en el último de ellos a los obtenidos en M1. Teniendo en cuenta la campaña M8, esta reducción se hace incluso más patente, con valores en 2017 incluso inferiores a los obtenidos en el muestreo longitudinal. El material subsuperficial, aunque seguía un proceso de aparente reducción entre M1 y M4, aumenta ligeramente, para reducirse en la campaña M8 y mantenerse más o menos en los mismos niveles en M9.

Figura 4.16. Comparativa fotográfica de la evolución de la barra 6 (IN 06) entre julio de 2013 (arriba izquierda), abril de 2014 (arriba derecha), agosto de 2014 (centro izquierda), junio de 2015 (centro derecha) septiembre de 2016 (abajo izquierda) y julio de 2017 (abajo derecha).

4.3.8. Barra 7 (Barra IN 07)

La barra 7 se localiza en la margen derecha, aguas abajo de la presa de Inturia, cerca de la cola de la lámina de agua del azud de Bertxin.

Tabla 4.9. Evolución del D_m y del D_{50} (barra IN 07).

	Barra IN 07	Muestreo superficial longitudinal	Muestreo superficial de la coraza	Muestreo subsuperficial
M1	**D_m (mm)**	56,14	43,03	59,47
	D_{50} (mm)	45,35	37,82	36,23
M3	**D_m (mm)**	114,98	40,15	81,27
	D_{50} (mm)	98,56	32,34	50,51
M4	**D_m (mm)**	110,13	60,01	17,37
	D_{50} (mm)	87,30	43,27	11,33
M5	**D_m (mm)**	43,67	39,88	15,97
	D_{50} (mm)	34,47	31,59	10,21
M6	**D_m (mm)**	82,14	54,35	16,37
	D_{50} (mm)	77,00	50,00	11,16
M7	**D_m (mm)**	35,51	34,38	33,37
	D_{50} (mm)	33,50	30,00	18,44
M8	**D_m (mm)**	60,67	46,01	5,48
	D_{50} (mm)	55,00	46,00	12,00
M9	**D_m (mm)**	18,80	33,30	8,12
	D_{50} (mm)	27,50	31,00	17,00

La evolución de la barra 7 es muy similar a la de la barra 6. En este sentido, se aprecia un considerable aumento del tamaño de las partículas en el muestreo de material superficial longitudinal hasta M4, ya que en M5 se reduce a más de la mitad. Sin embargo, en M6 los valores se incrementan a valores parecidos a los muestreos previos a M5. En M7 se obtienen nuevamente datos parecidos a M5. Y en la campaña M8, vuelve a incrementarse el tamaño de las partículas, con valores similares a los de M6. Sí que se aprecia una fuerte reducción del tamaño en M9, con valores muy diferentes en el muestreo longitudinal.

La coraza y el material subsuperficial tienen comportamientos diferentes, si bien la primera tiene tendencias irregulares aumentando y disminuyendo su tamaño entre los diferentes muestreos, las diferencias son poco relevantes. En cuanto al subsuperficial, tiene a estabilizarse con respecto a M4, con un valor similar. No obstante, el tamaño tiene una tendencia clara hacia la reducción del mismo, salvo en M7, al igual que sucedía en la barra 6.

Figura 4.17. Comparativa fotográfica de la evolución de la barra 7 (IN 07) entre julio de 2013 (arriba izquierda), abril de 2014 (arriba derecha), agosto de 2014 (centro izquierda), junio de 2015 (centro derecha) septiembre de 2016 (abajo izquierda) y julio de 2017 (abajo derecha).

La drástica reducción del tamaño del material superficial longitudinal en M5 y M7, parece deberse al proceso de erosión y arrastre del material del vaso del embalse ocurrido tras procesos de aguas altas. Evidentemente los procesos de aguas altas son los de mayor capacidad para provocarlos y pudiera ser que la crecida acontecida el 26 de febrero de 2015 fuera la causa de esta reducción del tamaño del material en M5, al poner en movimiento una mayor carga de material fino erosionado de las márgenes del antiguo vaso del embalse. Se ha estimado que el caudal medio aforado este día (97,66 m^3/s) es suficiente para mover la carga de fondo y modificar la morfología de las barras, algo que se ha observado entre las barras 3 y 7. Posteriormente, los materiales de calibre fino fueron arrastrados y de esta forma, los valores del tamaño de los sedimentos en M6 son de nuevo similares a los de muestreos

previos a M5. Algo parecido sucede en M7, una vez derribada la totalidad de la presa, por lo que durante las aguas altas del año 2016 se produce un proceso de deposición del material fino procedente del antiguo vaso del embalse y en M8 ese material, fácilmente transportable, vuelve a ser lavado por los procesos de aguas altas acontecidos durante el periodo 2016/17. Sin embargo, en M9, parece que ha habido un aporte importante de material más fino que es el que puede explicar los valores más bajos de tamaño medios en el análisis de la campaña de campo.

Figura 4. 18. Barra IN 07 durante la medición de campo de 2018.

4.3.9. Barra 8 (Barra IN 08)

La barra 8 está localizada aguas abajo de la presa de Inturia y está afectada por la cola de la lámina de agua del azud de Bertxin.

Figura 4.19. Aspecto de la barra 8 (IN 08) en junio de 2013.

Aprovechando el momento de aguas bajas, durante M1 se realizó una primera medición en esta barra con objeto de que aportara datos comparativos con otras barras, entre M2 y M5 (como se preveía) la barra se encontraba inundada por lo que no se realizaron más muestreos.

Tabla 4. 10. Evolución del D_m y del D_{50} (barra IN 08).

	Barra IN 08	Muestreo superficial longitudinal	Muestreo superficial de la coraza	Muestreo subsuperficial
M1	**D_m (mm)**	67,32	43,69	23,58
	D_{50} (mm)	58,72	36,50	18,25

4.3.10. Barra 9 (Barra IN 09)

La barra 9 se localiza en la orilla izquierda del río, en lo que antes era el vaso del embalse. La ubicación concreta se puede ver en la Figura 4.2. En este caso, se ha decidido muestrear la barra por la magnitud de la misma y por aportar información sobre la evolución sedimentaria del antiguo vaso del embalse en una localización próxima a la presa.

Figura 4. 20. Barra de reciente aparición (IN 09) en la medición M8 de julio de 2017 (izquierda) y en el M9 de junio de 2018 (derecha).

Se observa un tamaño medio elevado, tanto en la muestra longitudinal como en la coraza, dominando los materiales de grava y canto. En cuanto al muestreo subsuperficial, las partículas son más pequeñas, como es lógico, con una distribución algo irregular de los materiales, lo cual puede ser normal dado que esa zona del río se tuvo que reparar por el descalce de la pista (vía verde), afectando a la disposición de los materiales. Los cambios observados entre la campaña M8 y M9 no son significativos, si bien parece que hay una reducción general de los tamaños medios y D_{50}.

Tabla 4. 11. Evolución del D_m y del D_{50} (barra IN 09).

	Barra IN 09	Muestreo superficial longitudinal	Muestreo superficial de la coraza	Muestreo subsuperficial
M8	**D_m (mm)**	60,54	41,69	4,96
	D_{50} (mm)	56,00	38,00	13,00

M9	**D_m (mm)**	58,14	35,25	6,67
	D_{50} (mm)	53,50	37,00	8,60

4.3.11. Barra 0 (Barra OI 0)

La barra OI 0, o barra de control de Olloki, se localiza en la margen izquierda del río, aproximadamente a unos 2190 metros aguas arriba de la presa. Se ha tomado esta zona como control, al igual que se hizo con la presa de Inturia, en una zona lo suficientemente alejada de la zona de actuación para que los posibles cambios que se reflejen se puedan comparar con un comportamiento natural del propio sistema fluvial.

Figura 4. 21. Barra de control o barra OI 0 en el muestreo de 2018.

Las partículas analizadas en el campo en las campañas MO1 y MO2 son de un tamaño grande, dominando los materiales de tipo cantos y bloques. Se observan diferencias entre los materiales del análisis longitudinal y los de la coraza, con un descenso en los tamaños medios tanto longitudinalmente como en el muestro de coraza. En la muestra subsuperficial es bastante homogénea en cuanto a material de tipo grava y ese descenso del tamaño es proporcionalmente mayor, ya que es la mitad para el Dm y aproximadamente de un tercio en el D_{50}. El índice de acorazamiento de esta muestra es elevado (cercano o superior a 3), pero no demasiado, lo cual indica que existe cierta movilidad en el río, aunque podría ser mejor.

Tabla 4. 12. Evolución del D_m y del D_{50} (barra OI 0).

	Barra OI 0	Muestreo superficial longitudinal	Muestreo superficial de la coraza	Muestreo subsuperficial
MO1	**D_m (mm)**	74,74	65,44	12,73
	D_{50} (mm)	92,64	64,50	19,00
MO2	**D_m (mm)**	65,39	34,32	6,14
	D_{50} (mm)	82,50	34,00	12,00

Figura 4. 22. Análisis granulométrico en el laboratorio de la barra OI 0.

4.3.12. Barra 1 (Barra OI 01)

La barra OI 01 es la primera de las barras analizadas en las cercanías de la presa de Olloki. En este caso, la barra se localiza en la margen derecha del río, a unos 700 metros de distancia de la presa y 1500 metros aguas abajo de la barra de control OI 0. Es una barra lateral bastante amplia y larga, con una zona central algo más estrecha, que casi separa la barra en dos más pequeñas. Durante la campaña de campo MO2, la reducción de los depósitos parece evidente, aunque tomando esa información con cautela por el elevado caudal que había en junio de 2018.

Figura 4. 23. Localización de la barra OI 01 en 2017 (izquierda) y 2018 (derecha).

Los materiales de esta barra son más pequeños que los analizados en la barra de control, aguas arriba de esta primera barra en la zona de estudio. Es cierto que en el muestreo longitudinal hay más diferencia respecto a la barra de control que en el muestreo de la coraza, donde los valores son más parecidos. Se observa una reducción del tamaño medio de las partículas en el MO2, quizá más marcado en la muestra de la coraza.

En MO1, el acorazamiento de la barra es notablemente superior al de la barra de control, con una cifra superior a 11. Esto muestra una mala disposición de los sedimentos en vertical,

posiblemente originado por la cercanía al vaso del embalse y a la sinuosidad del curso fluvial, que puede ralentizar los procesos fluviales al reducir la velocidad del agua en momentos de crecida. En la muestra de MO2, el acorazamiento ha mejorado mucho respecto al año 2017, y se asemeja bastante al de la barra de control, con valores aun así elevados.

Tabla 4. 13. Evolución del D_m y del D_{50} (barra OI 01).

	Barra OI 01	Muestreo superficial longitudinal	Muestreo superficial de la coraza	Muestreo subsuperficial
MO1	**D_m (mm)**	52,97	60,83	5,48
	D_{50} (mm)	53,50	58,00	9,60
MO2	**D_m (mm)**	30,53	37,79	7,38
	D_{50} (mm)	40,00	34,00	12,00

Figura 4. 24. Análisis granulométrico en el laboratorio de la barra OI 01.

4.3.13. Barra 2 (Barra OI 02)

La barra OI 02 se localiza en la margen izquierda del río, en un meandro muy marcado, dentro del vaso del embalse de Olloki, a unos 460 metros de distancia de la presa y 240 metros aguas abajo de la barra OI 01. Es una *point bar* bastante amplia y larga, con una cierta colonización vegetal en las zonas interiores del meandro. Se han realizado dos campañas de campo, en 2017 y 2018, siendo los valores obtenidos similares, salvo el muestreo longitudinal, donde hay un descenso en el tamaño medio de los materiales en la segunda campaña.

Figura 4. 25. Localización de la barra OI 02.

Esta barra tiene materiales algo más grandes que la barra anterior, tal y como se puede ver en el muestreo longitudinal. Sin embargo, los valores de la coraza y del muestreo subsuperficial son algo más similares a los de la barra anterior, con tamaños en la coraza menores y en el subsuperficial ligeramente superiores.

Figura 4. 26. Morfología de la coraza superficial de la barra OI 02 en el muestreo de 2018.

El acorazamiento que muestra esta barra es bajo, con valor de 3 puntos, lo que indica que no presenta un acorazamiento muy marcado.

Tabla 4. 14. Evolución del D_m y del D_{50} (barra OI 02).

	Barra OI 02	Muestreo superficial longitudinal	Muestreo superficial de la coraza	Muestreo subsuperficial
MO1	**D_m (mm)**	75,80	45,89	7,26
	D_{50} (mm)	80,74	45,00	15,00

MO2	**D_m (mm)**	37,60	36,78	12,37
	D_{50} (mm)	44,50	36,00	16,00

Figura 4. 27. Análisis granulométrico en el laboratorio de la barra OI 02.

4.3.14. Barra 3 (Barra OI 03)

La barra OI 03 es la primera de las barras analizadas aguas abajo de la presa de Olloki, concretamente a 600 metros de distancia de la presa. Es una barra lateral que tiene un cauce secundario por la margen derecha, quedando como una barra central en momentos de aguas medias o altas.

Figura 4. 28. Detalle del trabajo de campo en la barra OI 03 en 2017 (izquierda) y del muestreo en 2018 (derecha).

De las muestras analizadas en el campo, esta barra es la que tiene los tamaños mayores, con valores en el muestreo longitudinal por encima de los 100mm tanto en el D_m como en el D_{50}. La barra es complicada y muy heterogénea, por lo que en los muestreos llevados a cabo en 2017 y 2018, de la coraza se ha intentado ubicar en una zona representativa de la mayoría del material. En este caso, los valores, tanto del análisis de la coraza como de la zona

subsuperficial, son muy similares a los de la barra anterior. Lo mismo sucede con el índice de acorazamiento, que es algo superior a 3, indicando un bajo grado de movilidad.

Tabla 4. 15. Evolución del D_m y del D_{50} (barra OI 03).

	Barra OI 03	Muestreo superficial longitudinal	Muestreo superficial de la coraza	Muestreo subsuperficial
MO1	**D_m (mm)**	104,71	41,51	5,69
	D_{50} (mm)	117,29	40,00	11,00
MO2	**D_m (mm)**	115,11	32,45	12,18
	D_{50} (mm)	112,00	34,00	17,00

Figura 5. 29. Análisis granulométrico en el laboratorio de la barra OI 03.

4.3.15. Barra 4 (Barra OI 04)

La barra OI 04 es la última de las barras analizadas y se localiza en la margen izquierda del río, a unos 875 metros de distancia de la presa y 275 metros aguas abajo de la barra OI 03. Es una barra lateral pequeña, con un desnivel marcado y materiales de granulometrías diversas. Los dos nuestros llevados a cabo en 2017 y 2018 se han realizado en las zonas más representativas de la misma, intentando abarcar los diferentes tamaños de material.

Figura 4. 30. Localización de la barra OI 04 durante los muestreos de 2017 (izquierda) y 2018 (derecha).

Tabla 4. 16. Evolución del D_m y del D_{50} (barra OI 04).

	Barra OI 04	Muestreo superficial longitudinal	Muestreo superficial de la coraza	Muestreo subsuperficial
MO1	**D_m (mm)**	27,15	44,29	4,36
	D_{50} (mm)	22,50	39,00	7,10
MO2	**D_m (mm)**	32,08	22,75	16,97
	D_{50} (mm)	33,50	20,00	19,00

Esta última barra es más pequeña y tiene dos partes muy claras en cuanto a granulometría se refiere. Por un lado, la zona superior de la barra, con material mucho más pequeño y una segunda zona, aguas abajo, donde se localiza el material más grueso. En el muestreo longitudinal se han tomado muestras de las dos zonas, mientras que el de la coraza y subcoraza se ha realizado en una zona intermedia, para tomar la zona más representativa. Los tamaños medios son los más pequeños de todas las barras analizadas. Y el índice de acorazamiento es notable, con valores que llegan casi al 6. En el muestreo de 2018 se observa una disminución en los tamaños medios de la coraza, pero un aumento significativo de las muestras subsuperficiales. La heterogeneridad de la barra puede explicar esta gran diferencia pese a que siempre se intenta realizar las mediciones en las zonas más representativas.

Figura 4. 31. Análisis granulométrico en el laboratorio de la barra OI 04.

4.4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El análisis e interpretación de resultados se ha hecho de las barras de Inturia, que tienen entre 2 y 9 muestreos, y en las barras de Olloki, tan solo en los dos muestreos llevados a cabo.

Después de realizados 9 muestreos, uno de ellos parcial (M2), se puede constatar que la evolución de las barras y de los sedimentos no responde a ningún patrón general de comportamiento. La geomorfología fluvial es una ciencia compleja que, en ocasiones, no responde a patrones generales sino a la localización de procesos muy localizados. Aspectos como la pendiente o el perímetro mojado pueden modificar sustancialmente las diferencias en el tamaño del sedimento en barras cercanas, pero con condiciones físicas diferentes.

En el caso estudiado, como se ha comentado, no existe una tendencia clara, aunque se atisban algunos comportamientos generalizados. Por ejemplo, se observa una homogeneización en la evolución de los tamaños de las partículas superficiales. Las barras 4 y 5 han alcanzado valores similares a los observados en las barras más cercanas, a pesar de los últimos altibajos. Por otro lado, teniendo en cuenta los tres últimos muestreos, se observa un aumento casi generalizado del tamaño de las partículas aguas arriba de la presa, por el contrario se observa una reducción aguas abajo.

Los momentos de aguas altas tienden a normalizar la situación como ya sucedió con la crecida del 26 de febrero de 2015, acaecida entre M4 y M5, que parece haber modificado las condiciones del material superficial longitudinal, sobre todo, aguas abajo de la presa volviendo a valores similares a M1 e incluso inferiores.

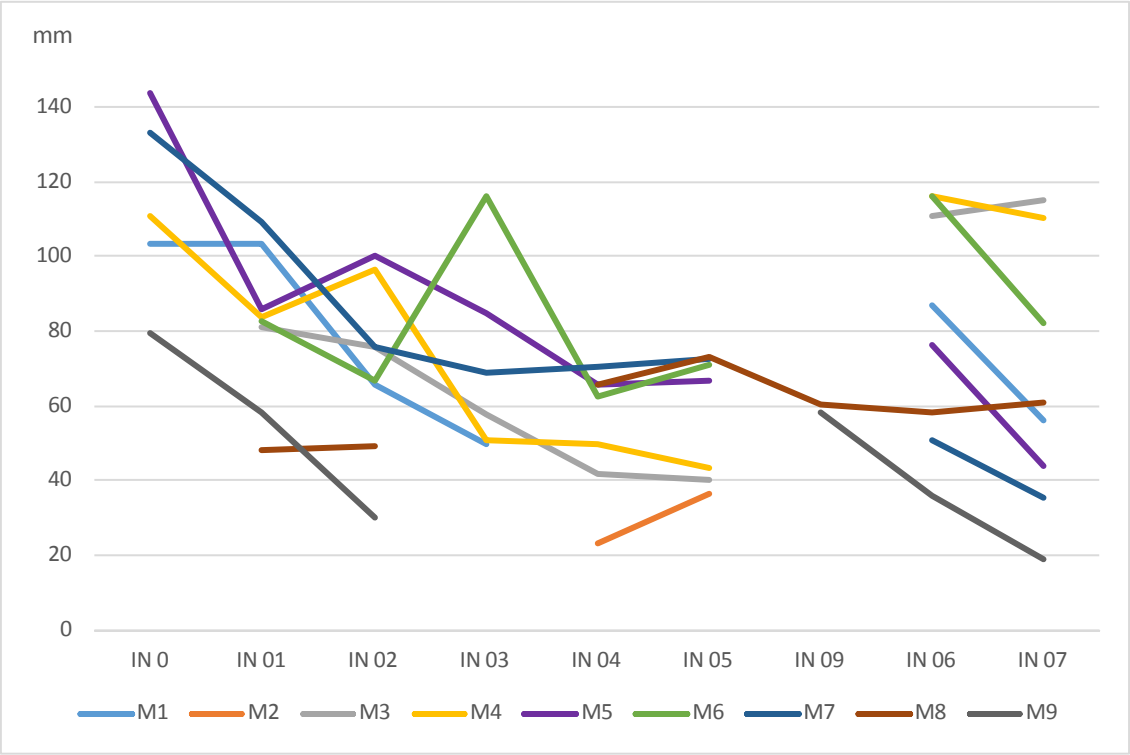


Figura 4. 32. Evolución del tamaño del material superficial longitudinal D_m entre los diferentes muestreos.

Observando la gráfica destaca el tamaño de las partículas en las barras 3, 4 y 5, cuyo tamaño aumenta, mientras que las barras 6, 7 y 9 disminuyen su tamaño, incluso también las barras 1 y 2. Es decir, después de la demolición de parte de la presa las partículas más grandes se

encontraban en la barra 6 y la barra 7, mientras que en M5 eso ocurre en las barras 0, 3, 4 y 5. En esta campaña de campo se observan los cambios más notables en algunas barras. Por otro lado, en M6 destaca el aumento de los tamaños medios en algunas barras, como la 3, 6 y 7. En M7, los valores medidos aumentan en alguna de las barras superiores (1y 2) y medias (4 y 5, mientras que, en las barras por debajo de la presa, 6 y 7, las medidas son mayores. La tendencia en M8 se mantiene más o menos similar en las barras 4 y 5, pero sí que se observa una disminución del tamaño tanto aguas arriba como aguas abajo de la presa, en las barras 1 y 2. Sin embargo, en las barras 6 y 7, el tamaño aumenta. En la campaña de 2018, en todas las barras, salvo la IN 01, se ha producido una disminución del tamaño medio, destacando la experimentada en la barra IN 07.

Los tamaños de D_{50} son inferiores a los obtenidos en el D_m. Las tendencias son similares a las explicadas con anterioridad, pero se aprecia que el descenso del tamaño medio entre M5 y M8 no es tan acusado en las barras 1 y 2, como se podía ver en con el D_m. La tendencia en la campaña de campo de 2018 se mantiene similar a la observada en el $D_{m,}$ aunque no es tan marcada en la barra IN 07.

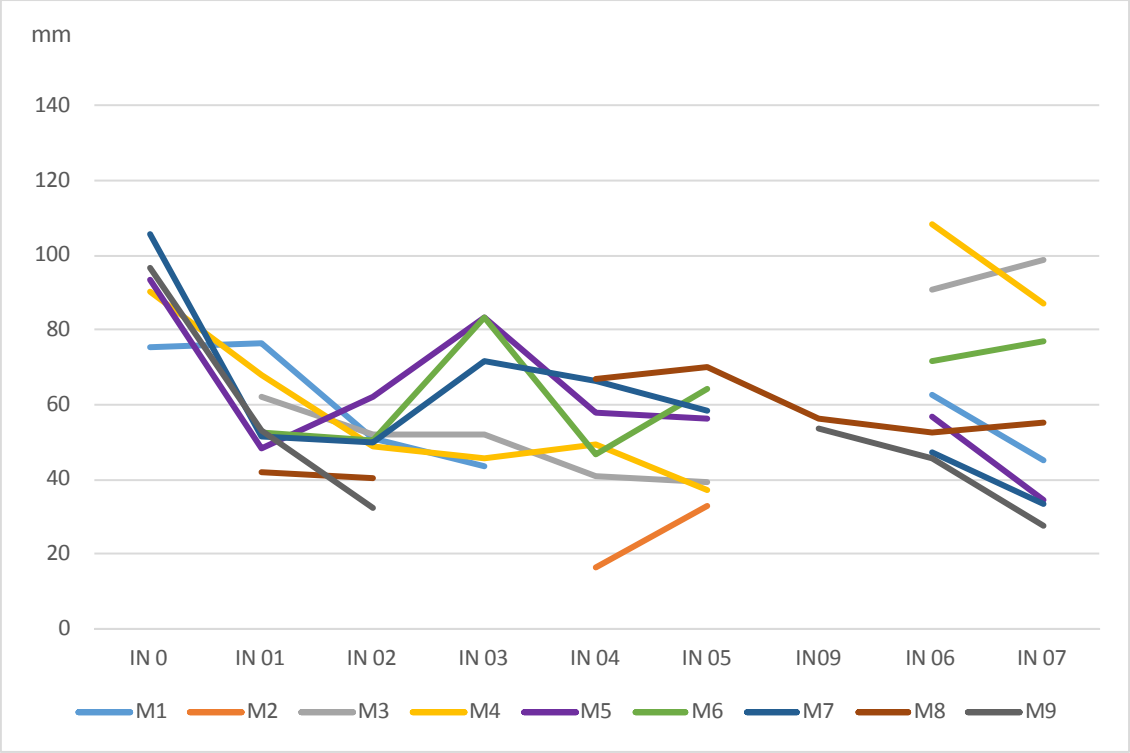


Figura 4. 33. Evolución del tamaño del material superficial longitudinal D_{50} entre los diferentes muestreos.

En cuanto al material superficial de la coraza, no se han observado cambios significativos, o al menos suficientes como para arriesgarse a sacar conclusiones. El tamaño de los materiales ha sufrido un aumento más o menos generalizado en M3 y M4. A partir de este punto, sí que se observan unas tendencias diferentes para las barras aguas arriba y aguas abajo del azud, de modo que en las primeras disminuye el tamaño en M5, M7 y M8, con un aumento en M6, mientras que en las segundas el comportamiento es similar pero con un aumento claro en la M8. En 2018 la tendencia en IN 07 se invierte, es decir, disminuye el tamaño medio de la coraza, mientras que en el resto de muestreos, se asemejan bastante al comportamiento de la campaña anterior.

No obstante, como se ha dicho, estos resultados responden a localizaciones puntuales de la barra que, si bien, intentan reflejar una zona homogénea y característica de la zona, a veces puede haber variaciones. El objetivo en este caso es siempre compararlo con el material subsuperficial en esa misma localización.

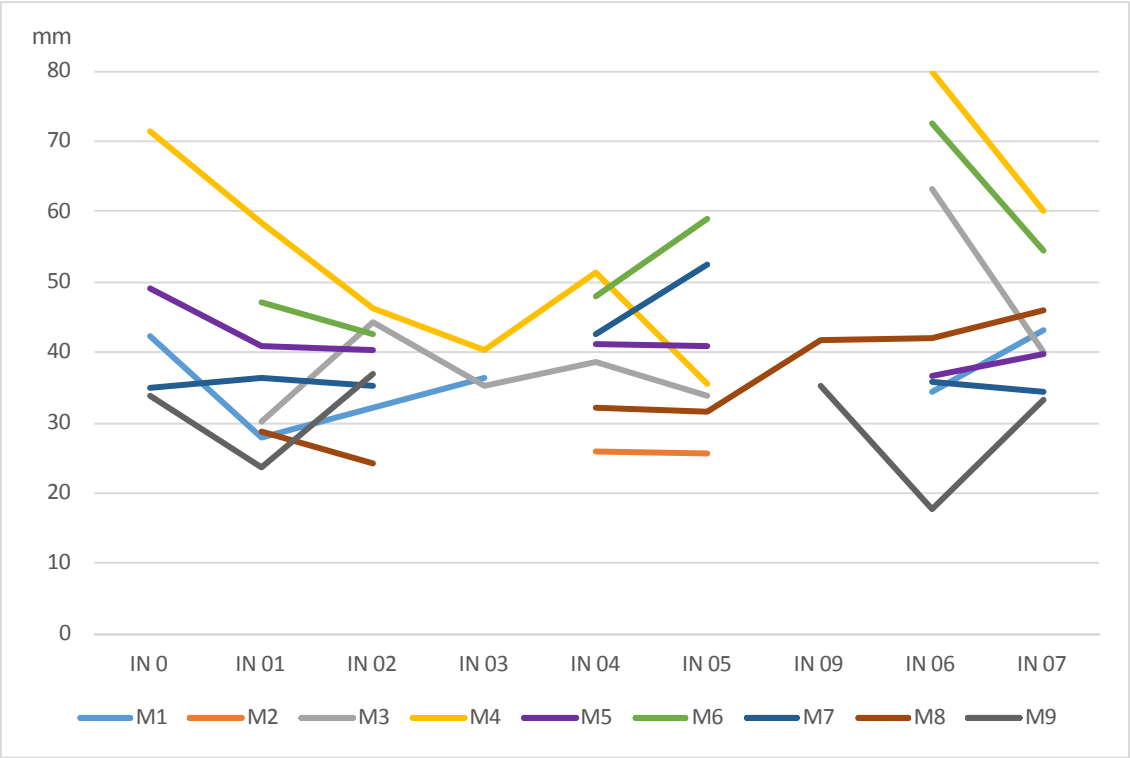


Figura 4. 34. Evolución del tamaño del material superficial de coraza D_m entre los diferentes muestreos.

Si se analizan los datos del D_{50}, al igual que con el muestreo longitudinal, las diferencias de tamaños son menos marcadas. Sí que es cierto que se observa un aumento de tamaño en las barras que están aguas abajo de la presa, concretamente la 6 y 7, en las campañas de campo M6 y M8. Además, ese aumento se corresponde con la agradación en las secciones que se ubican aguas abajo (secciones 20, 21, 22 y 23). Para 2018, los datos son similares, salvo la barra IN 06, la cual destaca por un tamaño mucho menor en los materiales. Bien es cierto que esta barra se ha visto muy reducida y los cambios en la sección superior, la 22, han sido notables en cuanto a la reducción de la barra central y ese material puede haberse depositado aguas abajo, en la zona de la medición de la granulometría.

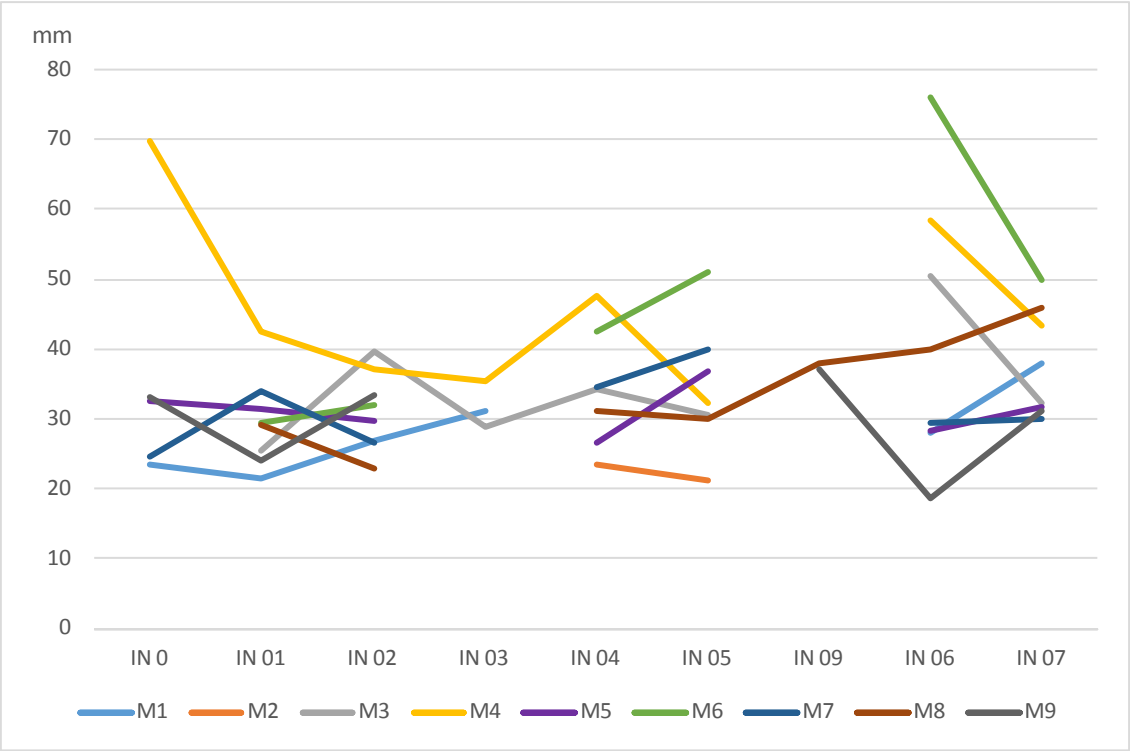


Figura 4. 35. Evolución del tamaño del material superficial de coraza D_{50} entre los diferentes muestreos.

En cuanto al material subsuperficial, el tamaño ha experimentado ciertos cambios con respecto a M6, aunque sigue mostrando estabilidad, especialmente en los últimos 3 muestreos. En general, se ha producido un ligero incremento del tamaño del material entre los muestreos M6 y M7, especialmente en la barra 1, 6 y 7, siendo también valores más altos que en M5. Sin embargo, en la campaña M8, hay una clara disminución del tamaño medio en todas las barras. En la M9, la disminución del material es la tónica general, salvo en la barra IN 02 donde aumenta levemente.

Como se explica en otros informes, la metodología utilizada para obtener el material subsuperficial sirve para conocer *grosso modo* los valores del material subsuperficial, pero el tamaño de la muestra no es suficiente para establecer conclusiones sobre el funcionamiento del sistema en el material subsuperficial. Aun así, en este caso es donde se observa la muestra más evidente de estabilidad, no existiendo ningún tipo de altibajo reseñable por su rareza desde M3, si bien en la barra 1 y 6 se aprecia un paulatino incremento desde M4 que será necesario analizar en los futuros muestreos. El resto de barras presentan un comportamiento bastante estable con una amplitud entre valores máximos y mínimos muy poco apreciable.

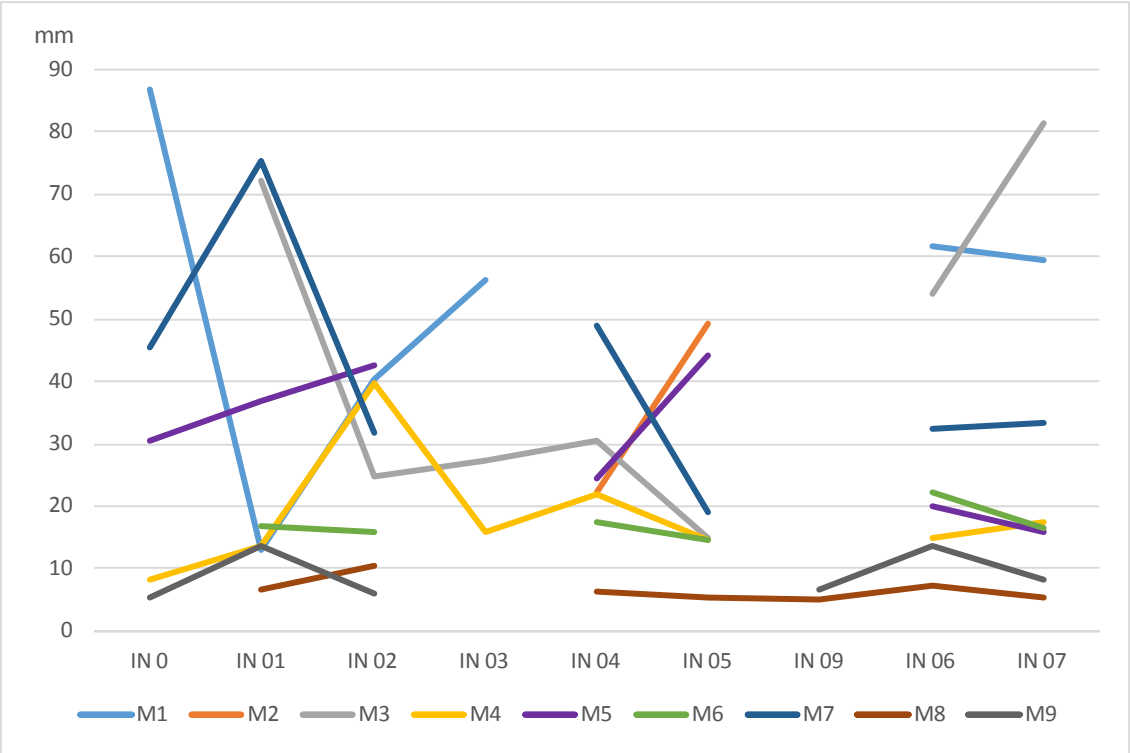


Figura 4.36. Evolución del tamaño del material subsuperficial D_m entre los diferentes muestreos.

En este sentido, al ser una muestra muy reducida (30 cm x 30 cm) y con un peso medio de entre 3 y 4 kilogramos, un canto de gran tamaño (de aproximadamente un kilo o superior) en una sola muestra puede alterar por completo el resultado, lo que pudo suceder en la barra 0 durante M1 o en las barras 1 y 7 durante M3. Si la muestra fuera mucho mayor estas diferencias serían seguramente poco reseñables. En definitiva, la metodología utilizada para obtener el material subsuperficial sirve para conocer *grosso modo* los valores del material subsuperficial, pero el tamaño de la muestra no es suficiente para establecer conclusiones sobre el funcionamiento del sistema en el material subsuperficial.

El análisis del D_{50} de la muestra subsuperficial, que se puede ver en la figura siguiente, son de tamaño menor en general. Llama la atención que el D_m en la barra 6, entre las campañas M7 y M8 disminuye, mientras que en el D_{50} se puede ver una tendencia contraria, con un ligero aumento.

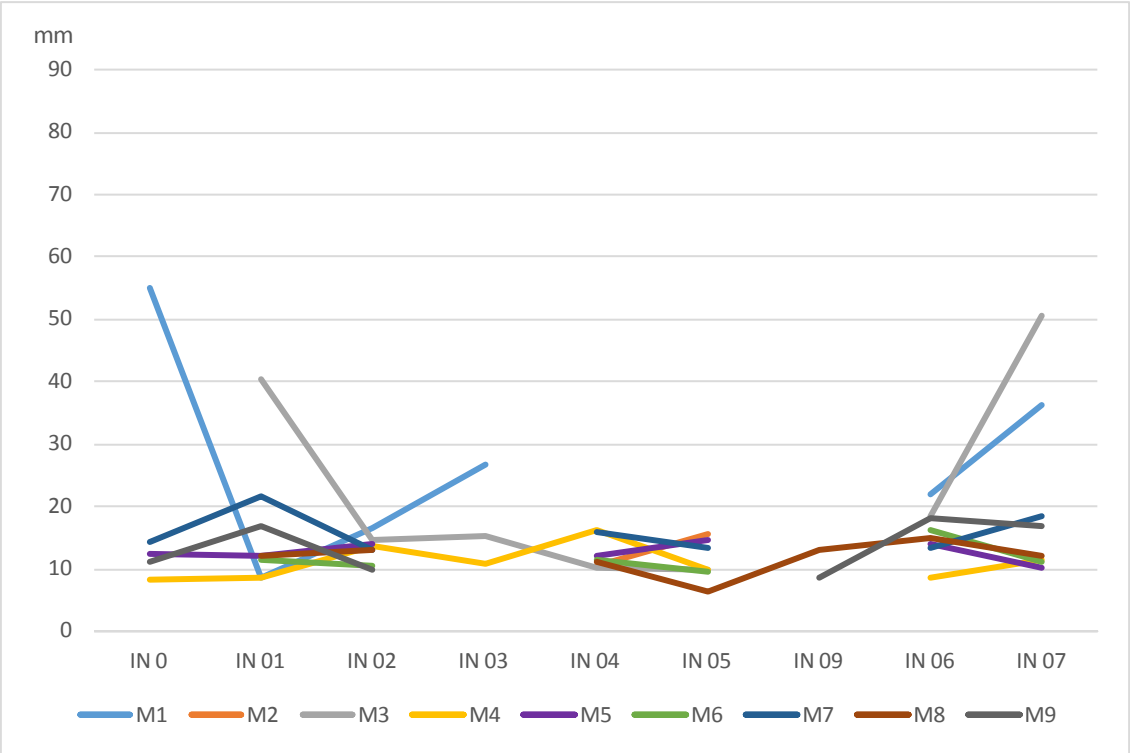


Figura 4.37. Evolución del tamaño del material subsuperficial D_{50} entre los diferentes muestreos.

En cuanto al acorazamiento del material, en la tabla siguiente se muestran los valores calculados para cada barra y cada muestreo. La fórmula de cálculo se ha explicado al inicio del capítulo, pero, a modo de recuerdo, relaciona el D_{50} calculado para la coraza y la subcoraza. Los valores por debajo de 3 indican un acorazamiento bajo, mientras que los valores superiores a 3 indican un mayor grado de acorazamiento.

En cuanto al acorazamiento del material, también se ha observado una evolución sorprendente, dado que en el primer muestreo (M1 y M2) el acorazamiento medio en todas las barras era de 1,51, con un valor mínimo de 0,40 y un máximo de 2,47, en las barras 0 y 1, respectivamente. Posteriormente, en M3 se alcanza un acorazamiento medio de 2,15 y en M4 de 4,50, con un máximo de 8,41 en la barra 0. En M5 se regularizan los valores y, aunque son más altos que en M1, se estabilizan, con un valor medio de 2,46 y acorazamientos muy similares en todas las barras. En cuanto al acorazamiento del material, en M7 se observan valores notablemente más bajos que en M6, donde se habían incrementado claramente con respecto a M5, especialmente en las barras 6 y 7. De hecho, la media de acorazamiento en M6 es de 3,95, mientras que en M7 es de 1,92, la media más reducida de todos los muestreos tras el M1. Sin embargo, en la campaña M8 se ha observado un aumento significativo del acorazamiento de la barra 5, con 4,61 y la 7, con 3,83. Los valores en el resto de barras son similares a los de la campaña M5. El valor medio de esta campaña, sin incluir la barra 9, es de 3,02. En M9, los valores de las barras 1, 4 6 y 7, estas dos últimas aguas abajo de la localización de la presa de Inturia, son buenos en cuanto a la movilidad, es decir, no hay acorazamiento apenas. Destacan los valores de la barra 9, que sí presenta un grado de acorazamiento notable, así como los de la 3 y la de control, con un grado mayor.

Los valores de la barra 9, dentro de lo que era el vaso del azud, con un acorazamiento bastante elevado, de 2,92, están cerca de la media de la campaña. En campañas posteriores se verá la evolución y se incuirá en las gráficas.

Tabla 4.17. Evolución del índice de acorazamiento entre los diferentes muestreos.

	IN 0	IN 01	IN 02	IN 03	IN 04	IN 05	IN 06	IN 07	IN 09	MEDIA
M1	0,43	2,47	1,63	1,17			1,28	1,04		1,34
M2					2,21	1,35				1,78
M3		0,63	2,72	1,90	3,31	3,13	2,74	0,64		2,15
M4	8,41	4,88	2,72	3,29	2,95	3,23	6,69	3,82		4,50
M5	2,65	2,59	2,13		2,22	2,49	2,03	3,09		2,46
M6		2,60	3,00		3,70	5,31	4,64	4,48		3,95
M7	1,71	1,57	2,04		2,16	2,97	2,19	1,63		2,04
M8		2,42	1,77		2,82	4,62	2,67	3,83	2,92	3,01
M9	3,00	1,41	3,35		1,97		1,03	1,82	4,30	2,41

En la evolución de las clases granulométricas se observa en M7 una reducción del tamaño de los materiales gruesos a nivel superficial y una estabilidad de los mismos a nivel subsuperficial. Esto explica la disminución del acorazamiento entre M6 y M7. En cuanto al superficial, el porcentaje de cantos se reduce en las barras 1, 5, 6 y 7, incrementándose la clase grava. En el resto de barras se mantienen con valores similares a M6.

En definitiva, a pesar de los cambios observados y de cierta normalización en los resultados, la morfología de las barras, su distribución granulométrica y el tamaño medio del material son muy diversos. Se podría generalizar que el desmantelamiento de parte de la presa ha favorecido la búsqueda de un nuevo perfil de equilibrio, algo evidenciado en los taludes y perfiles realizados. A su vez ha facilitado el transporte de sedimentos hacia aguas abajo de la presa y por ello se ha producido un incremento del tamaño de las partículas en los muestreos M4, M5 y M6, además de una reducción del tamaño de los sedimentos aguas abajo de la presa entre estos muestreos. Asimismo, los datos obtenidos en las barras 4 y 5 muestran una ligera tendencia a asemejarse a los valores muestreados en las barras situadas aguas arriba, ya que en M2 predominaban los materiales de tamaño fino y en los sucesivos muestreos se incrementa el calibre de los sedimentos por el paulatino desmantelamiento de los mismos y sedimentación de materiales de mayor tamaño en lo que anteriormente era el vaso del embalse. La crecida de febrero de 2015 puede explicar, por un lado, el incremento del calibre de los sedimentos aguas arriba de la presa y por otro, la reducción del tamaño de los mismos aguas abajo de la infraestructura, al menos en las campañas posteriores a dicha crecida. La campaña de campo M7 presenta un comportamiento algo diferente en las tendencias observadas, especialmente en los muestreos de coraza, donde aumenta el tamaño medio Dm en todas las barras. En el muestreo M8, los valores se asemejan más a los de la M6, manteniendo una tendencia más similar. La tendencia en M9, en especial en las barras aguas abajo del azud, es a una movilidad muy buena, con un acorazamiento muy bajo, lo que parece indicar que el material del vaso del azud se está depositando en las barras e incrementando el tamaño de las mismas.

En Olloki, como ya se ha comentado, se han trabajado los datos de las dos campañas de campo, la MO1 y MO2, en 2017 y 2018 respectivamente, todavía en condiciones previas al inicio de la demolición del azud. Se han muestreado los datos en las 5 barras, incluyendo la de control.

En el muestreo longitudinal, las barras aguas arriba del azud han experimentado una reducción del tamaño medio de las partículas, mientras que en las barras aguas abajo de la presa, han aumentado, aunque de forma ligera. En los muestreos del D_{50}, el patrón es similar y los tamaños también, aunque un poco más pequeños.

Figura 4. 38. Evolución del tamaño del material superficial longitudinal D_m entre los diferentes muestreos.

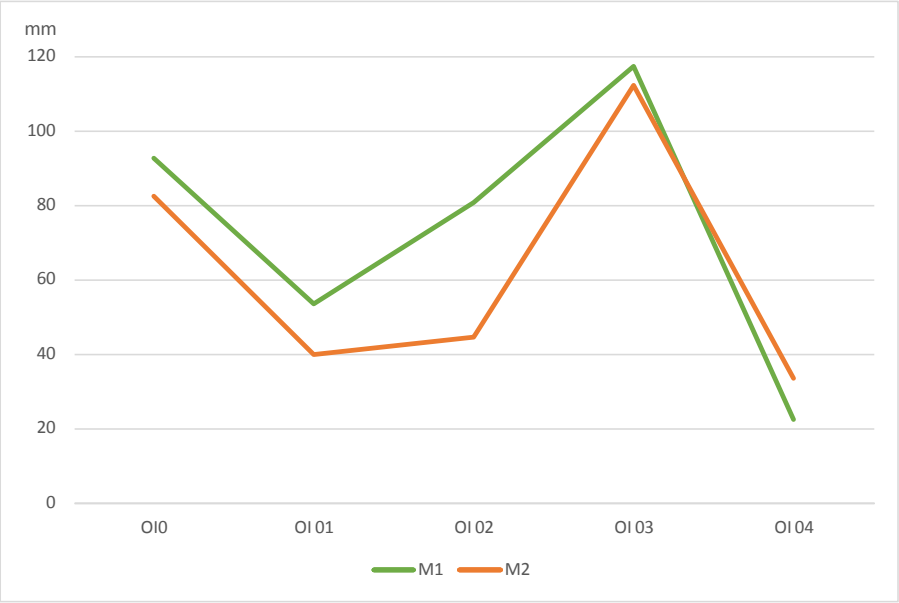


Figura 4. 39. Evolución del tamaño del material superficial longitudinal D_{50} entre los diferentes muestreos.

Para el muestreo de la coraza, el patrón se repite en los D_m y D_{50}, con una disminución de los valores en todas las barras en la segunda campaña de muestreo.

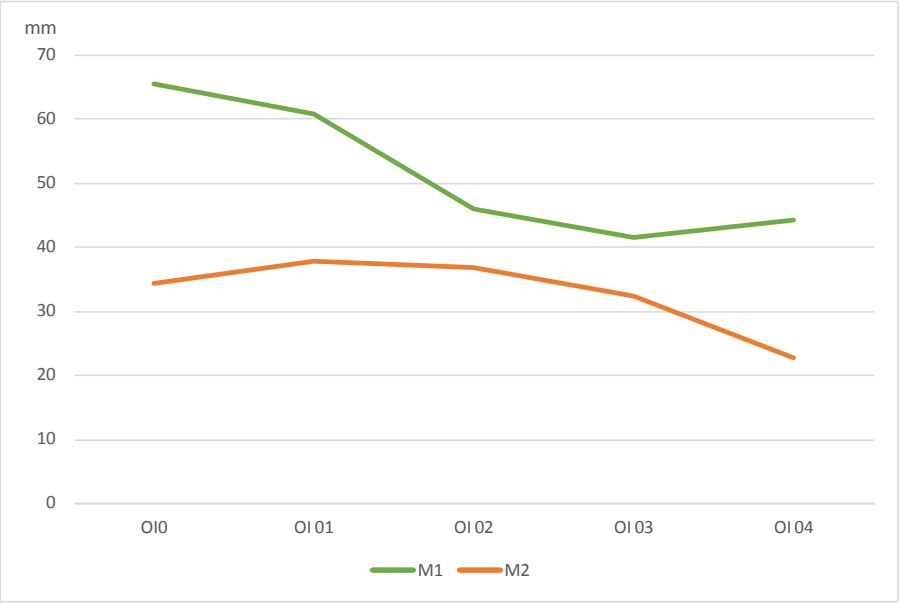


Figura 4. 40. Evolución del tamaño del material superficial longitudinal D_m entre los diferentes muestreos.

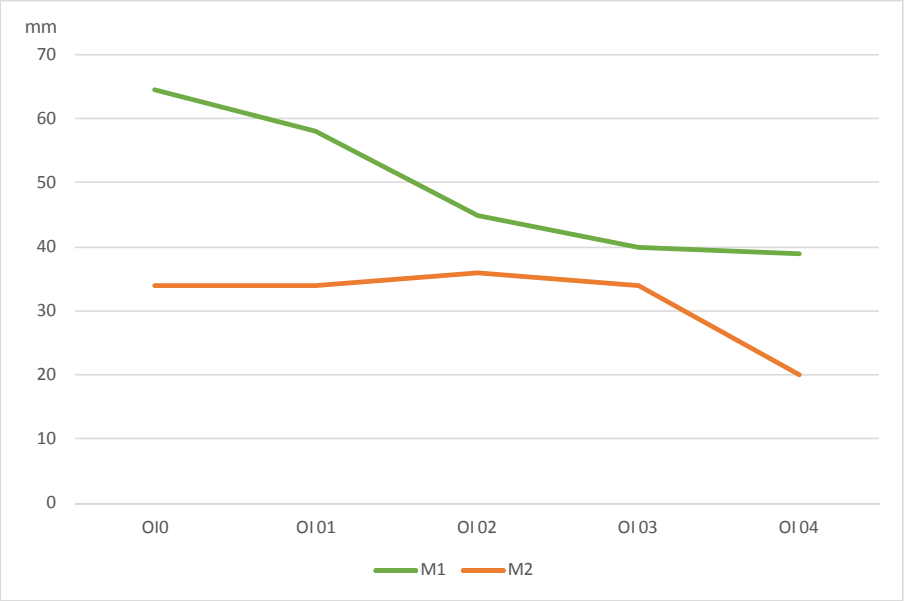


Figura 4. 41. Evolución del tamaño del material superficial longitudinal D_{50} entre los diferentes muestreos.

Al analizar los datos del material subsuperficial, se observa, como ha ocurrido en los análisis anteriores, un mismo comportamiento para las dos mediciones de D_m y D_{50}. En este caso, los datos aumentan de tamaño en la segunda campaña, salvo en la barra de control, donde disminuye el tamaño de las partículas.

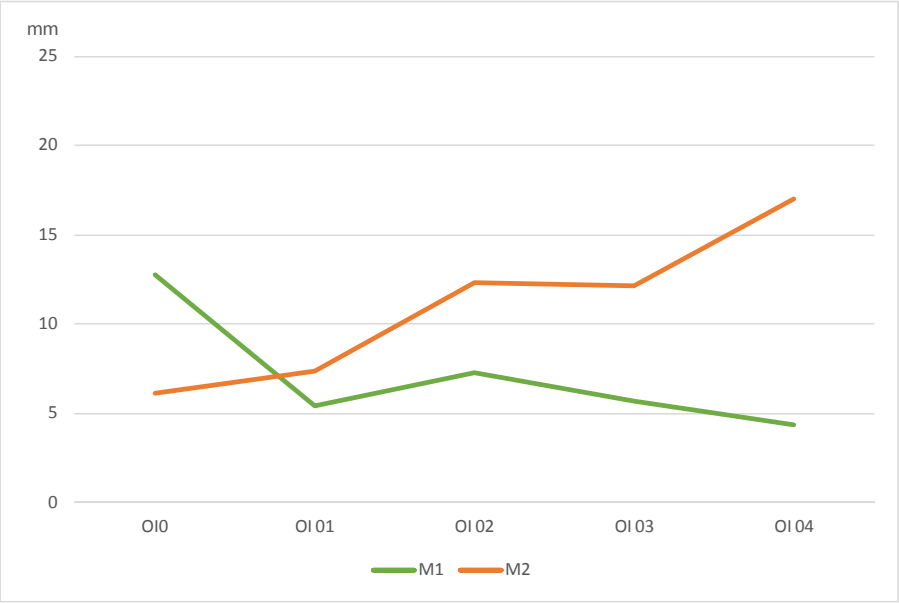


Figura 4. 42. Evolución del tamaño del material subsuperficial D_m entre los diferentes muestreos.

Figura 4. 43. Evolución del tamaño del material subsuperficial D_{50} entre los diferentes muestreos.

Finalmente, el acorazamiento es una variable que pone en relación los tamaños de la coraza con el material subsuperficial. En la campaña inicial destacan los elevados valores de acorazamiento en todas las mediciones, con una media de las mismas de más de 6. Sin embargo, en la segunda campaña, hay una mejora sustancial en todas las barras, salvo en la de control, que aumenta, aunque ligeramente. Será necesario analizar los datos de la campaña de 2019 para poder comparar adecuadamente los datos y ver las tendencias reales del acorazamiento en las barras.

Tabla 4.18. Evolución del índice de acorazamiento entre los diferentes muestreos.

	OI 0	**OI 01**	**OI 02**	**OI 03**	**OI 04**	**MEDIA**
MO1	5,14	11,11	6,32	7,29	10,16	6,67
MO2	5,59	5,12	2,97	2,66	1,34	2,95

5. TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN OIOKI

5.1. METODOLOGÍA

A continuación se presentan los resultados del trabajo realizado en 2018 en lo que al transporte de sedimentos en la zona de afección de Olloki se refiere. Hasta la fecha se han realizado tres campañas de seguimiento del transporte de sedimentos en la zona de afección de Olloki:

- Verano 2016 (C1). Inserción de los primeros 300 trazadores, 100 en cada tramo: TAA (tramo aguas arriba), Taa (tramo aguas abajo), TC (tramo control)
- Verano 2017 (C2): Inserción de otros 300 trazadores y seguimiento del transporte de los 300 insertados en C1.
- Verano 2018 (C3): Inserción de otros 300 trazadores y seguimiento del transporte de los 600 insertados en C1 y C2.

Durante el año 2018 tuvo lugar la tercera campaña de campo (C3) del análisis de transporte de sedimentos. Se inició en junio y se extendió hasta comienzos de octubre, combinando trabajo de campo y laboratorio distribuidos en dos fases. La primera fue la misma que la realizada el año anterior (2017) (C2). La segunda se dividió en dos partes, siguiendo también las pautas del año anterior (C2). La primera se centró en buscar y geolocalizar los trazadores insertados en C2, con atención también a la posible presencia de algún trazador de C1. La segunda en analizar los datos de campo para determinar tasas de transporte y volumen de sedimentos movilizados.

Fase 1. Caracterización granulométrica y topográfica e inserción de nuevos trazadores.

La caracterización granulométrica siguió los mismos criterios y fines que la campaña anterior: (i) conocer las características del tamaño del sedimento en cada punto de muestreo (TAA, Taa y TC) PM, y (ii) determinar qué intervalos de tamaño se emplearán para hacer el seguimiento de movilidad de sedimentos mediante trazadores. El muestreo se hizo a partir del criterio de Wolman, con muestras cada 20-30 cm (aprox.) sobre una barra representativa de cada tramo (las mismas que en C1 y C2). El recorrido del muestreo se trazó longitudinal y transversalmente sobre las barras. En cada punto de muestreo (PM) se midieron ~300 sedimentos con ayuda de un gravelómetro graduado según la escala de intervalos de Wentworth. El procedimiento para establecer los intervalos en los que insertar los trazadores se basó en el valor de la mediana (d_{50}) y el intervalo inmediatamente superior e inferior a esta.

En cada PM se seleccionaron ~180 sedimentos, 75 correspondientes al intervalo d_{50} y 75 al intervalo inmediatamente superior (Tabla 5.1). Nuevamente se descartó el intervalo inferior a d_{50} porque su dimensión no permitió insertar trazadores. El intervalo inferior de Taa tiene un tamaño igual al d_{50} de los otros dos tramos (Tabla 5.1), pero no se incluyó en la selección para seguir el mismo criterio en todos los tramos.

Tabla 5.1. Intervalos de tamaño de sedimento empleados para insertar trazadores en C3. En color gris el intervalo descartado en cada tramo por su baja dimensión para insertar trazadores y seguir el mismo criterio en todos los tramos.

Tramo	Intervalos Wentworth		
	Inferior d_{50}	d_{50}	*Superior d_{50}*
Tramo control	45,3≥Ø<64	64≥Ø<90,5	90,5≥Ø<126
Tramo aguas arriba	45,3≥Ø<64	64≥Ø<90,5	90,5≥Ø<126
Tramo aguas abajo	64≥Ø<90,5	90,5≥Ø<126	126≥Ø<25

La inserción de trazadores se estructuró nuevamente en cinco etapas secuenciales: (a) agujereado de los sedimentos, (b) inserción del trazador, (c) morfometría del sedimento, (d) pintado de este, y (e) colocación de los trazadores en el río (ver informe 2016 para ahondar más sobre el procedimiento en cada una de estas etapas).

Finalmente, en cada PM, y transversalmente a la barra, se volvió a realizar una sección topográfica del cauce, que fue la empleada para el análisis de las secciones transversales, para conocer posibles alteraciones entre campañas.

Fase 2. Transporte de sedimentos: geolocalización de trazadores y movilidad.

El transporte de la carga de fondo (i_b) de los tres tramos de estudio se estimó mediante la siguiente expresión dimensional (Hassan et al., 1991; Haschenburger y Church, 1998):

$$i_b = {}^{d}/_{t} \cdot w \cdot h \cdot (1 - p) \cdot \rho$$

donde, *d* es la distancia media de desplazamiento del sedimento, *t* es el tiempo de duración del episodio de transporte, *w* y *h* son la anchura y profundidad de la capa activa (sedimento móvil), respectivamente, *p* es la porosidad del sedimento y *ρ* es la densidad del grano del mineral, para lo cual se asume un valor de 2650 kg m^{-3}. El valor de desplazamiento *d* se estimó para cada trazador según la dirección del eje del canal, y no en línea recta, evitando así subestimar el desplazamiento longitudinal de los trazadores. El valor *t* está relacionado con el tiempo que se supera la "crecida competente" que da inicio al movimiento del sedimento. Para la estimación de este valor se hizo un seguimiento regular en los tramos de estudio y observar el máximo caudal para el que no hubo movimiento.

El valor de *w* se obtuvo de la anchura del cauce a nivel *bankfull*. El parámetro *h* se calculó mediante la aproximación d_{90}*2 del sedimento de superficie. Sigue abierta la alternativa para futuras campañas de instalar cadenas de erosión que mejoren la medida de *h*. El valor *p* para ríos de gravas oscila entre una porosidad de 0,20 y 0,30. En el estudio empleamos el valor 0,25 por considerarlo aproximativo a las características granulométricas del río Leitzaran (Komura, 1961).

5.2. RESULTADOS

Los resultados de C3 permiten comparar las características granulométricas y topográficas con las mediciones realizadas en 2016 (C1) y 2017 (C2) y tener, de ese modo, un balance interanual

de cambio. La estimación del transporte de sedimentos de este informe responde al año hidrológico 2017-2018.

5.2.1. Topográficos

Las secciones topográficas no presentaron alteraciones significativas, siendo el trazado casi idéntico entre ambas campañas. En los tres tramos continúa dominando la misma tipología geomorfológica (*riffle-pool*).

5.2.2. Granulométricos

En la Tabla 5.2 se muestran los datos granulométricos de las barras de cada tramo en las que se localizaron los trazadores de C3. Se incluyen también los datos de C1 y C2 para poder comparar las tres campañas (ver también Anexo A).

Los datos de C3 vuelven a reflejar un dominio de las tipologías grava y guijarro en todos los tramos, aunque con ligeras diferencias en el valor medio. La suma de los porcentajes de grava y guijarro representa en los tres tramos más del 95% del total, siendo del 100% en Taa. El promedio del valor medio más elevado se sitúa en Taa (~92 mm), el más bajo en TAA (59 mm) y el valor medio en TC (73 mm). Los valores de d_{50} y d_{84} presentan un descenso notable en C3 con respecto a C2 y C1. La asimetría y dispersión siguen la tónica de las campañas anteriores.

Tabla 5.2. Características granulométricas de las barras de los tres tramos en las que se colocaron los trazadores. El valor de la media pertenece a la media geométrica (Kondolf *et al*., 2003): $Dg = (d_{16} \cdot d_{84})^{0,5}$. La dispersión está representada por el *Geometric sorting coefficient* (Kondolf *et al*., 2003): $sg = (d_{84}/d_{16})^{0,5}$. Y la asimetría por el *Geometric skewness coefficient* (Kondolf *et al*., 2003): sk = log(geometric mean/d_{50})/log(geometric sorting coefficent).

	Tamaño (mm)				Distribución tamaño				Tipo			
	ID	C1	C2	C3	ID	C1	C2	C3	ID	C1	C2	C3
Tramo control	D16	27	45	33	Media	69,7	90,0	60,2	Limo/arcilla	0%	0%	0%
	D35	54	72	51	Dispersión	2,6	2,0	1,8	Arena	4%	3%	1%
	D50	82	92	63	Asimetría	-0,08	-0,01	-0,03	Grava	36%	24%	50%
	D65	110	110	79					Guijarro	59%	71%	49%
	D84	180	180	110					Canto/bloque	1%	1%	0%
	D95	230	230	170								
Tr. aguas arriba	D16	36	49	20	Media	62,9	76,7	37,7	Limo/arcilla	0%	0%	0%
	D35	53	67	32	Dispersión	1,8	1,6	1,9	Arena	0%	1%	2%
	D50	68	79	39	Asimetría	-0,05	-0,02	-0,02	Grava	45%	30%	78%
	D65	83	94	49					Guijarro	55%	69%	20%
	D84	110	120	71					Canto/bloque	0%	0%	0%
	D95	180	190	96								
Tr. aguas abajo	D16	48	47	35	Media	100,4	99,3	74,8	Limo/arcilla	0%	0%	0%
	D35	71	74	53	Dispersión	2,1	2,1	2,1	Arena	0%	0%	0%
	D50	97	110	70	Asimetría	0,02	-0,05	0,04	Grava	30%	30%	46%
	D65	140	160	95					Guijarro	68%	67%	54%
	D84	210	210	160					Canto/bloque	2%	3%	0%
	D95	250	250	220								

En la Tabla 5.3 se recogen los valores de los índices de aplanamiento y esfericidad de las muestras empleadas para los trazadores de C3 y la comparativa entre C2 y C1 y C3 y C2. Los

valores de la media y la mediana oscilan en valores muy similares en los tres tramos. La comparativa de C3 con C2 no arroja grandes modificaciones, solo superándose el ±20% en el índice de aplanamiento de Taa. Este índice es muy similar en los tres tramos, y siempre superior a 0,5, interpretándose que los sedimentos están más próximos a la esfera que a una estructura discoidal.

Tabla 5.3. Valores del índice de aplanamiento (Ia) e índice de esfericidad (Ie) de las muestras empleadas para los trazadores. Ia = (longitud lado mayor + longitud lado menor) / 2 · espesor. Ie = [(longitud lado menor · espesor) / 2 · longitud lado mayor]^{0,33} (parte superior). En la sección de mitad de la tabla se muestra el valor porcentual de cambio entre los valores de 1C con respecto a 2C. En la parte inferior el valor porcentual de cambio entre los valores de 2C con respecto a 3C. Los valores en negrita indican un cambio superior al (±)20%.

	TC		TAA		Taa	
	Ia	Ie	Ia	Ie	Ia	Ie
Máx	5,63	0,86	6,33	0,79	4,83	0,87
Mín	0,90	0,44	1,25	0,41	1,25	0,38
Media	2,99	0,59	2,87	0,60	2,57	0,62
Mediana	2,67	0,58	2,78	0,60	2,35	0,60
Desv. est.	1,09	0,09	0,91	0,09	0,80	0,09
Coef. vari	36,4	15,5	31,9	14,4	31,2	15,3
Máx	-14,7	12,3	**53,6**	-9,1	**39,5**	1,5
Mín	-5,7	1,4	**35,3**	**-20,2**	-9	7,2
Media	-13,5	3,3	**30,9**	-10,9	-10,8	3,1
Mediana	-13,4	2,4	**26,4**	-13,2	-10,5	1,5
Desv. est.	-0,5	**22,6**	**86,4**	**24,8**	3,1	2,8
Coef. vari	14,9	18,6	**42,4**	**40**	15,6	-0,3
Máx	5,5	-7,0	5,6	-1,4	**-39,6**	6,3
Mín	-18,2	3,8	-12,5	1,4	-10,7	-8,2
Media	13,4	-4,3	5,5	-0,1	-9,4	4,0
Mediana	6,7	-5,2	11,0	3,8	-8,4	2,7
Desv. est.	19,0	-0,7	-0,1	-4,9	**-27,9**	0,0
Coef. vari	5,0	3,8	-5,3	-4,8	**-20,4**	-3,8

En el informe del año 2017 se señaló que los resultados alcanzados en 2016 sirvieron para obtener una primera caracterización general de los sedimentos superficiales de los PM. La incorporación de los datos de C2 permitió corroborar que las características sedimentológicas apenas variaron durante el año hidrológico 2016/17. Los datos de C3 siguen esta misma línea, reflejándose unos valores morfométricos similares pre y post derribo (Tabla 5.3).

5.2.3. Transporte de sedimentos

5.2.3.1. Trazadores: características y movilidad

El rastreo realizado durante C3 ha permitido localizar un elevado número de trazadores de C2, en su mayor parte, pero también alguno todavía perteneciente a C1 (Tabla 5.4). Considerando el total de trazadores colocados en el río en C1 y C2, se ha localizado hasta la fecha más del 60% de los mismos. En la literatura científica especializada, esto se considera un valor de

búsqueda "alto" o "muy alto". En el tramo control están localizados más del 80% de los trazadores. El mayor desplazamiento se registró en Taa, con un valor máximo superior al kilómetro y medio. Este tramo también registra el desplazamiento medio más elevado (~250 m), seguido de cerca por TC (~230 m). TAA se sitúa en valores más discretos (~60 m). El rastreo realizado en C3 se prolongó muchos más metros que el realizado en 2017 (C2), lo que hace pensar que los valores de desplazamiento entre el año hidrológico 2016/17 fueron superiores a los presentados en el informe de 2017. El movimiento mínimo de trazadores no llega al metro en TAA y Taa, pero son superiores siempre a 2,5 m en TC. En la Figura 5.1 se muestran imágenes de la dispersión espacial de los trazadores.

Tabla 5.4. Trazadores localizados y desplazamientos registrados durante C3.

Tramo	Trazadores		Desplazamiento (m)			
	Núm.	(%)*	Mín.	Máx.	Med.	Desv. est.
TC	104	84%	2,6	657,0	231,3	211,0
TAA	97	60%	0,8	304,4	60,5	65,9
Taa	107	61%	0,3	1574,6	249,5	412,2

* Referido al total de trazadores encontrados de C1+C2

Los valores de movilidad de los trazadores se contrastaron también con los índices morfométricos de aplanamiento y esfericidad, sin observarse alguna correlación significativa por tramo o considerando el total de los trazadores con ambos índices. La correlación entre los dos índices es siempre superior a 0,50.

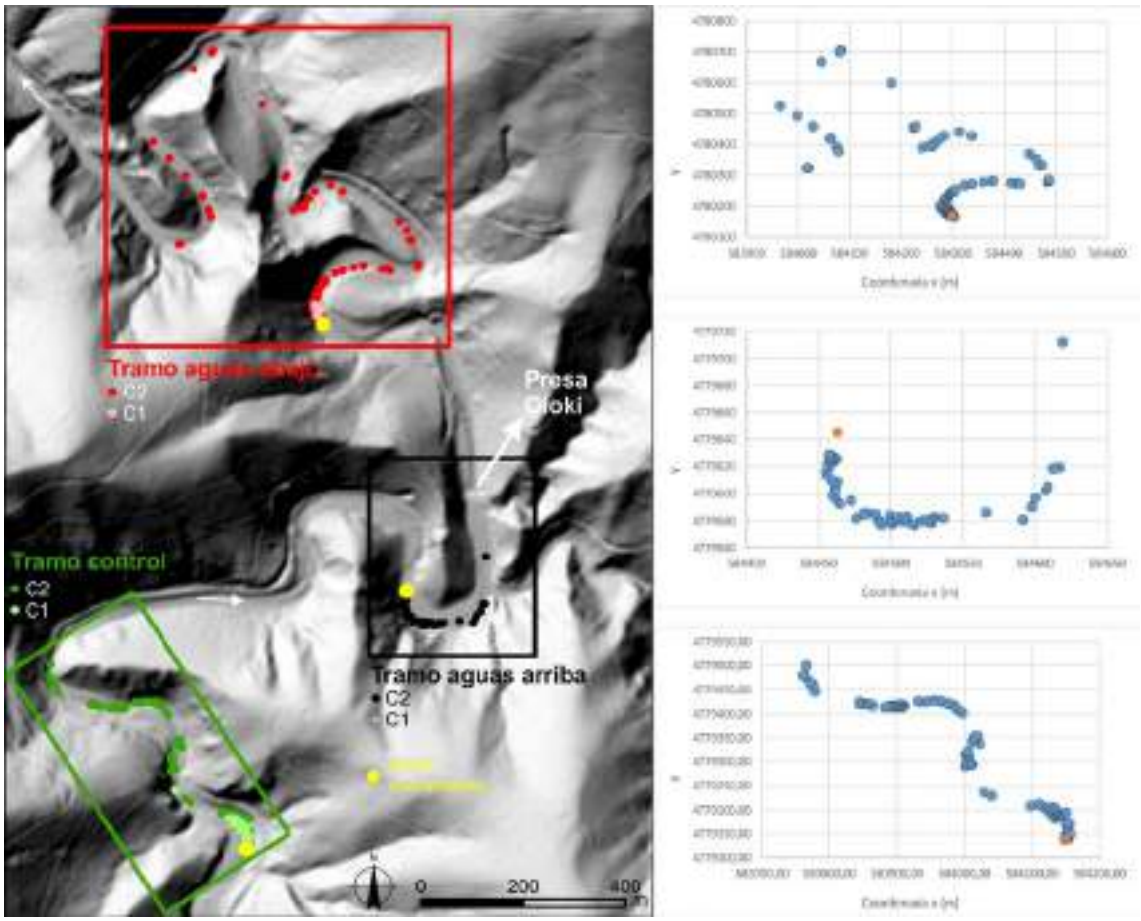


Figura 5.1. Desplazamiento de los trazadores en los tres tramos de estudio.

5.2.3.2. Curvas granulométricas

El dibujo de la curva granulométrica considerando los datos del muestreo superficial y los correspondientes al grano de los trazadores depositados es próximo (Figura 5.2; ver también Anexo B). Las curvas de los trazadores omiten el tamaño de los extremos de la muestra, ajustándose de ese modo a los intervalos de tamaño de sedimento empleados para insertar trazadores en C2 (Tabla 5.1).

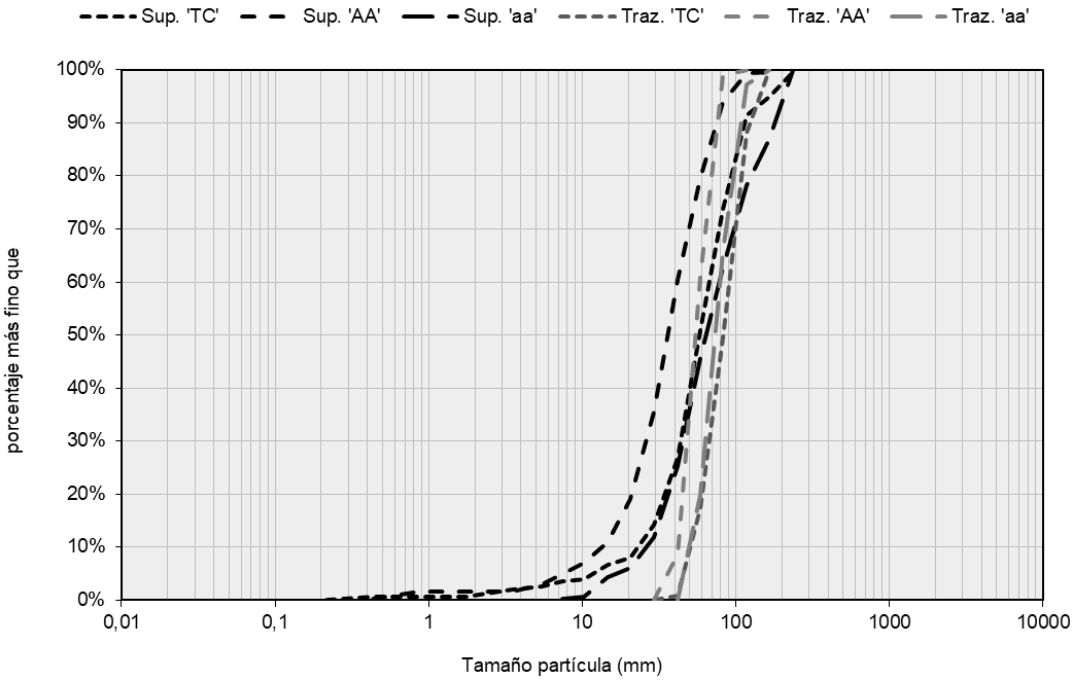


Figura 5.2. Curva granulométrica de los datos del muestreo superficial y trazadores.

5.2.3.3. Tasa de transporte y volumen

En la Figura 5.3 se representan los valores de caudal para el año hidrológico 2017/18. La media diaria punta más elevada alcanzó un valor de 85,4 $m^3 \cdot s^{-1}$ (13/04/2018). La segunda punta se produjo dos meses antes (20/02/2018) con un caudal de 75,4 $m^3 \cdot s^{-1}$. En reconocimiento de campo durante diciembre de 2017, se observó un desplazamiento de ~2 m en varios de los trazadores colocados en verano (2017) en TC. El caudal máximo entre octubre y diciembre de 2017 fue de ~30 $m^3 \cdot s^{-1}$. Esto supone que el caudal crítico de movimiento del sedimento podría situarse entre ~25-30 $m^3 \cdot s^{-1}$.

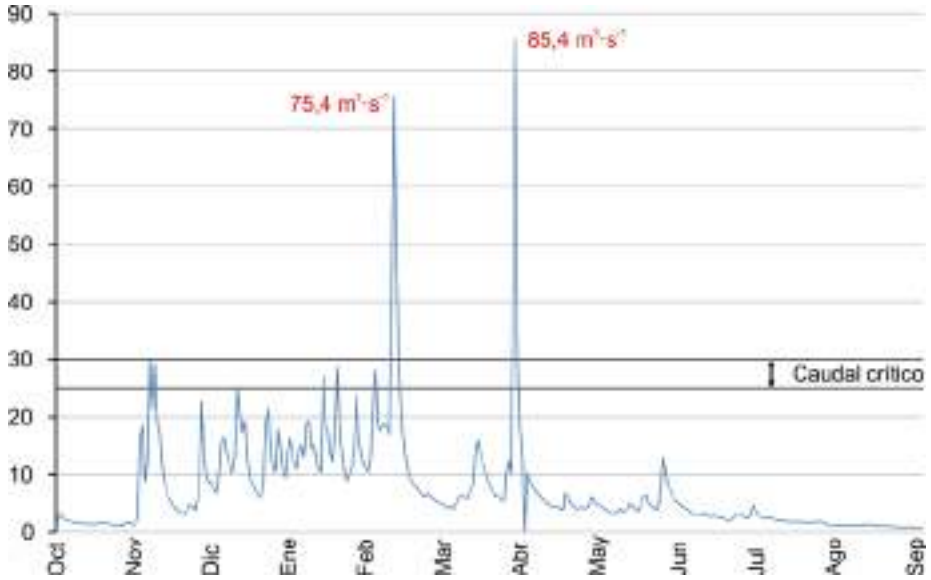


Figura 5.3. Datos de caudal para el año hidrológico 2017/18.

Los valores de *d* y *h* empleados para los tramos de estudio (TC, TAA, Taa) en el cálculo de la tasa total de transporte fueron, respectivamente: 231,3 m, 60,5 m, y 249,5 m (Tabla 5.4), y 0,24 m, 0,17 m y 0,40 m. El tiempo de duración del episodio de transporte se estimó a partir de 30 $m^3 \cdot s^{-1}$ y con una duración total de cinco días y medio (Figura 5.3).

En la Tabla 5.5 se muestran los valores para cada tramo de estudio de la tasa total de transporte y el volumen de sedimentos movilizados para en el año hidrológico 2017/18. Taa presenta el mayor volumen de sedimentos desplazados (4860 toneladas), con un valor que prácticamente dobla a TC y 9 veces más que TAA, el cual ostenta el volumen más bajo (531 toneladas). El valor de *d* en Taa, aunque ligeramente superior, es parecido al de TC, y ambos considerablemente superiores al de TAA. La profundidad de la capa activa estimada para Taa prácticamente dobla la de TC, siendo el valor más bajo el de TAA, aunque no muy diferente al de TC.

Tabla 5.5. Tasa total de transporte y el volumen de sedimentos movilizados.

Tramo	i_b (kg/s)	Vol. (t)
TC	5,46	2593
TAA	1,12	531
Taa	10,23	4860

5.3. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS DE FUTURO

Los datos de la campaña 2018 (C3) han servido para complementar los obtenidos durante el año 2017 (C2). La campaña de este año también está marcada por un bajo nivel de caudales, con dos crecidas importantes, pero de baja magnitud en comparación con series más largas. Los picos de caudal diario máximo del año hidrológico 2017/18 no superaron el máximo obtenido en el año hidrológico anterior.

Los datos de volumen calculados para este año se ajustan más a la realidad que los obtenidos en la campaña anterior, en la cual no se conocía el caudal crítico de inicio de movimiento. Los cálculos aquí presentados responden al desplazamiento de sedimentos de un determinado tamaño (medio), omitiendo el total de tamaños presentes en la zona de muestreo. Esto supone que hay clases de tamaños que no están representadas en la población de trazadores. Por ejemplo, las partículas de 4, 8, 16 mm (entre otras) son muy móviles, en principio, más que otras más gruesas. Al omitir estos datos se puede subestimar los desplazamientos.

En la próxima campaña de campo se pretenden añadir tres nuevos puntos al estudio. (i) Hacer una estimación por clases de tamaños. (ii) Trazar una curva estimativa de caudal-tonelada al contar ya con datos de tres campañas de campo. Los datos obtenidos en cada nueva campaña se irán añadiendo a la curva para obtener valores más ajustados. (iii) Estimar a partir de la relación área-caudal un valor de caudal concreto para cada tramo de estudio. En este sentido, en la Figura 5.4 se muestra un ejemplo realizado con varias cuencas próximas a la del río Leitzaran.

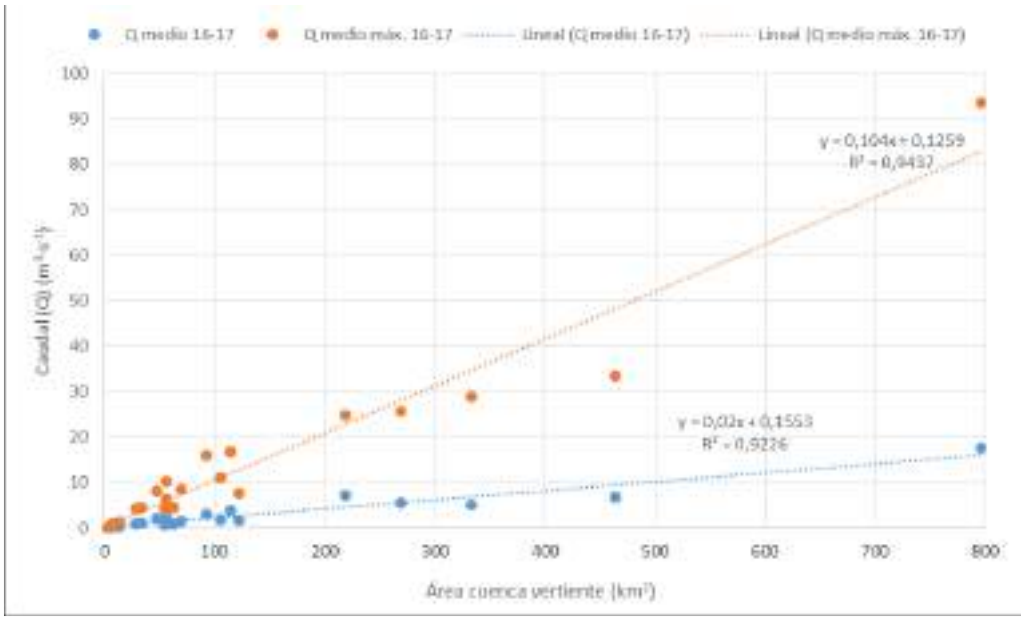


Figura 4. Relación área-caudal a partir de datos de caudal de varias estaciones de aforo de cuencas localizadas en el territorio histórico de Gipuzkoa para el año hidrológico 2016/17.

6. PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS EN LOS TRAMOS AFECTADOS POR LAS PRESAS DE INTURIA Y OLLOKI EN EL RÍO LEITZARAN

Con el fin de detectar los procesos geomorfológicos y las morfologías derivadas tras finalizar todas las fases de derribo de la presa de Inturia y previa al comienzo del derribo de la presa de Olloki se han recorrido a pie el curso del río Leitzaran en ambas zonas de afección.

El mismo ha requerido de diversas jornadas de campo realizadas entre julio y agosto de 2018, en las que se han elaborado unos croquis y recogido coordenadas GPS y fotografía información relativa a los procesos dominantes y las morfologías fluviales más relevantes y características de cada punto. La dispersión de la señal del GPS.

Se identifican una serie de elementos que caracterizan la tipología y la dinámica fluvial, mayoritariamente en el mismo cauce, que constituye la forma más activa, aunque también se reconocerán, allá donde se encuentren, indicadores en zonas adyacentes al cauce como las terrazas y llanuras de inundación.

La forma del cauce (lecho y orillas) se adapta a las condiciones de caudal líquido y sólido, por lo que las unidades geomorfológicas que lo forman son indicadores de los procesos geomorfológicos laterales y verticales. Así, los cambios en el caudal líquido y/o sólido generan ajustes (formas y procesos) tanto en la dimensión vertical del cauce como en la lateral.

Además de los ajustes en el cauce también se han buscado procesos de interacción del cauce en su llanura inundable, generados en procesos de crecida. La localización de estas formas y procesos también nos ayuda a interpretar las zonas y flujos más activos en crecida.

Estos elementos son la forma del cauce, la pendiente, la presencia de rápidos y remansos, pozas, depósitos laterales y centrales, tamaño de sedimento, evidencias de depósitos en la llanura de inundación que permiten conocer la tipología del cauce y los procesos hidromorfológicos actuales.

La identificación de los procesos y las tipologías de tramos ya se realizó en el anterior trabajo realizado en el marco del proyecto GURATRANS. En este caso nos apoyaremos en esos procesos y tramos e identificaremos los cambios respecto a ellos y su relación con los derribos de las presas.

6.1. ZONA DE AFECCIÓN DE LA PRESA DE INTURIA

En la Figura 6.1. se representan los distintos tramos de la zona de afección de la presa de Inturia.

Fig. 6.1. Tramificación geomorfológica del área de influencia de la presa de Inturia.

6.1.1. Tramo 1 – Rampa (con connotaciones de Tabla)

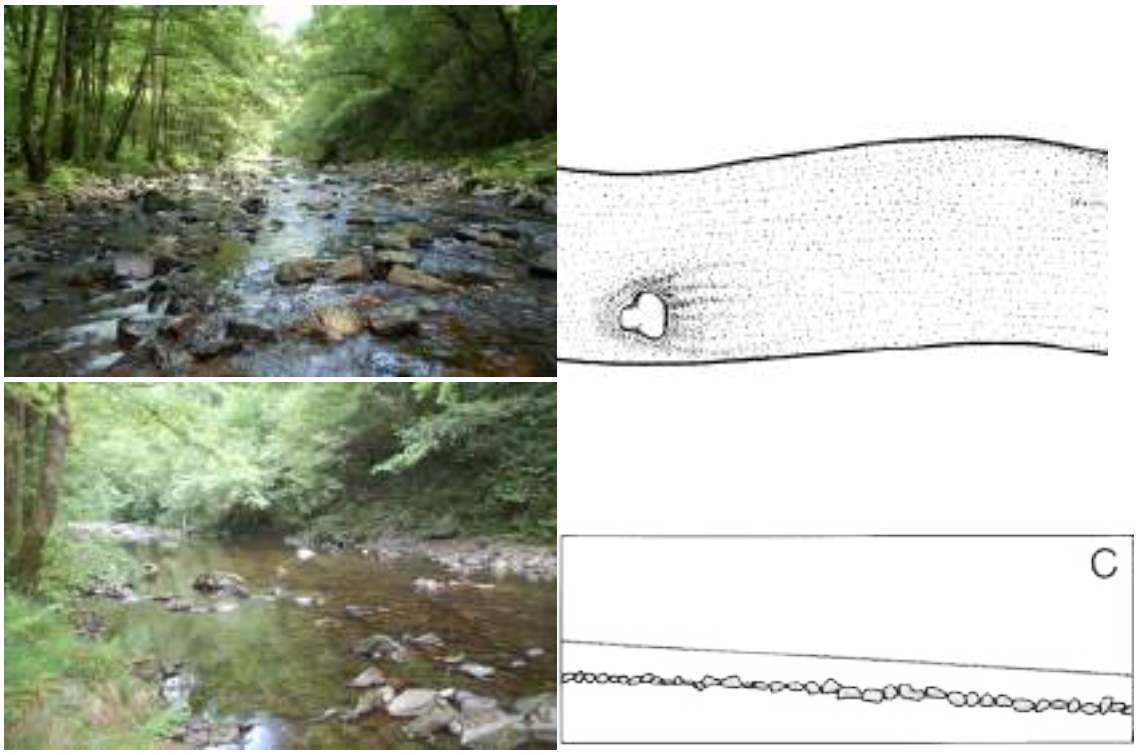


Figura 6.2. Tipología rampa. Esquema (donde se representa un único bloque en este ejemplo, donde se aprecia las variaciones en el flujo) y fotografías del tramo (Montgomery & Buffington, 1997).

En este tramo, tras el derribo completo de la presa de Inturia, no se han apreciado cambios ni en los procesos ni en la morfología del cauce (Fig. 6.3).

Figura 6.3. Arriba vistas hacia aguas arriba y hacia aguas abajo del mismo tramo en mayo de 2015. Abajo en julio de 2017 y 2018.

6.1.2. Tramo 2 –Rápidos y remansos

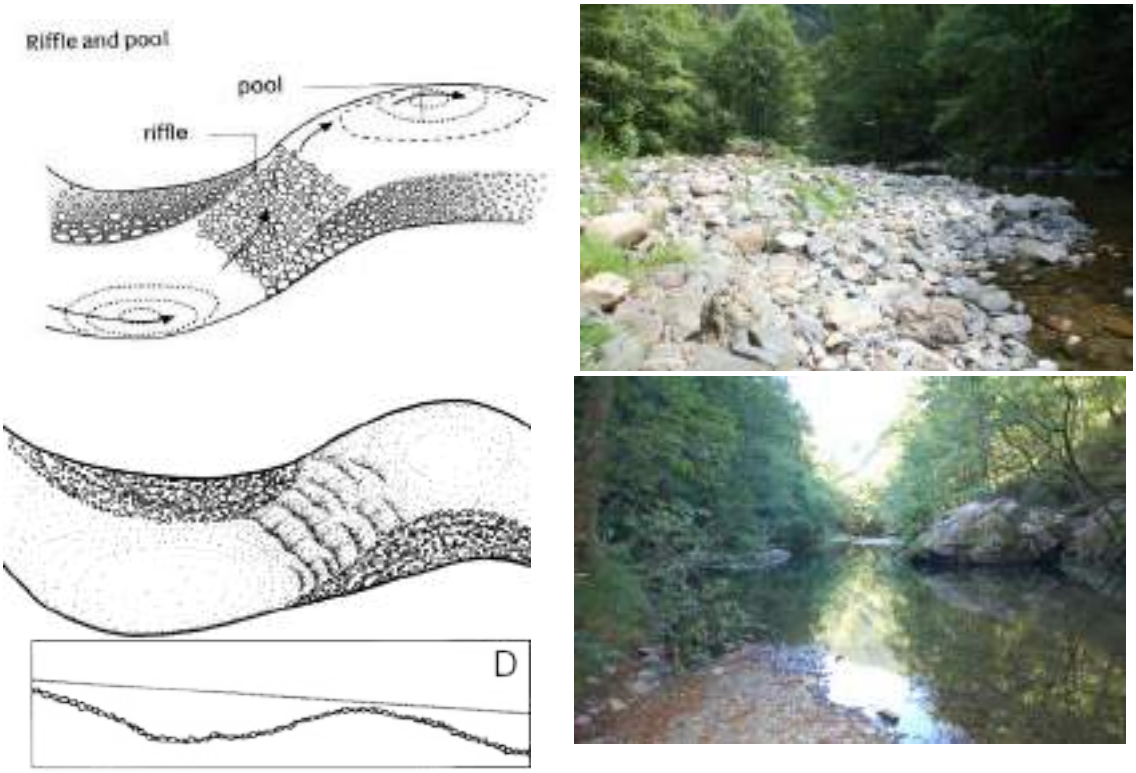


Figura 6.4. Esquemas morfología rápido y remanso y vistas de la secuencia rápido y remanso en el tramo 2 (Montgomery & Buffington, 1997, Brierley & Fryirs, 2005).

Tramo de secuencias de rápidos y remansos con barras alternantes, con material de importante tamaño. Se inicia entre el perfil transversal 1 y 2, a la altura de la barra 1 del muestreo granulométrico y de la obtención de datos mediante el láser escáner. En los puntos de rápidos y de cambio de dirección del flujo se presentan síntomas de erosión, probablemente producida por alguna crecida con gran capacidad geomórfica en tramos de importante velocidad y donde la dirección del flujo cambia e incide sobre la orilla cóncava, al inicio del remanso o poza. Las evidencias de marcas de aguas altas son evidentes a lo largo de prácticamente todo el curso del río y son notables también en este tramo.

Figura 6.5. Síntomas de incisión y evidencias de crecidas

Las barras de importante anchura presentan canales de crecida con evidencias de circulación de las aguas de manera habitual y reciente, y donde también hay evidencias de marcas de aguas altas, así como de conexión con el freático.

Figura 6.6. Canales de crecida en las barras del tramo 2.

En la primera mitad del tramo desde aguas arriba los cambios no son muy notables respecto a la situación previa al inicio del derribo. Sin embargo al final del tramo se aprecia un incremento de la incisión que hizo aflorar ya el sustrato tras el derribo de la mitad de la presa de Inturia y que fue constatado en la campaña de campo realizada en la primavera de 2015, tal y como se puede apreciar en la secuencia de fotos de la derecha de la Figura 6.7.

Figura 6.7. A la izquierda aspecto de tres puntos del tramo en julio de 2013. A la derecha su correspondiente en mayo de 2015. Las cuatro de abajo corresponden al mismo punto, en la segunda fila visto hacia aguas abajo, y en la última visto hacia aguas abajo. El último punto se situaba el límite de la zona de transición río-embalse. Este último cambio no fue apreciable en las campañas de campo realizadas tras el primer derribo.

La Figura 6.8 se corresponde con el mismo punto que en la foto de abajo a la derecha de 2015 de la Figura 6.7 pero en julio de 2017, donde se aprecia en primer plano el sustrato aflorado, con indicios de estabilización por la vegetación pionera que empieza a establecerse y aguas arriba en la margen derecha (marcado mediante el círculo rojo) una erosión y evacuación del material aluvial. Teniendo en cuenta a su vez que el caudal circulante durante la realización de la campaña de julio de 2017 fue inferior al de mayo de 2015. En 2018 esa erosión e incisión se ha ido intensificando, como se puede apreciar en la Figura 6.8.

Figura 6.8. Indicios de progresión en la incisión y erosión hacia aguas arriba. Arriba en julio de 2017 y abajo en julio de 2018.

Además se aprecia una ligera progresión hacia aguas arriba del punto de ruptura de la erosión remontante, localizado de manera visual en el punto que muestra la Figura 6.9.

Figura 6.9. Localización del punto de ruptura de la erosión remontante. Izquierda en julio de 2017 y derecha en julio de 2018.

Al inicio de este tramo se pudo apreciar la presencia de uno de los troncos fijados en la zona de Olloki que ha sido transportado a lo largo del año hasta ese punto, y que por tanto, desconociendo su localización original atravesó el vaso de Olloki, la presa hasta llegar ahí.

Figura 6.10. Misma localización en julio de 2017 (izquierda) y julio de 2018 (derecha), donde se puede apreciar la presencia de un tronco con cable, de los fijados aguas arriba, en la zona de Olloki.

En este mismo tramo aguas abajo se ha podido apreciar la presencia de otro tronco, sin indicios esta vez de que fuera de los fijados en el área de Olloki. Lo que denota la importante energía del flujo en el curso fluvial, y el transporte de madera muerta efectivo habido en el último año hidrológico.

Figura 6.11. Presencia de otro tronco en 2018 (derecha), frente a la misma localización en 2017 (izquierda).

6.1.3. Tramo 3 – Run- Zona de influencia del embalse (previo al derribo) – Rampa (post derribo parcial) – Rápidos y remansos (tras derribo total)

Se trataba, antes del inicio del derribo, de la zona de transición entre los procesos propiamente fluviales y el embalse en su zona de cola.

Figura 6.12. Arriba vista del tramo en julio de 2013. Segunda fila tras el derribo parcial en mayo de 2015 (izquierda) / mayo 2014 (derecha). Tercera línea tras el derribo total en julio de 2017. Abajo en julio de 2018. Primera columna vista hacia aguas abajo (fotografías tomadas a la altura de la barra 3 de la granulometría), segunda columna vista hacia aguas arriba.

En concreto era un tramo recto con un movimiento lento del flujo fruto del efecto barrera que genera el embalsamiento, ralentizándose a medida que se acerca a ese punto. Nada más producirse el primer derribo fueron patentes los cambios en este tramo, produciéndose un descenso del nivel que ha ahondado en una incisión del lecho y que se marcó algo más con el segundo derribo. Tras el derribo total de la presa la incisión es todavía más marcada en el tramo, aflorando puntualmente el roquedo en el lecho.

El tramo, ya alterado, comprendía desde el último rápido de la secuencia anterior a la altura de la barra 3 de la granulometría hasta la siguiente curva donde ya era patente el embalsamiento, que generaba depósitos de menor granulometría y la formación de hojarasca y otro tipo de sedimento en suspensión.

Figura 6.13. Cola del embalse, arriba a la izquierda en julio de 2013, arriba a la derecha en mayo de 2014 y abajo a la izquierda en julio de 2017, a la derecha en julio de 2018.

El tramo estaba afectado por los cambios de nivel del embalse, fruto de los periodos de aguas altas y aguas bajas, lo cual se evidencia en unas orillas tipo embalse e idénticas en ambas márgenes, así como síntomas de erosión fruto de los cambios en la presión hidráulica sobre las orillas. Además al tramo llega una regata por la margen izquierda que forma un pequeño cono de deyección en su desembocadura.

Inicialmente la tipología del tramo se transformó en rampa, pero una vez derribada la presa la tipología corresponde a rápidos y remansos, uniéndose al tramo siguiente del vaso del embalse que desde el inicio de los derribos varió su tipología a esta.

Figura 6.14. Regata desembocando en el tramo en julio 2013 a la izquierda y tras la mitad del derribo, en mayo 2015 a la derecha. Abajo a la izquierda en julio de 2017, a la derecha en julio de 2018.

En este tramo los procesos son similares a los descritos para la campaña anterior, si bien prosiguen, aunque de manera más atenuada el ajuste a las nuevas condiciones de cambio del nivel de base derivado de la eliminación completa de la presa de Inturia.

Figura 6.15. Orillas con síntomas de habituales cambios de altura de las aguas y con falta de corriente, lo que generó procesos de erosión y evidencias de socavamiento (julio 2013 a la izquierda) y tras la mitad del derribo (mayo 2015 a la derecha). Abajo a la izquierda en julio de 2017 y a la derecha en julio de 2018.

6.1.4. Tramo 4 – Embalse de Inturia (pre derribo) – Rápidos y remansos (post derribo)

Tramo que abarca desde el lugar donde se situaba la cola del embalse hasta la presa de Inturia. El punto de inicio desde aguas arriba coincidiría con aquel en el que deja de haber un flujo de agua y se produce el estancamiento (Fig. 6.16).

Fruto de ese flujo lento se apreciaba la presencia de sedimento fino y de vegetación helófita en las orillas.

Figura 6.16. Diversas imágenes de la zona embalsada previa al derribo

Tras el inicio de los derribos este tramo presenta importantes modificaciones derivadas del cambio a una dinámica fluvial, que ha generado una incisión del material del vaso del embalse, una erosión remontante y un proceso de erosión lateral fruto del proceso de meandrización del cauce.

Doyle *et al*. (2003) propusieron un esquema del ajuste de un tramo de río, en concreto aguas arriba del obstáculo) afectado por una presa y embalse a la eliminación del mismo y la modificación del nivel de base (Fig. 6.17).

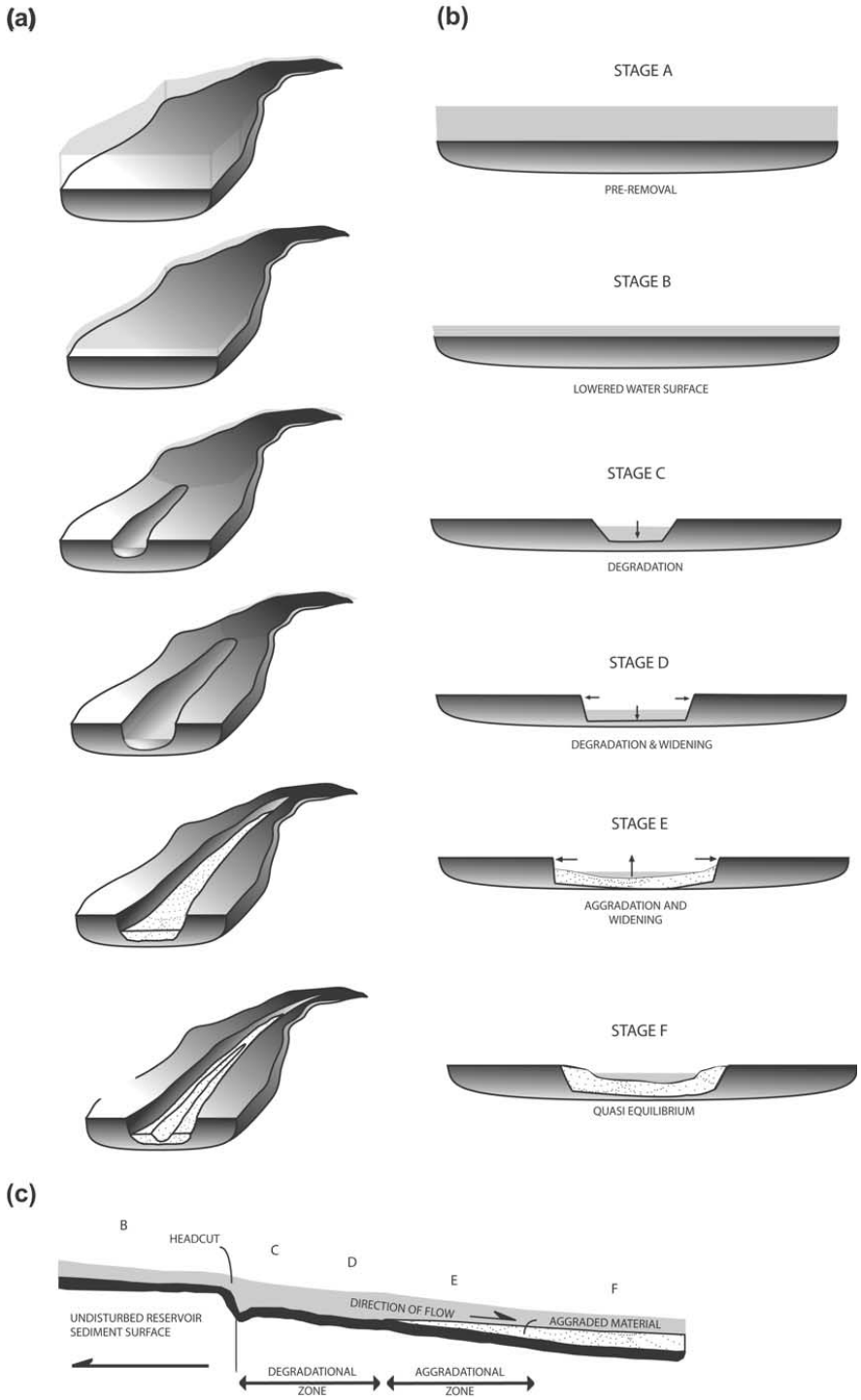


Figura 6.17. Esquema realizado de las distintas fases de formación del cauce tras el derribo de una presa (Doyle et al., 2003)

Tal y como señalan Doyle *et al*. (2003) la primera fase la constituye el descenso del nivel de las aguas, fruto de la liberación y evacuación previa del agua embalsada hasta la cota de rebaje de la presa (Fig. 6.17 – STAGE B y Fig. 6.18).

Fig. 6.18. Proceso de liberación de las aguas el 1 de agosto de 2013, inmediatamente antes al derribo de los primeros 3 metros de presa.

Tras ello casi al mismo tiempo se inicia un proceso de incisión del cauce en los sedimentos del vaso del embalse (Fig. 6.17 – STAGE C y Fig. 6.19), comenzando por aquéllos donde aflora más rápidamente el lecho del mismo.

Fig. 6.19. Incisión del cauce en los sedimentos acumulados en el vaso del embalse. Se aprecia una importante acumulación de hojarasca en los sedimentos.

El descenso del nivel de las aguas junto con la incisión del cauce en los depósitos del fondo del vaso del embalse produce la desestabilización de las orillas del embalse, generalmente formadas por material fino de decantación, limos, arcillas y materia orgánica, hojarasca en su mayor parte, que colapsan al perder la presión hidráulica que las sostenía. A continuación el cauce comienza a meandrizar, generando al mismo tiempo una erosión lateral, que socava la base del talud colapsando la parte superior del mismo. Con ello el cauce va ensanchándose

(Fig. 6.17 – STAGE D y Fig. 6.20) sobre los materiales del fondo del vaso del embalse y se produce un afloramiento de los antiguos materiales de calibre más grueso (arenas inicialmente) depositados en momentos de mayor velocidad de flujo.

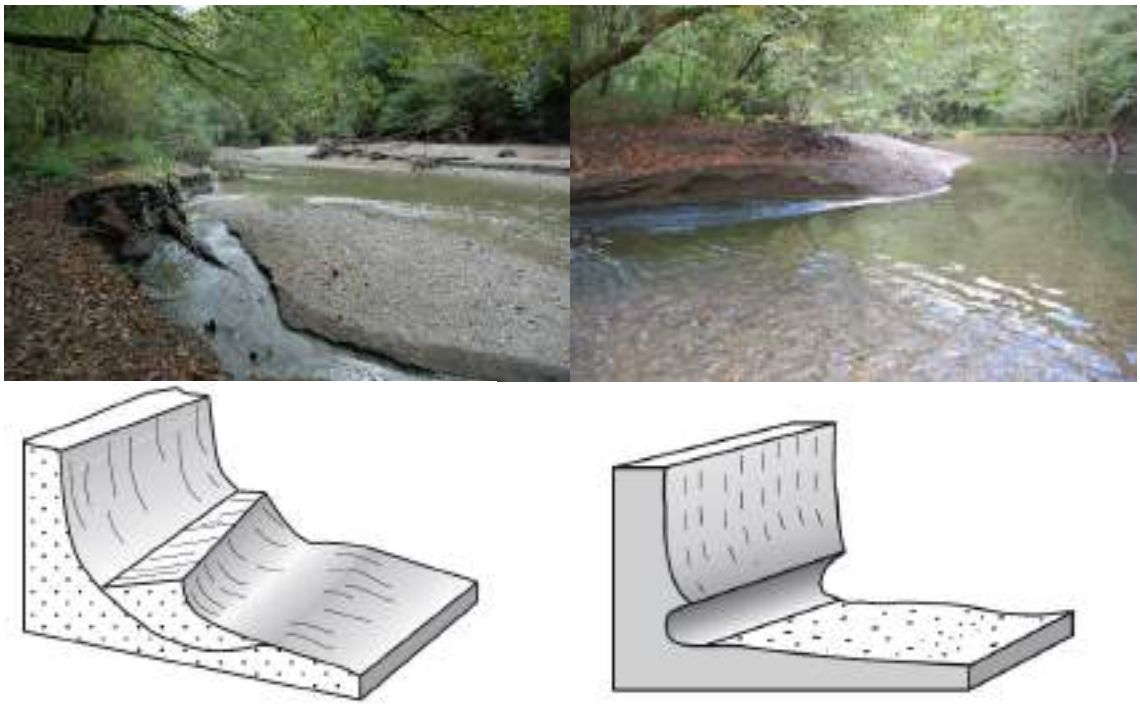


Fig. 6.20. Derrumbamiento de orillas por pérdida de presión hidráulica y por erosión lateral mediante socavación tras el primer derribo. Abajo esquemas de Brierley y Fryirs (2005) que describen ambos procesos.

Asimismo parte de los materiales erosionados han ido rellenando las pozas que había en el embalse (Fig. 6.21), situados en los meandros, especialmente entre la primera y la segunda fase de derribo. Así se ha retenido la evacuación de parte el material erosionado, como también se analizó durante el proyecto GURATRANS a partir de los datos batimétricos, donde se estudiaron las tasas de erosión y sedimentación de los distintos embalsamientos desde Inturia hasta la desembocadura. En la Fig. 6.21 se aprecian esos cambios en el perfil longitudinal, donde se identifican pozas profundas previas al derribo en el vaso del embalse que fueron paulatinamente rellenadas en las sucesivas fases de derribo.

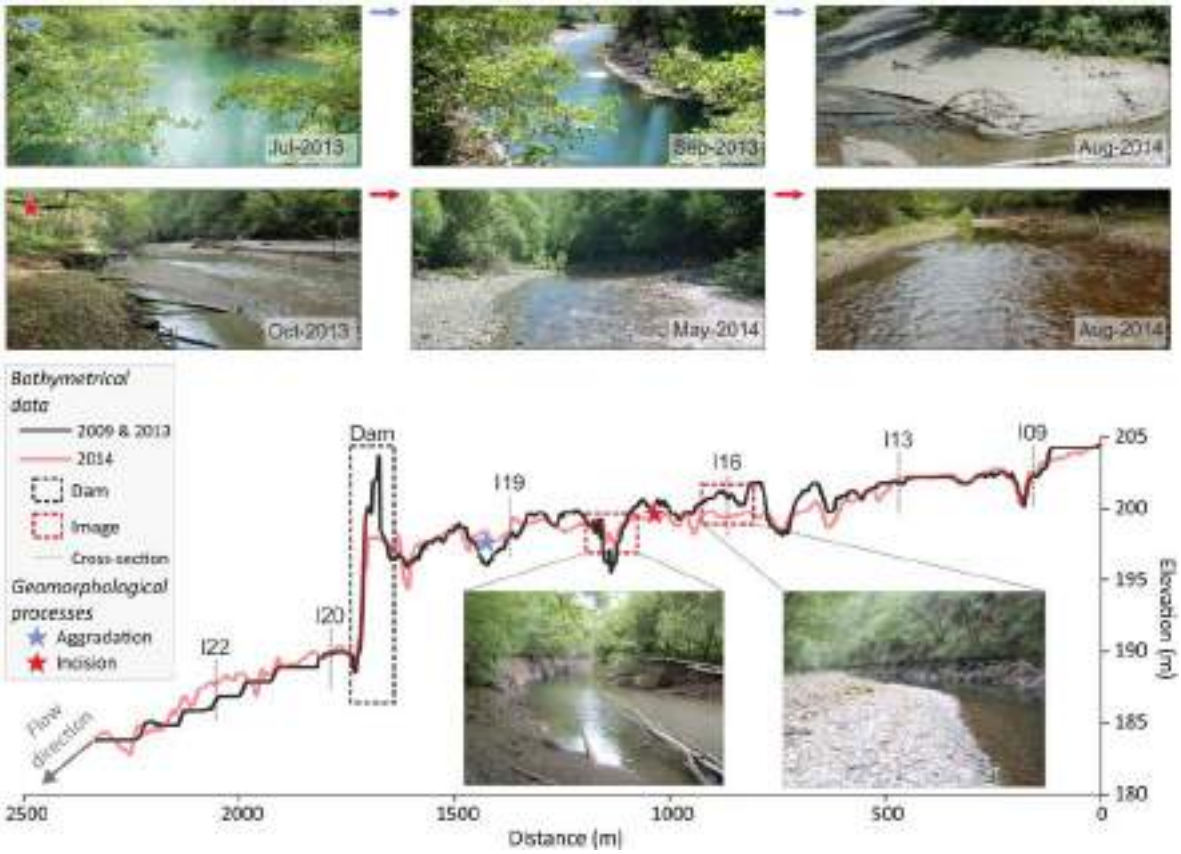


Figura 6.21. Cambios en el perfil longitudinal en la zona de afección de la presa de Inturia con la mitad de la presa derribada (Fuente: Ibisate et al. 2016)

Estas fases de ajustes del cauce a la nueva pendiente de equilibrio se han repetido tras cada uno de los dos derribos llevados a cabo. La incisión y meandrización se ha ido acusando, aflorando en algunos puntos los restos de los troncos del bosque de ribera original, el material del lecho del cauce antiguo original -de calibre más grueso, y con algunos importantes bloques-, y procesos erosivos de mayor magnitud en orillas.

Fig. 6.22. La incisión del lecho tras los 6 metros de derribo de presa han permitido aflorar los restos del antiguo bosque de ribera y los materiales del lecho del curso fluvial del río Leitzaran previo a la construcción de la presa de Inturia

En el caso del punto del mirador del muro (situado a la salida del túnel de la pista del Plazaola a la altura de la presa de Inturia) el proceso de erosión lateral ha socavado la base de la pista, habiendo colapsado en una primera ocasión gran parte del muro en julio de 2015. La reparación consistió en el traslado de la pista hacia el interior de la ladera.

Fig. 6.23. La recuperación de la dinámica fluvial propia de un meandro ha generado una migración del talweg y la erosión lateral en la orilla cóncava y la sedimentación en la orilla convexa. Arriba a la izquierda vistas desde el muro, a la derecha desde el río. En el centro se aprecia la erosión y socavación de la orilla y el colapso parcial del muro en mayo de 2015, previo al colapso total producido para julio de 2015. Abajo colapso a principios de noviembre de 2015, que con las crecidas del 20 y 21 de noviembre hundirá parte del piso de la pista.

Posteriormente y por segunda vez se produjo un nuevo colapso de mayores dimensiones en noviembre de 2015. Por ello se acometieron unas obras que supusieron el desplazamiento del cauce hacia la margen izquierda, excavando el talud y en la margen derecha la construcción de un talud tendido de menor pendiente ocupando parcialmente el lecho del cauce y protegido mediante bloques. En la base del talud de la margen derecha se construyó una escollera para limitar la acción de la socavación dado que la dinámica fluvial del lugar seguirá erosionando en ese punto al tratarse de la orilla cóncava de un meandro (Figuras 6.23 y 6.24). Un año después

ya se ha formado el característico depósito de *point-bar* en la orilla convexa y se pudieron apreciar algunos síntomas de erosión en la cóncava. Entre la campaña de 2017 y la de 2018 se ha producido una nueva obra de estabilización de la margen derecha, reforzándolo con un muro krainer, fijando más la orilla erosiva con el fin de evitar la afección a la vía verde. Eso ha supuesto una erosión del point-bar, al verse forzado el flujo a atravesarlo por la imposibilidad de la erosión lateral.

Figura 6.24. Arriba perfil del río; en marrón perfil original del río antes de la actuación y en azul el nuevo construido (Fuente: URA). En medio proceso de erosión en la orilla cóncava, en este caso derecha. Parte del drenaje ha sido roto y transportado aguas abajo. Abajo muro krainer sobre la escollera en julio de 2018.

Fig. 6.25. Evolución del cauce en la zona del mirador del muro. Arriba a la izquierda en julio de 2013, arriba a la derecha en septiembre de 2013. En la segunda línea, a la izquierda en mayo de 2014 y a la derecha en mayo de 2015. En la tercera a la izquierda en octubre de 2016 tras la reparación de la pista y a la derecha en julio de 2017. Abajo en agosto de 2018.

En noviembre de 2015, tras la tercera fase de derribo acometida en septiembre de 2015, el tramo embalsado desaparece y empieza a incidir en los sedimentos que se acumulaban en la zona próxima a la presa, que como se aprecia en la Fig. 6.26 son de carácter fino, arenas y limos fundamentalmente.

Figura 6.26. Incisión en los sedimentos en la zona del vaso próxima a la presa tras la tercera fase de derribo. Abajo en julio de 2018, donde el río ha llegado al lecho original, y aflora la roca madre.

Tras el derribo total de la presa, el río recupera totalmente la dinámica fluvial y los sedimentos del vaso del embalse en la zona en la que se ha excavado el cauce han sido prácticamente eliminados. Todavía queda una importante acumulación en la zona derecha tras la presa (en parte rellenado con materiales de escombros para las obras) y las orillas de la margen izquierda, como la que conforma el meandro antes mencionado.

Figura 6.27. Recuperación de la dinámica fluvial en la zona cercana a la presa de Inturia. Arriba en noviembre de 2015. Abajo a la izquierda en julio de 2017 y a la derecha en julio de 2018.

Además en ese punto han aflorado estructuras anteriores al embalsamiento como un muro protegiendo la margen izquierda y la excavación de un camino en la roca o un pequeño canal.

Fig. 6.28. Estructuras previas a la construcción de la presa de Inturia afloradas tras el derribo total de la presa. En estas fotografías ya se aprecia que esos materiales finos han sido lavados por el río.

El tramo fluvial resultante tras la recuperación de la dinámica fluvial corresponde a la tipología de rápidos y remansos con barras alternantes.

6.1.5. Tramo 5. Run (Rápido continuo - Rampa) - Trenzado (tras tercer derribo) – Rápidos y remansos (tras derribo total)

Se trata del tramo pie de presa que da inicio en la presa de Inturia y finaliza en el espacio entre una acumulación de bloques que atraviesa el cauce en forma transversal, en la que aparentemente se protege una conducción y el puente.

Figura 6.29. Vistas de la presa desde el propio cauce y de la zona final del tramo.

El tramo está afectado por las aguas vertidas desde el embalse, de modo que se trata de un tramo con una corriente rápida de agua y donde afloran bloques grandes encostrados en el cauce y recubiertos por una pátina. Esta morfología es muy típica de zonas de pie de presa donde la fuerza de las aguas ejerce un lavado de sedimentos de tamaño más fino dejando zonas de lecho de roca y grandes bloques.

Figura 6.30. Vistas del tramo desde el cauce al pie de la presa, pátina sobre los sedimentos, afloramiento del lecho rocoso y vistas del tramo desde el puente.

Al inicio de los trabajos se apreciaban síntomas de erosión en las orillas y en una isla central generada por el efecto del puente.

Figura 6.31. Síntomas de incisión en las orillas y en una isla donde han emergido raíces de los alisos.

En los momentos de derribo de la presa, la liberación de las aguas supone la movilización por suspensión y disolución de material fino, generando una importante turbidez en el flujo que discurre hacia aguas abajo, STAGE B del modelo de Doyle *et al*. (2003) (Fig. 6.17 y 6.32)

Fig. 6.32. Turbidez en el flujo a la altura del puente de Inturia.

Tras el derribo de la presa el tramo ha recibido un aporte de sedimentos procedentes del vaso del embalse que han tapizado el lecho, ocupando los intersticios entre los bloques y formando playas en algunas zonas de menor corriente y paquetes arenosos.

Figura 6.33. Vistas del tramo en mayo de 2015. A la derecha desde la presa y a la izquierda desde el puente de Inturia. En esta última fotografía se aprecia la desaparición de la isla central que había en julio de 2013.

El incremento del material fino en el tramo ha sido especialmente significativo tras el segundo derribo, tapizando prácticamente en su totalidad el lecho con arenas y gravas.

Figura 6.34. Imágenes donde se aprecia el cambio en la composición del material del lecho tras el segundo derribo.

Pero todavía se ha hecho más revelador tras el tercer derribo y la eliminación total de la presa, donde el material es todavía más grueso y se ha constatado una notable acreción aguas abajo, como se ha mostrado en el análisis de las secciones transversales. Así cambia también la tipología de río, siendo durante un tiempo de tipo trenzado por la enorme cantidad de material grueso que se evacúa del vaso del embalse y tapiza el fondo del lecho (Figura 6.35).

Figura 6.35. Acumulación de material grueso y formación de una tipología de cauce trenzado. En el centro en septiembre de 2017, una vez las aguas altas y crecidas han evacuado ese material. Abajo en julio de 2018, donde se aprecian paquetes de gravas.

Pasado un año y medio del derribo completo de la presa los materiales gruesos han sido evacuados por el río y adopta la tipología de rápido y remanso. Tipología que se mantiene en el verano de 2018.

Figura 6.36. Aspecto desde aguas abajo de la zona de la presa en las distintas fases de derribo. En la fila superior izquierda en julio de 2013 sin derribar; a la derecha en mayo de 2014 tras la primera fase de derribo. En el centro a la izquierda en junio de 2015 una vez derribada la mitad de la presa; a la derecha en noviembre de 2015 tras la tercera fase de derribo. Abajo a la izquierda en septiembre de 2017 tras el derribo completo, a la derecha en agosto de 2018.

6.1.6. Tramo 6 - Rápidos y remansos y saltos y pozas

Se inicia en el puente y finaliza en la cola del embalse de Bertxin. Se trata de una secuencia de rápidos y remansos con barras alternas y barras de meandro de material de cantos y bloques pequeños muy similar al tramo aguas arriba de la presa, pero con un material medio ligeramente superior.

Figura 6.37. Morfología de rápidos y remansos, con rápidos formados por grandes bloques.

El afloramiento de estratos del sustrato rocoso genera saltos que puntualmente conlleva la presencia de morfologías de pequeños saltos y pozas. Las barras presentan la formación de canales de crecida, e incluso se dan bifurcaciones del flujo con la formación e islas.

Figura 6.38. Pequeños saltos y pozas se integran también en este tramo.

Antes de iniciarse los derribos se apreciaban síntomas de incisión así como evidencias de marcas de crecidas.

Figura 6.39. Síntomas de incisión y restos de crecidas pasadas.

Tras los derribos, y al igual que en el tramo anterior, se aprecia una importante acumulación de sedimento de calibre inferior que tapiza el fondo del lecho, recubriendo los anteriores bloques y ocupando todos los intersticios. Son evidentes también formaciones de playas en las

orillas. Tras el derribo total de la presa la cantidad y calibre del material se incrementa notablemente, abundando los cantos.

Figura 6.40. Arriba vistas hacia aguas abajo desde el puente de Inturia (izquierda) y detalle de un punto del tramo antes del derribo. En el centro evidencias de agradación y acumulación de sedimento de menor calibre en septiembre de 2017 tras el derribo total de la presa. Abajo en agosto de 2018. Las fotografías de la izquierda representan idéntico punto.

Además es notable el relleno de las pozas existentes en el tramo por material fino y más grueso.

Figura 6.41. Pozas parcialmente rellenas por material fino

6.1.7. Tramo 7. Embalse de Bertxin

En los días en los que se realizó la campaña de campo de caracterización previa a la primera fase de derribo ya se había procedido a desembalsar de forma preventiva el embalse de Bertxin, por lo que no se dispuso de una visión del embalse en su totalidad previa a la intervención en Inturia. Sin embargo ese nivel más bajo de la lámina de agua también supuso una oportunidad para obtener datos valiosos de cara a su comparativa en caso de procederse a la segunda fase de derribo.

El inicio del tramo se produce al final del meandro y finaliza en la presa de Bertxin.

Figura 6.42. Diversas fotografías que permiten apreciar el embalse. Las dos de arriba muestran el embalse lleno, en fotografías del mes de junio y de agosto, una vez iniciado el proceso de derribo. En las dos de abajo obtenidas en julio se aprecia el descenso del nivel del agua y el afloramiento de algunas barras.

Las evidencias de crecida en la zona de la cola son numerosas y con alturas considerables, probablemente fruto del efecto barrera ejercido por el embalse de Bertxin que alcanzan en algún punto de una senda que circula por la margen izquierda y alturas superiores a los 4 metros.

Figura 6.43. Evidencias de crecidas a gran altura. A la derecha restos en una senda que circula sobre la ladera de la margen izquierda.

Los cambios en este tramo son muy importantes. Tras el primer derribo ya se constataron importantes acumulaciones de sedimento, fruto de la pérdida de competencia del flujo por la ralentización del mismo. Tras el segundo esos cambios han sido muy notables cambiando incluso la morfología del embalse y generando una práctica completa colmatación del mismo.

Figura 6.44. Acumulaciones sedimentarias en el tramo afectado por el embalse de Bertxin. Abajo vista hacia aguas arriba desde la presa donde se aprecia la colmatación del vaso.

Tras el último derribo el grado de colmatación es más patente, sobre todo con material más grueso. Esa agradación va progresando hacia aguas arriba, quedando sepultados parcialmente algunos árboles.

Figura 6.45. Aspecto del tramo en septiembre de 2017 tras el derribo total de la presa

En agosto de 2018 el grado de colmatación se había incrementado más si cabe, progresando hacia aguas arriba.

Figura 6.46. Aspecto del tramo en agosto de 2018

6.2. ZONA DE AFECCIÓN DE LA PRESA DE OLLOKI

En verano de 2017, previo al derribo de la presa de Olloki, se recorrió el total del tramo de estudio desde el punto de control hasta el final del tramo de aguas abajo analizado. Se ha registrado fotográficamente con el fin de identificar los cambios producidos en los procesos y formas derivados del derribo del azud. Tras una primavera muy lluviosa en verano de 2018 se realizó lo propio, antes de que se iniciara el derribo. Sin embargo los procesos no habían variado entre un año y otro, de modo que mantiene la tipología descrita en 2017.

La Figura 6.47 muestra la tipología de tramos identificada.

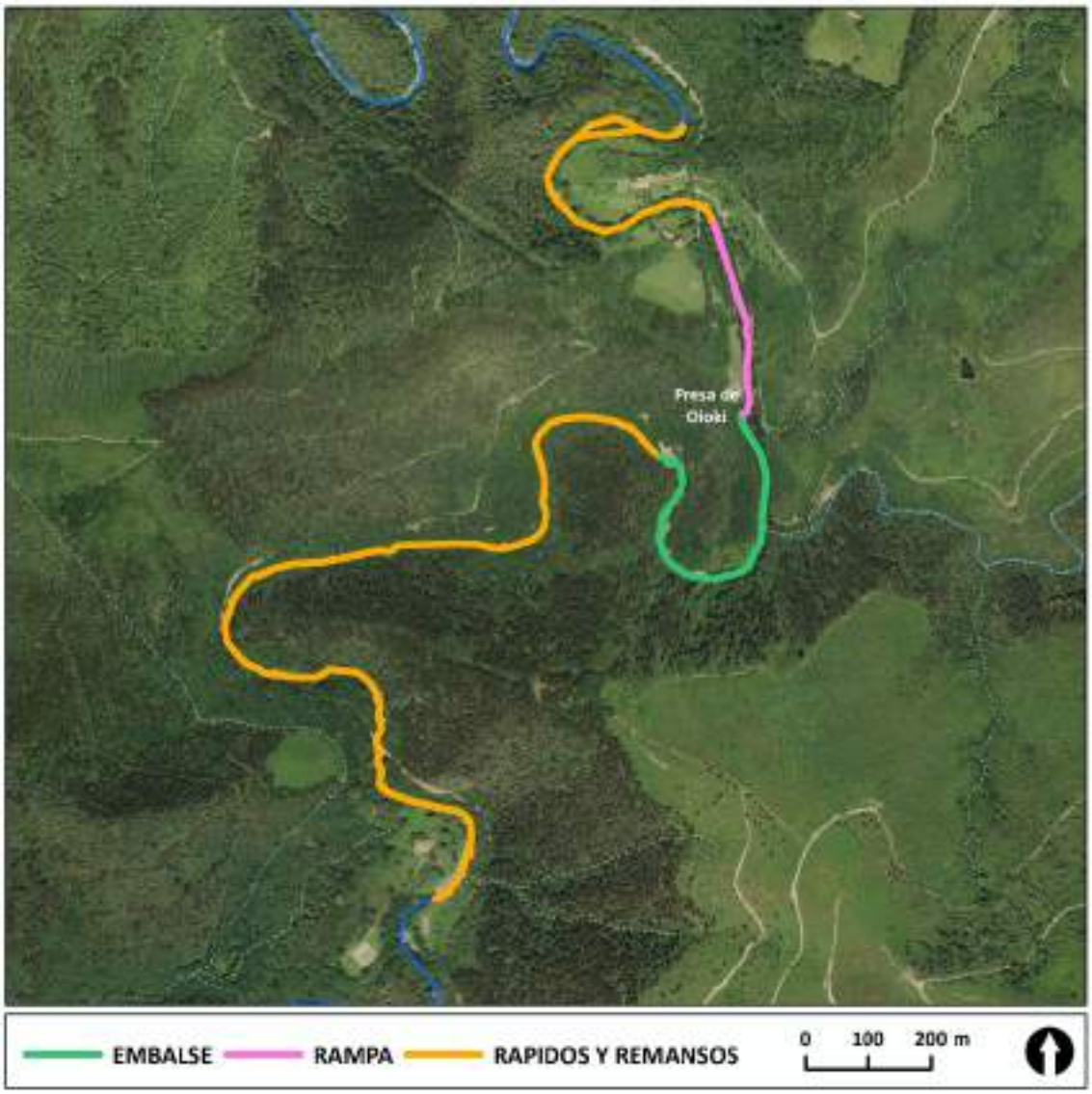


Fig. 6.47. Tipología geomorfológica de tramos identificada antes del derribo de la presa de Olloki

A continuación se presenta una caracterización de los distintos tramos y sus procesos dominantes.

6.2.1. Tramo 1 – Rápidos y remansos

Coincide con todo el tramo aguas arriba del azud y embalse de Olloki y está conformado por secuencias de rápidos y remansos, con barras alternas. En el tramo hay una gran acumulación de material aluvial de tipo canto.

Figura 6.48. Aspecto del tramo de rápidos y remansos localizado inmediatamente aguas arriba del embalse de Olloki.

En el tramo hay diversas estructuras de madera insertadas en el cauce con el fin de diversificar los hábitats del mismo.

Figura 6.49. Estructura de madera muerta insertada transversalmente al cauce

6.2.2. Tramo 2 – Embalse

Se corresponde con el vaso del embalse de Olloki. El tramo con aguas estancadas tiene unos 675 m de longitud. En el mismo hay una importante acumulación de material aluvial, especialmente en la zona de la cola del embalse, así como abundante material fino en la llanura aluvial de la margen izquierda del vaso. En el vaso desemboca la regata Santolats, que aporta también una gran cantidad de material.

Figura 6.50. Arriba tramo del embalse de Olloki. En el centro cola del embalse y material aluvial fino decantado en la llanura aluvial. Abajo a la izquierda desembocadura de la regata Santolats y a la derecha vista del embalse.

6.2.3. Tramo 3 – Rampa

Tramo recto y corto de apenas 317 metros que se inicia al pie de la presa de Olloki y hasta el puente. La disminución del caudal circulante cuando se encontraba la concesión vigente y la retención de material aluvial en el embalse, ha generado un tramo de mayor pendiente y con material aluvial somero muy habitual aguas abajo de presas.

Figura 6.51. Tramo de rampa aguas abajo de la presa y puente donde finaliza el tramo.

6.2.4. Tramo 4 – Rápidos y remansos

Tramo de rápidos y remansos con barras alternas y pozas. En el tramo se encuentra una isla bifurcándose el cauce en dos canales. En este tramo finaliza el área de estudio correspondiente al seguimiento propiamente del derribo de la presa de Olloki.

Figura 6.52. Aspecto del tramo de rápidos y remansos.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aoki, H. y Matsukura, Y. 2008. "Estimating the unconfined compressive strength of intact rocks from Equotip hardness". *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67, 23–29.

Barber, D., Mills, J., Bryan, P. 2003. *Towards a standard specification for terrestrial laser scanning of cultural heritage*. 19th Symposium of CIPA.

Brierley & Fryirs. 2005. *Geomorphology and River Management. Applications of the River Styles Framework*. Blackwel Publishing, 398 pp.

Bryan, P., 2006. An addendum to the metric specifications for Cultural Heritage-the collection and archiving of point cloud data obtained by terrestrial laser scanning or others methods.

Doyle MW, Stanley EH, Harbor JM. 2002. Geomorphic analogies for assessing probable channel response to dam removal. *Journal of the American Water Resources Association* 38(6): 1567-1579.

Doyle MW, Stanley EH, Harbor JM. 2003. Channel adjustments following two dam removals in Wisconsin. *Water Resources Research* 39, 1011

English Heritage, 2007. *3D Laser scanning for Heritage*. Advice and guidance to users on laser scanning in archaelogy and architecture.

Haschenburger, J.K., Church, M., 1998. Bed material transport estimated from the virtual velocity of sediment. Earth Surf. Process. Landf. 23, 791–808.

Hassan, M.A., Church, M., Schick, A.P., 1991. Distance of movement of coarse particles in gravel bed streams. Water Resour. Res. 27, 503–511.

Ibisate, A., Ollero, A., Ballarín, D., Horacio, J., Mora, D., Mesanza, A., Ferrer-Boix, C., Acín, V., Granado, D., Martín-Vide, J.P. 2016. Geomorphic monitoring and response to two dam removals: rivers Urumea and Leitzaran (Basque Country, Spain). *Earth Surface Processes and Landforms* 41, 2239-2255.

Kawasaki, S. y Kaneko, K. 2004. "Estimation method for weathering thickness of man-made weathering rocks by using the Equotip hardness tester". In: Schubert, W. (Ed.): *Proc. ISRM Regional Symp*. *EUROROCK 2004 and 53rd Geomech*. Colloquy, October 7–9, 2004, Salzburg, Austria. Verlag Glückauf, Essen, Germany, pp. 491–494.

Kawasaki, S., Tanimoto, C., Koizumi, K. y Ishikawa, M. 2002. "An attempt to estimate mechanical properties of rocks using the Equotip hardness tester". *Journal of the Japan Society of EngineeringGeology*, 43: 244–248

Knighton, D. 1998. *Fluvial forms and processes: a new perspective*. London, Arnold, 383 pp.

Komura, S., 1961. Bulk properties of river bed sediments: its applications to sediment hydraulics. Proceedings of the 11th Japan National Congress for Applied Mechanics. Japan National Committee for Theoretical and Applied Mechanics, Science Council of Japan, Tokyo, pp. 227–231.

Kondolf, G.M., Lisle, T.E., Wolman, G.M., 2003. Bed sediment measurement. In: Mathias Kondolf, G., Piégay, H. (Eds.), Tools in Fluvial Geomorphology. John Wiley and Sons, Chichester, pp. 347–395.

Lerma García, J.L., Biosca Tarongers, J.M. 2008. *Teoría y práctica del escaneado láser terrestre*. 254.

Montgomery, D.R. & Buffington, M. 1997. Channel-reach morphology in mountain drainage basins. *Geological Society of America Bulletin*, 109: 596-611.

Pérez-Alberti, A., Gomes, A., Trenhaile, A., Oliveira, M. y Horacio, J. 2013. "Correlating river terrace remnants using an Equotip hardness tester: An example from the Miño River, northwestern Iberian Peninsula". *Geomorphology*, 191: 59-70

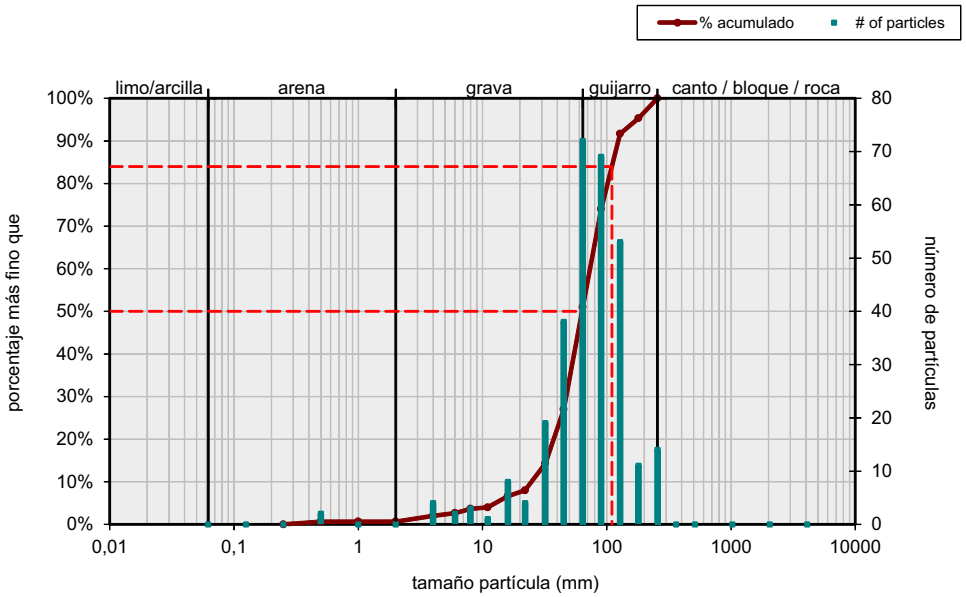
Staiger, R. 2005.
The Geometrical Quality of Laser Scanner (TLS). FIG Working Week.

Sancho, E. y Etxandi, N. 2015. *Proyecto de estabilización de la margen del río Leitzaran y resposición de la pista en Inturia. Tramitación medioambiental*. Agencia Vasca del Agua, Donostia/San Sebastián, 12 p.

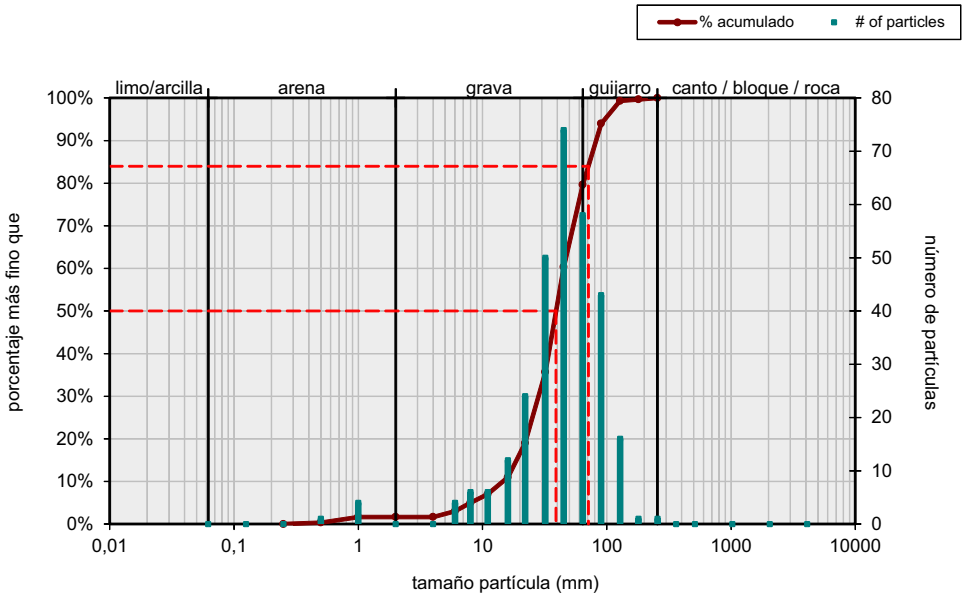
Vázquez-Tarrío, D., 2013. Transporte de sedimento como carga de fondo en la cuenca del río Narcea (vertiente Norte de la Cordillera Cantábrica). Ph. D. Thesis. University of Oviedo, Oviedo (Spain).

ANEXO A

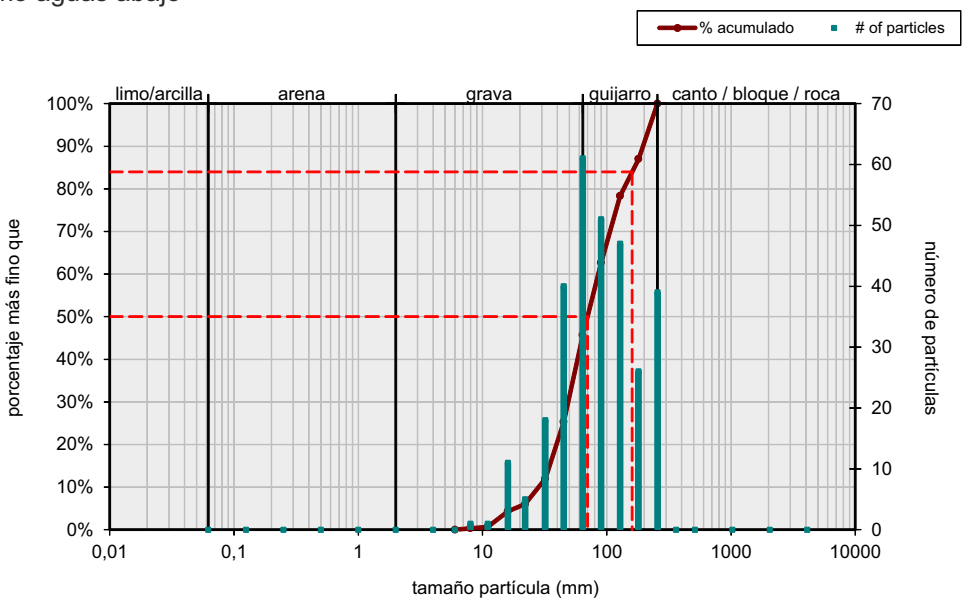
Tramo control



Tramo aguas arriba



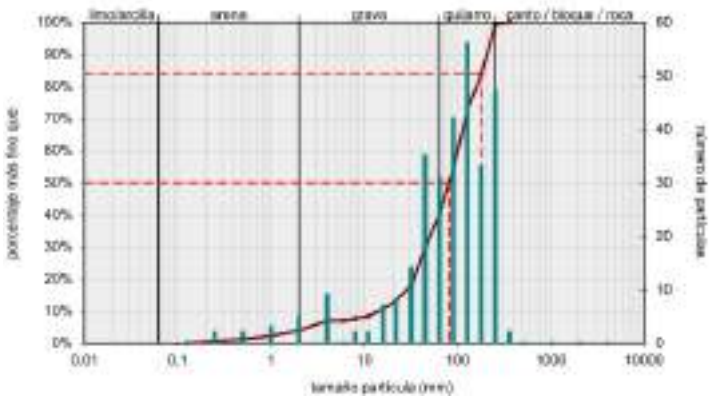
Tramo aguas abajo



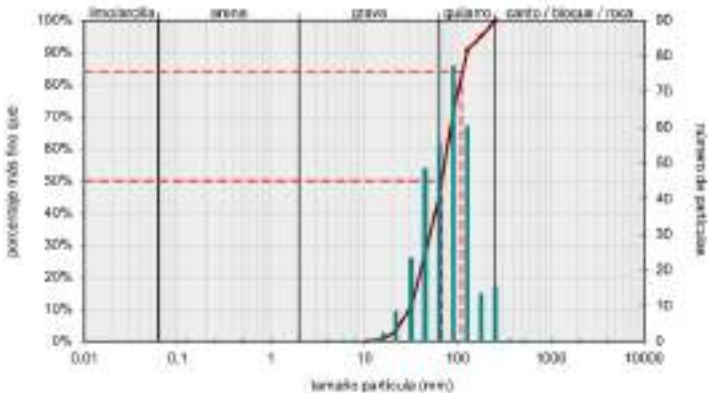
ANEXO A

Campaña 2016 (C1)

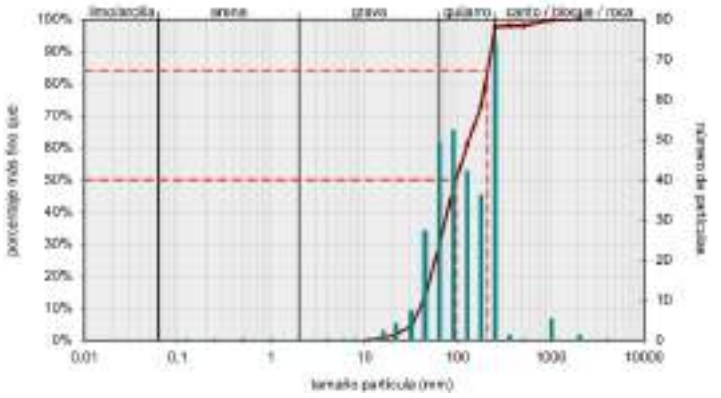
TC



TAA

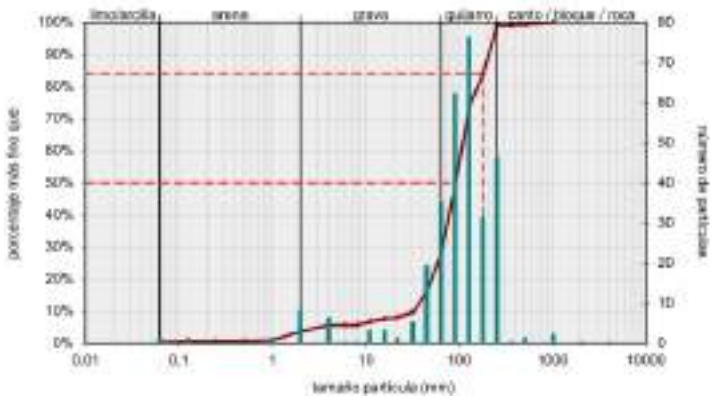


Taa

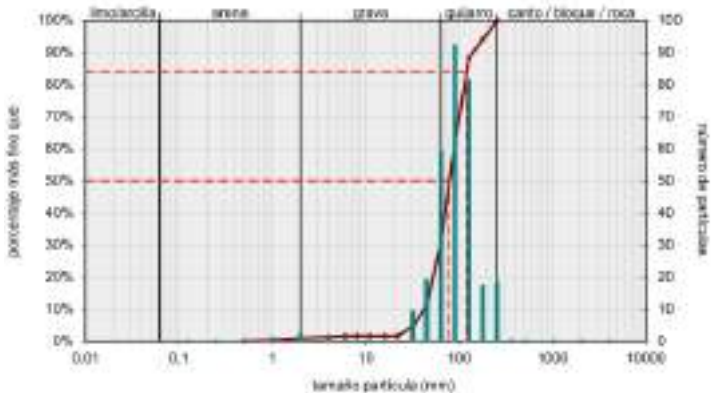


Campaña 2017 (C2)

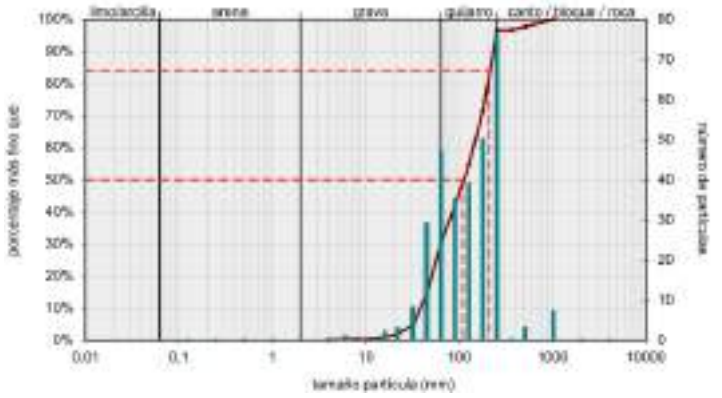
TC



TAA

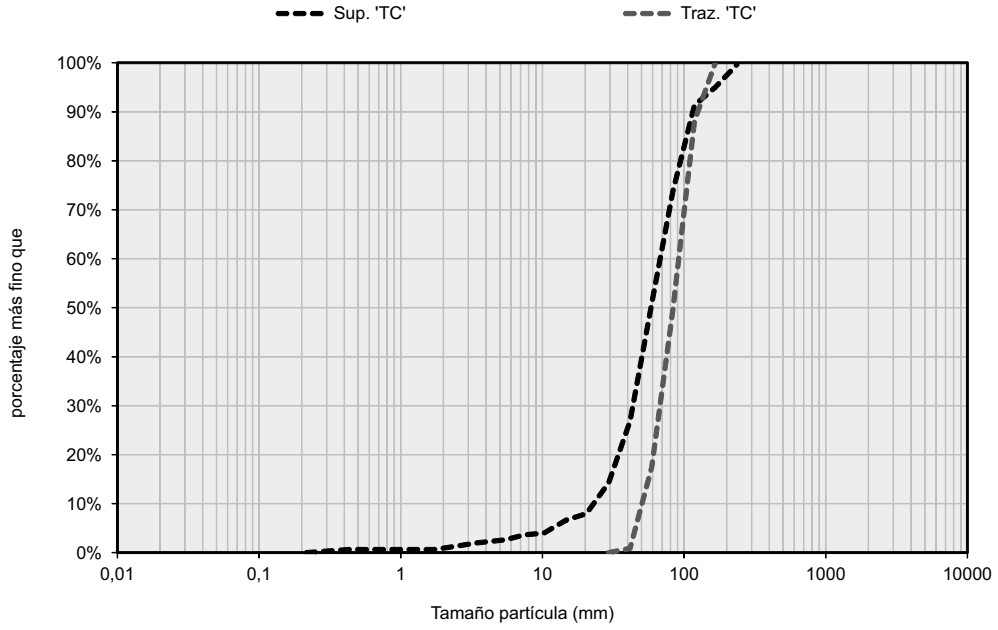


Taa

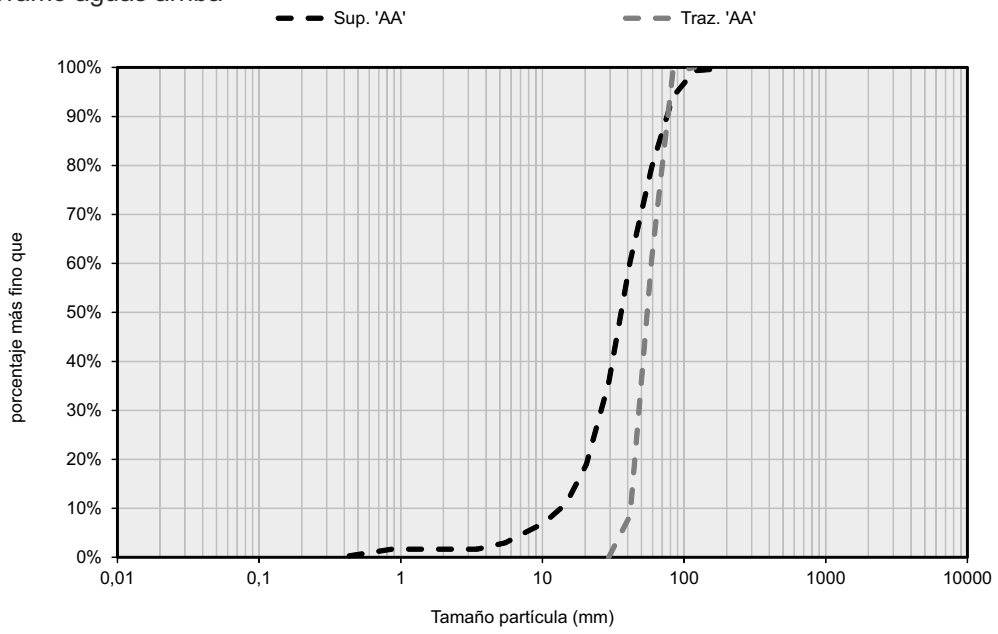
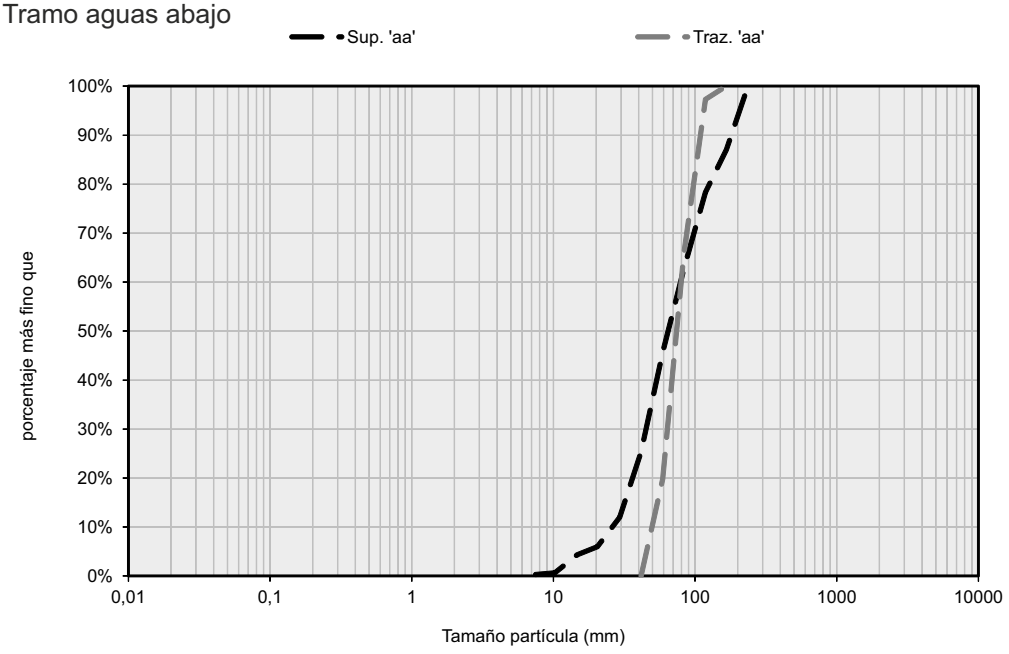


ANEXO B

Tramo control



Tramo aguas arriba



Tramo aguas abajo