

**ESTUDIO DE LA AFECCIÓN DE UNA CENTRAL  
HIDROELECTRICA EN LA MIGRACIÓN DESCENDENTE DE  
ANGUILA PLATEADA**



2014

MEMORIA



## DIRECCIÓN - EQUIPO DE TRABAJO

### DIRECCIÓN:

- ✓ DARÍO YÉCORA - URA (Uraren Euskal Agentzia/Agencia Vasca del Agua)

### REDACCIÓN:

- ✓ IKER AZPIROZ - Ekolur SLL

### TRABAJO DE CAMPO:

- ✓ IKER AZPIROZ - Ekolur SLL
- ✓ JOSEBA TOBAR - Ekolur SLL
- ✓ MIKEL LIZASO - Ekolur SLL
- ✓ SERGIO GASPAR - Ekolur SLL

### Se agradece la ayuda y apoyo prestado en la realización del proyecto a:

-IÑAKI BAÑARES e IÑIGO MENDIOLA (Diputación Foral de Gipuzkoa, Dpto. de Innovación, Desarrollo Rural y Turismo)

-PATXI TAMES (Diputación Foral de Gipuzkoa, Dpto. de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio)

-JOSE LUIS ECHEVERRÍA GALARZA como propietario de la Central Hidroeléctrica Altuna Txiki S.L.

## ÍNDICE

<b>1.- ANTECEDENTES.....</b>	<b>1</b>
<b>2.- INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>3.- OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
<b>4.- ÁREA DE ESTUDIO .....</b>	<b>5</b>
<b>5.- METODOLOGÍA.....</b>	<b>7</b>
5.1.- SISTEMA DE DETECCIÓN PASIVA Y C.H. ALTUNA TXIKI.....	9
5.2.- RADIOSEGUIMIENTO .....	11
5.3.- CAPTURA Y MARCAJE.....	11
5.3.1.- Protocolo de marcaje.....	13
<b>6.- RESULTADOS .....</b>	<b>14</b>
6.1.- ANGUILAS MARCADAS PARA SEGUIMIENTO.....	14
6.2.- MIGRACION.....	17
6.2.1.- Periodo de migración y parámetros ambientales.....	17
6.2.2.- Periodo de migración y caudales .....	22
6.2.3.- Migración y plateamiento.....	25
6.2.4.- Seguimiento y comportamiento .....	26
6.3.- IMPACTO de la C.H. ALTUNA TXIKI .....	30
6.3.1.- Caudales río Urola-canal y pasos de anguila.....	30
6.3.2.- Afección y mortalidad .....	33
6.3.3.- Sistemas/dispositivos para evitar el paso por turbinas .....	33
<b>7.- DISCUSIÓN.....</b>	<b>35</b>
7.1.- Migración: periodo, picos y parámetros ambientales.....	35
7.2.- Afección de la C.H. Altuna Txiki .....	36
7.3.- Dispositivos para evitar la entrada a turbinas .....	37
<b>8.- CONCLUSIONES.....</b>	<b>38</b>
<b>9.- BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>39</b>

**ANEXO I. REPORTAJE FOTOGRÁFICO: C.H. ALTUNA TXIKI, SISTEMA DE DETECCION, BARRERA SONICA, REJILLA Y BYPASSES**

**ANEXO II. ANGUILAS MARCADAS PARA SEGUIMIENTO, RÍO UROLA**

## 1.- ANTECEDENTES

En relación con la principal especie migradora anfihalina presente en todas las cuencas de la vertiente cantábrica de la CAPV, la anguila, en diciembre de 2008 se redactó el Plan de Gestión para la recuperación de la Anguila Europea en la CAPV en base al Reglamento (CE) No 1100/2007 y en octubre de 2010 la Comisión Europea aprobó este plan. Asimismo, el Reglamento (EC) No 1100/2007 en su artículo 9 requiere a los estados miembros que informen y evalúen la efectividad y el resultado de sus planes de gestión nacionales. Entre los principales puntos a informar se encuentra el de “nivel de los factores de mortalidad ajenos a la actividad pesquera propiamente dicha, y la reducción efectuada con arreglo a lo dispuesto en el artículo 2, apartado 10.”. De acuerdo al grupo de trabajo WGEEL (ICES 2010) esta información debería de incluir entre otros, aspectos relacionados con la mortalidad por turbinas en aprovechamientos hidroeléctricos, unos de los principales factores de mortalidad de las anguilas plateadas o reproductoras en su migración descendente al mar y uno de los factores que han contribuido al declive de la población de anguila (ICES 2002).

Asimismo, entre los principales objetivos de la Directiva Marco del Agua (60/2000/CEE) se encuentra el de alcanzar el buen estado ecológico de las masas de agua superficiales, siendo la continuidad fluvial uno de los apartados evaluadores del estado ecológico de las masas de agua superficiales. El término de continuidad fluvial incluye la posibilidad de garantizar la libre circulación de la fauna piscícola a lo largo de los cursos fluviales no sólo en sentido ascendente o de remonte sino también en sentido descendente, como es el caso de las anguilas plateadas o reproductoras o los esguines de salmón atlántico y reo en las cuencas cantábricas de la CAPV.

Por tanto, la restauración de la conectividad longitudinal fluvial y la conservación de la diversidad de su fauna en general y de la piscícola en particular, son necesidades urgentes para la conservación de la biodiversidad global en Europa (Zitek et al. 2008), en cumplimiento de las exigencias de la Directiva Marco del Agua (60/2000/CEE), del Plan para la Recuperación de la Anguila en Europa (Regulación 1100/2007; EC, 2007), así como para el mantenimiento y mejora del estado de la conservación de especies incluidas en la red Natura 2000 (Directiva Hábitats 92/43/CEE; EC, 1992).

En el ámbito del proyecto “*Recang: recuperando la anguila: desarrollo de herramientas científico-técnicas para la implementación de planes de gestión en las cuencas europeas*”<sup>1</sup> se realizó una estimación teórica del impacto o mortalidad provocada por los aprovechamientos hidroeléctricos de la cuenca del Oria (Gipuzkoa) en la migración descendente de anguila plateada a partir de una amplia revisión bibliográfica. Esta primera aproximación otorgaba una tasa de mortalidad determinada a cada aprovechamiento y simulaba la mortalidad acumulada para todo el corredor migratorio del Oria. La mortalidad acumulada para el total de anguilas plateadas localizadas aguas arriba de los aprovechamientos hidroeléctricos de la cuenca del Oria se estimaba entre el 34,7% y 66,3% del total. Estimaciones recientes realizadas in situ mediante marcaje con radiotransmisores y seguimiento de anguilas plateadas en corredores migratorios con varios aprovechamientos hidroeléctricos, ofrecen valores similares y en ocasiones hasta superiores (Dönni et al. 2001; Bruijs et al. 2003; Winter et al. 2006; Baran et al. 2012). Cabe destacar como ejemplo reciente el estudio realizado en un corredor o

---

<sup>1</sup>[http://www.uragentzia.euskadi.net/u810003/es/contenidos/informe\\_estudio/2013\\_recuperando\\_anguila/es\\_docu/index.html](http://www.uragentzia.euskadi.net/u810003/es/contenidos/informe_estudio/2013_recuperando_anguila/es_docu/index.html)

tramo de la cuenca del Adour (Gave de Pau), con un total de 26 aprovechamientos hidroeléctricos y un escape de entre el 33%-66% del total (media del 49 %) o lo que es lo mismo, una mortalidad acumulada del 34%-67% (media del 51%), donde cabe destacar que tan sólo cuatro de los veintiséis aprovechamientos provocan el 35% de la mortalidad total (Voetgle B., Larinier M. 2008). Este estudio se enmarca en el ámbito de un amplio programa desarrollado a nivel nacional en el marco del plan de gestión de la anguila en Francia y la problemática de la migración ascendente y descendente (infraestructuras existentes, impacto, análisis y evaluación de soluciones y medidas para mitigar estos impactos, etc.) durante el periodo 2009-2011, con un presupuesto total de 4,5 millones de €, y financiado por entes públicos así como por 5 compañías hidroeléctricas (Baran et al. 2012).

Sin embargo y en lo que respecta a la estimación realizada en la cuenca del Oria en el ámbito del proyecto Recang, ésta es una aproximación teórica y en las conclusiones del citado trabajo se recomienda realizar estudios de mortalidad reales en los aprovechamientos hidroeléctricos más relevantes o en los que a priori mayor afección causarían en las principales rutas migratorias de la especie.

En consecuencia, en el año 2011 la Agencia Vasca del Agua/Uraren Euskal Agentzia (URA) realizó por vez primera un estudio de seguimiento en relación con la introducción de anguilas plateadas en el canal de derivación de la central hidroeléctrica de Altuna Txiki S.A. en el río Urola, durante el periodo de migración descendente hacia el mar en otoño (octubre-diciembre). El objetivo de este estudio fue el de valorar el impacto de esta central situada en el curso bajo del río Urola, así como testar la eficacia de una barrera sónica (barrera comportamental/behavioural barrier) instalada en el canal y de la rejilla (barrera física) situada en la cámara de carga en relación con su capacidad de repeler la entrada de anguilas hacia turbinas. Asimismo, se pretendía obtener información en torno al conocimiento de la fase de migración descendente de la anguila en los ríos de la CAPV (periodo de bajada, picos migratorios, relación con variables hidrológicas, etc.).

Tras la puesta en marcha de este novedoso estudio en el año 2011, en el año 2012 se vuelve a realizar el seguimiento de anguilas plateadas en el río Urola y en la misma central hidroeléctrica de Altuna Txiki S.A. pero realizando algunas modificaciones en la metodología de estudio con el objetivo de mejorar la cantidad y calidad de la información a obtener.

Esta segunda campaña ofrece unos primeros resultados muy interesantes, los cuales tienen origen principalmente en el radioseguimiento de anguilas plateadas. En consecuencia y con el objetivo de dar continuidad y aumentar la cantidad y calidad de la información recopilada hasta la fecha, en 2014 se realiza la tercera campaña de seguimiento, aplicando la misma metodología que en la anterior campaña de 2012. Los resultados obtenidos se incluyen en este documento.

## 2.- INTRODUCCIÓN

La migración descendente al mar de anguila plateada o reproductora es un fenómeno poco estudiado hasta la fecha y aunque en los últimos años se ha avanzado en su estudio y conocimiento, la mayor parte de la información tenía origen en la pesquería comercial de anguila plateada (Bruijs, M. and Durif, C. 2009). De esta forma los periodos de pesca de anguila plateada comprenden el periodo de migración, en Francia la pesquería comienza en el mes de octubre y finaliza en el mes de abril y según los datos de pesquería del río Loire el pico de migración corresponde al mes de noviembre (Durif and Elie 2008). Estudios de seguimiento realizados en otras cuencas europeas comprenden también estos principales periodos de migración, fenómeno que parece ser desencadenado principalmente por aumentos en el caudal circulante (Feunteun et al. 2000; Bruijs et al. 2003; Durif et al. 2003; Durif 2004; Gosset et al. 2005; Winter et al. 2006; Jansen et al. 2007; Voegtle B. & Larinier M., 2008; Travade et al. 2010) además de por otros parámetros ambientales. Sin embargo el periodo de pico migratorio evoluciona en función de la latitud, mientras que en latitudes de 45-50° N coincide con el fin del otoño o el comienzo de invierno, en latitudes superiores como en el río Imsa en Noruega (Vøllestad et al. 1986) y la franja costera de Noruega (Bergersen and Klemetsen 1988) las anguilas plateadas migran sin embargo principalmente en el mes de agosto, comenzando en el mes de julio, ya que éstos reproductores tienen que cubrir una distancia superior al resto de subpoblaciones y de esta forma, iniciando antes la migración, es posible que alcancen las áreas de reproducción en sincronía con el resto.

En su migración descendente hacia el mar, las anguilas plateadas se encuentran amenazadas por la presencia de aprovechamientos hidroeléctricos y la mortalidad al paso por turbinas, uno de los factores que han contribuido al declive de la población de anguila a nivel global (ICES 2002). Por tanto para la adopción de medidas de gestión con el objetivo de disminuir el impacto de las instalaciones hidroeléctricas a escala de curso o corredor migratorio, resulta indispensable estimar de forma previa el impacto individual de cada uno de los aprovechamientos, el cual se basa en el conocimiento de los siguientes 3 apartados:

- Actividad migratoria en la cuenca y principales corredores: periodo, picos de migración y relación con parámetros ambientales.
- Distribución y comportamiento de las anguilas a la altura de cada aprovechamiento: proporción que accede a los canales y turbinas, fracción que migra aguas abajo por encima del azud o fracción que utiliza posibles alternativas de retorno al río cuando las haya (aliviaderos, compuertas o bypasses diseñados con este objetivo).
- Mortalidad al paso por turbinas: dependiente de varios parámetros como el tipo de turbina, salto, caudal turbinado, longitud de las anguilas, etc.

Los dos primeros apartados son desconocidos, particulares y variables en cada cuenca y aprovechamiento, por lo que necesitan de un estudio in situ, al menos en los corredores y aprovechamientos de mayor interés e impacto potencial, mientras que en el caso del último apartado existen modelos predictivos de la mortalidad que puedan causar los principales tipos de turbinas, en especial las tipo Kaplan (Gomes & Larinier 2008).

### 3.- OBJETIVOS

El presente estudio tiene como objetivo alcanzar o al menos obtener una primera aproximación de los siguientes apartados relacionados con la permeabilidad fluvial y la mortalidad de anguila plateada en cuencas de la CAPV:

- Estudiar el periodo de migración de bajada de anguilas plateadas en el curso medio-bajo del río Urola (Gipuzkoa) durante el otoño-invierno de 2014-2015: fechas de migración, relación con factores hidrológicos (caudales, turbidez, temperatura del agua, etc.), posibles diferencias en los patrones de migración por sexo, o estado de plateamiento, etc.
- Determinar el impacto de la central hidroeléctrica de Altuna Txiki S.A. en la población migradora de anguila plateada del río Urola: fracción que accede al canal de derivación o aprovechamiento de la central, fracción que pasa por turbinas y fracción que migra aguas abajo por encima del azud.
- Valorar la eficacia de dispositivos de paso e infraestructuras existentes en la central para evitar la entrada de anguilas plateadas en turbinas. En concreto se testará la eficacia de una barrera física tipo rejilla anti-peces y una barrera sónica o comportamental.

El objetivo final, es tratar de valorar el impacto que causan las centrales hidroeléctricas en la población de anguila plateada en esta y otras cuencas de la CAPV, conocer este proceso y facilitar la adopción de medidas de gestión oportunas como el cierre temporal de turbinas en momentos muy determinados, o la adecuación temporal de los aprovechamientos en relación con sistemas de bajada (bypasses, aliviaderos, etc.).

## 4.- ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio de este trabajo comprende el curso medio-bajo del río Urola (Gipuzkoa), desde la zona intermareal hasta la localidad de Zestoa. El río Urola, al igual que el resto de ríos cantábricos de la CAPV, es de corto recorrido, elevada pendiente y discurre a lo largo de valles estrechos. Nace en la sierra de Aizkorri y vierte sus aguas en el cantábrico a la altura de la localidad de Zumaia. La cuenca del Urola tiene una superficie de 337,5 Km<sup>2</sup>, el eje principal una longitud de 65 km y pendiente media del 1,35%. La precipitación media anual es de 1.329 mm, el caudal medio anual de 10,87 m<sup>3</sup>/s y la aportación media anual alcanza los 295 hm<sup>3</sup>.

La presencia de obstáculos, principalmente azudes, es abundante en la cuenca del Urola y limita en gran medida las posibilidades de que la anguila se distribuya en ella, sobre todo en la parte media y alta de la cuenca. En relación con la producción hidroeléctrica asociada a algunos de estos obstáculos, son 9 los principales aprovechamientos hidroeléctricos en marcha en la cuenca (Figura 1), de los cuales y en base a la distribución actual de la especie, que se limita al curso bajo-medio del río Urola (DFG & Ekolur 2011), son 4 los aprovechamientos de mayor impacto potencial comenzando desde el situado más cerca respecto a la desembocadura la mar: C.H. Rezusta (Molino Rezusta), C.H. Altuna Txiki, C.H. Alberdikoa y C.H. Badiolegi.

El presente estudio se realiza en la C.H. Altuna Txiki, situado a unos 5 km aguas arriba del límite mareal y a unos 11 km de la desembocadura al mar, mientras que el tramo fluvial objeto de estudio aguas arriba tiene una longitud de 7 km hasta el punto más alejado de captura y marcaje de anguilas a la altura de la localidad de Zestoa (Figura 3).



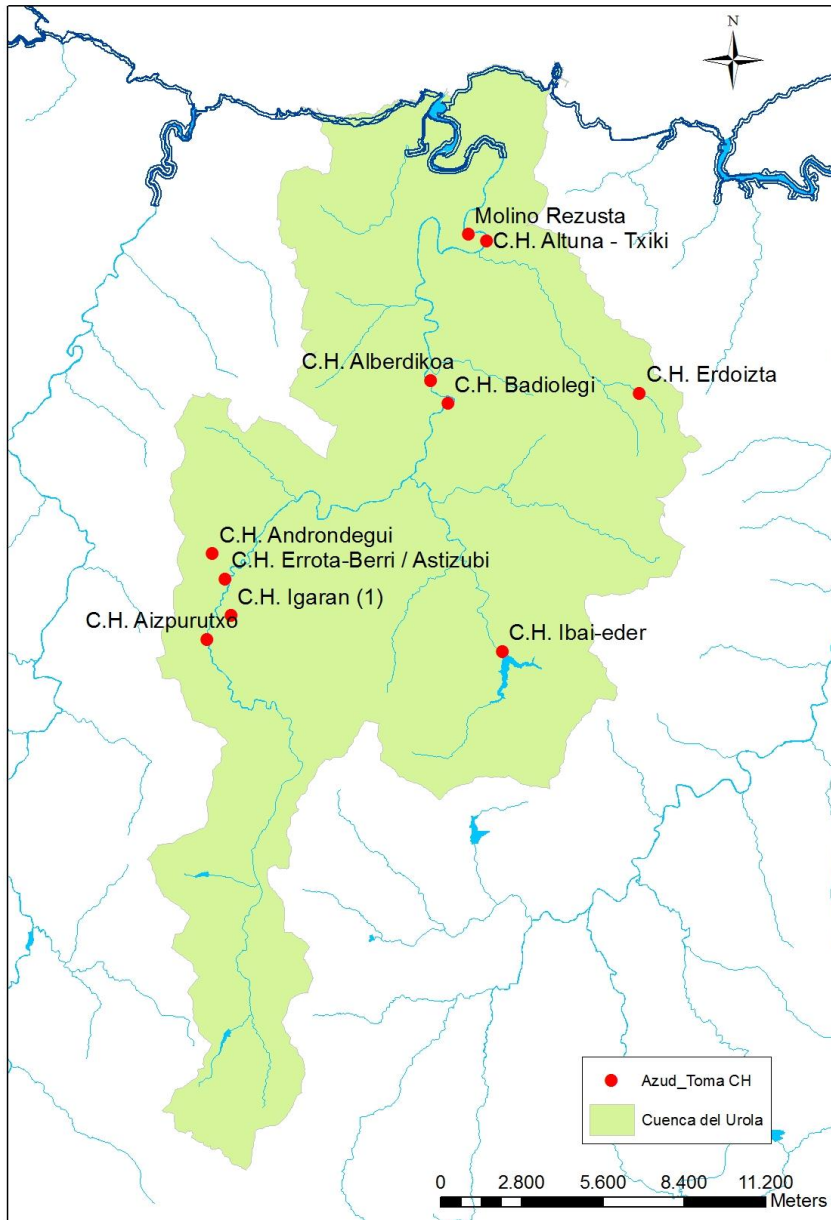


Figura 1. Localización de las tomas (azudes y presas) de los principales aprovechamientos hidroeléctricos en la cuenca del Urola.

## 5.- METODOLOGÍA

El estudio de la migración de anguilas plateadas en el río Urola, la evaluación del impacto de la C.H. Altuna Txiki en ellas y el estudio de la eficacia de dos sistemas de repulsión (barrera sónica y física-rejilla) se basa en el seguimiento y detección de anguilas mediante técnicas de telemetría. La C.H. Altuna Txiki se considera el aprovechamiento más apropiado de los cuatro existentes en el curso medio-bajo del río Urola para realizar un estudio de estas características. Por una parte es el penúltimo aprovechamiento del río Urola en sentido descendente, por lo que la mayor parte de las anguilas plateadas que migran cada campaña en esta cuenca se ven afectadas por ella y por otra, sus características físicas (canal de derivación, toma, aliviaderos de fondo, rejilla en cámara de carga, etc.) se prestan a la aplicación de un estudio de estas características.

La metodología utilizada en este estudio es la misma que la aplicada en la segunda campaña de seguimiento del año 2012 y se basa en una combinación de dos técnicas de telemetría: radioseguimiento manual o activo por una parte y detección pasiva de anguilas marcadas con pit en el canal o toma de la C.H. Altuna Txiki por otra.

La detección pasiva consiste en el recuento o detección de anguilas plateadas, previamente marcadas aguas arriba en el río Urola (marcas pit), en la toma o canal de derivación de la C.H. Altuna Txiki mediante un sistema de detección instalado a tal efecto. Este sistema únicamente aporta información en el caso de que las anguilas marcadas se introduzcan en el aprovechamiento hidroeléctrico. Con el objetivo de conocer la evolución de las anguilas marcadas durante todo el periodo de estudio en relación con su comportamiento, desplazamientos, periodos de migración, etc. independientemente de si se introducen o no en el aprovechamiento, se marcan todas ellas también con radiotransmisores, lo que permite su seguimiento y localización periódica.

El estudio se lleva a cabo durante el periodo de mayor actividad migratoria de las anguilas plateadas en estas latitudes, entre los meses de octubre de 2014 y enero de 2015 (Brujij et al., 2009). El sistema de detección de la C.H. Altuna Txiki se instala y pone en marcha entre los días 13 y 14 de octubre de 2014, tras lo cual se capturan y marcan las anguilas objeto de seguimiento el día 14 de octubre. El estudio de seguimiento finaliza el día 26 de enero, cuando se realiza la última localización de ejemplares marcados con radiotransmisores y se procede al apagado del sistema de detección instalado en la C.H. Altuna Txiki.

La combinación de ambas técnicas de telemetría, radioseguimiento manual o activo y detección pasiva de anguilas marcadas con pit en el canal o toma de la C.H. Altuna Txiki, pretende cubrir los siguientes 3 apartados de conocimiento:

- **Actividad migratoria:** identificar el periodo y principales picos de migración en relación con variables ambientales, principalmente caudal circulante. Los datos tienen origen en las localizaciones manuales mediante radioseguimiento y en las detecciones instantáneas de anguilas en el canal de derivación de la central mediante el sistema de detección instalado. Los datos de los principales parámetros hidrológicos (caudal, Tª, turbidez, etc.) tienen origen en la estación de aforo propiedad de la DFG en Aizarnabal (río Urola), 1 km aguas arriba de la

C.H. Altuna Txiki. Asimismo se analizará el porcentaje de anguilas que emprende la migración al mar en base a su estadio de desarrollo o platemiento.

En relación con los caudales del río Urola durante el periodo de migración y estudio, de octubre a enero, a partir de los caudales clasificados con origen en los caudales medios diarios registrados por la estación de aforo de Aizarnazabal para el periodo 1996-2012, se calculan los caudales clasificados para el periodo de octubre-enero 1996-2012.

- **Impacto o afección de la C.H. Altuna Txiki** en base al número de anguilas en migración que accede al aprovechamiento a través de la toma o canal de derivación. Los datos tienen origen en las localizaciones manuales mediante radioseguimiento y en las detecciones instantáneas de anguilas en el canal de derivación de la central mediante el sistema de detección instalado.

El objetivo principal en este caso es el de conocer el porcentaje de anguilas que accede al aprovechamiento, lo cual depende además de la configuración del azud y toma del canal de derivación, de la relación entre el caudal del río Urola y el caudal que detrae el canal de derivación de la central. Los datos correspondientes al caudal medio diario del río Urola tienen origen en la estación de aforo propiedad de la DFG en Aizarnabal (río Urola), 1 km aguas arriba de la central. A este caudal se le suma el caudal medio diario estimado por proporcionalidad de cuenca para la subcuenca del Altzolaratz, de 25,58 km<sup>2</sup> de superficie y que desemboca entre la estación de aforo y la C.H. Altuna Txiki. Para estimar el caudal correspondiente al canal de derivación, se realizan mediciones de la velocidad del agua (m/s) a diferentes alturas de la columna de agua, así como de la altura (m) de la columna de agua y anchura (m) del canal, durante las jornadas o periodos en los que se registra actividad migratoria. El caudal se calcula de la siguiente forma:

$$Q_{\text{canal}} \text{ (m}^3\text{/s)} = \text{anchura (m)} \times \text{altura (m)} \times \text{velocidad (m}^3\text{/s)}$$

En base al porcentaje de anguilas que accede al canal y pasa por turbinas, se realiza una primera estimación de la mortalidad que causarían las turbinas de la central (turbinas tipo Francis) en la población migradora a partir de referencias bibliográficas recientes.

- **Eficacia** de una barrera comportamental (**barrera sónica**) y física (**rejilla**) asociadas a infraestructuras (aliviaderos o compuertas de fondo) existentes en la central y habilitadas a modo de dispositivo de salida o bypass con el objetivo de evitar la entrada de anguilas plateadas en turbinas y habilitar una salida para retornar al río Urola.

La detección de anguilas al inicio del canal en la toma y en cada uno de los aliviaderos o bypasses habilitados, permite conocer qué alternativas de paso utilizan las anguilas que se introducen al canal y al mismo tiempo, además de valorar la eficacia de la barrera comportamental permite valorar la eficacia de una barrera física (rejillas de la cámara de carga). Asimismo se cuenta con datos de velocidad del agua a partir de las mediciones realizadas de forma sistemática en el canal de derivación y a la altura de las barreras y los bypasses durante el periodo de migración de la anterior campaña de 2012. La velocidad del

agua es un factor de vital importancia en este caso, se recomienda que no supere los 0,5 m/s, en especial frente a las rejillas de cámara de carga, velocidades superiores pueden provocar un efecto de succión hacia las turbinas.

### 5.1.- SISTEMA DE DETECCIÓN PASIVA Y C.H. ALTUNA TXIKI

El punto de control para la detección pasiva de anguilas plateadas en migración se sitúa en la Central Hidroeléctrica de Altuna Txiki, a la altura de la localidad de Aizarnazabal, a unos 5 km aguas arriba del límite mareal y a unos 11 km de la desembocadura al mar (Figura 1). El aprovechamiento cuenta con un azud de 2,6 metros de altura y 44,5 m de largo, hecho de mampostería y reforzado posteriormente con hormigón. Este obstáculo no cuenta con dispositivo de paso alguno para peces en sentido ascendente y la toma se sitúa en margen izquierda, cuyo canal de derivación tiene una longitud de 165 m, finalizando en una cámara de carga provista de una rejilla de luz variable. La entrada al canal es libre, no tiene rejilla ni sistema disuasorio alguno. A lo largo del canal de derivación existen 3 compuertas o aliviaderos de fondo, una al inicio del canal, otra a medio tramo y una última en la cámara de carga.

Para el sistema de detección pasiva se cuenta con equipos de detección (CIPAM) de marcas PIT. Cada equipo consta de una unidad central (o CPU) conectada a varias antenas, las cuales se instalarían en las áreas de detección, que en este caso corresponden a la toma o entrada del canal de derivación y los 2 bypasses o aliviaderos asociados a cada una de las barreras, comportamental (barrera sónica) y física (rejilla). La Figura 2 incluye un esquema donde se muestra la ubicación concreta de del azud, la derivación o toma, dispositivos de paso o bypasses/aliviaderos, así como el sistema de detección con las 6 antenas instaladas. Asimismo en el Anexo I se incluye un reportaje fotográfico correspondiente al aprovechamiento hidroeléctrico y al sistema de detección instalado.

Debido a las dimensiones de la toma del canal de derivación, se diseñan e instalan 3 antenas de 4,0x0,8 m (Antenas 1, 2 y 3) dispuestas una sobre la otra con el objetivo de abarcar toda la sección del canal. En este punto se detecta la entrada de anguilas marcadas con pit al canal. Hacia la mitad del tramo se instala la barrera sónica, poco después del segundo aliviadero del canal, el cual cumple la función de bypass y donde se instala la cuarta antena de detección (Antena 4). Una decena de metros antes de alcanzar la cámara de carga o final del canal se instala una quinta antena (Antena 5) en el fondo o suelo del canal con el objetivo de detectar el paso de anguilas en este punto. Finalmente, poco antes que la rejilla (barrera física) que da entrada a turbinas se sitúa el tercer aliviadero de fondo que se habilita como bypass de salida al río y donde se instala la sexta antena de detección (Antena 6).

Esta metodología requiere que las anguilas sean marcadas previamente con marcas PIT (Passive Integrated Transponder) aguas arriba del aprovechamiento, de esta forma en caso de que se introduzcan en el canal de derivación durante su migración de descenso, éstas son detectadas tantas veces como atraviesen cualquiera de las antenas instaladas a tal efecto y en cualquiera de las direcciones, de entrada o de salida. Estas marcas, de 32 mm de longitud, contienen un código alfanumérico único, lo que permite una identificación individual de los ejemplares marcados. El momento de detección es preciso, la información que contiene cada registro incluye la antena que ha realizado la detección (numerada), el código de la marca pit (16 dígitos), fecha de detección

(día/mes/año) y tiempo instantáneo de detección (hora:minuto:segundo). Por tanto, el registro temporal de anguilas marcadas con pit en las distintas antenas permite descifrar la ruta realizada por cada uno de los ejemplares marcados y conocer si acceden al canal, utilizan los bypasses asociados a la barrera sónica y física, etc.

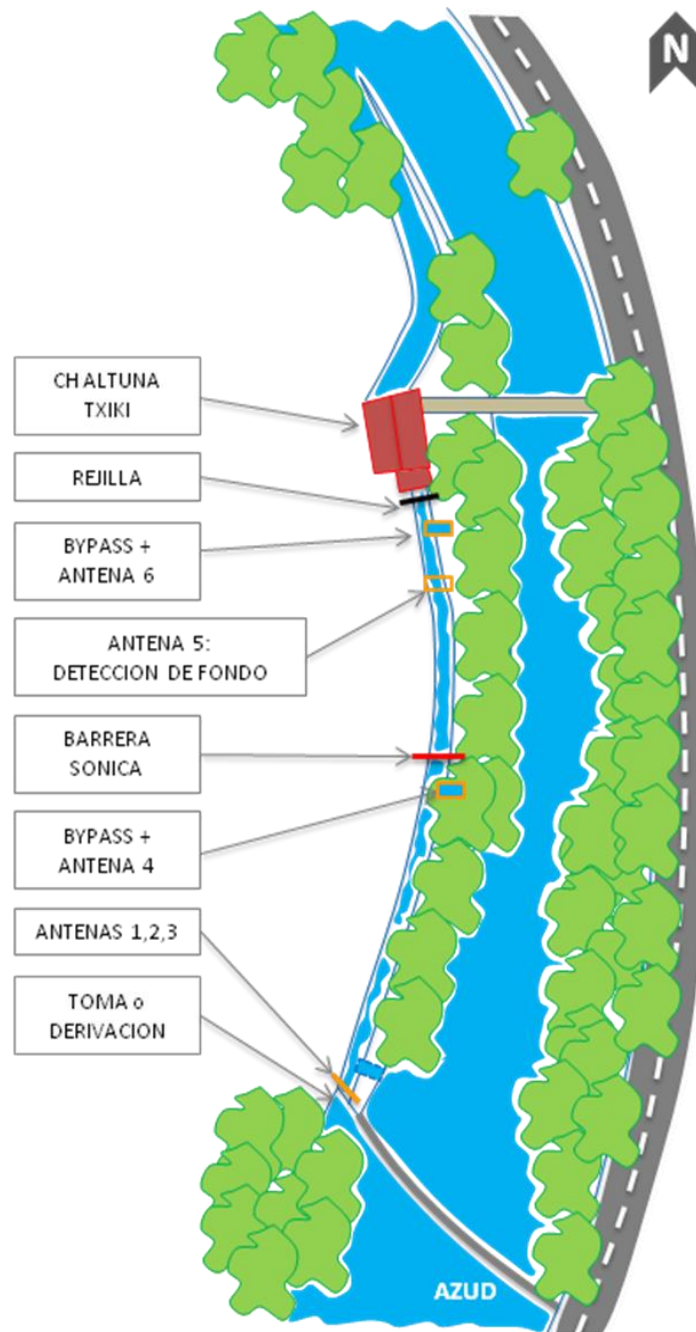


Figura 2. Esquema-situación de los dispositivos, sistemas de detección y bypasses instalados en la C.H. Altuna Txiki en el río Urola.

## 5.2.- RADIOSEGUIMIENTO

Esta técnica permite localizar cada ejemplar de forma precisa e individual y conocer su evolución en el área de estudio. El radioseguimiento manual comienza una vez se liberan las anguilas capturadas y marcadas. El punto de suelta coincide con el punto de captura, es decir, no se traslocan los ejemplares capturados con el objetivo de interferir lo menos posible en el comportamiento migratorio y para que éste sea representativo de la migración natural de la cuenca.

- Se realiza un seguimiento permanente de estos ejemplares, la periodicidad de las localizaciones es variable, desde diaria durante los periodos de mayor actividad migratoria hasta 2 veces por semana en los periodos de poca o casi nula actividad.
- El seguimiento manual de los ejemplares marcados se realiza mediante transeptos longitudinales paralelos al río. Cada localización se anota en cartografía 1:5000, así como el pk del punto de localización para posterior cálculo de distancias recorridas.
- Cada radiotransmisor emite a una frecuencia distinta por lo que el seguimiento, localización y detección es totalmente individual.

Se utilizan radiotransmisores modelo F1150 (ATS Inc.; 142.000-142.490 MHz), con un peso de 3,1 g y una vida de 97 días. Estos radiotransmisores son internos, se alojan en la cavidad abdominal del pez tras una breve intervención quirúrgica. El receptor utilizado es el modelo R2000 Challenger Receiver y una antena tipo Yagi direccional (142.000-143.999 MHz). Se marcan un total de 25 anguilas con radiotransmisor, a las cuales se les inserta también una marca tipo pit.

## 5.3.- CAPTURA Y MARCAJE

Se capturan y marcan un total de 25 anguilas a la altura de Zestoa, aguas arriba de la C.H. Altuna Txiki (Figura 3).

La captura de anguilas en ambas estaciones se realiza mediante pesca eléctrica en un tramo de longitud variable. Los ejemplares capturados se seleccionan en base a su estadio de desarrollo, se capturan principalmente ejemplares adultos y con signos externos de plateamiento (coloración dorso-ventral, hipertrofia ocular, línea lateral visible con neuromastos, etc). Con el objetivo de determinar el estadio de desarrollo o fase de plateamiento de manera más precisa, se utiliza un método no invasivo a partir de datos biométricos (longitud furcal en mm, peso en g, diámetro ocular en mm, longitud aleta pectoral en mm) que permite asignar a cada individuo una de las 6 categorías de desarrollo establecidas y las cuales se incluyen en la tabla 1 (Durif et al. 2005; Durif et al. 2009b). En base a esta clasificación habría una única categoría para los machos plateados o migradores (MII) y en el caso de las hembras existen 3 categorías, de las cuales dos categorías se consideran migradoras (FIV y FV) y una pre-migradora (FIII). En el Anexo II se incluye la relación de anguilas marcadas, sus características biométricas y código de marca.

Categoría	Longitud	Sexo	Fase	Situación	Comportamiento
I	< 45 cm	M / H	anguila amarilla	Stock	Residente
II (FII)	> 45 cm	H	anguila amarilla	Stock	Residente
II (MII)	< 45 cm	M	anguila plateada	Migrador	Migrador
III (FIII)	> 45 cm	H	anguila amarilla	Pre-migradora	Inicio de la metamorfosis, migradora potencial
IV (FIV)	> 45 cm	H	anguila plateada	Migradora	Primeros desplazamientos migratorios
V (FV)	> 45 cm	H	anguila plateada	Migradora	Migradora

Tabla 1. M:macho; H:hembra;

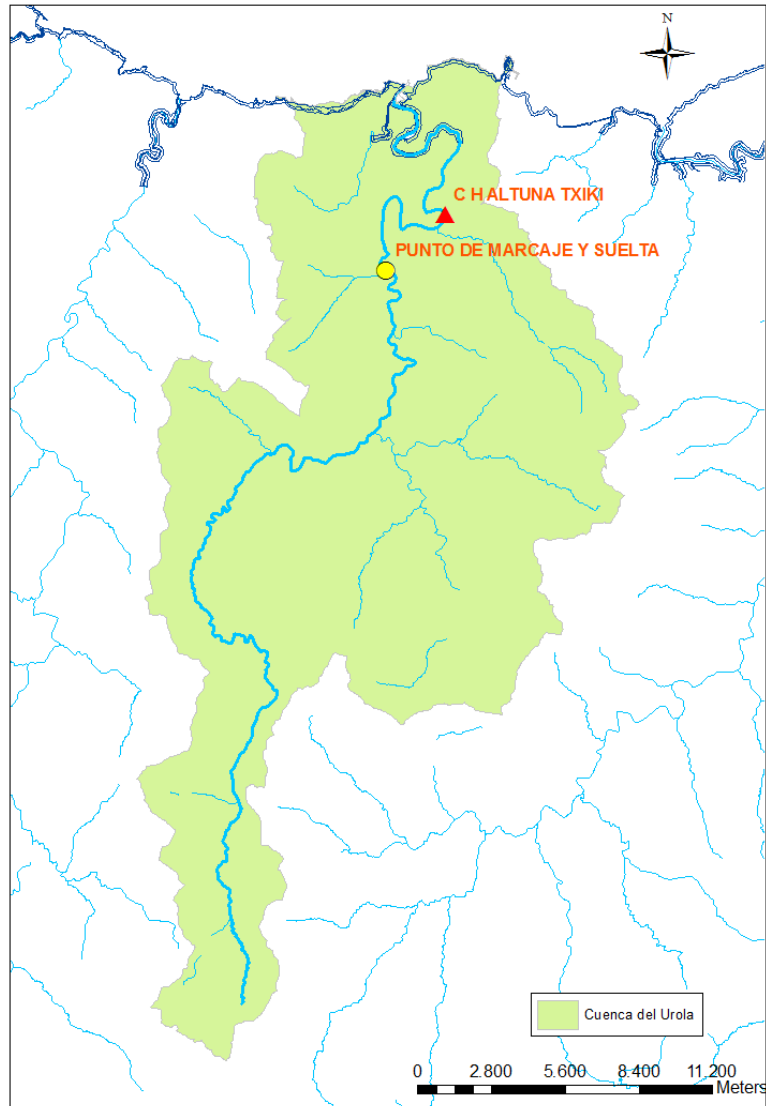


Figura 3. Localización de la C.H. Altuna Txiki y del punto de captura y marcaje de anguilas en el río Urola.

### **5.3.1.- Protocolo de marcaje**

El proceso de marcaje consiste principalmente en introducir las marcas (pit y radiotransmisor) en la cavidad abdominal del pez tras una breve intervención quirúrgica (Baras & Jeandrin 1998; Gosset et al. 2005; Bau et al. 2010a). Las anguilas capturadas son anestesiadas con aceite de clavo diluido al 10 % con etanol de 70 ° (Durif et al. 2005; Bau et al. 2010a) y colocadas en un soporte que facilita la intervención quirúrgica. Este soporte, al estar inclinado, permite que la cabeza y las branquias del pez permanezcan bajo el agua durante la intervención y continúe anestesiado. Se efectúa una pequeña incisión (10-20 mm) en la mitad posterior de la cavidad ventral, por donde se introducen ambas marcas y se cierra la abertura con uno o dos puntos de sutura (hilo reabsorbible). Finalmente, se aplica yodo en la zona suturada y las anguilas tras una breve recuperación son devueltas al río.

Los radiotransmisores y marcas pit utilizadas no superan el 2,5 % del peso de las anguilas marcadas, ratio por encima del cual puede verse afectada la capacidad natatoria o flotabilidad de ciertas especies (Baras & Lagardere, 1995). Como promedio este ratio es del 0,81 % para las 25 anguilas marcadas, variando entre el 0,27 % y el 2,17 %.



## 6.- RESULTADOS

### 6.1.- ANGUILAS MARCADAS PARA SEGUIMIENTO

En fecha 14/10/2014 se capturan y marcan un total de 25 anguilas con marcas pit y radiotransmisores en el río Urola a la altura de la localidad de Zestoa, aguas arriba de la C.H. Altuna Txiki. (Tabla 2). La talla media de estos ejemplares es de 613 mm, con un peso medio de 1.125 y un coeficiente de condición medio de 0,205. A excepción de un macho migrador (Ang\_10), todas las anguilas marcadas son hembras.

Código	Long. (mm)	Peso (g)	K	Estado/plateamiento	Freq. (MHz)
Ang_1	790	1.235	0,250	FIV (hembra migradora)	142,251
Ang_2	775	1.001	0,215	FIV (hembra migradora)	142,442
Ang_3	694	722	0,216	FV (hembra migradora)	142,261
Ang_4	683	640	0,201	FV (hembra migradora)	142,282
Ang_5	624	490	0,202	FV (hembra migradora)	142,291
Ang_6	578	375	0,194	FV (hembra migradora)	142,461
Ang_7	592	425	0,205	FV (hembra migradora)	142,483
Ang_8	590	380	0,185	FV (hembra migradora)	142,493
Ang_9	482	225	0,201	FV (hembra migradora)	142,311
Ang_10	404	152	0,231	MII (macho migrador)	142,342
Ang_11	503	192	0,151	FII (sedentaria/amarilla)	142,351
Ang_12	598	452	0,211	FII (sedentaria/amarilla)	142,360
Ang_13	534	302	0,198	FII (sedentaria/amarilla)	142,391
Ang_14	645	502	0,187	FIII (hembra premigradora)	142,271
Ang_15	770	842	0,184	FIII (hembra premigradora)	142,300
Ang_16	577	437	0,227	FIII (hembra premigradora)	142,320
Ang_17	575	404	0,213	FIII (hembra premigradora)	142,331
Ang_18	543	358	0,224	FIII (hembra premigradora)	142,371
Ang_19	675	520	0,169	FIII (hembra premigradora)	142,381
Ang_20	616	463	0,198	FIII (hembra premigradora)	142,402
Ang_21	633	507	0,200	FIII (hembra premigradora)	142,411
Ang_22	611	457	0,200	FIII (hembra premigradora)	142,422
Ang_23	674	681	0,222	FIII (hembra premigradora)	142,432
Ang_24	546	348	0,214	FIII (hembra premigradora)	142,453
Ang_25	616	551	0,236	FIII (hembra premigradora)	142,473
<b>Promedio</b>	<b>613</b>	<b>506</b>	<b>0,205</b>		

Tabla 2. Longitud furcal (mm), peso (g), condición (K), estado, y frecuencia (MHz) de las anguilas capturadas y marcadas para radioseguimiento aguas arriba de la C.H. Altuna Txiki, río Urola.

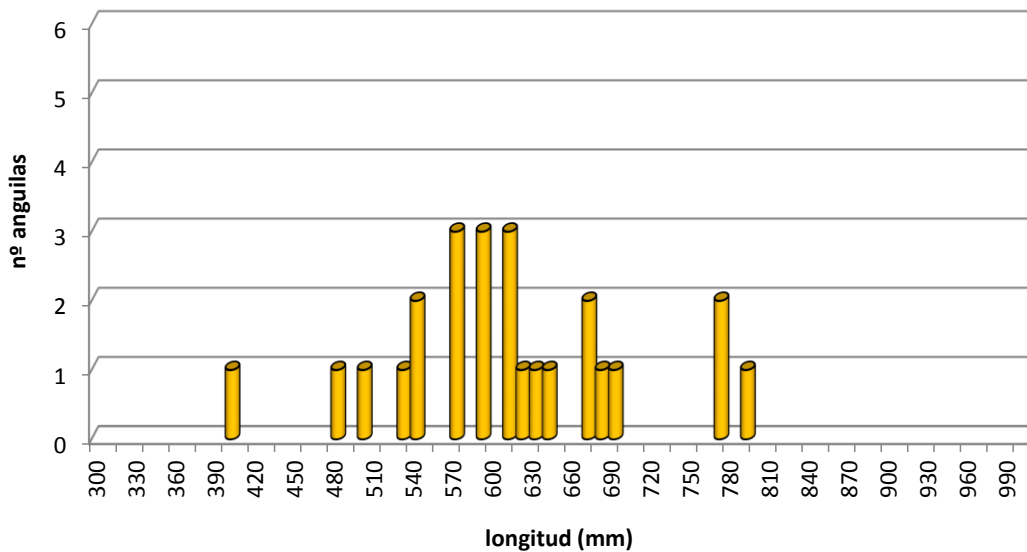


Figura 4. Distribución de clases de tallas de las anguilas marcadas para seguimiento en el río Urola, aguas arriba de la C.H. Altuna Txiki, año 2014.

Las anguilas marcadas corresponden a distintos estadios de desarrollo (Tablas 2-3; Figura 5), determinados a partir de datos biométricos (Durif et al. 2005; Durif et al. 2009b) recopilados en campo para cada uno de los individuos. De esta forma de un total de 25 anguilas marcadas, el 88 % (n=22) serían anguilas plateadas o potencialmente migradoras, es decir, se incluirían en los estados FIII-FIV y FV (hembras) y MII (machos). Los restantes 3 ejemplares, el 12 % de las marcadas, no se considerarían a priori como migradoras sino como hembras sedentarias o amarillas (FII), que serían anguilas que permanecerán probablemente en el río hasta al menos el siguiente año. De las 22 anguilas potencialmente migradoras, un total de 21 ejemplares son hembras, mientras que se marca un único ejemplar macho, bien por su menor presencia en el tramo como debido a su menor tamaño corporal.

La clasificación de las anguilas en un estadio potencialmente migrador o sedentario no significa que necesariamente unos migren y otros no, algunas anguilas a priori sedentarias o amarillas (en concreto las hembras FII) pueden migrar ese mismo otoño-invierno y al contrario, algunas anguilas plateadas pueden no migrar y permanecer al menos hasta el año siguiente en el río. Sin embargo es más probable que las anguilas con mayor grado de desarrollo o metamorfosis (plateamiento) migren en cada campaña. Cabe destacar que en el caso de las hembras potencialmente migradoras se diferencian dos estadios migradores (FIV-FV) y uno premigrador (FIII), el cual no ha completado la metamorfosis aunque una importante fracción puede hacerlo y migrar en esta campaña.

Nº anguilas		Estado / plateamiento				
		FII (hembra)	FIII (hembra)	FIV-FV (hembra)	MII (macho)	Total
		3	12	9	1	25
Longitud (mm)	media	545	623	645	404	613
	Min.	503	543	482	404	404
	Max.	598	770	790	404	790
Peso (g)	media	315	506	610	152	506
	Min.	192	348	225	152	152
	Max.	452	842	1.235	152	1.235
Condición (K)	media	0,187	0,206	0,208	0,231	0,205
	Min.	0,151	0,169	0,185	0,231	0,151
	Max.	0,211	0,236	0,25	0,231	0,250

Tabla 3. Longitud furcal (mm), peso (g) y condición (K) de las anguilas capturadas y marcadas aguas arriba de la C.H. Altuna Txiki en el río Urola según su estadio de desarrollo o plateamiento.

Las diferencias en las características biométricas de las anguilas pertenecientes a los distintos estadios de desarrollo son significativas en coincidencia con el método de asignación o determinación de plateamiento establecido (Tabla 3; Figura 5). Los machos tienen una menor talla y peso medio en comparación con las hembras, mientras que en el caso de las hembras, las premigradoras (FIII) y migradoras (FIV-FV) tienen una talla y peso medio superior en comparación con las amarillas o no migradoras (FII). Por otra parte, el coeficiente de condición (K) es superior para los estadios migradores y premigradores de ambos sexos (MII, FIII y FIV-FV) en comparación con las anguilas amarillas o no migradoras (FII), o lo que es lo mismo, un mayor peso para determinada talla en relación con una mayor reserva lipídica, cara a la migración reproductora hacia el mar de los Sargazos.

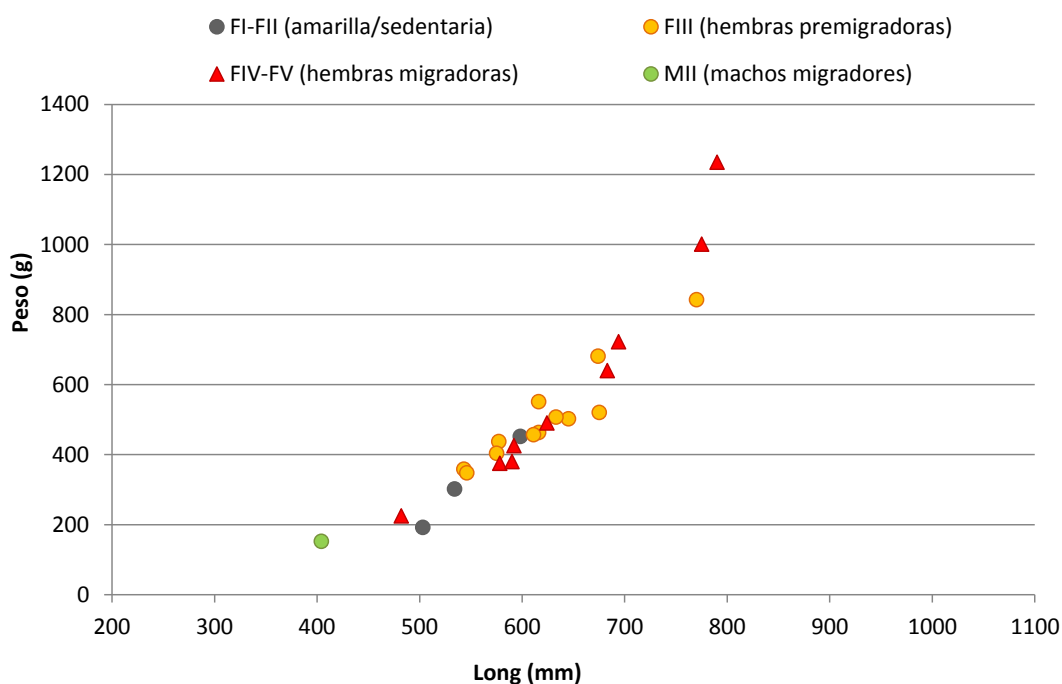


Figura 5. Relación talla-peso y estadio de desarrollo o plateamiento de las anguilas marcadas para seguimiento en el río Urola, aguas arriba de la C.H. Altuna Txiki, año 2014.

## 6.2.- MIGRACION

Los datos útiles para el análisis y conocimiento de la migración de anguilas en el río Urola tienen origen por una parte en esta última campaña de seguimiento del año 2014 y por otra se cuenta también con los datos de las dos campañas anteriores (años 2011 y 2102). Estos datos provienen tanto del radioseguimiento manual de anguilas como de su detección automática, en caso de entrada al canal de derivación de la C.H. Altuna Txiki, mediante el sistema de detección pasiva de marcas pit.

En la presente campaña de seguimiento de 2014, de un total de 25 anguilas marcadas son 18 ejemplares (17 hembras y 1 macho) los que emprenden la migración descendente al mar durante el periodo de estudio, mientras que las 7 anguilas que no lo hacen son localizadas por última vez en el tramo de captura, marcaje y suelta de Zestoa en fecha 26/01/2013, al finalizar el estudio.

Mientras que ninguna de las 18 anguilas marcadas que migran aguas abajo se introduce en el canal de la central durante el periodo de estudio, se registra la detección y entrada al canal de una anguila marcada en el seguimiento del año 2012, ejemplar (Ang18) que no migró en dicha campaña y lo hace al cabo de 2 años, en el mes de noviembre de 2014.

### 6.2.1.- Periodo de migración y parámetros ambientales

En esta campaña de 2014 la migración de las anguilas marcadas acontece en su totalidad durante los meses de noviembre y diciembre, no se registra migración alguna durante los meses de octubre y enero. El número de anguilas que migra durante ambos meses es similar, 8 y 11 ejemplares en noviembre y diciembre respectivamente (Tabla 4; Figura 6).

Esta distribución de la actividad migratoria está relacionada con el régimen hidrológico y variables asociadas. De esta forma, en 2014 el estiaje es acusado y se prolonga hasta la primera semana de noviembre, sin constatarse migración alguna en el mes de octubre. Cabe destacar que las anguilas que migran en noviembre lo hacen en consonancia con el único pico de caudal y turbidez registrado en este mes, durante el cual migra casi la mitad de los ejemplares (n=8), mientras que las que migran en diciembre (n= 11 anguilas) se distribuyen a lo largo de varios picos de caudal y turbidez (Figura 7). Finalmente no se registra migración alguna en el mes de enero, es probable que las anguilas que no han migrado hasta la fecha (n=7) lo hagan de forma tardía a finales del invierno o primavera o que incluso retrasen su migración hasta la siguiente campaña de otoño.

En cambio, el régimen hidrológico en la anterior campaña de 2012, con mayor frecuencia de picos de caudal y turbidez en el mes de noviembre, provocó que el 70% (n=10) de las anguilas marcadas migraran aguas abajo en dicho mes, registrándose incluso alguna migración durante el mes de octubre (Figura 6). Posteriormente en los meses de diciembre y enero se registró una única migración por mes.

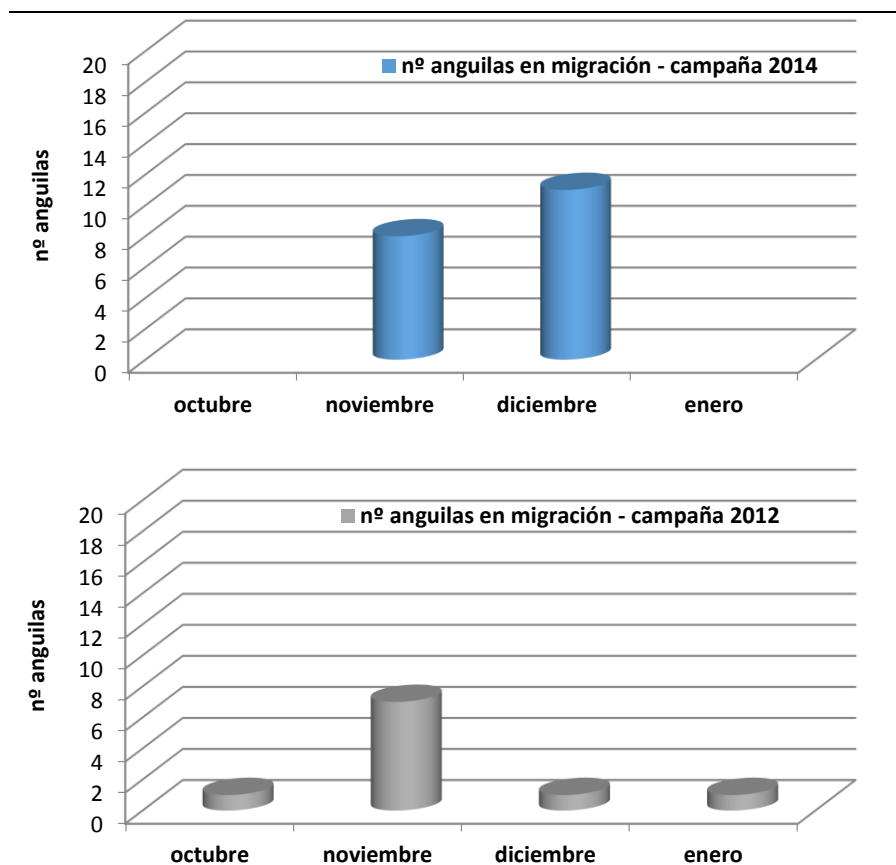


Figura 6. Distribución mensual del número de anguilas que migran al mar en el río Urola, durante las campañas de seguimiento de los años 2012 y 2014.

En esta última campaña de 2014 se observan 7 episodios o picos migratorios, los cuales parecen estar relacionados con varios parámetros ambientales (Figura 7). De esta forma, todos los episodios migratorios coinciden con aumentos en el caudal y turbidez del agua en el río Urola. Asimismo, la temperatura y conductividad del agua disminuyen durante estos episodios. Los picos migratorios no parecen mostrar mayor preferencia con la luna nueva, factor asociado a la migración debido al carácter fotóforo de la especie.

A partir de los datos ambientales recopilados y los episodios de migración registrados durante esta última campaña, se detecta una relación significativa entre el número de anguilas que migra aguas abajo, el caudal y la turbidez (Tabla 5). Si se tienen en cuenta los datos recopilados durante las campañas de 2012 y 2014, se observa también una relación significativa entre estos mismos parámetros e incluso la conductividad, siendo la relación altamente significativa para la turbidez (Tabla 6).

Los datos más próximos recopilados en un estudio de similares características corresponden al río Nive o Errobi (Durif et al. 2003; Durif 2004; Gosset et al. 2005), donde la migración de anguilas estaba relacionada con el caudal, la turbidez, la temperatura del agua y la conductividad, no así con la fase lunar. Los datos recopilados en el río Urola parecen aproximarse a los del río Errobi, sobre todo en lo que a caudal y turbidez hace referencia. En el mencionado caso, la migración de anguilas aumentaba también notablemente al disminuir la temperatura del agua de 15 a 10 °C en un periodo de 6 jornadas. En el río Urola los principales picos de migración van acompañadas también de un descenso

en la temperatura del agua, de esta forma el primer pico notable de migración del día 6 de noviembre coincide con una bajada de temperatura de 3,6 °C en un periodo de 4 días (de 16,5 °C a 12,9 °C). Por otra parte, cabe destacar que la migración de la mayor parte de las anguilas en el río Urola coincide en fase ascendente de caudal y turbidez, es decir, según aumentan ambos parámetros, aunque se ha observado algún caso de migración parcial sin llegar hasta el mar en fase descendente de caudal (Tabla 4).

Anguila	Última localización	Migración	Q (m <sup>3</sup> /s)	Turbidez (UNT)	Tª agua (C°)	Conduct. (µS/cm)	Fase caudal
Ang01	26/12/2015	No migra					
Ang02	01/12/2014	02/12/2014	22,49	86,7	12,9	309	Ascendente
Ang03	01/12/2014	02/12/2014	22,49	86,7	12,9	309	Ascendente
Ang04	26/12/2015	No migra					
Ang05	04/11/2014	05/11/2014	15,16	154,9	12,6	340	Ascendente
Ang06	26/12/2015	No migra					
Ang07b	09/12/2014	09/12/2014	53,423	130,2	11,7	246	Ascendente
Ang08	09/12/2014	09/12/2014	53,42	130,2	11,7	246	Ascendente
Ang09	23/12/2014	28/12/2014	47,57	110	11,1	235	Ascendente
Ang10	01/12/2014	02/12/2014	22,49	86,7	12,9	309	Ascendente
Ang11	30/10/2014	04/11/2014	3,46	19	14	462	Ascendente
Ang12	09/12/2014	09/12/2014	53,42	130,2	11,7	246	Ascendente
Ang13	04/11/2014	05/11/2014	15,16	154,9	12,6	340	Ascendente
Ang14	26/12/2015	No migra					
Ang15	04/11/2014	05/11/2014	15,16	154,9	12,6	340	Ascendente
Ang16	05/12/2014	06/12/2014	33,23	72,9	11,4	280	Ascendente
Ang17	26/12/2015	No migra					
Ang18	26/12/2015	No migra					
Ang19	23/12/2014	28/12/2014	47,57	110	11,1	235	Ascendente
Ang20	26/12/2015	No migra					
Ang21	01/12/2014	02/12/2014	22,49	86,7	12,9	309	Ascendente
Ang22	04/11/2014	05/11/2014	15,16	154,9	12,6	340	Ascendente
Ang23	09/12/2014	09/12/2014	53,42	130,2	11,7	246	Ascendente
Ang24	04/11/2014	05/11/2014	15,16	154,9	12,6	340	Ascendente
Ang25	04/11/2014	05/11/2014	15,16	154,9	12,6	340	Ascendente
Ang18 (año 2012)		30/11/2014	6,46	14,4	20,3	399	Descendente

Tabla 4. Fechas de última localización y migración descendente de 19 anguilas marcadas y parámetros ambientales del río Urola durante la campaña de seguimiento del año 2014 (Datos: estación de aforo de Aizarnazabal).

	Anguilas	Caudal	Tª	Turbidez	Conductividad
Anguilas	1				
Caudal	<b>0,364**</b>	1			
Tª	-0,037	<b>-0,451**</b>	1		
Turbidez	<b>0,450**</b>	<b>0,736**</b>	<b>-0,188*</b>	1	
Conductividad	-0,168	<b>-0,762**</b>	<b>0,798**</b>	<b>-0,392**</b>	1

Tabla 5. Matriz de correlación de Pearson del número de anguilas en migración y valores de parámetros ambientales del río Urola durante la campaña de 2014. Coeficientes de correlación en negrita son estadísticamente significativos (\* P<0,05; \*\* P<0,01).

	Anguilas	Caudal	Tª	Turbidez	Conductividad
Anguilas	1				
Caudal	<b>0,143*</b>	1			
Tª	-0,022	<b>-0,352**</b>	1		
Turbidez	<b>0,270**</b>	<b>0,797**</b>	<b>-0,209**</b>	1	
Conductividad	<b>-0,139*</b>	<b>-0,596**</b>	<b>0,675**</b>	<b>-0,430**</b>	1

Tabla 6. Matriz de correlación de Pearson del número de anguilas en migración y valores de parámetros ambientales del río Urola durante las campañas de 2012 y 2014. Coeficientes de correlación en negrita son estadísticamente significativos (\* P<0,05; \*\* P<0,01).

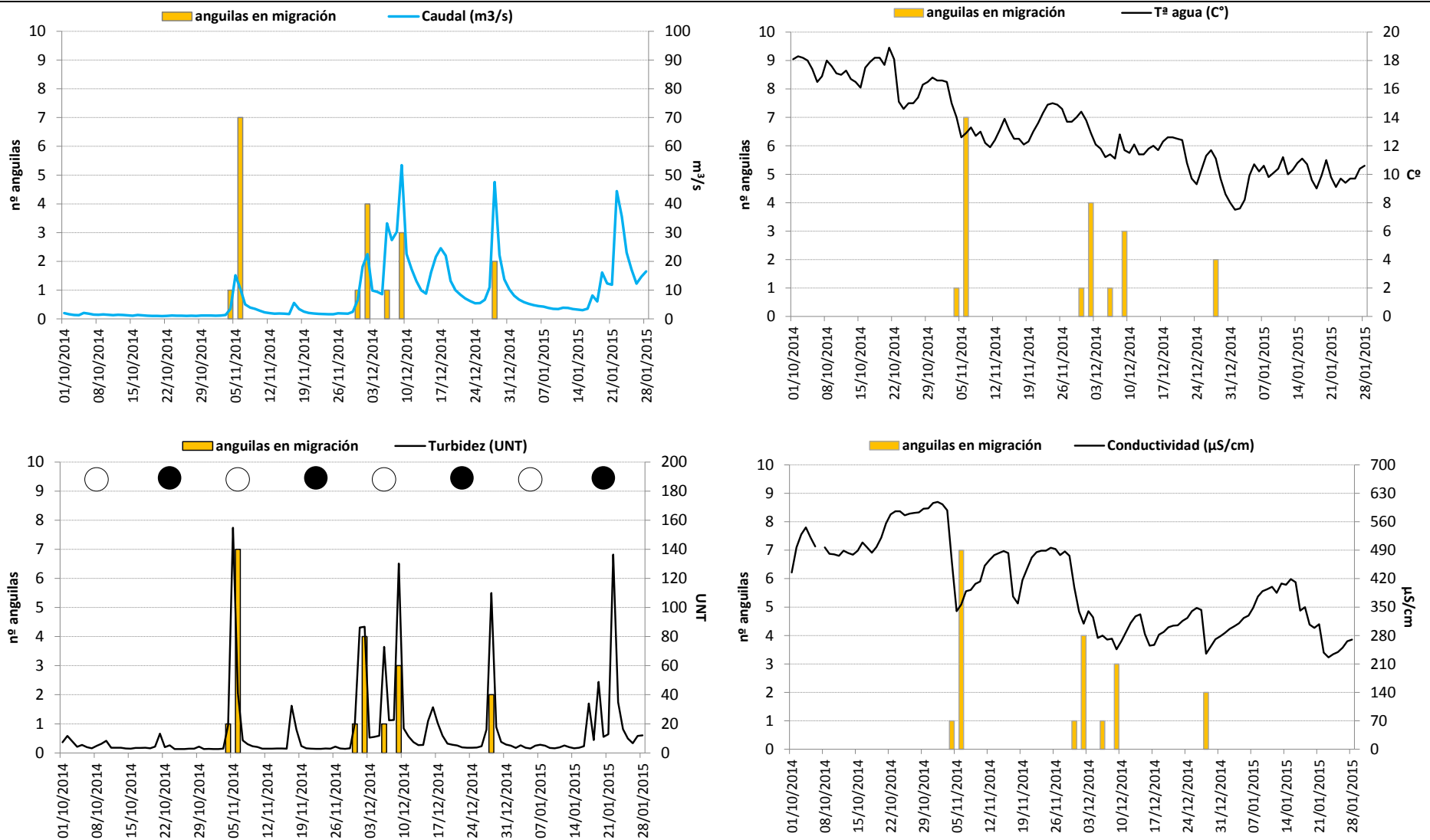


Figura 7. Migración descendente al mar de anguilas radiomarcadas y parámetros ambientales (caudal, temperatura del agua, turbidez/luna y conductividad) en el río Urola entre octubre de 2014 y enero de 2015.



### 6.2.2.- Periodo de migración y caudales

Los estudios más recientes de radioseguimiento con anguilas plateadas, así como los obtenidos en el seguimiento realizado en el presentes estudio indican que la actividad migratoria se encuentra asociada a varios factores ambientales, pero en particular al caudal y que las anguilas son mucho más activas durante las crecidas (Durif et al. 2003; Voegtle B. & Larinier M., 2008). Por tanto, en este apartado se analizan los caudales durante los episodios de migración de las anguilas así como los recopilados durante el periodo 1996-2013 por la estación de aforo de Aizarnazabal.

Si se comparan los caudales medios diarios del mes de octubre al mes de enero para el periodo 1996-2013, el periodo 2014-2015 o periodo de este estudio y los caudales de migración obtenidos al paso de 19 anguilas en esta campaña, éstos últimos son significativamente superiores en comparación con los anteriores (Anova,  $df=2$ ,  $p < 0.001$ ; Tukey HSD test,  $p < 0.001$ ). El caudal medio de migración es de  $26,0 \text{ m}^3/\text{s}$ , frente a  $8,0 \text{ m}^3/\text{s}$  del periodo de estudio y  $9,7 \text{ m}^3/\text{s}$  de la serie 1996-2013. Cabe destacar que aunque sin diferencias significativas (Tabla 7; Figura 8), el caudal del río Urola durante el periodo de estudio ha sido algo inferior al del mismo periodo para la serie 1996-2013.

Periodo	nº jornadas	Q (m <sup>3</sup> /s)	
		media ±D.T.	rango
Oct.-ene. 1996-2013	2.091	<b>9,733±14,5*</b>	0,691-286,4
Oct.-ene. 2014-15	120	<b>8,004±10,1*</b>	0,980-53,4
Migración	19	<b>26,033±16,7*</b>	3,458-53,4

Tabla 7. Caudal del río Urola entre octubre y enero del periodo 1996-2013, del periodo de estudio 2014-15 y durante la migración de anguilas. Comparación múltiple (test de Tukey) con diferencia significativa  $p < 0,05$  (\*) y sin diferencia significativa  $p > 0,05$  (\*).

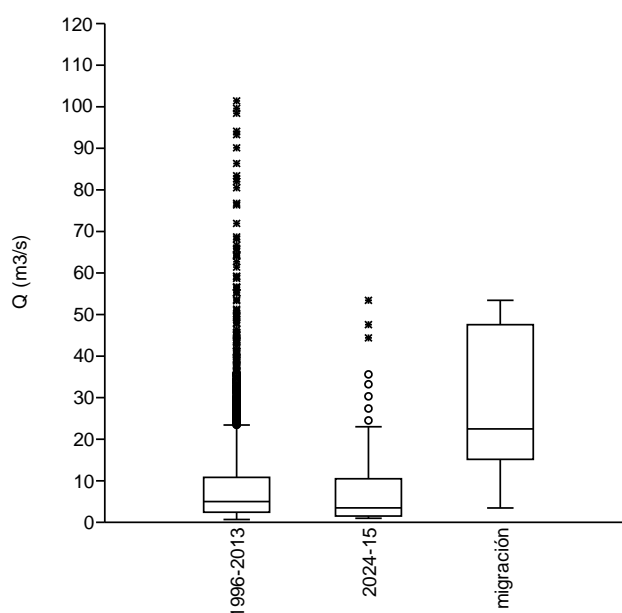


Figura 8. Caudales medios diarios entre octubre y enero del periodo 1996-2013, del periodo de estudio 2014-15 y caudales de migración en el río Urola.

A partir de los caudales medios diarios con origen en la estación de aforo de Aizarnazabal durante el periodo 1996-2013, se han calculado los caudales clasificados para el periodo que va de octubre a enero o periodo de migración de la especie. En la Tabla 8 se incluyen los 30 pasos o migraciones registradas hasta la fecha en el río Urola, tanto los registrados en la presente campaña de 2014 (n=19) como en las anteriores de 2011 (n=1) y 2012 (n=10), así como los correspondientes caudales clasificados. En la tabla 9 se incluyen algunos caudales clasificados de referencia estimados para el periodo 1996-2013.

En la campaña de 2014, de un total de 19 migraciones de anguila, el 89% (n=17) corresponden a un caudal superior a 15,158 m<sup>3</sup>/s (Q<sub>82</sub>), es decir, la probabilidad de superar este caudal durante el periodo de migración (octubre-enero) es del 18 %. De estas 17 migraciones, 7 corresponden al Q<sub>82</sub> (15,16 m<sup>3</sup>/s), 4 al Q<sub>89</sub> (22,49 m<sup>3</sup>/s), 1 al Q<sub>94</sub> (33,23 m<sup>3</sup>/s) y 5 al Q<sub>98</sub> (53,42 m<sup>3</sup>/s). Cabe destacar sin embargo la migración de dos ejemplares con caudales relativamente bajos, correspondientes al Q<sub>35</sub> (3,46 m<sup>3</sup>/s) y al Q<sub>59</sub> (6,46 m<sup>3</sup>/s).

Si se tienen en cuenta también los registros obtenidos en anteriores campañas, de un total de 30 migraciones de anguila, el 73% (n=22) corresponden a un caudal superior a 15,158 m<sup>3</sup>/s (Q<sub>82</sub>), el 23% (n=7) corresponden al rango Q<sub>50</sub>-Q<sub>75</sub> y se constata una única migración con caudales bajos (Q<sub>35</sub>; 3,46 m<sup>3</sup>/s).

año	Q migración (m <sup>3</sup> /s)	Qclasif oct.-ene 1996-2013
2014	3,458	Q35
2014	6,459	Q59
2014	15,158	Q82
2014	15,158	Q82
2014	15,158	Q82
2014	15,158	Q82
2014	15,158	Q82
2014	15,158	Q82
2014	15,158	Q82
2014	22,494	Q89
2014	22,494	Q89
2014	22,494	Q89
2014	22,494	Q89
2014	22,494	Q89
2014	33,228	Q94
2014	47,567	Q98
2014	47,567	Q98
2014	53,423	Q98
2014	53,423	Q98
2014	53,423	Q98
2012	18,492	Q86
2012	10,185	Q73
2012	10,543	Q74
2012	10,543	Q74
2012	10,543	Q74
2012	49,359	Q98
2012	49,359	Q98
2012	29,728	Q94
2012	6,279	Q58
2012	10,543	Q74
2011	18,231	Q86

Tabla 8. Caudales de migración y caudales clasificados para los meses de octubre a enero del periodo 1996-2013.

Qclasif oct.-ene 1996-2013	Q (m <sup>3</sup> /s)
Q50	5,01
Q75	10,84
Q90	23,92
Q95	33,74
Q99	65,91
Qmax.	286,36
Qmedio	9,73

Tabla 9. Caudales clasificados, octubre-enero del periodo 1996-2013

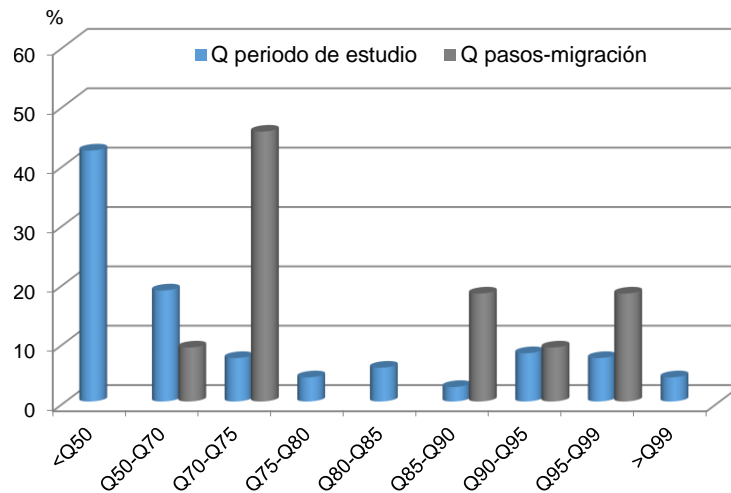


Figura 9. Distribución de caudales clasificados para el periodo de estudio (oct-ene 2012-13) y las migraciones o pasos de anguilas en el río Urola. Campaña de seguimiento del año 2012.

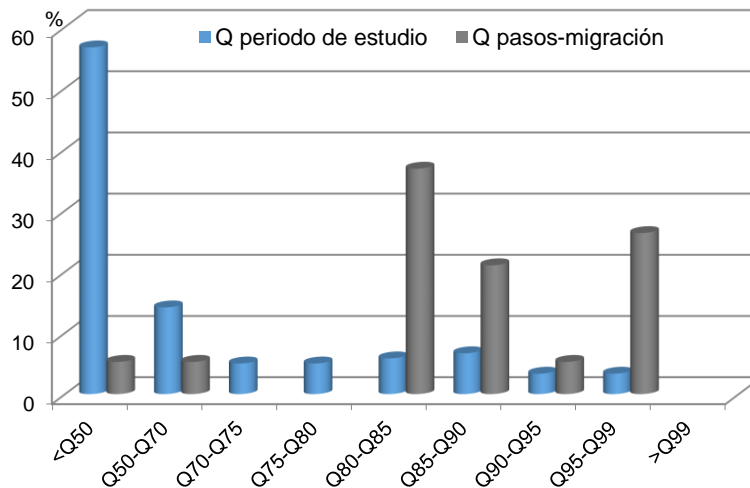


Figura 10. Distribución de caudales clasificados para el periodo de estudio (oct-ene 2014-15) y las migraciones o pasos de anguilas en el río Urola. Campaña de seguimiento del año 2014.

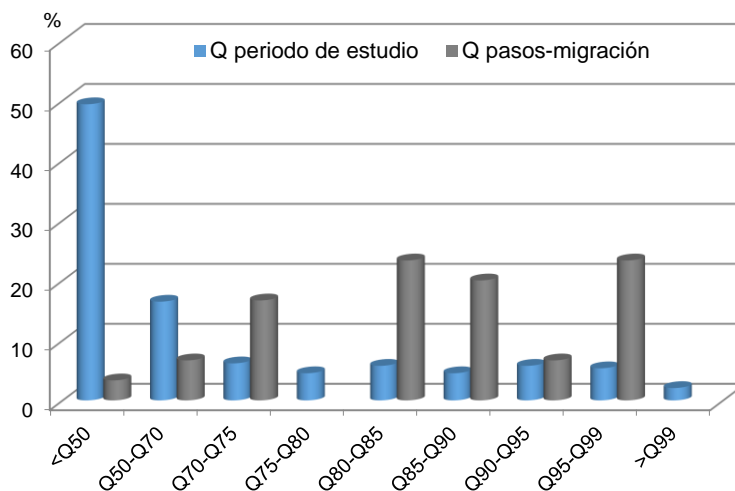


Figura 11. Distribución de caudales clasificados para los dos periodos de estudio (oct-ene 2012-13 y oct-ene 2014-15) y las migraciones o pasos de anguilas en el río Urola. Campañas de seguimiento de los años 2012 y 2014.

### 6.2.3.- Migración y plateamiento

De un total de 25 anguilas radiomarcadas son 18 los ejemplares que emprenden la migración de descenso al mar durante el periodo de estudio (14/10/20014 al 26/01/2015). Asimismo, se constata la migración de un ejemplar adicional marcado en el seguimiento del año 2012, ejemplar (Ang18) que no migró en dicha campaña y lo hace al cabo de 2 años, en el mes de noviembre de 2014. Los restantes 7 ejemplares permanecen en la zona de captura y marcado del río Urola a la altura de la localidad de Zestoa en la última jornada de localización en fecha 26/01/2015.

De las 25 anguilas marcadas en 2014, 3 son clasificadas como hembras sedentarias o amarillas (FII), las cuales a priori no migrarían en esta campaña. Las restantes anguilas serían potencialmente migradoras, 12 de ellas clasificadas como hembras premigradoras (FIII), 8 de ellas como hembras migradoras (FIV-FV) y se marca también un único macho plateado (MII).

El 67% de las hembras premigradoras (FIII) y migradoras (FIV-FV) migra durante el periodo de estudio (8 hembras de 12 y 6 hembras de 9 para cada categoría respectivamente). El único macho marcado también migra, mientras que 2 de las 3 hembras sedentarias emprenden la migración aguas abajo.

En relación con la anguila migradora detectada en el canal y marcada únicamente con PIT en 2012, en octubre de ese año su grado de plateamiento o estadio era el de hembra premigradora (FIII).

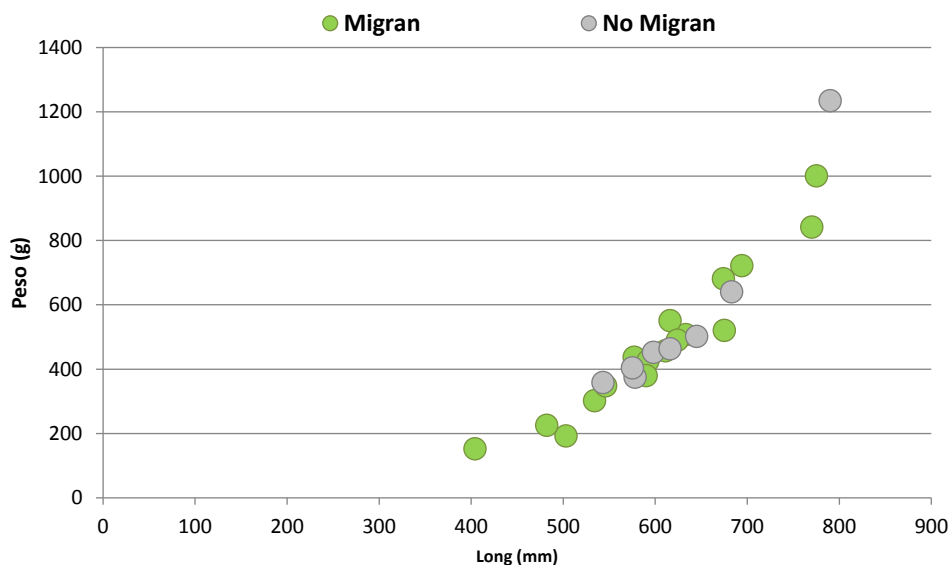


Figura 12. Relación talla-peso de las anguilas marcadas que emprenden la migración y las que no lo hacen durante el periodo de estudio en el río Urola, año 2014.

#### **6.2.4.- Seguimiento y comportamiento**

El seguimiento de las anguilas radiomarcadas permite estudiar su comportamiento así como las características del periodo de migración y de los episodios o picos instantáneos de migración. Por lo general, las anguilas apenas se desplazan en el área de estudio y la mayoría son localizadas en el mismo punto fluvial hasta que desaparecen en relación con aumentos en el caudal circulante, turbidez, etc (Figura 13; Figura 14). Sin embargo se ha observado también la migración descendente de algunos ejemplares en varias fases.

De las 25 anguilas radiomarcadas son 7 los ejemplares que no migran aguas abajo y permanecen en el mismo punto fluvial hasta la última localización en fecha 26/01/2015 (ejemplares Ang1, Ang4, Ang6, Ang14, Ang17, Ang18 y Ang20).

De las 18 anguilas que migran aguas abajo durante el periodo de estudio, 16 ejemplares parecen migrar hacia el mar en una única fase de migración o de forma más o menos instantánea (Ang02, Ang03, Ang08, Ang09, Ang10, Ang11, Ang12, Ang13, Ang15, Ang16, Ang19, Ang20, Ang21, Ang22, Ang23, Ang24, Ang25). Estos ejemplares son localizados en el mismo punto fluvial durante el periodo de estudio hasta que desaparecen en relación con cambios ambientales (aumentos de caudal, turbidez, etc.) y no vuelven a ser localizados en un tramo de unos 12 km de longitud, 7 km desde la C.H. Altuna Txiki hasta la localidad de Zestoa aguas arriba (E-2), e incluso en el tramo situado aguas abajo hasta el límite mareal.

Dos ejemplares en cambio (Ang5 y Ang7) parecen descender en al menos 2 fases. El ejemplar Ang5 es localizado a la altura de Zestoa hasta el día 05 de noviembre de 2014, cuando emprende la migración con un pico de caudal de 15,159 m<sup>3</sup>. No es localizada en el tramo de estudio durante las sucesivas jornadas de seguimiento, hasta que el día 17 de diciembre es localizada en el tramo estuarino, a 6,8 km de la desembocadura al mar, 1 km aguas arriba aproximadamente del polígono industrial Jose María Korta. En esa misma jornada parece reanudar la migración, en coincidencia con un pico de 24,531 m<sup>3</sup>, y no vuelve a ser localizada.

El ejemplar Ang7 inicia la migración al unísono con el ejemplar Ang5 en relación con el mismo pico de caudal el día 5 de noviembre. Sin embargo, es localizada el día 7 de noviembre 7,5 km aguas abajo del punto de partida y aguas abajo del azud de la C.H. Altuna Txiki. Permanece en este mismo punto hasta el día 9 de diciembre, cuando parece reanudar la migración en relación con un pico de 53,423 m<sup>3</sup>, y no vuelve a ser localizada.

Ninguno de los 18 ejemplares radiomarcados es detectado en el canal de la C.H. Altuna Txiki, por lo que migran saltando por encima del azud de esta central.

Estudio de la afección de una central hidroeléctrica en la migración descendente de anguila plateada. Año 2014.

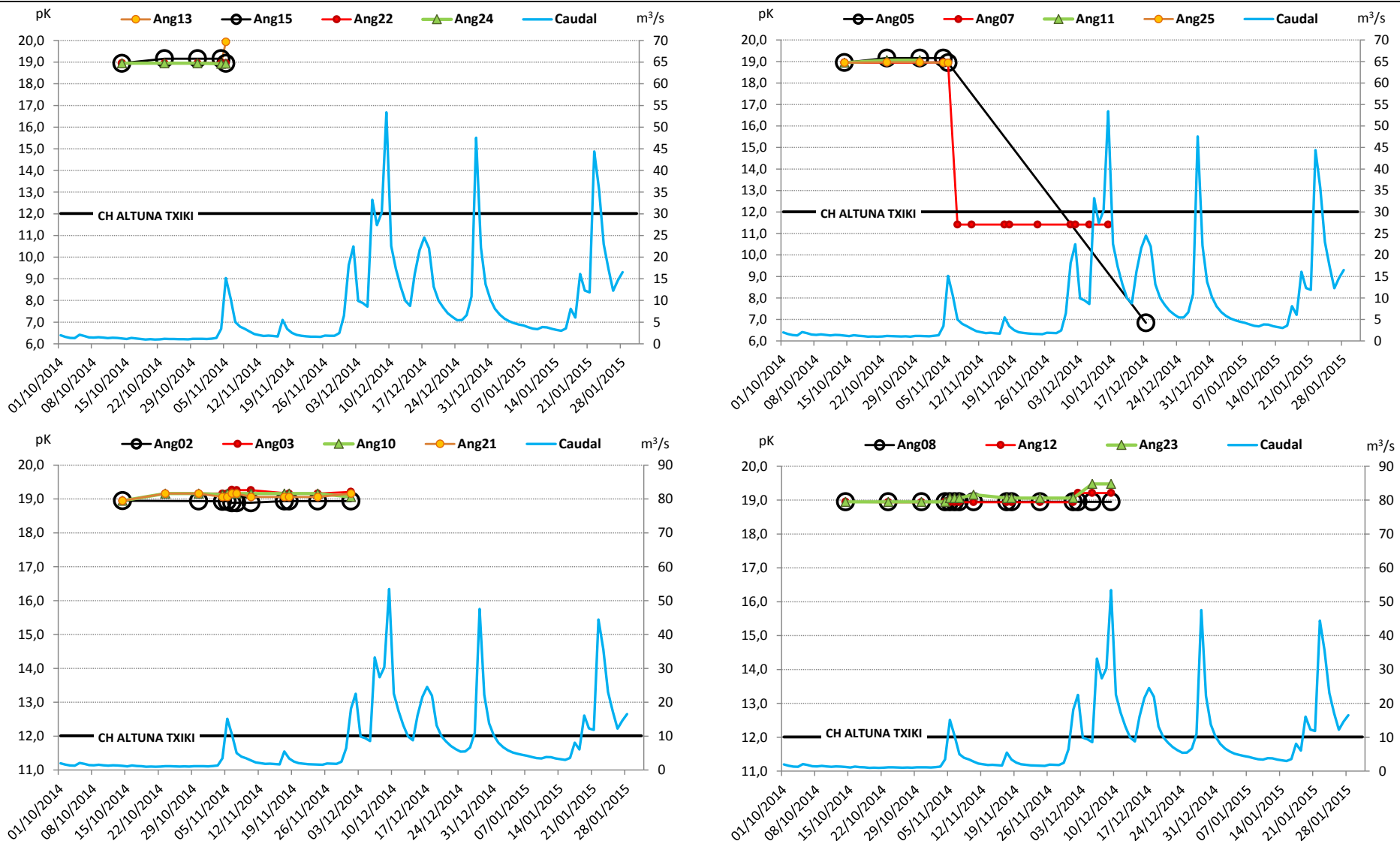


Figura 13. Evolución de 15 de las 25 anguilas radiomarcadas en el río Urola en 2014, cada punto o icono corresponde a una localización y la línea entre 2 puntos consecutivos sería el desplazamiento o distancia recorrida entre ambas localizaciones.

Estudio de la afección de una central hidroeléctrica en la migración descendente de anguila plateada. Año 2014.

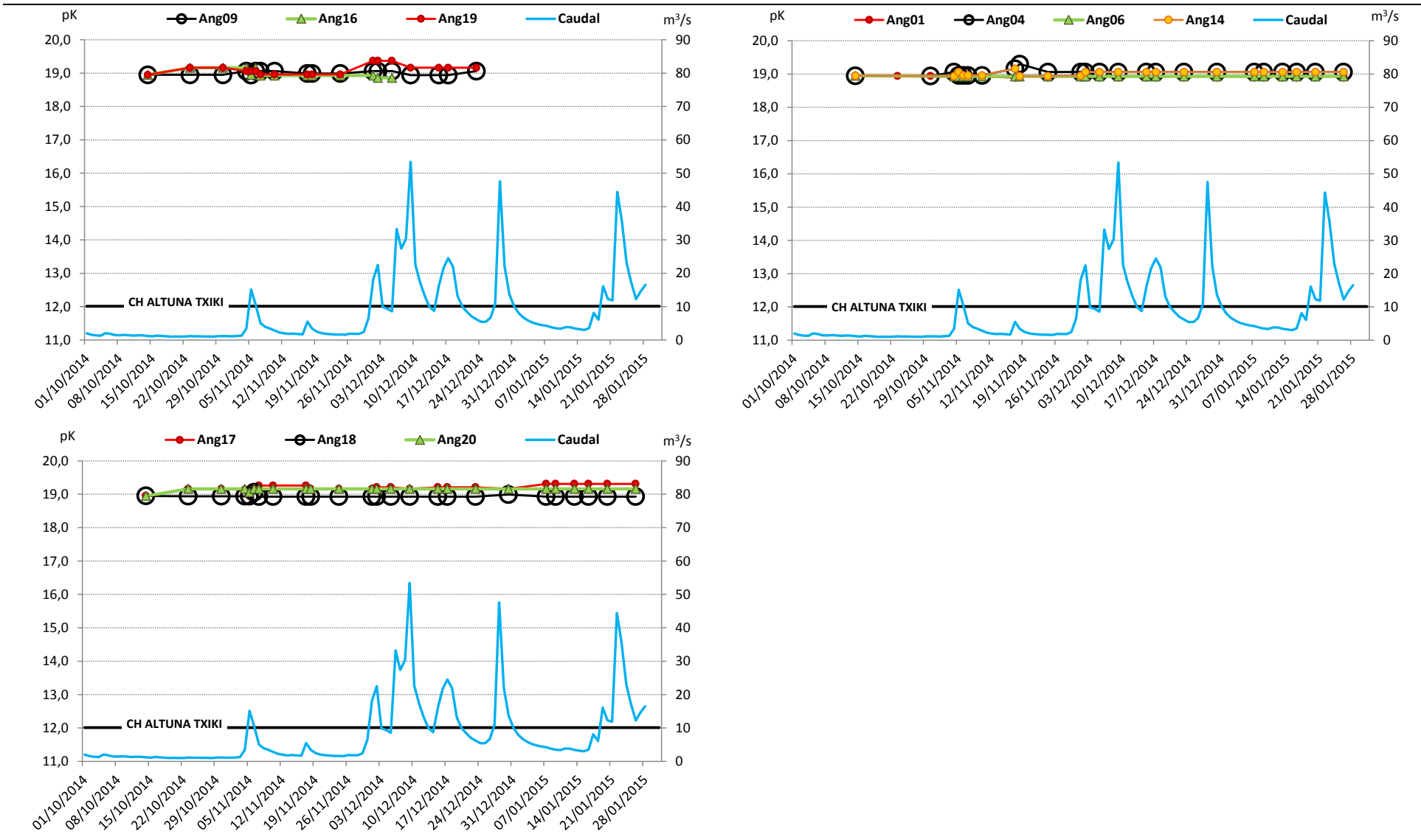


Figura 14. Evolución de 10 de las 25 anguilas radiomarcadas en el río Urola en 2014, cada punto o icono corresponde a una localización y la línea entre 2 puntos consecutivos sería el desplazamiento o distancia recorrida entre ambas localizaciones.

La migración por fases se ha observado también en ríos cercanos como la Nive o Errobi (Durif 2004), donde las anguilas aprovechan determinadas condiciones ambientales para migrar (principalmente caudal alto y turbidez), lo que se denominan “ventanas climáticas”, por lo que dependiendo de la frecuencia y duración de estas “ventanas” u oportunidades para la migración, la distancia respecto al mar y la presencia de obstáculos, las anguilas pueden culminar su descenso en mayor o menor tiempo y algunas pueden incluso detener su migración y esperar hasta el año siguiente, aunque esto es más propio de corredores fluviales de mayor magnitud que los cantábricos. En lo que respecta al seguimiento realizado en el río Urola, se han comprobado 7 episodios o ventanas de migración realmente aprovechadas por las 18 anguilas marcadas y el ejemplar adicional con origen en la campaña de 2012.

Las localizaciones de las anguilas radiomarcadas se realizan durante el día y nunca se ha constatado desplazamiento alguno en este periodo, por lo que las anguilas migran al atardecer o de madrugada. Hasta la fecha sólo se cuenta con 3 registros o detecciones a la entrada del canal de la central de Altuna Txiki, una con origen en esta campaña de 2014, otra con origen en la anterior campaña de 2012 y una correspondiente a la primera campaña de 2011. Estas 3 detecciones corresponden a las 19h:41min:20sg del día 30/11/2014, a las 19h:28min:13sg del día 27/11/2012 y las 02h:26min:29sg del día 17/12/2011. Estos resultados coinciden con los obtenidos en otros estudios de seguimiento, donde la mayor parte de la migración es nocturna, mientras que las migraciones diurnas coinciden con elevada turbidez y aumentos de caudal, es decir, cuando la luminosidad es baja en el agua (Tesh, 1977; Brown et al., 2009. Durif, 2003; Travade et al. 2010).



### 6.3.- IMPACTO de la C.H. ALTUNA TXIKI

El impacto de la central hidroeléctrica de Altuna Txiki en la población de anguila migradora durante el periodo de estudio depende de dos principales factores, primero del porcentaje de anguilas en migración que accede al aprovechamiento a través del canal de toma o derivación y en segundo lugar del número de estos ejemplares que pasa a través de turbinas, lo que causaría una tasa de mortalidad variable en función del tipo de turbina, longitud de las anguilas, caudal turbinado, etc.

La magnitud de la entrada de anguilas al canal de derivación depende por una parte de la configuración del azud y de la toma respecto al flujo o dirección de la corriente y por otra parte de la proporción de caudal que circula por el canal de derivación y por el río en el momento preciso de migración o paso descendente de anguilas.

Con el objetivo de estimar la proporción de caudal que circula por el río y por el canal en el momento de paso de las anguilas marcadas, se cuenta por una parte con las estimaciones de caudal detraído por el canal realizadas en la anterior campaña de 2012 durante 20 jornadas, mientras que por otra parte se estima el caudal circulante en este punto del río Urola a partir de los datos con origen en la estación de aforo de Aizarnazabal para el río Urola y el aporte de la subcuenca del Altzolaratz, cuya desembocadura se encuentra 500 m aguas arriba de la toma de la C.H. Altuna Txiki.

En la anterior campaña de 2012 se realizaron un total de 17 mediciones en el canal de derivación de la central durante el periodo de estudio (octubre-enero), a partir de las cuales se estima que los caudales que deriva el canal en condiciones normales de funcionamiento se encuentran entre los 2,80 m<sup>3</sup>/s y 4,59 m<sup>3</sup>/s, con un valor medio de 3,87 m<sup>3</sup>/s.

#### 6.3.1.- Caudales río Urola-canal y pasos de anguila

A partir del radioseguimiento manual de anguilas y las detecciones de marcas pit a la entrada del canal de derivación, se conoce el momento de paso de las anguilas por el aprovechamiento (Tabla 10). Con los datos disponibles se calcula el ratio entre el caudal derivado por el canal ( $Q_{\text{canal}}$ ) y el caudal restante que fluye aguas abajo por encima del azud de la central ( $Q_{\text{azud}}$ ), es decir, el caudal estimado para el río Urola en este punto menos el caudal que deriva el canal.

Los ratios que se obtienen al paso de 29 anguilas durante las 3 campañas de seguimiento (2011, 2012 y 2014), son muy variados (Tabla 10; Figura 15). A priori, sería lógico pensar que las anguilas acceden en mayor proporción al canal al disminuir el valor de este ratio, es decir cuando el caudal que circula por el canal y el que circula por el azud es similar (valores cercanos a 1). Y al contrario, que la proporción que migra por el canal es inferior al aumentar este ratio, lo que correspondería a los picos o aumentos de caudal durante el periodo de estudio (ratios superiores o muy superiores a 1).

Los valores mínimos de este ratio son 0,33 y 0,75 que corresponden al paso de los ejemplares Ang11 del año 2014 y Ang11 del año 2012 respectivamente por encima del azud. Los valores máximos son de 20,4 y 29,4, que corresponden a los ejemplares Ang04 y Ang24 del año 2012, los cuales descienden también por encima del azud. De los 3 pasos de anguila registrados por el canal de derivación, uno corresponde al tercer menor ratio (0,83; Ang18), es decir, la anguila se introduce al canal cuando el caudal que deriva éste es similar al que circula por encima del azud en el río Urola.

Las restantes dos entradas al canal acontecen con ratios de 2,41 y 4,15, es decir, estas anguilas acceden al canal cuando el caudal que circula por encima del azud es 2,4 y 4 veces superior al que circula por el canal respectivamente.

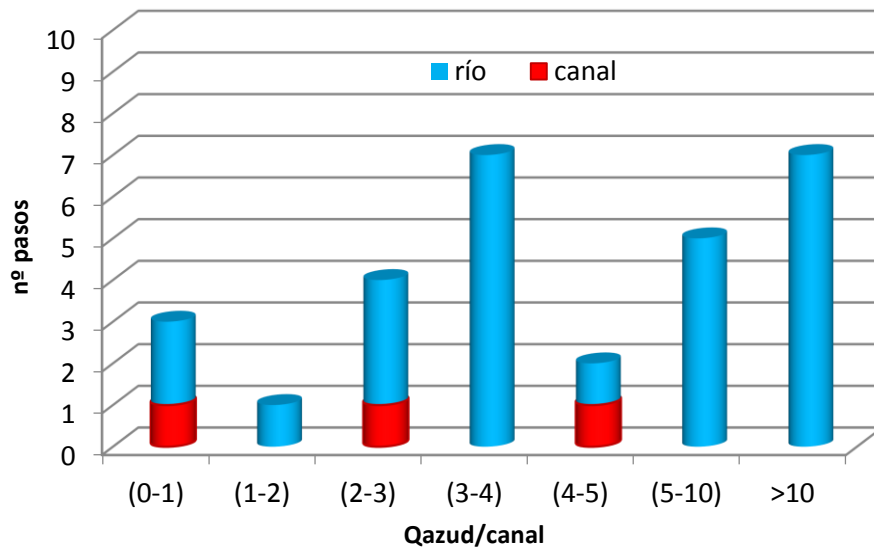


Figura 15. Ratio Qazud/canal al paso de 29 anguilas por encima del azud o por el canal (turbinas) en las tres campañas de estudio 2011, 2012 y 2014.

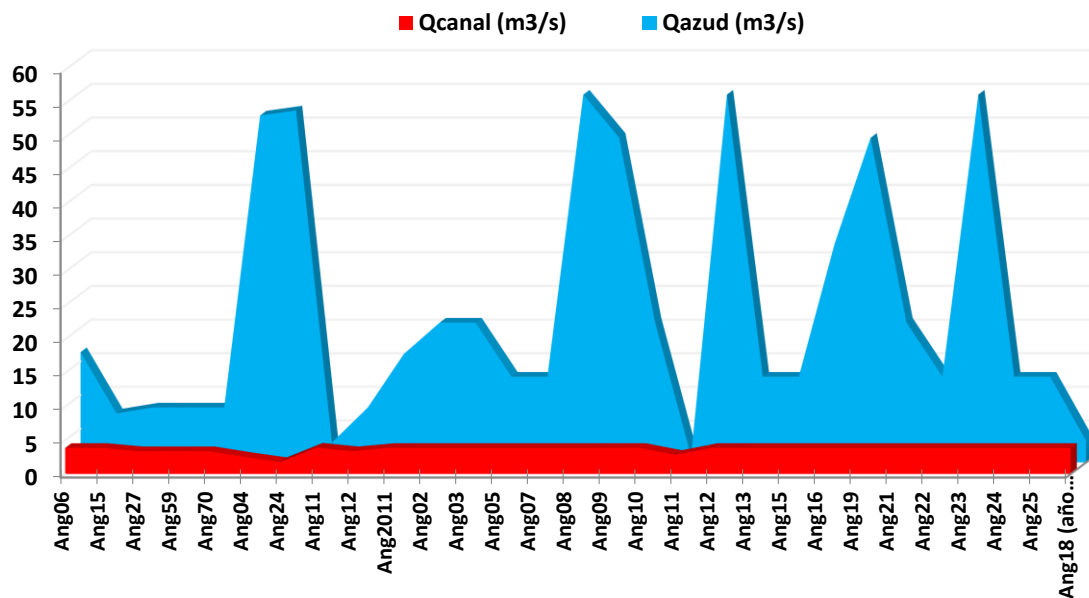


Figura 16. Caudal estimado para el canal de la C.H. Altuna Txiki (Qcanal) y caudal que circula por encima del azud (Qazud) al paso de 29 anguilas en las 3 campañas de seguimiento 2011, 2012 y 2014.

Código	Año	Qrío Urola (m <sup>3</sup> /s)	Qcanal (m <sup>3</sup> /s)	Qazud (m <sup>3</sup> /s)	ratio Qazud/canal	Lugar de paso	Funcionamiento Central
Ang06	2012	20,24	3,87	16,37	4,23	Azud/río	Turbina
Ang15	2012	11,15	3,87	7,28	1,88	Azud/río	No turbina-sin llamada
Ang27	2012	11,54	3,39	8,15	2,41	Azud/río	Turbina
Ang59	2012	11,54	3,39	8,15	2,41	Azud/río	Turbina
Ang70	2012	11,54	3,39	8,15	2,41	Azud/río	Turbina
Ang04	2012	54,04	2,53	51,51	20,37	Azud/río	No turbina-sin llamada
Ang24	2012	54,04	1,78	52,26	29,43	Azud/río	No turbina-sin llamada
Ang11	2012	6,87	3,92	2,95	0,75	Azud/río	Turbina
Ang12	2012	11,54	3,39	8,15	2,41	Canal/turbinas	Turbina
Ang2011	2011	19,96	3,87	16,09	4,15	Canal/turbinas	Turbina
Ang02	2014	24,63	3,87	20,75	5,36	Azud/río	Turbina
Ang03	2014	24,63	3,87	20,75	5,36	Azud/río	Turbina
Ang05	2014	16,60	3,87	12,72	3,29	Azud/río	Turbina
Ang07	2014	16,60	3,87	12,72	3,29	Azud/río	Turbina
Ang08	2014	58,49	3,87	54,62	14,10	Azud/río	Turbina
Ang09	2014	52,08	3,87	48,20	12,45	Azud/río	Turbina
Ang10	2014	24,63	3,87	20,75	5,36	Azud/río	Turbina
Ang11	2014	3,79	2,84	0,95	0,33	Azud/río	Turbina
Ang12	2014	58,49	3,87	54,62	14,10	Azud/río	Turbina
Ang13	2014	16,60	3,87	12,72	3,29	Azud/río	Turbina
Ang15	2014	16,60	3,87	12,72	3,29	Azud/río	Turbina
Ang16	2014	36,38	3,87	32,51	8,39	Azud/río	Turbina
Ang19	2014	52,08	3,87	48,20	12,45	Azud/río	Turbina
Ang21	2014	24,63	3,87	20,75	5,36	Azud/río	Turbina
Ang22	2014	16,60	3,87	12,72	3,29	Azud/río	Turbina
Ang23	2014	58,49	3,87	54,62	14,10	Azud/río	Turbina
Ang24	2014	16,60	3,87	12,72	3,29	Azud/río	Turbina
Ang25	2014	16,60	3,87	12,72	3,29	Azud/río	Turbina
Ang18 (año 2012)	2014	7,07	3,87	3,20	0,83	Canal/turbinas	Turbina

Tabla 10. Caudal estimado para el canal de la C.H. Altuna Txiki (Qcanal), río Urola y fracción que circula por encima del azud (Qazud) y ratio Qazud/canal al paso de 10 anguilas en los dos años de estudio 2011, 2012 y 2014.

### **6.3.2.- Afección y mortalidad**

El número total de anguilas en migración para las 3 campañas de seguimiento es de 29 ejemplares, correspondiente a la suma de 18 y 9 ejemplares radiomarcados en 2014 y 2012 respectivamente, así como a dos ejemplares marcados únicamente con “pit” y que se detectan en el canal en 2011 y 2014.

Por tanto, de un total de 29 anguilas que migran durante las 3 campañas de seguimiento, son 3 los ejemplares que se introducen al canal de la C.H. Altuna Txiki, lo que corresponde a un porcentaje de entrada al canal del 10,3%.

Este porcentaje probablemente está un tanto sobreestimado, ya que 2 de las 3 anguilas detectadas en el canal son ejemplares marcados únicamente con pit en 2011 y 2012 y por tanto no se tiene el dato o recuento de los ejemplares marcados únicamente con pit en dichas campañas que hayan migrado aguas abajo sin introducirse en el canal (no pueden ser detectados), lo que reflejaría un descenso en el porcentaje de entrada al canal estimado inicialmente.

Las 3 anguilas que acceden al canal durante las 3 campañas de seguimiento parecen pasar por turbinas, ya que en ese momento los aliviaderos-bypasses se encuentran cerrados y no se registra ninguna detección en la toma del canal, que hubiera significado un desplazamiento de retorno al cauce en sentido contrario al de entrada, comportamiento observado en estudios similares (Bruijs et al. 2003; Gosset et al. 2005; Winter et al. 2006; Jansen et al. 2007).

En base a este porcentaje de entrada al canal de la central y si se tiene en cuenta que se trata de una turbina tipo Francis, a la cual se le asignaría una mortalidad teórica máxima del 90% (Larinier M., 2008) la tasa de mortalidad para las anguilas en migración de esta central sería del 9,3%.

### **6.3.3.- Sistemas/dispositivos para evitar el paso por turbinas**

Con el objetivo de evaluar la eficacia de dos sistemas o dispositivos en el canal de la C.H. Altuna Txiki para evitar el paso de anguilas por turbinas, se instaló una barrera sónica (barrera sónica o comportamental) a la altura de uno de los aliviaderos del canal, mientras que se cuenta con una rejilla limpiahojas de barras verticales (barrera física) y luz variable al final del canal antes del acceso a turbinas, que cuenta también con un aliviadero de fondo que vierte al cauce (Figura 2, página 10).

Hasta la fecha se cuenta tan sólo con la entrada de 3 ejemplares al canal, los cuales parecen pasar por turbinas, aunque cabe destacar que los aliviaderos/compuertas de fondo se encontraban cerrados en ese preciso instante. Estos datos no permiten evaluar la eficacia de ambos tipos de barrera, aunque éstos no parecen producir un efecto de repulsión suficiente que provoque un posible retorno de estos ejemplares hacia la entrada o toma del canal. Sin embargo, para que ambos tipos de barrera puedan cumplir con su función, la velocidad del agua debe ser inferior a 0,5 m/s, ya que con velocidades superiores las anguilas en migración difícilmente pueden maniobrar y nadar contra corriente y pueden quedar o incluso morir aplastados contra la rejilla limpiahojas, mientras que la luz de la rejilla deber ser como máximo de 1,5-2 cm para evitar el paso tanto de machos y hembras a turbinas (Courret et Larinier 2008).

En el caso de la C.H. Altuna Txiki, no se cumple ninguna de las condiciones anteriores, las mediciones de velocidad del agua realizadas en la anterior campaña del año 2012 son superiores a 0,5 m/s (Tabla 11; Figura 17), mientras que la rejilla tiene una luz superior a 1,5-2 cm y es irregular debido a que algunas barras se encuentran torsionadas.

	Velocidad del agua (m/s)			
	V3 (arriba)	V2 (mitad)	V1 (abajo)	V media
Nº mediciones	16	16	16	16
Min	0,70	0,60	0,60	0,67
Max	1,40	1,30	1,20	1,23
<b>Media±D.T</b>	<b>1,06±0,26</b>	<b>1,01±0,26</b>	<b>0,84±0,22</b>	<b>0,97±0,23</b>

Tabla 11. Velocidad del agua media, máxima, mínima y D.T. en 3 alturas de la columna de agua y valor medio para el canal de la C.H. Altuna Txiki durante la campaña de 2012.

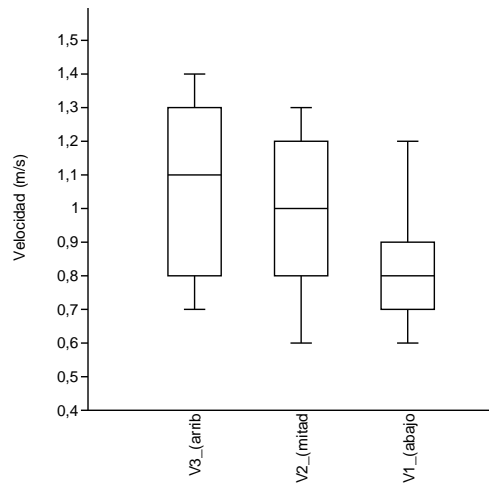


Figura 17. Velocidad del agua en 3 alturas de la columna de agua en el canal de la C.H. Altuna Txiki en 16 mediciones efectuadas durante la campaña de 2012.

## 7.- DISCUSIÓN

El estudio realizado en el río Urola en relación con la migración descendente de anguilas plateadas y la afección de la central hidroeléctrica de Altuna Txiki S.L. es totalmente experimental. Se realizó un primer estudio o puesta en marcha en el año 2011 en el mismo lugar y mediante similar metodología, y aunque se tiene constancia y cierto conocimiento en torno a las características, periodos y principales condicionantes relacionados con la migración en latitudes similares y corredores cercanos como el del río la Nive o Errobi en la cuenca del Adour (Durif et al. 2003; Gosset et al. 2005), es la primera vez que se realiza un estudio de este tipo en cuencas del cantábrico y de la CAPV, lo que supone un elevado grado de incertidumbre en relación con los resultados que se puedan obtener en base a la interacción e influencia de factores ambientales (régimen hidrológico, temperatura del agua, etc.), características del aprovechamiento (configuración de la toma, caudales detraídos y turbinados, etc.) y comportamiento migratorio de las anguilas marcadas (frecuencia y magnitud de los desplazamientos descendentes, etc.)

La puesta en marcha de este estudio en el año 2011 no aportó mucha información como consecuencia de las inundaciones sufridas en el mes de noviembre y de la utilización únicamente de un sistema de detección pasivo (marcas pit). En la campaña del año 2012 se incrementó el número de anguilas marcadas con pit (sistema de detección pasivo) y se marcaron 12 hembras con radiotransmisores para su seguimiento y localización manual durante todo el periodo de estudio y migración en el río Urola, lo que supuso un aumento significativo en la cantidad y calidad de la información recopilada. En base a estos resultados, en el presente estudio del año 2014 se marcan un total de 25 anguilas con doble marca (radiotransmisor y pit), lo cual permite conocer en todo momento la evolución de la totalidad de los ejemplares objeto de seguimiento.

### 7.1.- Migración: periodo, picos y parámetros ambientales

El seguimiento realizado aporta una primera delimitación del periodo de migración en el río Urola, el cual coincide con estudios realizados en otras cuencas europeas de latitudes similares, con un pico principal en el mes de noviembre y/o diciembre y abarcando los meses de octubre a enero, con lo que el periodo de estudio diseñado se considera adecuado.

Asimismo, se identifican los principales picos de migración durante el periodo de estudio, los cuales parecen estar relacionados con un aumento significativo del caudal y turbidez, del mismo modo que en ríos cercanos como la Nive /Errobi (Durif et al. 2003; Durif 2004; Gosset et al. 2005). En consecuencia, la actividad migratoria o distribución de los principales picos migratorios es variable entre años y se encuentra condicionada por el régimen hidrológico imperante. De esta forma se observa que en el año 2012 el 70% de la migración acontece en el mes de noviembre en relación con varios picos de caudal (y turbidez), mientras que en la presenta campaña de 2014 se reparte en similar proporción entre los meses de noviembre y diciembre en relación con un noviembre poco caudaloso, en el cual se observa un único episodio migratorio. Respecto a los caudales de migración y el análisis de caudales clasificados realizado, si se tienen en cuenta también los registros obtenidos en anteriores campañas, de un total de 30 migraciones de anguila, el 73% (n=22) corresponden a un caudal superior a 15,158 m<sup>3</sup>/s (Q<sub>82</sub>), el 23% (n=7) corresponden al rango Q<sub>50</sub>-Q<sub>75</sub> y se constata una única migración con caudales bajos (Q<sub>35</sub>; 3,46 m<sup>3</sup>/s).

Por otra parte, la actividad migratoria parece ser nocturna según el seguimiento realizado y las detecciones realizadas en el canal de derivación de la central, lo que coincide también con los resultados obtenidos en otros estudios de seguimiento, donde la mayor parte de la migración es nocturna, mientras que las migraciones diurnas coinciden con elevada turbidez y aumentos de caudal, es decir, cuando la luminosidad es baja en el agua (Tesh, 1977; Brown et al., 2009. Durif, 2003; Travade et al. 2010). Estos primeros datos obtenidos sin embargo se basan en la actividad de unos pocos ejemplares, por lo que aunque coincidan con referencias de otros lugares en relación con los picos de migración, parámetros ambientales, etc. deben ser considerados con cautela y no permiten delimitar todavía de forma precisa las denominadas “ventanas climáticas”, es decir, determinadas condiciones ambientales (principalmente caudal alto y turbidez) que varían tanto en su duración como frecuencia entre años, con lo que los episodios y picos de migración de anguilas varían también entre años dependiendo de las condiciones hidrológicas imperantes. Se ha podido observar este fenómeno en parte durante los seguimientos de los años 2011, 2012 y 2014. De esta forma, mientras que el año 2011 se observan tan sólo 2 probables picos o episodios de migración, en el año 2012 y 2014 se han registrado 7 episodios o ventanas de migración realmente aprovechadas por 10 de 12 y 18 de 25 anguilas radiomarcadas en ambas campañas respectivamente.

## 7.2.- Afección de la C.H. Altuna Txiki

Respecto a la afección de la C.H. Altuna Txiki en la población migradora de anguila plateada, a priori el porcentaje de anguilas que accede al aprovechamiento a través del canal de derivación parece ser relativamente bajo. De un total de 29 anguilas que migran durante las 3 campañas de seguimiento, son 3 los ejemplares que se introducen al canal de la C.H. Altuna Txiki, lo que corresponde a un porcentaje de entrada al canal del 10,3%.

Sin embargo, es probable que este porcentaje esté un tanto sobreestimado, ya que 2 de las 3 anguilas detectadas en el canal son ejemplares marcados únicamente con pit en 2011 y 2012 y por tanto no se tiene el dato o recuento de los ejemplares marcados únicamente con pit en dichas campañas que hayan migrado aguas abajo sin introducirse en el canal (no pueden ser detectados), lo que reflejaría un descenso en el porcentaje de entrada al canal estimado inicialmente.

En base a este porcentaje de entrada al canal de la central y si se tiene en cuenta que se trata de una turbina tipo Francis, a la cual se le asignaría una mortalidad teórica máxima del 90% (Larinier M., 2008) la tasa de mortalidad para las anguilas en migración de esta central sería del 9,3%. En este caso particular, aunque los datos son limitados y deben ser considerados con cautela, la tasa de mortalidad sería relativamente baja como consecuencia de que al parecer son pocas las anguilas que se introducen al canal de derivación.

La magnitud de la entrada de anguilas al aprovechamiento depende, además de la configuración el azud y de la toma, de la relación entre el caudal que circula por el canal y el que circula por encima del azud. Los ratios caudal-azud/caudal-canal correspondientes a los picos migratorios son bastante elevados, ya que las anguilas migran cuando el caudal del río es elevado y la proporción que va por encima del azud muy superior al del canal, lo que supondría que la probabilidad de acceder al canal es relativamente baja. Sin embargo, cabe destacar que se registran 2 entradas de anguilas al canal

cuando el caudal que circula por encima del azud es 2,4 y 4 veces superior al que circula por éste respectivamente.

Por otra parte, incluso en el caso de que la mortalidad pueda ser relativamente baja en este aprovechamiento, son variados en cuanto a sus dimensiones, configuración y capacidad de detención los aprovechamientos presentes aguas arriba en el curso principal del río Urola, así como los presentes en otros ejes principales, caso del Deba u Oria, lo que puede suponer una importante tasa de mortalidad acumulativa a lo largo de un mismo corredor migratorio. De esta forma, aplicando incluso una tasa de mortalidad baja y mínima del 9,3% a cada uno de los 5 aprovechamientos presentes en el eje del río Urola, la mortalidad acumulada al atravesar todo el eje migratorio comenzando aguas arriba de la C.H. Aizpurutxo sería del 30 %.

### 7.3.- Dispositivos para evitar la entrada a turbinas

En relación con la **eficacia de los dispositivos para evitar la entrada de anguilas en turbinas** (la barrera sónica instalada en el canal y la barrera física o rejilla al final del canal antes de turbinas), destacar que la entrada de anguilas al canal es muy baja y que no se dispone de datos suficientes como para realizar una valoración al respecto. Cabe destacar sin embargo que para que ambos dispositivos sean funcionales se deben cumplir varios requisitos, entre los cuales uno de los más importantes es el de la velocidad del agua. La velocidad del agua durante los episodios de migración es elevada en el canal de la C.H. Altuna Txiki y muy superior a la velocidad máxima recomendada para que cualquier tipo de dispositivo (barreras comportamentales: eléctricas, sónicas, lumínicas, etc; barreras físicas: rejillas) pueda causar efecto, que es de 0,5 m/s, con velocidades superiores la anguilas en migración difícilmente pueden maniobrar y nadar contra corriente y en el caso de las rejillas de barras verticales pueden quedar o incluso morir aplastadas contra éstas, por lo que en estos casos se recomiendan velocidades que no superen este umbral mientras que la luz de la rejilla deber ser como máximo de 1,5-2 cm para evitar el paso tanto de machos y hembras a turbinas (Courret et Larinier 2008). Por otra parte, y en el hipotético caso de que hubiera un adecuado efecto de repulsión y una menor velocidad del agua, se debe ofrecer una opción de retorno al cauce a modo de bypass, el cual debe cumplir determinados requisitos en relación con el caudal que circula por él, su configuración, etc. que en este caso no se cumplen ya que se habilitan los aliviaderos o compuertas de fondo existentes en el canal. El objetivo sin embargo es el de aprovechar estas infraestructuras existentes para analizar posibles opciones de retorno. Cabe destacar que en el caso de la C.H. Altuna Txiki la luz existente entre las barras verticales de la rejilla es superior a la recomendada y en el caso de las 3 anguilas que acceden al canal, éstas parecen atravesarla y pasar por turbinas.



## 8.- CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos principalmente en las campañas de seguimiento de los años 2012 y 2014, ofrecen una primera información de especial relevancia e interés en un ámbito de estudio desconocido hasta la fecha en las cuencas de la CAPV. Asimismo, la metodología empleada en este estudio mediante la combinación de detección pasiva (marcas pit) y radioseguimiento manual se muestra adecuada para alcanzar los objetivos establecidos.

Con el objetivo de obtener una valoración más precisa del impacto y mortalidad que causa la C.H. Altuna Txiki en la población migradora de anguila plateada y la adopción de medidas para disminuir o evitar esta afección, resulta necesario profundizar en el conocimiento de los siguientes apartados:

- **Migración:** aumentar el número de datos disponibles con objeto de caracterizar con mayor precisión los episodios y picos migratorios, así como los parámetros ambientales que lo desencadenan y la magnitud de las mismas (en base a caudales clasificados principalmente).
- **Afección C.H. Altuna Txiki:** aumentar el número de datos disponibles en relación con la tasa de entrada al aprovechamiento en base al ratio Qazud/canal, con el objetivo de estimar la probabilidad de entrada al aprovechamiento para determinado caudal del río Urola. Una vez alcanzado este objetivo, se estimaría la mortalidad causada por la central en base al tipo de turbina, caudal turbinado, longitud de las anguilas, etc.
- **Medidas para disminuir la mortalidad:** se analizarían las alternativas disponibles en base a los resultados obtenidos y los condicionantes existentes en este aprovechamiento en relación con sus características y equipamiento y principalmente en base a un importante factor limitante, la elevada velocidad del agua en el canal durante los episodios de migración.

Por otra parte, sería recomendable aumentar el área de estudio y seguimiento aguas arriba hasta el curso medio del río Urola, lo que aportaría información a nivel de un mayor corredor migratorio y la afección de otros 2 aprovechamientos hidroeléctricos (CH Alberdikoa y Badiolegi), tanto individual como el efecto acumulativo de los mismos.

Resulta primordial trabajar en este ámbito de cara a obtener información que sirva para la gestión preventiva de uno de los principales factores de mortalidad de las anguilas plateadas, el paso por turbinas en los aprovechamientos hidroeléctricos que jalonan las principales vías migratorias de la CAPV. Los resultados y metodologías que resulten de este tipo de estudio son además de especial interés ya que sirven de aplicación para otras especies migradoras de la CAPV como el salmón atlántico y el reo o trucha de mar.

## 9.- BIBLIOGRAFÍA

- Baran P., Basílico L., Larinier M., Rigaud C., Travade F. (2012). Plan de sauvegarde de l'anguille. Quelles solutions pour optimiser la conception et la gestion des ouvrages. Séminaire du programme R&D Anguilles-Ouvrages 28 et 29 novembre 2011, Paris
- Baras E. & Lagardère J.P. (1995) Fish telemetry in aquaculture: review and perspectives. *Aquaculture International* 3, 77-102.
- Baras E, Jeandrin D (1998). Evaluation of surgery procedures for tagging eels *Anguilla anguilla* (L.) with biotelemetry transmitters. *Hydrobiologia* 371-372:107–111.
- Bau F., Gomes P., Frey A., Mennessier JM., Baran P., Larinier M., Travade F., De Oliveira E., 2010a. Suivi par radiopistage de la dévalaison de l'anguille argentée sur le Gave de Pau au niveau des ouvrages hydroélectriques d'Artix, Biron, Sapso, Castetarbe, Baigts et Puyoo (2008-2009). Rapport d'étape, 103 p
- Bergersen R, Klemetsen A (1988) Freshwater eel *Anguilla anguilla* L. from North Norway with emphasis on occurrence, food, age and downstream migration. *Nordic Journal of Freshwater Research* 64: 54–66.
- Brown L.S., Haro A. and Castro-Santos T., 2009. Three-dimensional movements of silver-phase American eels in the forebay of a small hydroelectric facility. In: Casselman J.M. and Cairns D.K. (eds.), *Eels at the edge: science, status and conservation concerns*, American Fisheries Society Symposium, 58, Bethesda, 277–291.
- Bruijs MCM, Polman HJG, Van Aerssen GHFM, Hadderingh RH, Winter HV, Deerenberg C, Jansen HM, Schwevers U, Adam B, Dumont U and Kessels N (2003) Management of silver eel: Human impact on downstream migrating eel in the river Meuse. EU-Report Contract Q5RS-2000-31141.
- Bruijs, M.C.M. and Durif, C.M.F (2009). Silver eel migration and behaviour. In: Van den Thillart G., Dufour S., Rankin J.C. (Eds.) *Spawning migration of the European eel: Reproduction index, a useful tool for conservation management*. Fish and Fisheries Series 30, Springer Science & Business Media, pp. 65-95.
- Bruijs, M.C.M., Polman, H.J.G., van Aerssen, G.H.F.M., Hadderingh, R.H., Winter, H.V., Deerenberg, C., Jansen, H.M., Schwevers, U., Adam, B., Dumont, U., Kessels, N., 2003. Management of silver eel: human impact on downstream migrating eel in the River Meuse. EU-Report Contract Q5RS-2000-31141. 105 pp.
- Courret D. et Larinier M. (2008). Guide pour la conception de prises d'eau «ichtyocompatibles » pour les petites centrales hydroélectriques. Rapport GHAPPE RA.08.04. 60p + annexes
- Dönni W, Maier KJ and Vicentini H (2001). Bestandsentwicklung des Aals (*Anguilla anguilla*) im Hochrhein. *Mitteilungen zur Fischerei* Nr. 69. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.
- Durif C, Elie P, Gosset C, Rives J, and Travade F (2003) Behavioral study of downstream migrating eels by radio-telemetry at a small hydroelectric power plant. In Dixon DA (ed)

Biology, Management, and Protection of Catadromous Eels. Bethesda, MD: American Fisheries Society, Symposium 33, pp. 343–356.

- Durif C (2004) Thesis abstract: The downstream migration of the European eel *Anguilla anguilla*: Characterisation of migrating silver eels, migration phenomenon, and obstacle avoidance. *Cybiurn* 28: 26.
- Durif, C., Dufour, S. & Elie, P. (2005): The silvering process of *Anguilla anguilla*: a new classification from the yellow resident to the silver migrating stage. – *J. Fish Biol.* 66: 1025–1043.
- Durif C.M.F. and Elie P. (2008). Prediction of downstream migration of silver eels in a large river catchment based on commercial fishery data. *Fisheries Management and Ecology* 15: 127-137.
- Durif, C., Guibert, A. and Elie, P. (2009b). Morphological discrimination of the silvering stages of the European eel. In *Eels at the edge: science, status, and conservation concerns* (Casselman, J.M. & Cairns, D.K., eds.), pp. 103-111. Bethesda, Maryland: American Fisheries Society Symposium 58.
- Ekolur SLL & Diputación Foral de Gipuzkoa, Dpto. de Innovación, Desarrollo Rural y Turismo/Dpto. de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Trabajos específicos para seguimiento de anguila (*Anguilla anguilla*) en Gipuzkoa, 2011 / Aingira (*Anguilla anguilla*) jarraipenerako lanak Gipuzkoan, 2011.
- Gipuzkoako Foru Aldundia, Berrikuntza, Landa Garapena eta Turismoko Departamentua. Izokina Birsartzeko Plana Gipuzkoan/Plan de Reintroducción del salmón atlántico en Gipuzkoa, 2011.
- Feunteun E, Acou A, Lafaille P, and Legault A (2000). The European Eel: Prediction of spawner escapement from continental population parameters. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 57: 1627–1635.
- Gomes P., Larinier M. 20fe08. Dommages subis par les anguilles lors de leur passage au travers des turbines Kaplan. Etablissement de formules prédictives. Rapport ONEMA - Programme R&D Anguilles/Ouvrage, 38p et annexes.
- Gosset C., Travade F., Durif F., Rives J. & Elie P. (2005). Tests of two types of bypass for downstream migration of eels at a small hydroelectric power plant. *River Research and Applications*, 21, 1095–1105.
- Jansen HM, Winter HV, Bruijs MCM and Polman HJG (2007) Just go with the flow? Route selection and mortality during downstream migration of silver eels in relation to river discharge. *ICES Journal of Marine Science* 64: 1437–1443.
- Voegtle B., Larinier M., 2008. Définition d'une stratégie de restauration de l'axe de migration pour l'anguille. Cours d'eau du Gave de Pau. Rapport ECOGEA/MIDIVAL/Onema- Programme R&D Anguilles/Ouvrage.
- ICES, 2002. Report of the ICES/EIFAC Working Group on Eels. ICES C.M. 2002/ACFM:03.
- ICES. 2010a. Report of the Study Group on International Post-Evaluation on Eels (SGIPEE), 10– 12 May 2010, Vincennes, France. ICES CM 2010/SSGEF, 20:42p.

- ICES. 2010b. Report of the 2010 session of the Joint EIFAC/ICES Working Group on Eels. September 2010; ICES CM 2010/ACOM, 18: 721p.
- Larinier, M. Fish passage experience at small-scale hydroelectric power plants in France. *Hydrobiologia* 2008, 609
- Tesch F.W., 1977. The eel – Biology and management of anguillid eels, London, Chapman Hall, 434 p.
- Travade F., Larinier M., Gomes P., Subra S., De Oliveira E., 2010. Behaviour and passage of European silver eels (*Anguilla anguilla*) at a small hydropower plant during their downstream migration *Knowl. Managt. Aquatic Ecosyst.*, 398.
- Vøllestad LA, Jonsson B, Hvidsten NA, Næsje TF, Haraldstad O and Ruud-Hansen J (1986) Environmental factors regulating the seaward migration of European silver eels. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 43: 1909–1916.
- Winter HV, Jansen HM and Bruijs MCM (2006) Assessing the impact of hydropower and fisheries on downstream migrating silver eel, *Anguilla anguilla*, by telemetry in the River Meuse. *Ecology of Freshwater Fish* 15: 221–22.
- Zitek, A., S. Schmuth & M. Jungwirth 2008. Assessing the efficiency of connectivity measures with regard to the EU-Water Framework Directive in a Danube-tributary system. *Hydrobiologia*, 609: 139–161.

## **ANEXO I**

**C.H. ALTUNA TXIKI, SISTEMA DE DETECCION, BARRERA SONICA,  
REJILLA Y BYPASSES**





Foto 1. Azud C.H. Altuna Txiki



Foto 2. Azud y toma del canal en margen izda



Foto 3. Toma – inicio canal de derivación



Foto 4. Montaje de Antenas 1, 2 y 3 en toma



Foto 5. Detalle antenas 1, 2 y 3 en toma



Foto 6. Detalle antena rectangular de toma (4x0,80 m)





Foto 7. Barrera sónica y bypass expulsando agua



Foto 8. Salida bypass y antena 4 de detección



Foto 9. Antena 4 de detección, bypass cerrado



Foto 10. Fin del canal, rejilla al fondo



Foto 11. Antena 5 en el suelo, al final del canal



Foto 12. Rejilla y aliviadero-bypass al final del canal





Foto 13. Salida del bypass-aliviadero al final del canal



Foto 14. Antena 6 de detección, bypass-aliviadero cerrado



Foto 15. Antenas 1, 2 y 3 en toma, central en funcionamiento



Foto 16. CPU del sistema de detección (CIPAM)

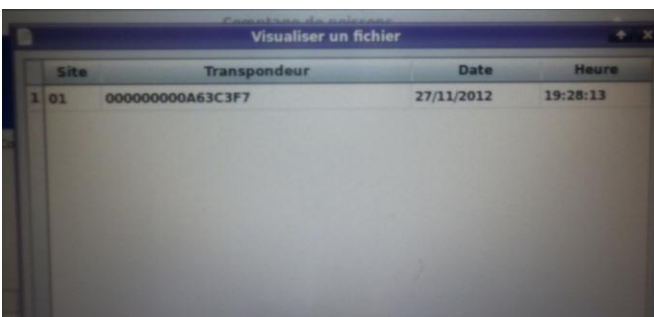


Foto 17. Registro en la CPU de la detección de la anguila Ang12 a la entrada del canal en 2012 (antena: 01, código pit, fecha y hora:min:sg de detección).

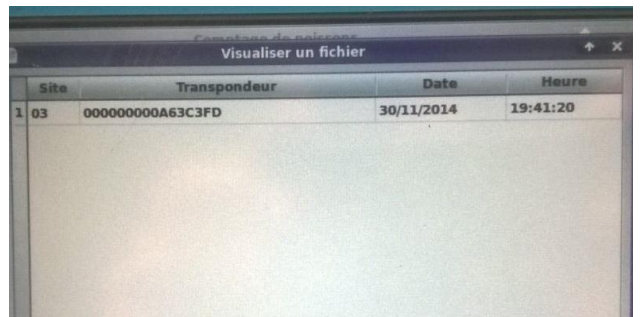


Foto 18. Registro en la CPU de la detección de la anguila Ang18 a la entrada del canal en 2014 (antena: 03, código pit, fecha y hora:min:sg de detección).





Foto 18. Azud C.H. Altuna Txiki,  $Q=12,93 \text{ m}^3/\text{s}$



Foto 19. Azud C.H. Altuna Txiki,  $Q=43,98 \text{ m}^3/\text{s}$



Foto 20. Azud C.H. Altuna Txiki,  $Q=3,35 \text{ m}^3/\text{s}$



Foto 21. Azud C.H. Altuna Txiki,  $Q=47,79 \text{ m}^3/\text{s}$

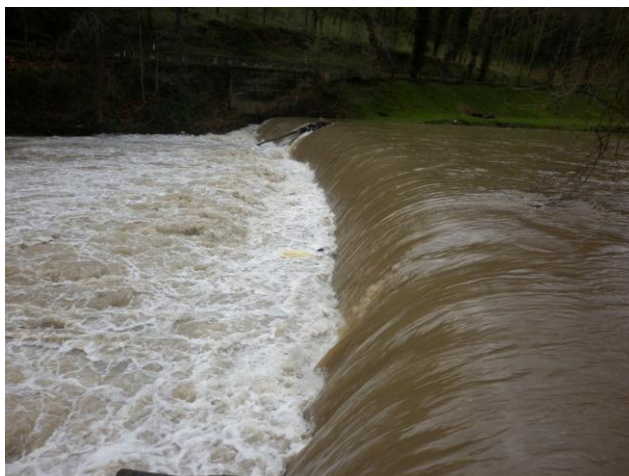


Foto 22. Azud C.H. Altuna Txiki,  $Q=55,29 \text{ m}^3/\text{s}$



Foto 23. Azud C.H. Altuna Txiki,  $Q=3,91 \text{ m}^3/\text{s}$

## **ANEXO II**

**ANGUILAS MARCADAS PARA SEGUIMIENTO, RIO UROLA 2014**

Estudio de la afección de una central hidroeléctrica en la migración descendente de anguila plateada. Año 2014.



Foto 24. Punto de captura y marcaje de anguilas en Zestoa, río Urola, octubre del 2014.



Foto 25. Macho plateado Ang10, marcado en 2014, río Urola

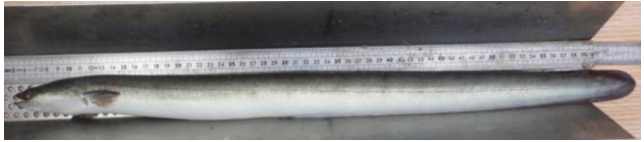


Foto 26. Hembra plateada, marcada en 2014, río Urola.



Foto 27. Anguila plateada en fase de anestesia, río Urola, año 2012.



Foto 28. Puntos de sutura tras inserción de la marca en anguila plateada.



Foto 29. Radiotransmisor F1150 (ATS Inc.)



Foto 30. Marca pit 32 mm.



Nº	Fecha	Longitud (mm)	Peso (g)	K	Diámetro ocular (mm)	Aleta pectoral (mm)	PIT	Radiotransmisor (MHz)
1	14/10/2014	790	1.235	0,250	10,76	41,27	96B43ED	142,251
2	14/10/2014	775	1.001	0,215	9,04	43,15	96B43D7	142,442
3	14/10/2014	694	722	0,216	10,005	35,39	96B43E9	142,261
4	14/10/2014	683	640	0,201	8,155	38,73	96B43EA	142,282
5	14/10/2014	624	490	0,202	9,29	28,41	96B43E6	142,291
6	14/10/2014	578	375	0,194	7,955	31,1	A80FC67	142,461
7	14/10/2014	592	425	0,205	8,915	28,69	A80FC69	142,483
8	14/10/2014	590	380	0,185	9,43	32,06	A80FC6A	142,493
9	14/10/2014	482	225	0,201	7,455	21,73	96B43E4	142,311
10	14/10/2014	404	152	0,231	6,595	22,43	96B43E1	142,342
11	14/10/2014	503	192	0,151	5,61	21,09	96B43E3	142,351
12	14/10/2014	598	452	0,211	5,92	25,7	96B43DF	142,360
13	14/10/2014	534	302	0,198	5,895	23,58	96B43DC	142,391
14	14/10/2014	645	502	0,187	8,72	27,09	96B43E8	142,271
15	14/10/2014	770	842	0,184	8,025	37,72	96B43E7	142,300
16	14/10/2014	577	437	0,227	7,34	26,79	96B43E2	142,320
17	14/10/2014	575	404	0,213	7,66	25,44	96B43E5	142,331
18	14/10/2014	543	358	0,224	6,94	26,92	96B43DE	142,371
19	14/10/2014	675	520	0,169	8,515	32,13	96B43E0	142,381
20	14/10/2014	616	463	0,198	6,915	31,62	96B43DD	142,402
21	14/10/2014	633	507	0,200	7,685	29,07	96B43DA	142,411
22	14/10/2014	611	457	0,200	7,34	30,42	96B43D9	142,422
23	14/10/2014	674	681	0,222	8,665	32,72	96B43DB	142,432
24	14/10/2014	546	348	0,214	6,68	27,61	A80FC66	142,453
25	14/10/2014	616	551	0,236	6,95	25,89	A80FC68	142,473