

LIFE+LIMNOPIRINEUS: CONSERVACIÓN DE HÁBITATS Y ESPECIES ACUÁTICAS DE LA ALTA MONTAÑA DE LOS PIRINEOS

MEMÓRIA TÉCNICA



LIFE13 NAT/ES/001210 LIMNOPIRINEUS

**LIFE+LIMNOPIRINEUS:
CONSERVACIÓN DE
HÁBITATS Y ESPECIES
ACUÁTICAS DE LA ALTA
MONTAÑA DE LOS
PIRINEOS**

LIFE+LIMNOPIRINEUS: CONSERVACIÓN DE HÁBITATS Y ESPECIES ACUÁTICAS DE LA ALTA MONTAÑA DE LOS PIRINEOS

COORDINADORES

Empar Carrillo
Josep Maria Ninot
Teresa Buchaca
Marc Ventura

DISEÑO GRÁFICO
creativadisseny.cat

IMPRENTA
GoPrinters

DEPÓSITO LEGAL
B 27921-2019

ISBN
978-84-18199-14-1

Coordinador:



Beneficiarios:

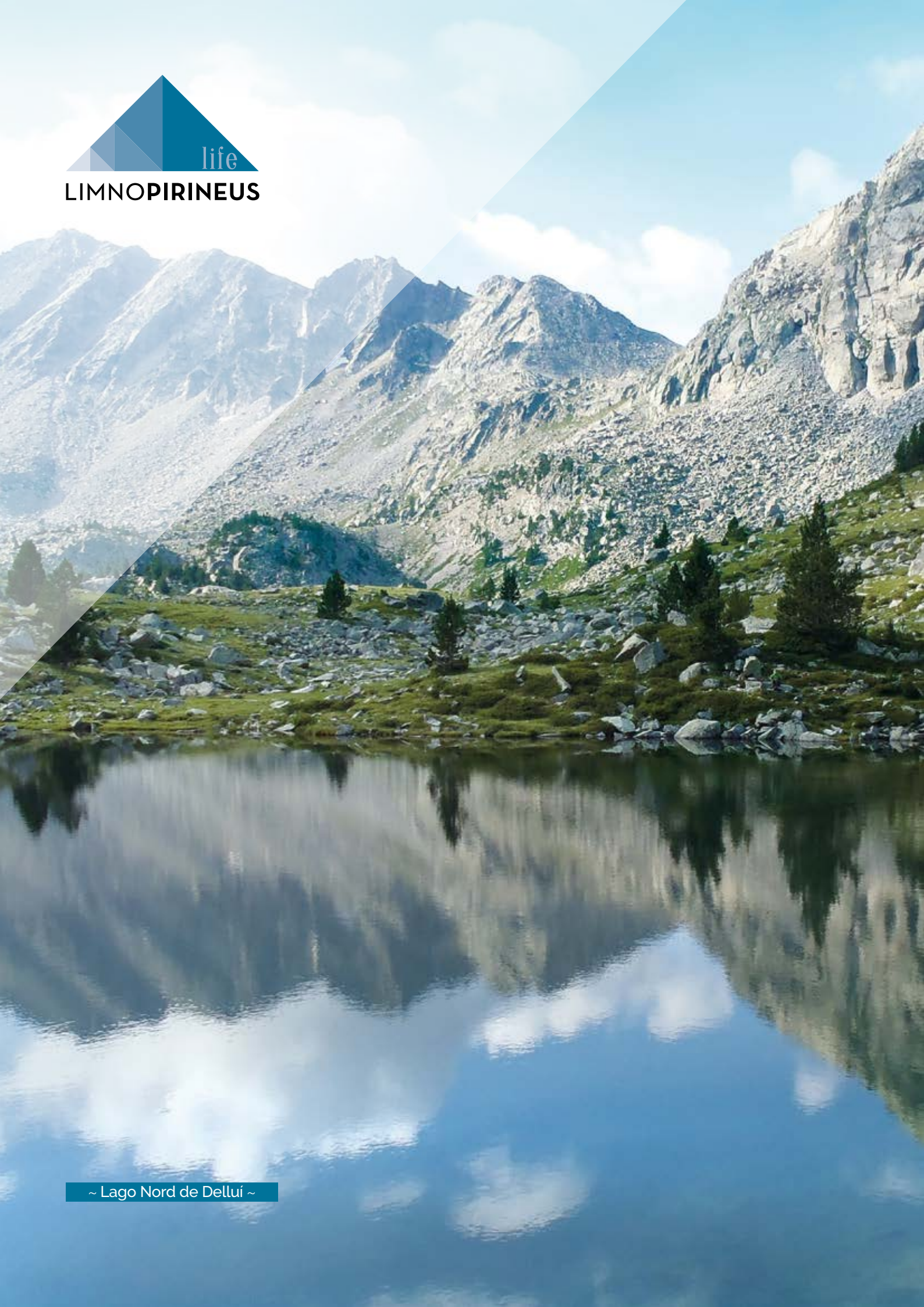


Co-financiador:





LIMNOPIRINEUS



~ Lago Nord de Dellui ~



06

Eliminación de peces introducidos como medida de restauración de lagos de alta montaña

POU-ROVIRA *et. al*

28

Cambios en los lagos a partir de la reducción de las densidades de peces

BUCHACA *et. al*

42

Rápida recuperación de las poblaciones de anfibios en ocho lagos de alta montaña vinculada a la erradicación de peces exóticos

MIRÓ *et. al*

54

Alteraciones y cambios que afectan a la conservación de la biodiversidad del Estanho de Vilac (Valle de Arán)

CARRILLO *et. al*

72

El sistema hidroturboso de Trescuro: gradientes ambientales y eventos climáticos limitan la distribución local de las comunidades vegetales

COLOMER *et. al*

84

Hábitats de interés comunitario en los humedales de alta montaña de Aigüestortes y del Alt Pallars: distribución, impactos y amenazas

PÉREZ-HAASE *et. al*

100

Evaluación de la percepción de visitantes y residentes sobre los ecosistemas acuáticos de alta montaña

ROMAGOSA *et. al*

108

Estado de conservación del cavilat (*Cottus hispaniolensis*) en el valle de Arán

ROCASPANA *et. al*

114

Recuperación de turberas en el embalse de la Font Grossa, Espot

NINOT *et. al*

ELIMINACIÓN DE PECES INTRODUCIDOS COMO MEDIDA DE RESTAURACIÓN DE LAGOS DE ALTA MONTAÑA

Quim POU-ROVIRA (1), Eloi CRUSET (1), Blanca FONT (1), Ismael JURADO (1), Meritxell CASES (1), Teresa BUCHACA (2), Ibor SABÁS (2), Alexandre MIRÓ (2), Victor OSORIO (2), MARIÀNGELS PUIG (2) y MARC VENTURA (2)

1. Sorelló, Estudis al Medi Aquàtic. Parque Científico de la Universitat de Girona, 17003 Girona, Cataluña, España.
2. Grupo de Ecología Integrativa de Aguas Continentales. Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB-CSIC). Calle de acceso a la Cala Sant Francesc, 14, 17300 Blanes, Cataluña, España.

— • —

RESUMEN

Entre los objetivos del proyecto LIFE+ LimnoPirineus (2014-2019) figuraban la restauración ecológica de ocho lagos pirenaicos y la recuperación o mejora de las poblaciones de diversas especies de interés comunitario de estos lagos, mediante la erradicación o el control intensivo de peces introducidos de hasta cuatro especies. En la mayor parte de lagos el objetivo operativo ha sido la erradicación, mientras que tan solo en uno de ellos el objetivo pasaba simplemente por llevar a cabo un control intensivo hasta alcanzar al menos una reducción del 75 % de la población inicial. A finales de 2019, estos objetivos se han alcanzado completamente para cinco de los lagos de actuación, mientras que en los otros tres lagos están cerca de alcanzarse, cosa que sucederá probablemente antes de finales de 2020. Se han puesto a punto métodos de extracción de peces basados en la combinación de hasta tres técnicas de captura principales: redes, trampas y pesca eléctrica. Se demuestra que la erradicación de los peces es factible en muchos lagos de alta montaña con una inversión suficiente en medios materiales y humanos, y con una adecuada planificación de las operaciones. Cuando no es factible la erradicación, el control intensivo mediante un esfuerzo sostenible en el tiempo es también una alternativa que cabe considerar a medio plazo.

INTRODUCCIÓN

Los lagos de alta montaña de los Pirineos están aislados de los ríos de los valles principales por barreras hidrográficas que han impedido una colonización natural por parte de los peces (Pechlaner, 1984). A pesar de esto, sobre todo durante el siglo XX, en relación con la práctica de la pesca deportiva, se han ido efectuando introducciones de peces, hasta el punto de que actualmente muchos lagos mantienen poblamientos ícticos estables (Miró, 2011). Las dos especies más difundidas en los lagos de alta mon-

taña pirenaicos son la trucha común (*Salmo trutta*) y el piscardado (*Phoxinus* sp.). Otras especies introducidas en los lagos de la vertiente sur pirenaica, pero menos difundidas que la trucha común y el piscardado, son la trucha de arroyo (*Salvelinus fontinalis*) y la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) (Aparicio *et al.*, 2016; SI-EXOAQUA, 2019; SIBIC, 2019). Actualmente, entre el 35 % y el 85 % de los lagos de los Pirineos están ocupados por peces, dependiendo del valle (Miró i Ventura, 2013; 2015). Parece claro que la motivación para la introducción de salmónidos ha sido siempre su valor como especies objetivo de la pesca tradicional (antes) y deportiva (en tiempos modernos). En cambio, en el caso del piscardado, su introducción se inició más tarde, probablemente a partir de los años 70, cuando se extendió su uso como cebo vivo y pez forraje.

Los efectos de la introducción de peces en lagos alpinos originalmente libres de ictiofauna van desde la extirpación de otras especies de fauna, tanto de invertebrados como de vertebrados, hasta cambios radicales en la estructura y la dinámica del ecosistema lacustre, llegando a afectar al estado ecológico, o a la calidad y el aspecto visual del agua (Buchaca *et al.*, 2016; Knapp, 2005; Knapp *et al.*, 2015; Maxwell *et al.*, 2011; Miró *et al.*, 2018; Reising *et al.*, 2006; Tiberti y Von Hardenberg, 2012; Ventura *et al.*, 2017).

Junto con las amplias evidencias del impacto que las especies introducidas tienen sobre la biodiversidad original, tanto a escala local como regional, también existe un amplio consenso en el sentido de que la mejor medida para evitar o minimizar estos impactos es la prevención y la vigilancia para evitar nuevas introducciones, sean deliberadas o involuntarias (Wittenberg *et al.*, 2001; García-Berthou *et al.*, 2005; Simberloff *et al.*, 2013). En paralelo, se reconoce que la gestión activa de las poblaciones de especies alóctonas ya establecidas, sea para eliminarlas o, al menos, para contenerlas o mitigar sus efectos, es casi siempre técnicamente inviable o no asumible económicamente, a pesar de que en algunas situaciones se pueden planificar actuaciones con ciertas posibilidades de éxito. En este sentido, resulta pertinente concentrar los esfuerzos de actuación sobre poblaciones aisladas de especies

introducidas, como es el caso de los lagos pirenaicos, y aún más donde se combine un alto potencial de recuperación ecológica con un alto interés de conservación por la singularidad o el valor biogeográfico de los hábitats o las especies autóctonas potencialmente presentes.

Fuera de Europa se han llevado a cabo numerosos proyectos o programas de gestión activa de especies exóticas de peces, bien sea para erradicar poblaciones establecidas o para iniciar programas de control intensivo estable, sobre todo en América del Norte (por ejemplo: Tyus y Saunders, 2000; Hill y Cichra, 2005), pero también en otras zonas como Australia, Nueva Zelanda o Suráfrica (por ejemplo: Lintermans, 2000; Thomas *et al.*, 2006). Entre estos programas, cabe destacar los conducidos en la alta montaña de América del Norte, en la cordillera de las Rocosas, con un amplio historial de experiencias exitosas.

En Europa, en cambio, los antecedentes de gestión activa de especies exóticas de peces son aún poco habituales, aunque van aumentando gradualmente (por ejemplo: Britton *et al.*, 2009; Campos *et al.*, 2013). Sin embargo, en el caso concreto de la alta montaña, los proyectos conocidos son muy escasos, aunque a menudo son exitosos (Tiberti, 2018). A pesar de esto, hasta ahora se han centrado principalmente en salmónidos, y tan solo muy ocasionalmente se centran en pequeños ciprínidos como el piscardos.

En este contexto, el proyecto LIFE+ LimnoPirineus (LIFE+ Natura LIFE13 NAT/ES/001210) ha incluido actuaciones de eliminación de los núcleos de peces exóticos en una selección de lagos de montaña del Parque Natural del Alt Pirineu (PNAP) y del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (PNAESM). Los objetivos de conservación directamente vinculados a estas actuaciones han sido: 1) la restauración de la calidad estructural y el funcionamiento ecológico; 2) la recuperación de poblaciones lacustres de anfibios amenazados (*Rana temporaria*, *Alytes obstetricans*, y *Euproctus asper*) para la mejora de sus metapoblaciones locales, y 3) la mejora de las poblaciones de diversos mamíferos amenazados (*Galemys pyrenaicus*, *Lutra lutra*, *Rhinolophus hipposideros* y *Plecotus macrobullaris*) en estos espacios naturales protegidos.

MÉTODOS

Todos los detalles metodológicos, operativos y de planificación en relación con las actuaciones de eliminación de peces introducidos en los lagos en el marco del proyecto LIFE+ LimnoPirineus (LLP) se han incluido en dos protocolos redactados específicamente para esta finalidad (Pou-Rovira, 2015a; Pou-Rovira, 2015b), los cuales incluyen más información que la aquí aportada.

Área de actuación y plan de trabajo

Los lagos seleccionados del LLP para llevar a cabo la eliminación de los núcleos de peces introducidos han sido

ocho, tres de los cuales se encuentran situados en el Parque Natural del Alt Pirineu (PNAP) y los restantes en el Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (PNAESM) (tabla 1, figura 1). Los tres lagos situados en el PNAP inicialmente solo tenían poblaciones de piscardos. En cambio, la situación de partida en los lagos seleccionados del PNAESM era más diversa. Los cinco lagos del parque nacional tenían un salmónido presente, mientras que dos de ellos además tenían piscardos.

A efectos organizativos (y principalmente debido a la capacidad de trabajo de las brigadas de trabajo específicamente destinadas a la tarea de extracción de peces), el inicio de las operaciones en cada lago ha sido escalonado. Excepcionalmente, en el lago Closell el trabajo de eliminación de peces se inició en 2013, en el contexto de un proyecto experimental previo para comenzar a evaluar las posibilidades y los métodos más oportunos para hacer frente a la erradicación de piscardos en lagos de alta montaña. Estas pruebas tuvieron continuidad durante 2014, en el marco de un proyecto paralelo, y se extendieron a otros lagos no seleccionados dentro del LLP (Pou-Rovira, 2015c). Finalmente, en 2015 se iniciaron los trabajos definitivos en cuatro de los lagos inicialmente previstos, dejando para 2016 y 2017 el inicio en los tres otros lagos (tabla 1).

Llegado el momento de planificar operaciones de eliminación de núcleos de peces u otra fauna acuática en masas de agua continentales, existen diversas opciones metodológicas que cabe valorar ya de entrada. Entre ellas hay que destacar las estrategias basadas en la desecación temporal de la masa de agua o, alternativamente, en el uso de ictiocidas, sobre todo de rotenona o sus derivados (Finlayson, 2010). Aun siendo muy efectiva, la desecación es factible en muy pocas situaciones. Respecto al uso de ictiocidas, representa una herramienta de gestión de gran potencial práctico, pero lamentablemente aún presenta numerosas limitaciones, tanto a nivel operativo como legal. En consecuencia, en el proyecto LLP se han concentrado los esfuerzos en una estrategia basada en la planificación de campañas intensivas de pesca, es decir de captura masiva y persistente de peces hasta alcanzar los objetivos operativos establecidos. De hecho, existen numerosos precedentes de proyectos de eliminación de peces mediante la aplicación únicamente de captura intensiva de ejemplares (por ejemplo: Bio *et al.*, 2008; Pou *et al.*, 2013; Pou-Rovira, 2013; Pou-Rovira, 2017), entre los cuales conviene destacar aquí los proyectos de extirpación de núcleos de salmónidos introducidos en lagos de alta montaña (Bosch *et al.*, 2019; Tiberti *et al.*, 2018; Knapp y Matthews, 1998). Estos proyectos han constituido una base de referencia para la planificación de las operaciones similares de extracción de salmónidos previstas en el LLP. En cambio, en el momento de iniciar el LLP no se conocían precedentes de experiencias de control intensivo o erradicación en la alta montaña de piscardos o especies similares mediante captura persistente. Este hecho ha supuesto un condicionante para el LLP que ha comportado la implementación de una estrategia metodológica adaptativa para mejorar la metodología a medida que se han ido observando y registrando resultados gradualmente.

A efectos de alcance de los objetivos de recuperación ecológica establecidos por el LLP respecto a los lagos, el objetivo operativo en cada uno de ellos ha sido la erradicación completa de los peces con el fin de dejar el lago libre de peces dentro de los plazos del proyecto (tabla 1). Sin embargo, en el lago de Naorte, debido a su tamaño y a la incertidumbre inicial respecto al caso del piscardo, el objetivo operativo inicial se rebajó a un control intensivo para conseguir una reducción significativa de la población de al menos un 75 % que resulte fácilmente sostenible a medio plazo mediante esfuerzos posteriores.

En el marco de las pruebas iniciales llevadas a cabo para escoger las técnicas de captura más eficientes y oportunas para cada situación, se descartaron diversas técnicas que, si bien generan capturas, tienen un rendimiento escaso, de forma que ni siquiera son útiles como método complementario en la mayor parte de escenarios de trabajo para el LLP. Se trata, por ejemplo, del uso de rалlos, pequeñas artes de arrastre y cerco litorales, trampas pequeñas de tipo botella, trampas cebadas, trampas de grandes dimensiones, reteles o redes de tipo trasmallo. Algunas de estas técnicas se han demostrado útiles en otros proyectos de control de fauna acuática exótica (Rytwinski *et al.*, 2018), pero por ahora han resultado ineficaces o muy ineficientes en los lagos de alta montaña.

Finalmente, pues, las tres técnicas de captura principa-

Técnicas de captura

Nombre (código) ^a	Área protegida ^b	Máxima profundidad (m)	Superficie (ha)	Altitud (msnm)	Especies de peces presentes ^c	Objetivo operativo	Eliminación de peces: año inicio
DEN (1831)	PNAESM	6,7	0,35	2.306	STR, PPH	Erradicación	2015
DEM (1838)	PNAESM	6,2	1,09	2.314	STR, PPH	Erradicación	2015
SUB (2066)	PNAESM	11	2,64	2.194	SFO	Erradicación	2016
CPO (2213)	PNAESM	31,7	7,35	2.521	STR	Erradicación	2016
CAB (2259)	PNAESM	11,7	2,33	2.376	OMY	Erradicación	2017
CLO (2468)	PNAP	3,7	0,75	2.074	PPH	Erradicación	2013
NAO (2479)	PNAP	14	3,94	2.150	PPH	Control intensivo	2015
ROV (2654)	PNAP	5,4	0,37	2.223	PPH	Erradicación	2016

▲ **Tabla 1.** Características descriptivas de los ocho lagos de actuación, especies de peces presentes y objetivo operativo.

a DEN: Dellui Nord. DEM: Dellui Mig. SUB: Subenuix. CPO: Cap del Port. CAB: Cabana. CLO: Closell. NAO: Naorte. ROV: Rovinets.

b PNAESM: Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici. PNAP: Parque Natural del Alt Pirineu.

c STR: trucha común (*Salmo trutta*). OMY: trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). SFO: trucha de arroyo (*Salvelinus fontinalis*). PPH: piscardo (*Phoxinus sp.*).



▲ **Figura 1.** Situación de los ocho lagos de actuación (puntos blancos). El Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici está representado en verde y el Parque Natural del Alt Pirineu en gris.

EFECTIVIDAD POR ESPECIE*				
Técnica de captura	STR	OMY	SFL	PPH
Redes de tipo agalladera multimalla	Alta	Alta	Alta	Alta
Trampas de tipo nasa fluvial	Baja (lagos) Media (arroyos)	Baja (lagos)	Media (lagos)	Alta (lagos, junio a agosto) Baja (lagos, agosto a octubre)
Pesca eléctrica	Media (arroyos) Baja (lagos)	Baja (lagos)	Media (arroyos) Baja (lagos)	Media / alta (lagos, junio y octubre) Baja (lagos, julio a septiembre)

▲ **Tabla 2.** . Eficacia de las principales técnicas de captura utilizadas, por especie. * Véanse códigos de la tabla 1.

les utilizadas para la eliminación de peces en los lagos han sido: 1) el uso de redes de tipo agalladera multimalla (figura 2); 2) el uso de trampas de tipo nasa fluvial (figura 3), y 3) la pesca eléctrica (figura 4). De todas formas, cada una de estas técnicas mostró una efectividad ciertamente variable en función de la especie y la época del año (tabla 2).

Redes

Las redes multimalla utilizadas son de nilón translúcido. Después de probar otras redes, el proveedor preferencial para el subministro de redes de calidad ha sido Lindeman (Finlandia). Las luces de malla han sido las siguientes: 5, 6, 8, 10, 12,5, 15,5, 19,5, 24, 29, 35, 43 y 55 mm. Estas mallas forman parte de la secuencia de mallas de las redes multimalla del estándar europeo para muestreo de peces en lagos (CEN 14757, 2005). Se ha utilizado una combinación diferente de mallas en función de las especies objetivo. Para los salmónidos se han utilizado todas, mientras que para el piscardo tan solo se han utilizado las mallas inferiores a 10 mm. Cada pieza ha consistido en una combinación de diversos paños de mallas diferentes, o bien en un único paño de malla uniforme, pero, en conjunto, en cada lago se ha colocado una superficie proporcionalmente equilibrada de diferentes luces de malla, siempre en función de las especies objetivo y de los resultados progresivamente conseguidos. La mayor parte de redes instaladas tienen una altura de 1,5 m y una longitud de 30 m, y se han colocado formando una parrilla que ha cubierto uniformemente cada lago. Esta parrilla se ha anclado con cabos a las orillas del lago, de forma que se ha podido regular la profundidad operativa de las piezas ajustando la tensión de las cuerdas. Algunas redes centrales han sido de mayor altura: de 3 m y, ocasionalmente, incluso de 4 m. Su posición en la columna de agua se ha ido variando según su eficacia y también según determinados condicionantes como la presencia de bloques o troncos sumergidos que puedan romperlas, aunque se ha procurado que se aproximen al fondo. Complementariamente, se han utilizado también redes de escasa altura (0,75 m o 0,5 m) y menor

longitud (15 m), generalmente de luz de malla pequeña (<8 mm), para su instalación en el litoral, estrategia que ha demostrado ser eficaz sobre todo para la captura de piscardo. Un aspecto clave del uso de redes es su revisión regular y frecuente para extraer las capturas acumuladas y limpiar el pósito que se acumula sobre el filamento de nilón y que hace disminuir rápidamente su eficacia. En fases iniciales del trabajo en cada lago, se han revisado como mínimo una vez por semana. Más adelante, cuando las capturas ya han disminuido aproximadamente por debajo del 10 % respecto al comienzo, las revisiones se espacian más, manteniendo preferentemente una cadencia máxima de revisión de 15 días.

Un aspecto digno de mención hace referencia a la calidad y durabilidad de los materiales de pesca, especialmente de las redes y, en menor medida, de las trampas. Las condiciones climáticas en alta montaña, con notables variaciones de la temperatura del agua y, sobre todo, la elevada radiación solar incidente, recortan considerablemente la vida útil de las mallas de nilón o poliamida con las que están construidas estas artes de pesca. Hemos observado variaciones notables en su durabilidad, desde escasamente una temporada en el caso de algunas redes hasta como mucho cuatro temporadas continuadas de uso. Todo indica que la vida útil de estos materiales depende principalmente de la calidad de los materiales utilizados por el fabricante y proveedor, pero también de las condiciones locales en cada lago y del uso que se hace de ellos. Este aspecto condiciona notablemente el rendimiento de la pesca y puede llegar a comprometer la viabilidad de las campañas plurianuales planificadas, si no se tiene en cuenta.

Figura 2. ▶

Redes de tipo agalladera utilizadas para la captura intensiva de peces en los lagos: A, revisión de una red colocada en un lago; B, detalle de una red de 0,5 m de altura colocada en el litoral; C, disposición en «parrilla» de diversas redes.



Trampas

Se ha recorrido al uso preferencial de trampas de tipo nasa fluvial con vela frontal, con dos muertes o embudos internos, de malla pequeña (4 mm), plegables y sin colocación de ningún cebo. La longitud total de estas trampas es de 3 m aproximadamente, y la altura en la boca de entrada es de 40 cm. Los suministradores principales se sitúan en Andalucía, donde los fabricantes artesanales locales las fabrican con calidad y resistencia suficientes para abastecer a la gran pesquería de crustáceos continentales del sur de España. Estas trampas han sido de utilidad para su colocación en serie en el litoral de los lagos, principalmente para la captura de pascardo. Ocasionalmente, también hemos utilizados trampas de este tipo de tamaño mayor y luz de malla también mayor para la captura de salmónidos en ciertos microhábitats, como arroyos tributarios o sectores del litoral operativamente complicados. Como en el caso de las redes de poca altura colocadas en el litoral, las trampas se han ido cambiando

regularmente de sector cada uno o dos meses, o al menos de posición precisa dentro del sector donde se encuentran, con el fin de reducir el fenómeno del «cansancio» que se observa cuando se mantienen permanentemente en el mismo emplazamiento preciso, que se traduce en una disminución drástica de las capturas respecto a la eficiencia esperada. La revisión y el vaciado de las trampas se hace regularmente: al menos una vez por semana cuando son muy eficientes, al principio de las campañas de eliminación de peces, y, en general, a principios de verano. Más adelante, cuando su eficiencia baja mucho, pero siguen generando capturas en el litoral, las revisiones se pueden espaciar hasta una vez al mes gracias a que las capturas de peces se mantienen vivas dentro de la trampa. Ahora bien, hay que tener presente que esta técnica de captura puede generar capturas accidentales de otras especies de fauna acuática, algunas de las cuales, además, pueden ahogarse eventualmente. Por lo tanto, en función de la incidencia de esta problemática en cada localidad y



▲ **Figura 3.** Trampas de tipo nasa fluvial de malla pequeña utilizadas para la captura intensiva de peces en los lagos: A, vista general de una trampa colocada en la orilla; B, disposición en batería de diversas trampas en un sector del litoral.

época de trabajo, es necesario ajustar convenientemente la frecuencia de revisión y, si conviene, también la forma de colocación de las trampas.

Pesca eléctrica

Esta técnica de captura es muy efectiva en la mayor parte de sistemas lóticos de profundidad escasa o media. En cambio, es poco o nada efectiva en sistemas leníticos abiertos, excepto en el litoral, donde, sin embargo, su eficacia depende de múltiples factores clave, como la estructura del hábitat, el comportamiento de los peces y, sobre todo, la turbidez y la conductividad eléctrica del agua. En los lagos de actuación del LLP, con una conductividad extremadamente baja, siempre por debajo los 50 mS/cm, su eficiencia es, en consecuencia, muy baja. De todas formas, con un buen despliegue operativo, la pesca eléctrica se ha demostrado medianamente efectiva para la captura del piscardo en el litoral de los lagos, sobre todo mientras

la temperatura del agua se mantiene por debajo de aproximadamente 18 °C. Además, también es parcialmente efectiva, y a la vez casi la única opción viable, para la captura de salmónidos en arroyos tributarios de algunos de los lagos de actuación que también ha sido necesario cubrir. Se han utilizado hasta tres tipos de aparatos de pesca eléctrica de la marca Hans Grassl: EL65 IIGI, ELT62-IIF, ELT62IIH, ordenados de mayor a menor potencia. Los aparatos del primer modelo son pesados, estacionarios, con alargado para el ánodo, mientras que los otros son equipos compactos, más ligeros y de mochila. Se ha dispuesto de dos aparatos de cada modelo, para un uso simultáneo y estratégico en los distintos sectores de la zona de actuación del LLP.

En los arroyos, la pesca eléctrica se ha llevado a cabo haciendo pasadas exhaustivas río arriba peinando todo el lecho, que se han ido repitiendo regularmente. Por contra, en el litoral de los lagos se han hecho pescas opera-



▲ **Figura 4.** Pesca eléctrica en los lagos: A, utilización de un equipo pesado; B, utilización de un equipo portátil con la ayuda operativa de una embarcación y en combinación con la colocación estratégica de redes litorales.

tivamente adaptadas a cada localidad, en función de los condicionantes orográficos. En las orillas más accesibles se ha reseguído el litoral con los equipos portátiles. En cambio, en otros casos es conveniente realizar estas pescas con la ayuda de un bote de remos, hecho que limita su eficacia. A lo largo del LLP, a medida que se ha ido ganando experiencia práctica en este tipo de ambientes, se han mejorado las tácticas operativas, con lo que se ha conseguido aumentar la eficacia de la pesca eléctrica. Así, por ejemplo, cuando la densidad de peces en el litoral ya es muy baja, es más eficaz pescar «al acecho» de los grupillos restantes de peces, para abordarlos súbitamente, que seguir realizando peinados homogéneos del litoral. Al mismo tiempo, se ha observado que, en algunos sectores clave del litoral donde tienden a concentrarse ejemplares de piscardo, el uso combinado de trampas, redes litorales y pesca eléctrica intensiva incrementa las capturas de cada técnica respecto a cualquiera de ellas por sí sola; este recurso es útil sobre todo en las fases finales de la eliminación del núcleo de peces, cuando la densidad ya es muy baja.

Distribución del esfuerzo de pesca

En la tabla 3 se muestra la distribución del esfuerzo anual de pesca por técnica y masa de agua finalmente aplicado durante el LLP. En todo momento se ha procurado mantener un esfuerzo global de pesca estable hasta alcanzar los objetivos operativos establecidos, es decir, hasta conseguir la erradicación de los núcleos de peces en la mayor parte de lagos de actuación. Ahora bien, el esfuerzo aplicado ha variado debido principalmente a la revisión adaptativa del plan de trabajo para cada lago. Así, en algunos casos, como en del lago de Cap de Port, el esfuerzo inicial con redes pronto se reveló insuficiente, de forma que se fue aumentando gradualmente. En el caso de las técnicas secundarias (por ejemplo, trampas en los lagos con tan solo salmónidos), el esfuerzo ha sido siempre bajo y a menudo bastante variable.

Por otro lado, cuando se ha extraído de cada lago el que se supone que habrá sido el último ejemplar, se recomienda mantener el esfuerzo de captura durante al menos un año para asegurarse de que realmente no quede ningún ejemplar aislado, antes de dismantelar la aparatamenta de artes de pesca instalada y dejar de pescar.

Análisis de datos

Todos los ejemplares capturados en el marco de las campañas de eliminación de peces del LLP han sido contabilizados, identificados a nivel de especie y sexados cuando ha sido posible. Además, de todas las capturas se ha tomado la longitud furcal y, cuando ha sido posible, el peso individual, con el fin de obtener estimaciones posteriores de la biomasa total extraída.

Por otro lado, también se han registrado en continuo las unidades de esfuerzo aplicadas para obtener las capturas, que dependen de cada técnica de captura (véase la tabla 3). A partir de estas unidades de esfuerzo ha sido posible generar valores de densidad relativa (CPUE, capturas por unidad de esfuerzo) por especie, lago y período de captura. Así, a parte de la evolución temporal de las capturas simples, expresadas con un número absoluto o relativo por cada período de tiempo de referencia, se utilizan también las CPUE como mejor indicador de la evolución de la población objetivo, ya que está estandarizado por el esfuerzo real aplicado. Aunque hemos calculado la densidad relativa para todas las técnicas de captura aplicadas, para cada especie se presentan únicamente las CPUE que se han considerado menos sometidas a variación interanual y, al mismo tiempo, se consideran más fiables y representativas de su dinámica poblacional. Así, en el caso de los salmónidos, se utilizan las CPUE basadas en el uso de redes durante toda la temporada efectiva de pesca de junio a octubre, mientras que en el caso del piscardo se utilizan tan solo las CPUE basadas en el uso de trampas de tipo nasa de junio a mediados de agosto.

ESFUERZO ANUAL DE PESCA POR TÉCNICA Y MASA DE AGUA*									
Técnica de captura		CLO	NAO	ROV	DEN	DEM	SUB	CPO	CAB
Redes (Unidades: red · día)	Media	766,3	1.633,0	1.343,5	896,6	1.560,8	2.457,8	2.564,8	2.634,3
	Máximo	1.238	2.492	1.800	1.762	2.181	2.999	3.450	3.014
	Mínimo	210	1.046	847	560	1.048	1.806	782	2.239
Trampas (Unidades: trampa · día)	Media	3.401,0	2.046,0	2.349,5	1.745,2	1.744,4	99,3	87,5	49,0
	Máximo	5.860	2.817	2.500	2.100	2.412	337	186	102
	Mínimo	1.740	1.084	2.156	1.359	1.100	0	0	0
Pesca eléctrica (Unidades: horas)	Media	51,0	115,4	61,0	139,4	135,0	43,8	66,8	10,0
	Máximo	114	190	82	210	341	91	96	18
	Mínimo	0	30	38	21	28	6	36	0
Jornadas de trabajo	Media	24,3	45,6	24,3	50,8	36,2	21,0	27,3	19,3
	Máximo	38	59	32	60	46	43	37	29
	Mínimo	11	34	19	40	25	10	19	12

▲ **Tabla 3.** Síntesis del esfuerzo de pesca aplicado a cada lago de actuación. * Véanse los códigos de la tabla 1.

Finalmente, también hemos calculado el rendimiento de pesca expresado simplemente como una ratio entre las capturas obtenidas y el esfuerzo de trabajo (jornadas de trabajo utilizadas), entendiéndose que siempre se ha trabajado con brigadas de pesca equivalentes, suficientemente equipadas y dimensionadas para aplicar las técnicas de captura con la máxima eficiencia posible en cada momento y localidad de trabajo. Este índice de rendimiento de pesca constituye un indicador adicional sobre la evolución temporal de la población objetivo en cada lago y, por lo tanto, también sobre el grado de éxito de las campañas de eliminación de peces.

RESULTADOS

Los objetivos operativos establecidos para las actuaciones de eliminación de núcleos de peces introducidos en los lagos de actuación del LLP (véase la tabla 1) se han logrado en la mayor parte de casos y, para el resto, todo indica que se alcanzarán en un plazo breve. En concreto, se han erradicado los siguientes núcleos de peces: piscardos en los lagos de Closell (PNAP) y de Dellui Mig (PNASEM), trucha común en los lagos de Dellui Mig y Dellui Nord (PNASEM), trucha de arroyo en el lago de Subenuix (PNASEM) y trucha arcoíris en el lago de Cabana (PNASEM). En todos estos lagos el último ejemplar fue capturado durante el 2018 o antes y se ha mantenido el esfuerzo de pesca durante el 2019, generando cero capturas y certificando así que los núcleos de peces están efectivamente erradicados. Además, en el lago de Naorte (PNAP) también se ha sobrepasado la reducción poblacional inicialmente prevista de al menos un 75 % para el piscardos.

En el caso de las poblaciones de piscardos de los lagos de Rovinets (PNAP) y de Dellui Nord, todo indica que la población restante a mediados de verano de 2019 es residual, con una densidad absoluta probablemente inferior a unas pocas decenas de individuos, o incluso menos. Por otro lado, en el lago de Cap de Port (PNASEM), la población de trucha común también estaba casi extirpada a mediados de verano de 2019. Por lo tanto, previsiblemente el último ejemplar en cada uno de estos tres lagos será capturado durante el 2019 o bien, como muy tarde, a principios de 2020. En cualquier caso, será necesario mantener el esfuerzo de pesca durante al menos un año adicional (hasta finales de 2020), de acuerdo con lo establecido en los protocolos específicos.

Piscardo

En la tabla 4 y en las figuras 5-A, 5-B y 5-C se recogen los resultados de las actuaciones de eliminación de piscardos en los lagos de actuación. En el caso de esta especie, el número total de ejemplares extraídos se puede considerar tan solo una aproximación a la densidad absoluta antes de empezar las actuaciones de extracción de peces, ya que durante los años de duración de las campañas de pesca se sigue produciendo reclutamiento, aunque con una tasa decreciente.

Las estructuras de tallas observadas para las poblaciones de piscardos eliminadas indican que se trataba de poblaciones bien estructuradas, con reclutamiento regular, aunque en algunos lagos quizás bastante variable de un año a otro, y también una baja mortalidad que explicaría una notable densidad relativa de ejemplares de talla muy grande (figura 6). Las diferencias observadas en las capturas y la biomasa totales extraídas, una vez ponderadas por la superficie de cada lago, son aún bastante notables, e indican una clara diversidad de situaciones de partida entre los lagos de actuación. La máxima densidad y biomasa inicial de piscardos se daban en el lago de Dellui Nord, gracias probablemente a la estructura de sus hábitats litorales, que favorecía a esta especie, entre otros factores por ahora no analizados. Por contra, la mínima densidad inicial se daba en el lago de Dellui Mig, situación que se puede relacionar con la presencia hasta entonces de un núcleo estable de trucha en este lago.

La dinámica poblacional del piscardos en cada lago, una vez iniciados los trabajos de pesca intensiva, ha sido bastante variable, en parte debido a aproximaciones metodológicas ajustadas a medida que se han ido registrando resultados. De hecho, uno de los lagos con una trayectoria más errática de las capturas extraídas ha sido el primero donde se iniciaron los trabajos, el de Closell. En cualquier caso, en todos los lagos, la disminución tanto de la densidad relativa media como del rendimiento de pesca han sido gradual y sostenida, hasta lograr la erradicación definitiva o acercarse a ella. En el conjunto de los lagos de actuación para los que se había establecido el objetivo operativo de conseguir la erradicación del piscardos, este hito se ha alcanzado (o muy probablemente se alcanzará) dentro de un plazo de entre 4 y 6 años de trabajo continuado. En los lagos donde ya se ha erradicado la especie, Closell y Dellui Mig, la última captura se obtuvo después de casi un año sin ninguna captura. Durante los últimos años de las campañas dejan de observarse reclutas en el litoral, hecho que indica que el núcleo restante no ha conseguido reproducirse.

En el caso concreto del lago de Naorte, el más grande de los lagos de actuación con presencia de piscardos, donde el objetivo operativo de partida era tan solo conseguir una reducción significativa de la población inicial, la tendencia de la población ha sido también regresiva, aunque con un pendiente o tasa inferiores. Es el único lago donde el rendimiento de pesca del piscardos no ha bajado nunca del 5 % respecto al primer año, a pesar de haber disminuido gradualmente.

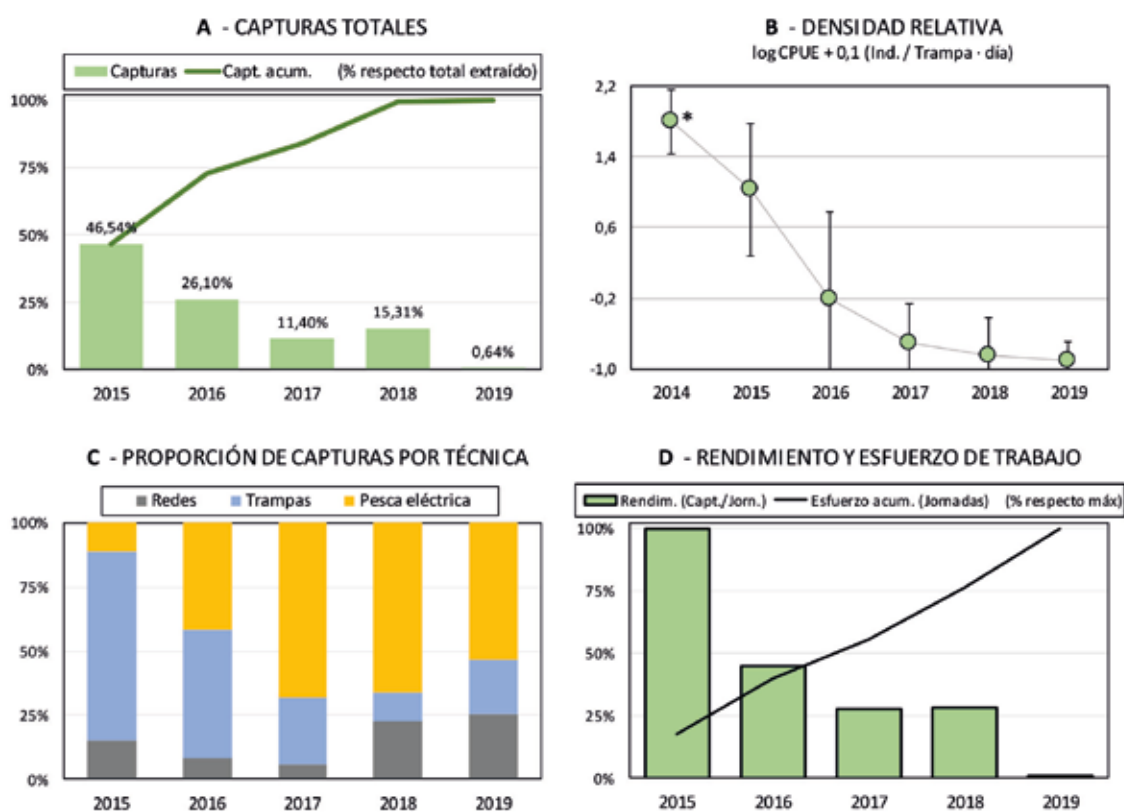
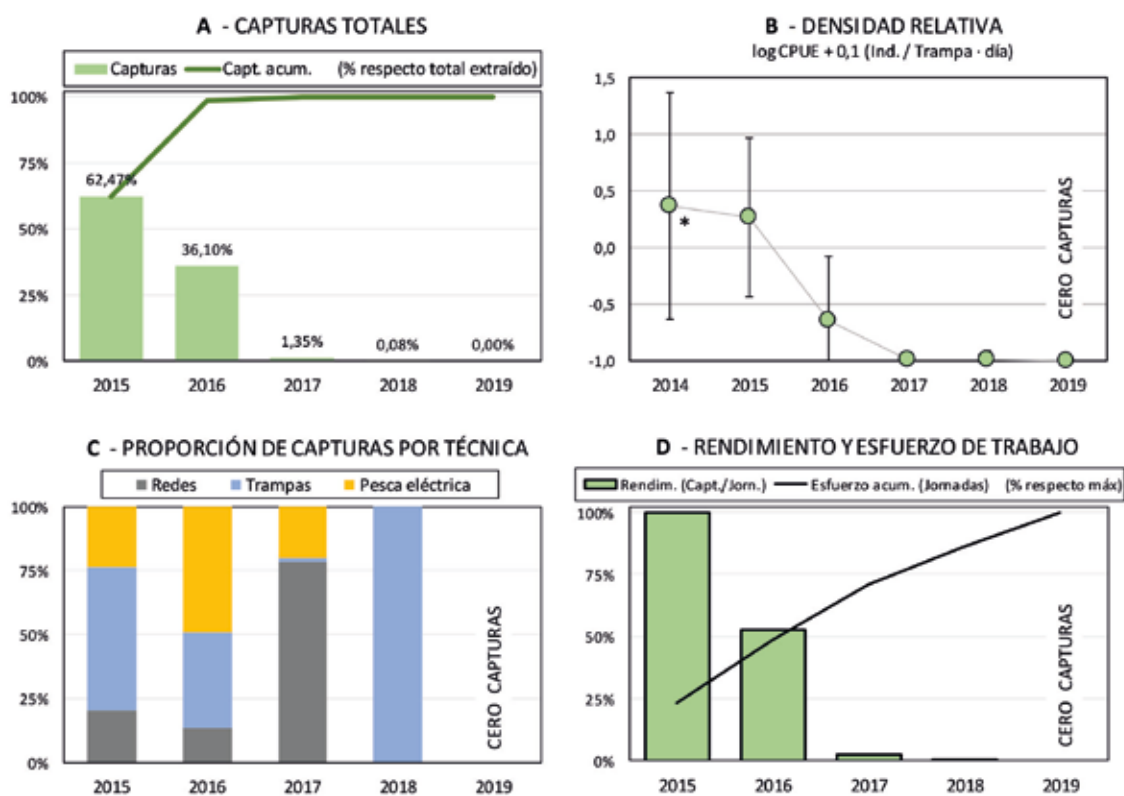
Las diversas técnicas de captura han producido resultados proporcionalmente bastante dispares entre lagos y años, en parte en función de los condicionantes físicos de cada lago, pero también en función de los cambios y las mejoras que se han ido introduciendo gradualmente en las artes o los aparatos de pesca y en la forma de utilizarlos, sobre todo por lo que respecta a la pesca eléctrica y las redes. En todo caso, en todos los lagos las tres técnicas de captura principales (redes, trampas y pesca eléctrica), de forma combinada, han tenido un papel clave a lo largo del proceso de erradicación o control intensivo de esta especie.

EJEMPLARES CAPTURADOS (Ind.), POR AÑO Y MASA DE AGUA					
Especie **: Año	PPH Dellui Nord	PPH Dellui Mig	PPH Closell	PPH Naorte	PPH Rovinets
2014	-	-	4.053	-	1.905*
2015	9.954	2.315	6.169	46.009	-
2016	5.582	1.338	152	22.747	3.111
2017	2.439	50	3	8.557	664
2018	3.275	3	1	6.505	119
2019	137	0	0	3.800	27
CAPTURAS TOTALES (Ind.)	21.387	3.706	10.378	87.132	5.826
CAPTURAS TOTALES (Ind./ha)	61.106	3.400	13.837	22.114	15.574
BIOMASA TOTAL (kg)	53,99	18,80	35,43	212,13	21,28
BIOMASA TOTAL (kg/ha)	154,26	17,24	47,24	53,84	57,50

▲ **Tabla 4.** Síntesis de las capturas de piscardo (*Phoxinus* sp.) en los lagos de actuación. *Capturas hechas durante un muestreo inicial; ** Véanse los códigos de la tabla 1.

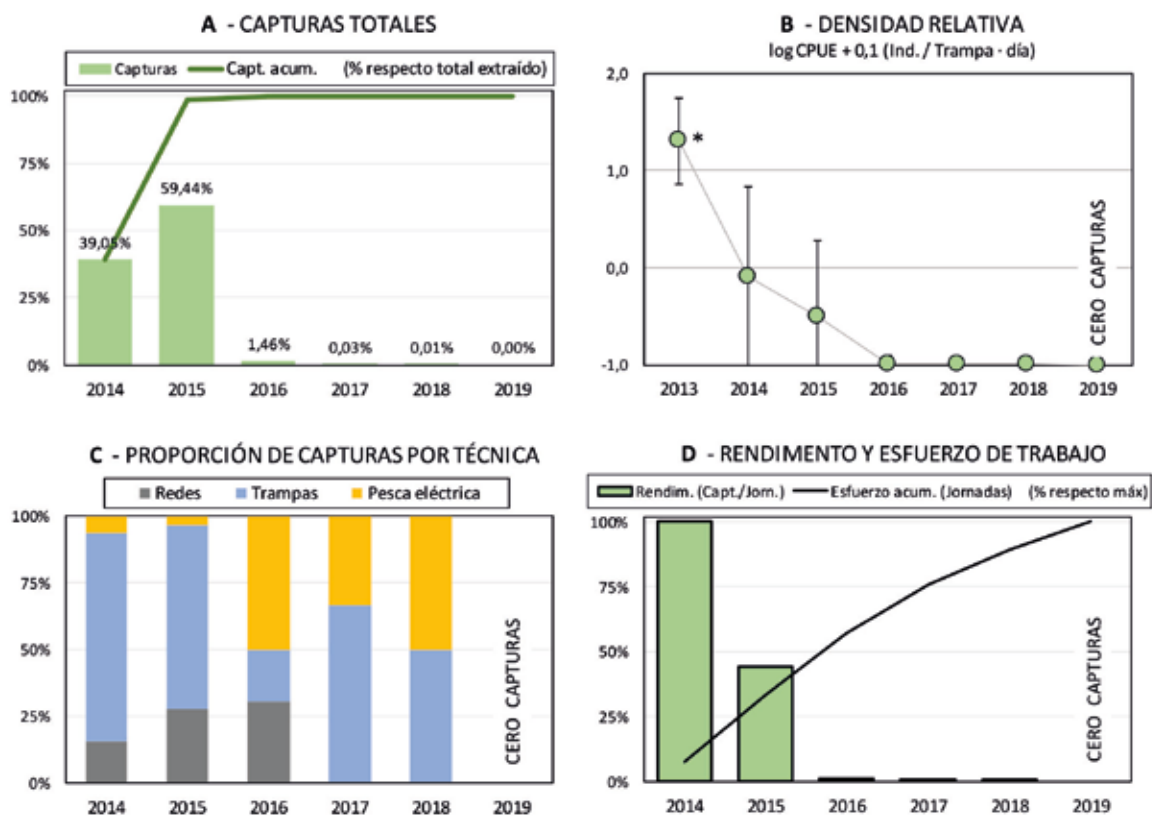


Piscardo (*Phoxinus* sp.)

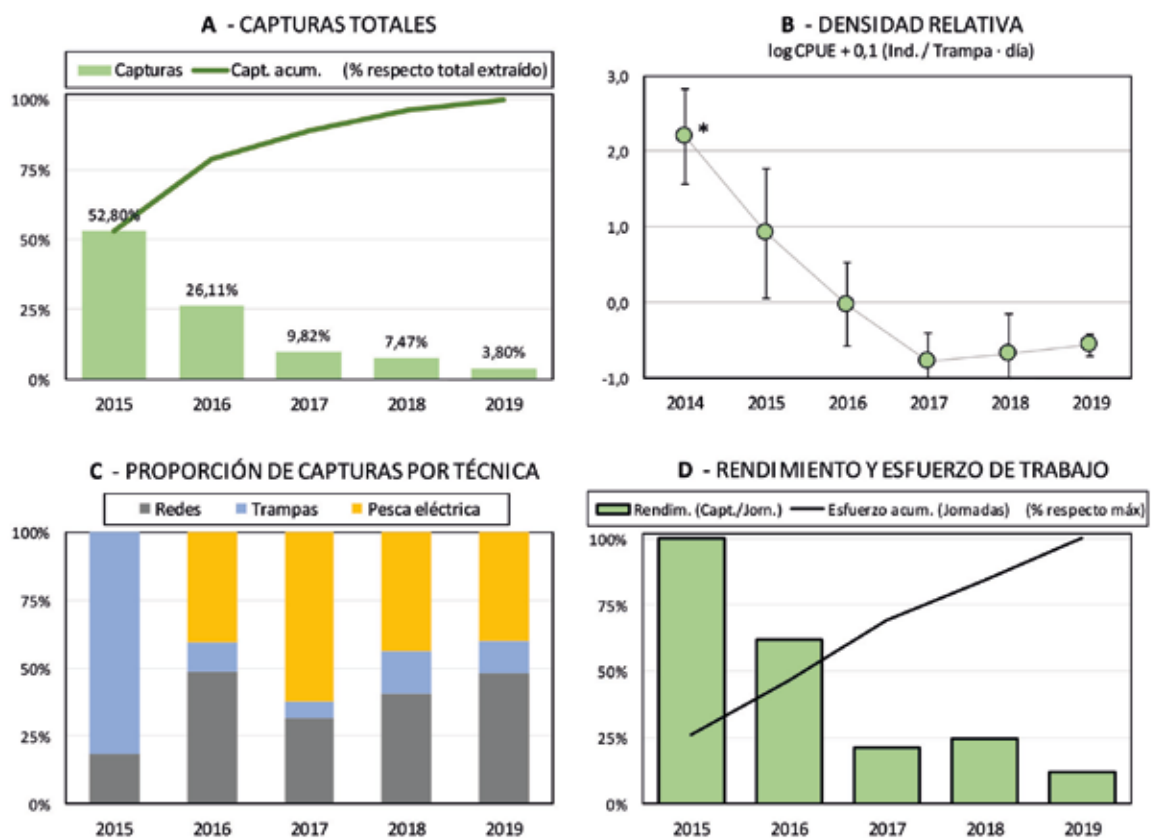
LAGO DELLUI NORD - Piscardo (*Phoxinus sp*)LAGO DELLUI MIG - Piscardo (*Phoxinus sp*)

▲ **Figura 5-A.** Resultados de las campañas de control y erradicación de piscardo (*Phoxinus sp*) en los lagos. * Muestras previas al inicio de las campañas. Las barras representan el error estándar.

LAGO DE CLOSELL - Piscardo (*Phoxinus sp*)

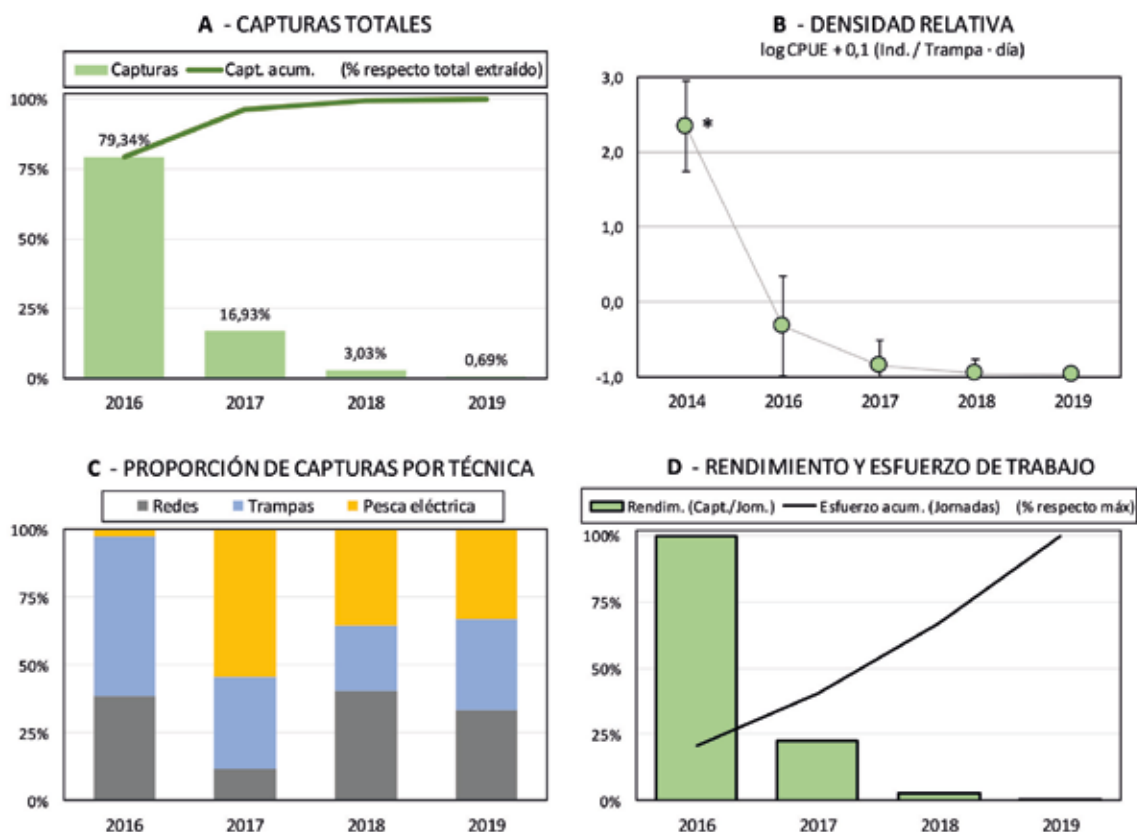


LAGO DE NAORTE - Piscardo (*Phoxinus sp*)



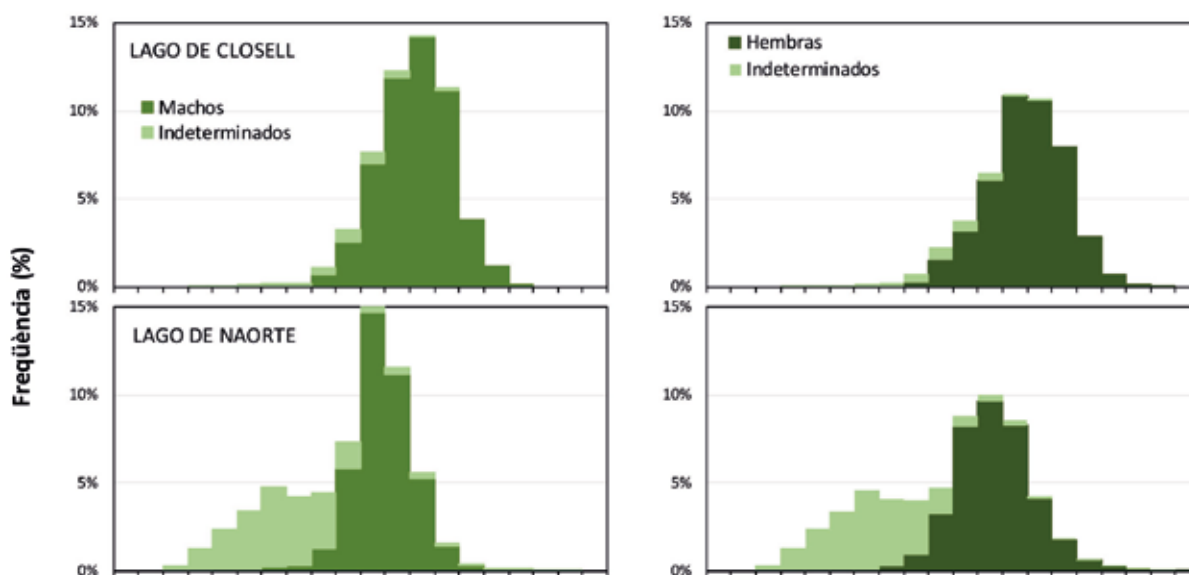
▲ **Figura 5-B.** Resultados de las campañas de control y erradicación de piscardo (*Phoxinus sp.*) en los lagos. * Muestréos previos al inicio de las campañas. Las barras representan el error estándar.

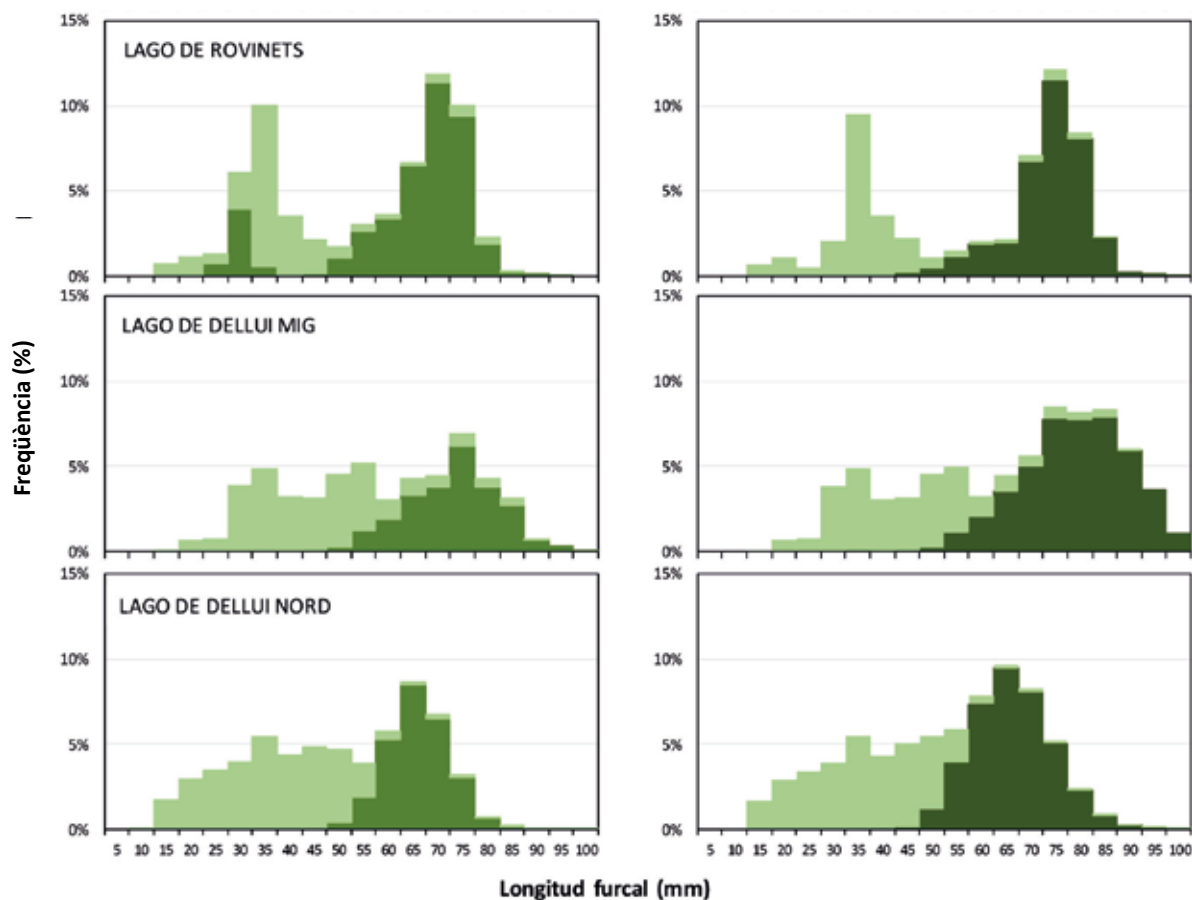
LAGO DE ROVINETS - Piscardo (*Phoxinus sp*)



▲ **Figura 5-C.** Resultados de las campañas de control y erradicación de piscardo (*Phoxinus sp.*) en los lagos. * Muestréos previos al inicio de las campañas. Las barras representan el error estándar.

▼ **Figura 6.** Estructuras de tallas iniciales de las poblaciones de piscardo eliminadas de los lagos de actuación.





Salmónidos

En la tabla 5 y en las figuras 7, 8 y 9 se recogen los principales resultados de las actuaciones de eliminación de salmónidos en los lagos de actuación. El número total de ejemplares extraídos, que se puede considerar equivalente o muy cercano a la población inicial antes de empezar las actuaciones de extracción de peces, diverge en función de la especie y las características del lago. La trucha de arroyo presenta la densidad y la biomasa máximas observadas en los cinco lagos de actuación con poblaciones de salmónidos. La trucha arcoíris y la trucha común presentan una densidad y una biomasa claramente menores. En el caso de la trucha común, en uno de los lagos (Dellui Nord) su densidad era ya inicialmente muy baja. De hecho, todo apunta que los escasos ejemplares capturados en este lago habían llegado desde el lago de Dellui Mig, interconectados ambos por un arroyo intermitente.

Las estructuras de tallas iniciales observadas para las poblaciones eliminadas muestran una diversidad notable (figura 10). Ahora bien, en la mayoría se observa una clara dominancia de las tallas medianas y grandes, es decir, de los ejemplares de más edad, sobre las tallas pequeñas correspondientes a los jóvenes, lo que indica la existencia de un reclutamiento escaso y probablemente irregular de un año a otro, añadido a una probable presión de depredación de los adultos sobre alevines y jóvenes. El caso más extremo de esta situación es el de la trucha arcoíris en el lago de Cabana. En cambio, en el caso del lago de Cap

de Port, este patrón de estructura poblacional no se da, debido a la existencia de un pequeño arroyo de salida del lago donde se refugiaban los jóvenes, hecho que garantizaba una mayor presencia relativa en el conjunto de la población.

La trucha común se ha erradicado de los lagos de Dellui Nord y Dellui Mig en tan solo dos años. En cambio, en el lago de Cap de Port, con cuatro años de actuación aún no se ha conseguido su completa extirpación, a pesar de que el ritmo de disminución de la población original ha sido similar en los tres lagos, con más de un 75 % de reducción durante el primer año de actuación y una reducción constante del rendimiento de pesca, año a año. De hecho, en el caso del lago de Cap de Port, las tendencias observadas indicaban la probable pesca del último ejemplar a finales de 2018 o principios de 2019. Un hecho ha dificultado la finalización de la erradicación en este lago: la probable introducción furtiva de algunos ejemplares durante los últimos años de actuación. En 2019 se ha constatado que al menos uno de los últimos ejemplares adultos capturados había sido pescado mediante pesca deportiva, práctica ilegal dentro del parque nacional.

La población de trucha arcoíris del lago de Cabana también se ha conseguido eliminar completamente en solo dos años, con una rápida disminución de su densidad ya en el primer año de trabajos. En el caso de la trucha de arroyo del lago de Subenuix, a pesar de la alta densidad de partida, se ha extirpado la población con una tendencia

aún más acusada que en el resto de las poblaciones de salmónidos tratadas. Aunque finalmente la erradicación definitiva de la trucha de arroyo se ha conseguido en tres años, hay que apuntar que durante el tercer año tan solo se extrajeron dos únicos ejemplares que se habían refugiado en un pequeño segmento de un arroyo de entrada.

Tal como era de prever, el uso de redes ha sido la técnica de captura principal que ha originado todas o la mayor parte de capturas de salmónidos, dependiendo

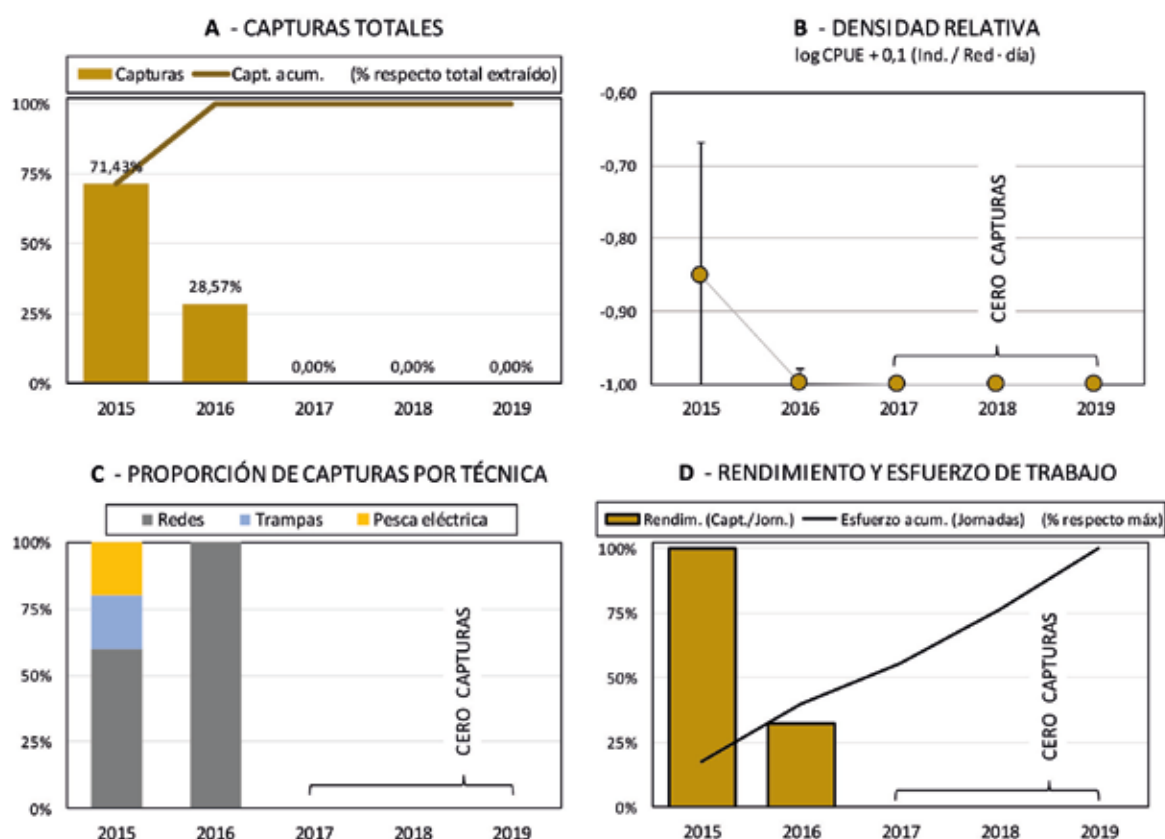
del lago. De todas formas, la pesca eléctrica ha resultado clave para la captura complementaria de salmónidos en algunos hábitats secundarios donde las redes no son útiles, sobre todo en pequeños sectores del litoral donde en algunos casos se concentran jóvenes, y también en arroyos de entrada o de salida. Las trampas tan solo han tenido un papel durante la fase inicial de eliminación de la población de trucha de arroyo y en la eliminación de la trucha común de los arroyos.

EJEMPLARES CAPTURADOS (Ind.), POR AÑO, MASA DE AGUA Y ESPECIE*

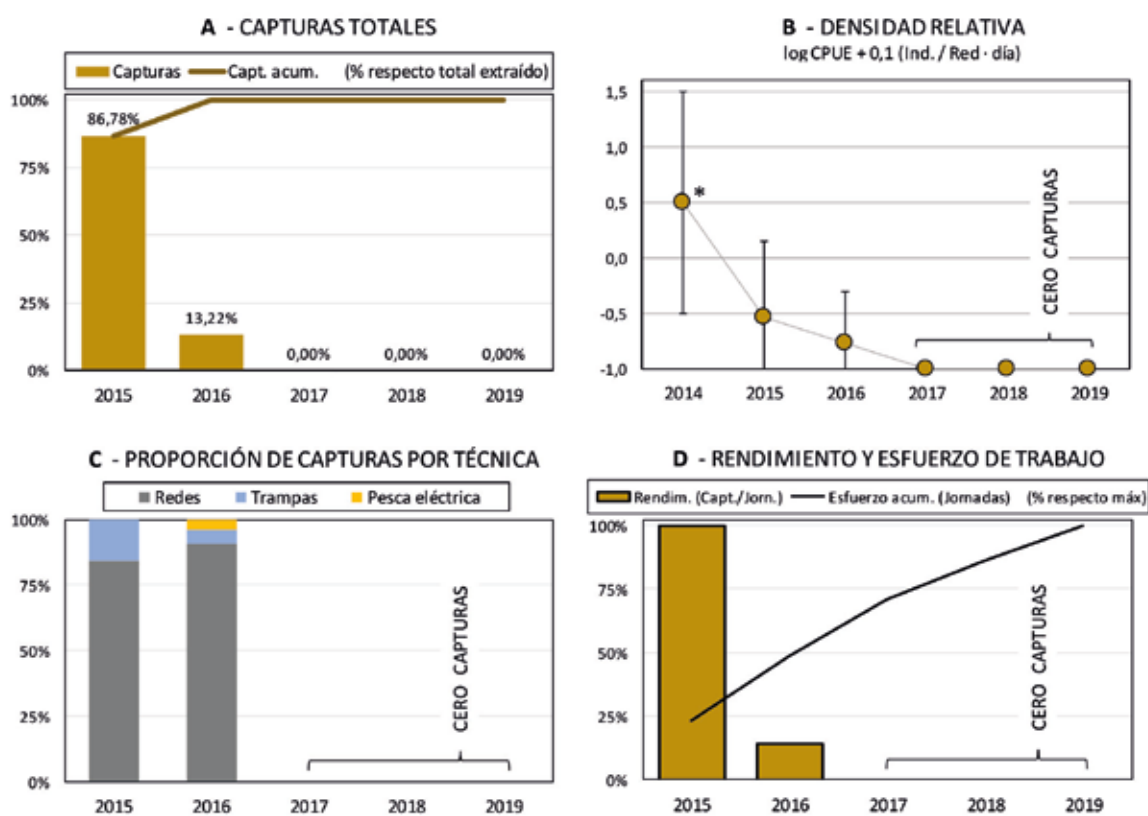
Especie*:	STR	STR	STR	SFL	OMY
Año	Dellui Nord	Dellui Mig	Cap del Port	Subenuix	Cabana
2015	5	348	-	-	-
2016	2	53	1.416	4.720	-
2017	0	0	192	275	501
2018	0	0	57	2	64
2019	0	0	4	0	0
CAPTURAS TOTALES (Ind.)	7	401	1.669	4.997	565
CAPTURAS TOTALES (Ind./ha)	20	368	227	1.893	242
BIOMASA TOTAL (kg)	3,44	55,53	189,19	184,85	109,96
BIOMASA TOTAL (kg/ha)	9,82	50,95	25,74	70,02	47,19

▲ **Tabla 5.** Síntesis de las capturas de especies de salmónidos en los lagos de actuación. * Véanse los códigos de la tabla 1.

LAGO DELLUI NORD - Trucha (*Salmo trutta*)

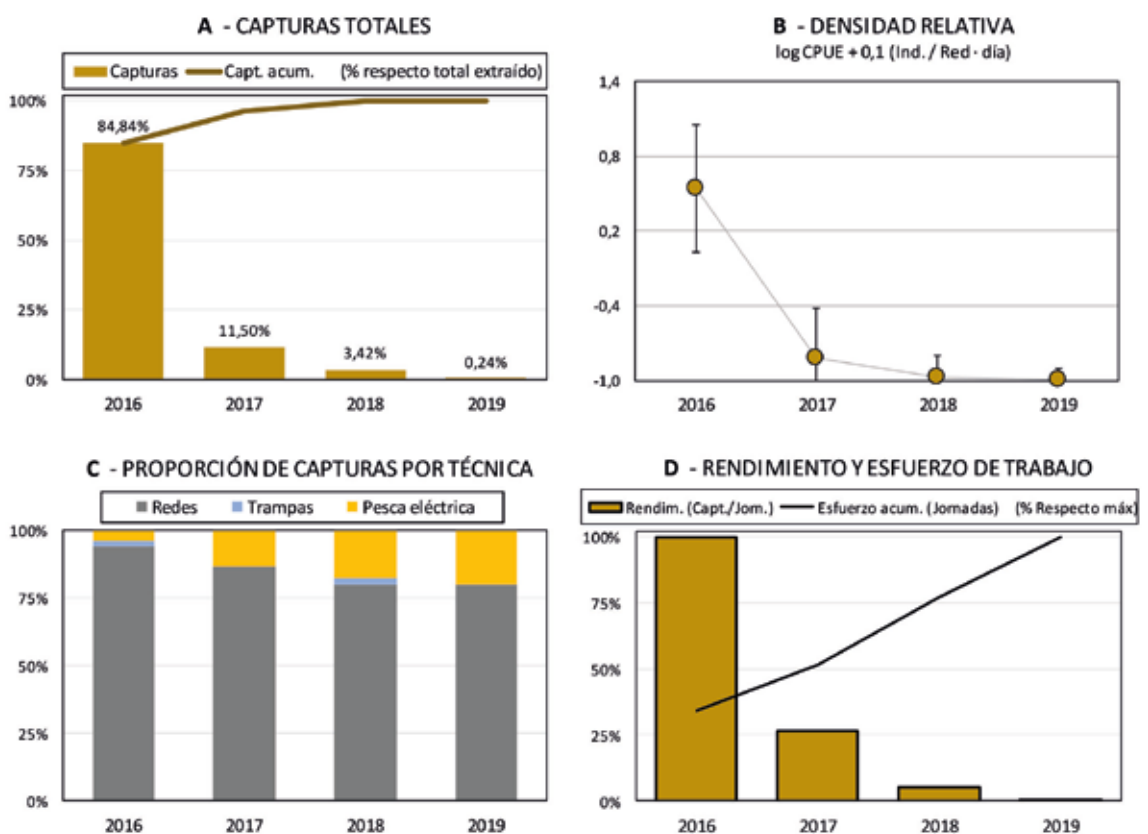


LAGO DELLUI MIG - Trucha (*Salmo trutta*)



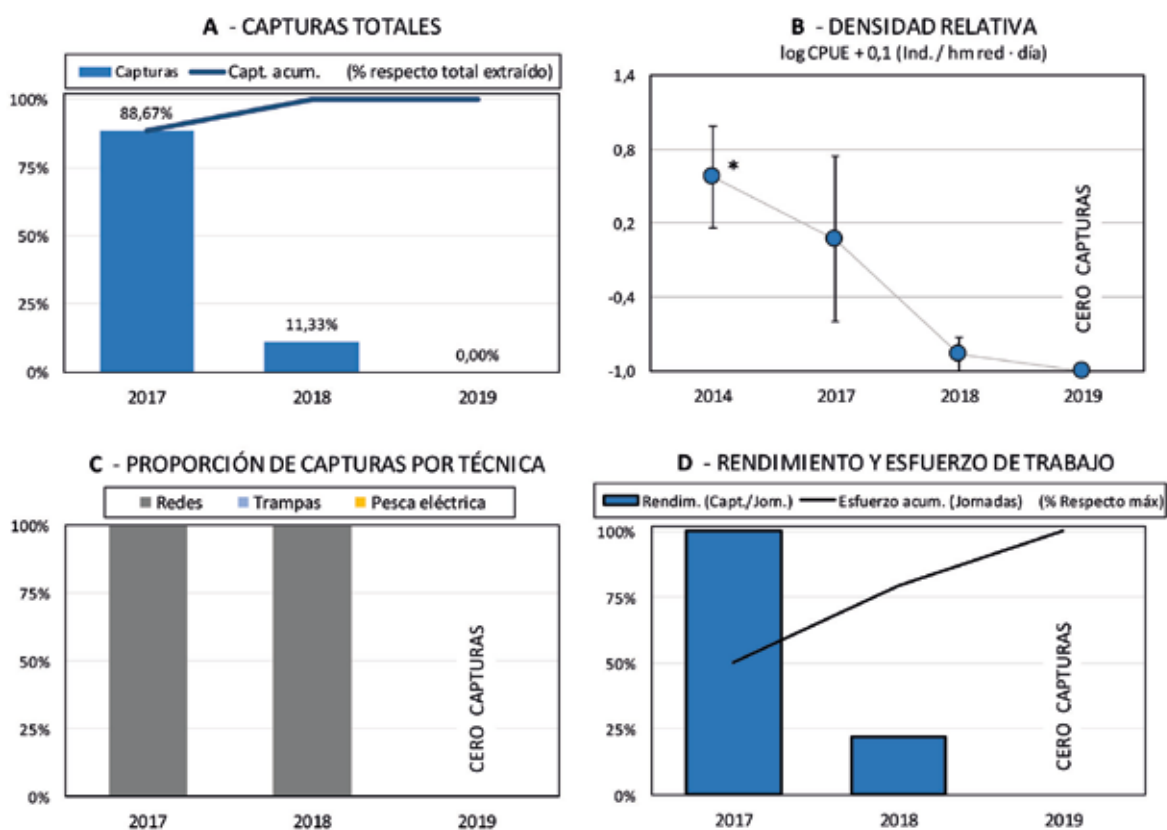
▲ **Figura 7-A.** Resultados de las campañas de control y erradicación de trucha común (*Salmo trutta*) en los lagos de actuación. * Muestreos previos al inicio de las campañas. Las barras representan el error estándar.

LAGO DE CAP DE PORT - Trucha (*Salmo trutta*)



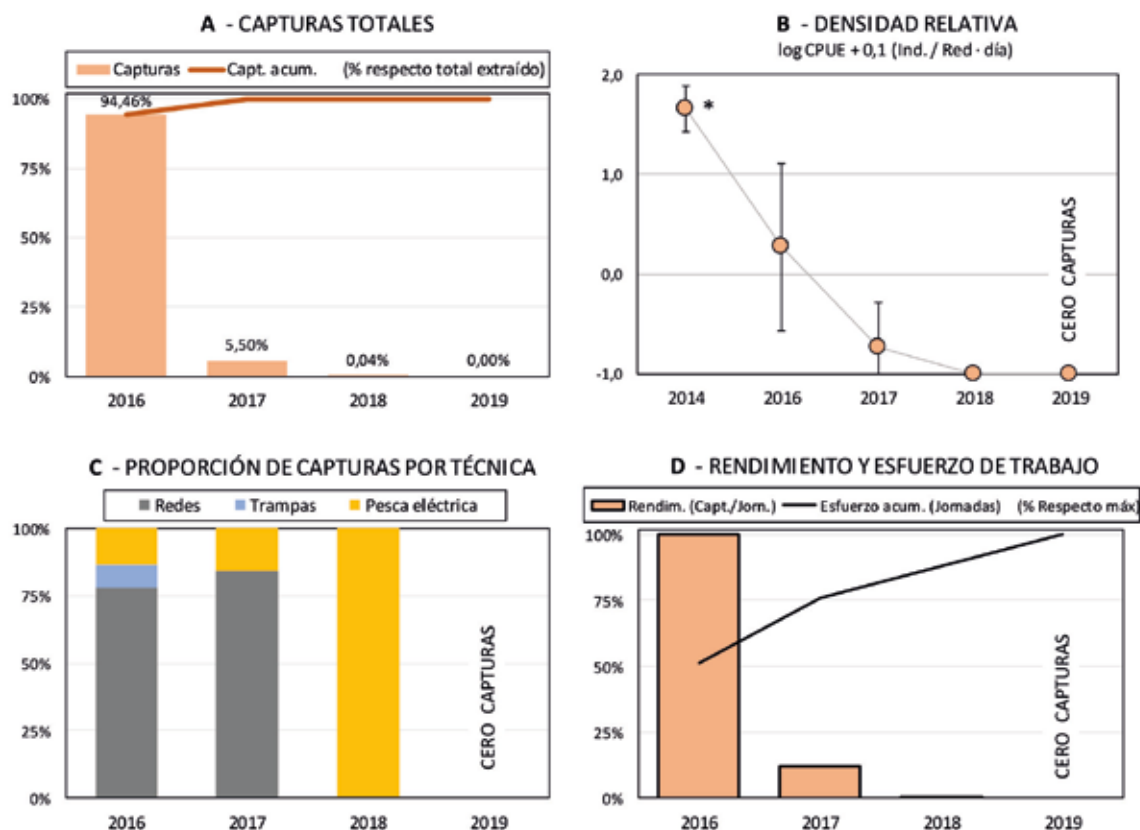
▲ **Figura 7-B.** Resultados de las campañas de control y erradicación de trucha común (*Salmo trutta*) en los lagos de actuación. * Muestreos previos al inicio de las campañas. Las barras representan el error estándar.

LAGO DE CABANA - Trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*)

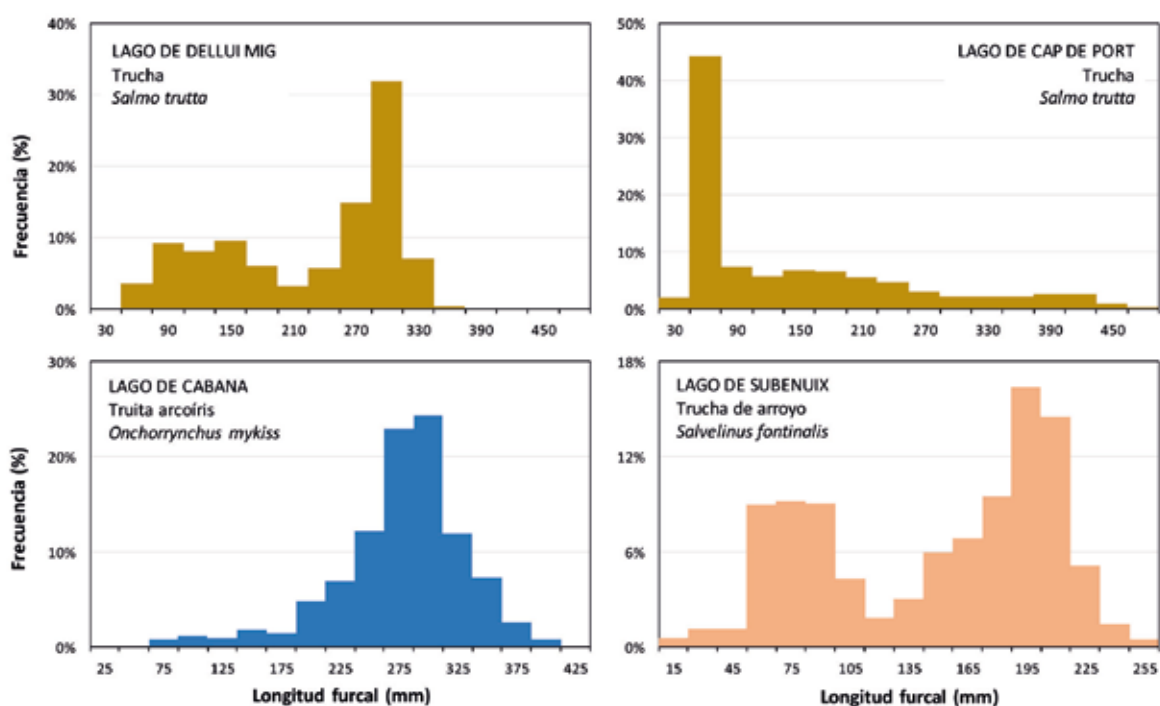


▲ **Figura 8.** Resultados de las campañas de control y erradicación de trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) en los lagos de actuación. * Muestras previos al inicio de las campañas. Las barras representan el error estándar.

LAGO DE SUBENUIX - Trucha de arroyo (*Salvelinus fontinalis*)



▲ **Figura 9.** Resultados de las campañas de control y erradicación de trucha de arroyo (*Salvelinus fontinalis*) en los lagos de actuación. * Muestras previos al inicio de las campañas. Las barras representan el error estándar.

LAGO DE SUBENUIX - Trucha de arroyo (*Salvelinus fontinalis*)

▲ Figura 10. Estructuras de tallas iniciales de las poblaciones de salmónidos eliminadas en los lagos de actuación.

DISCUSIÓN

Los resultados alcanzados en el marco de las acciones de restauración ecológica de los lagos pirenaicos del LLP mediante la eliminación de poblaciones de peces introducidos demuestran, en primer lugar, que la erradicación de núcleos de salmónidos es efectivamente factible mediante metodologías ya establecidas por trabajos anteriores en ambientes similares (Knapp y Matthews, 1998; Tiberti *et al.*, 2018) y, en segundo lugar, que el reto de la erradicación de núcleos de pequeños ciprínidos como el piscardo también es factible, a pesar de la ausencia de precedentes similares. Además, también permiten poner de relieve los principales condicionantes para la planificación y ejecución de este tipo de operaciones.

De entrada, el primer condicionante lo constituyen las características biológicas y ecológicas de las especies de peces que hay que eliminar. A pesar de que las poblaciones de peces de los lagos de alta montaña de los Pirineos han sido muy poco estudiadas, a lo largo del proyecto LLP se han generado resultados y observaciones que indican una serie de características comunes para todas las especies: alta estabilidad poblacional, alta longevidad y baja mortalidad en comparación con otras poblaciones estudiadas y situadas en sistemas de menor altitud (Cárceles, 2014; Busquets, 2015; Fernández, 2015; Fernández, 2016; Lapedra, 2016; Calderón, 2017; Dalmau, 2017; Llenas, 2018; Rodríguez, 2018; Campistol, 2019; Monclús, 2019; Ramada, 2019). En cambio, todo indica que el reclutamiento, el crecimiento y la productividad son muy variables, no solo entre especies

sino también entre lagos, probablemente en función de una combinación compleja de diversos factores aun no analizados. Así, parece que especies como el piscardo y la trucha de arroyo presentan reclutamientos regulares, a menudo altos, y alcanzan generalmente densidades y biomásas altas en los lagos que ocupan. En cambio, la trucha común y la trucha arcoíris tienden a presentar problemas de reclutamiento y, en general, mantienen poblaciones de baja densidad.

La edad de maduración sexual de los peces de los lagos es un aspecto clave para planificar su erradicación. Aun siendo muy variable, en el caso de los salmónidos parece situarse siempre per encima de los dos años. Esto da suficiente margen para la eliminación completa de las poblaciones, si desde el principio de las campañas se aplica una intensidad de esfuerzo suficiente para eliminar rápidamente al menos los ejemplares adultos en uno o dos años. Por contra, en el caso del piscardo hemos comprobado que, en la mayor parte de lagos, una parte de los ejemplares ya se pueden reproducir cuando tienen tan solo un año. Este hecho, junto con una eficiencia de captura de estos peces inferior a la de los salmónidos, condiciona en gran medida las campañas, puesto que no permite una rápida erradicación de los núcleos poblacionales. Tan solo cuando se consigue evitar su reproducción desde el primer año es previsible un proceso rápido de extirpación de la población, pero probablemente esto será factible en muy pocos casos. En todo caso, hay que determinar correctamente su fenología reproductiva y, sobre todo, conocer en qué sectores o microhábitats de cada lago tiende a darse preferentemente la freza. Esto permite distribuir mejor los esfuerzos de pesca en el espacio y el

tiempo para minimizar las posibilidades de recuperación de la población de piscardo, aun con continuidad de las campañas de pesca intensiva.

En cambio, la densidad inicial del núcleo de peces que hay que eliminar no parece condicionar los resultados mientras se aplique un esfuerzo con suficiente intensidad y continuidad, siempre con la intervención de brigadas de trabajo especializadas y bien dotadas. La densidad absoluta, es decir, el tamaño poblacional inicial, en parte dependiente del tamaño del lago (dentro del rango de los lagos de actuación; <10 ha), tampoco parece condicionar el éxito de las operaciones.

Sin embargo, otros factores más allá de los directamente relacionados con la biología de la especie íctica condicionan también las operaciones: la morfometría general del lago, el perfil batimétrico, la estructura de las orillas y el fondo del lago, la presencia de vegetación sumergida, la presencia de arroyos o torrentes conectados a los lagos o, también, la meteorología e hidrología de cada temporada de trabajo. De hecho, algunos de estos condicionantes acaban explicando buena parte de la variabilidad de los resultados conseguidos entre lagos. Así, por ejemplo, los núcleos de piscardo situados en dos pequeños lagos de superficie menor a media hectárea, Rovinets y Dellui Nord, han resultado ser donde los trabajos han sido más complejos y, en definitiva, más largos, respecto a lo previsible, debido sobre todo a la orografía de sus orillas, en parte inaccesibles, y a un perfil abrupto del fondo del lago.

En cuanto a las técnicas de captura, durante el LLP se han mejorado gradualmente tanto los materiales y los equipos utilizados como, sobre todo, la forma de utilizarlos, por lo que se ha conseguido una mayor efectividad que probablemente ha acelerado las operaciones. De hecho, creemos que los plazos de logro de eventuales nuevos objetivos ambiciosos de erradicación de peces en los lagos mediante campañas de pesca intensivas pueden reducirse considerablemente a partir del conocimiento práctico alcanzado, especialmente en el caso de la lucha contra el piscardo. A la vez, este conocimiento práctico permitirá abordar la posibilidad de hacer frente a hitos más importantes, como la erradicación del piscardo en lagos mayores (como en el caso de Naorte) o bien la erradicación de dos o más especies presentes en un mismo lago de dimensiones también importantes.

De todas formas, aún conviene mejorar la efectividad de las técnicas de captura disponibles o desarrollar nuevas técnicas, sobre todo nuevamente para el caso del piscardo. Por ejemplo, probablemente es factible mejorar la eficiencia de la pesca eléctrica en aguas de alta montaña, aún muy baja, aunque sería necesario involucrar a los fabricantes de estos aparatos. También hay recorrido en el diseño de nuevos tipos de trampas efectivas en situaciones en las que hasta ahora no ha sido posible conseguir resultados positivos, como una trampa eficiente en sustratos de profundidades medias y grandes. La introducción de otros métodos, como la aplicación masiva de ictiocidas, también sigue constituyendo un reto pendiente, especialmente para abordar esta problemática (puede que con un menor coste económico) en situaciones de alta complejidad, como son los sistemas interconectados

de diversos lagos, ríos o turberas.

También es crítica la correcta planificación de las campañas. De entrada, un primer aspecto clave es la asignación de un esfuerzo de captura adecuado en forma y cantidad. Además, es imprescindible llevar a cabo un seguimiento técnico de los resultados obtenidos progresivamente para introducir las variaciones necesarias a tiempo, si conviene. Por ejemplo, en este proyecto la intensidad de pesca prevista inicialmente en alguno de los lagos resultó ser insuficiente, concretamente en los lagos de Naorte y de Cap de Port, situación a la que se sumaron otros problemas, como una escasa durabilidad de las redes no prevista inicialmente. Fue necesario responder a estas situaciones con la asignación de más y mejores recursos materiales, sin poder evitar un retraso en el logro de objetivos en estos lagos.

La erradicación de peces introducidos tendría que ser un objetivo operativo prioritario en los lagos pirenaicos que hay que restaurar ecológicamente. Sin embargo, mientras esto no sea factible para cualquier lago, no conviene descartar como alternativa el control demográfico intensivo de los peces, al menos del piscardo. Los resultados del proyecto LLP y, en concreto, la experiencia llevada a cabo en el lago de Naorte, demuestran que se puede conseguir una reducción suficiente de la densidad de esta especie íctica con una buena respuesta del ecosistema (Buchaca *et al.*, 2019). Para mantener estos resultados a medio plazo hay que prever acciones de mantenimiento persistentes, que ahora sabemos cómo ejecutar de forma eficiente en cuanto al coste.

CONCLUSIONES

La erradicación de los peces introducidos en lagos pirenaicos mediante la captura intensiva y continuada es factible, siempre que se haga partiendo de una adecuada asignación y planificación de recursos humanos y materiales.

En el caso de los salmónidos, se puede conseguir su completa eliminación mediante el uso de tan solo redes de tipo agalladera, aunque en ciertas situaciones puede resultar imprescindible la utilización complementaria de pesca eléctrica.

En cambio, en el caso del piscardo, es necesaria una combinación efectiva de al menos tres técnicas: redes, trampas y pesca eléctrica. Además, hay que revisar continuamente el plan de trabajo con el fin de ajustarlo a la respuesta de cada población y lago.

AGRADECIMIENTOS

Los autores deseamos hacer llegar nuestro agradecimiento a todo el personal del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici, del Parque Natural del Alt Pirineu, del Cuerpo de Agentes Rurales de la Generalitat de Catalunya y, en general, del Departamento de Territorio y Sostenibilidad de la Generalitat de Catalunya, que han

participado directa o indirectamente en las actuaciones de eliminación de peces en los lagos de los Pirineos en el marco del LLP. Muy especialmente, queremos agradecer al personal de Forestal Catalana, SA, que ha formado parte en algún momento de las brigadas de pesca, así como a sus superiores, su dedicación constante e implicación en los objetivos del LLP. También queremos agradecer el soporte de los compañeros de trabajo y de otros colaboradores que nos han ayudado en las labores de campo. Entre estos, tenemos que hacer especial mención a los muchos estudiantes y jóvenes que, en el marco de diversos programas de prácticas de empresa, han realizado estancias en los Pirineos para colaborar con las tareas sobre el terreno: R. Berché, M. Hernández, A. Brustenga, I. Fernández, S. García, A. Elguea, L. Barbero, A. Gouveia, F. Ribero, E. Cirer, J. Devilers, E. McGahan, P. Olives, N. Thibault, M. Gas, L. Ramada, R. Puigmartí, A. Pueyo, D. Muñoz, C. Cárceles, V. Rodríguez, I. Aguilera, M. Pacheco, D. Petralli, C. Martínez, S. Sopena, T. Pujol, S. Francés, J. Calderón, L. Busquets, J. Garriga, X. Molero, Y. Rouxel, A. Fernández, A. Gomes, M. Rimbau, L. Márquez, J. Ruiz, M. Gil, V. Rodríguez, Q. Guillory, A. Lapedra, A. Porcar, D. Pavlovic, N. Pérez, B. Dalmau, N. Bagué, A. Santies-teban, D. Campistol, E. Andrés, Ò. Jorba, J. Monclús, I. Carreras, E. Docampo, C. Coll, M. Sunita, S. Quintana, G. Llenas, L. Castellarnau, L. Flores, G. Tarte, F. Canudas.

BIBLIOGRAFÍA

- APARICIO E., ALCARAZ C., CARMONA-CATOT G., GARCÍA-BERTHOU E., POU-ROVIRA Q., R. ROCASPANA R., VARGAS M. J. Y VINYOLES D. (2016). Peixos continentals de Catalunya: Ecologia, conservació i guia d'identificació. Lynx Edicions, Barcelona.
- BIO A., COUTO A., COSTA R., PRESTES A., VIEIRA N., VALENTE A. Y AZEVEDO J. (2008). Effects of fish removal in the Furnas Lake, Azores. *Arquipélago. Life and Marine Sciences* 25: 77-87.
- BOSCH J., BIELBY J., MARTIN-BEYER B., RINCÓN P., CORREA-ARANEDA F. Y BOYERO L. (2019). Eradication of introduced fish allows successful recovery of a stream-dwelling amphibian. *PLoS ONE* 14(4):e0216204. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216204>
- BRITTON R., DAVIES G. D. Y BRAZIER M. (2009). Eradication of the invasive *Pseudorasbora parva* results in increased growth and production of native fish. *Ecology of Freshwater Fish* 18(1): 8-14.
- BUCHACA T., BALLESTEROS E., CHAPPUIS E., GACIA E., GALLÉS A., MIRÓ A., OSORIO V., POU-ROVIRA Q., PUIG M. À., SABAS I. Y VENTURA M. (2016). Efectes de la presència de diverses espècies de peixos invasors en els estanys d'alta muntanya. En: La investigació al Parc Nacional d'Aigüestortes i estany de Sant Maurici. X Jornades d'Investigació del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici, pp. 171-183. Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat, Espot (Pallars Sobirà), 14, 15 y 16 de octubre de 2015.
- BUCHACA T., SABAS I., OSORIO V., POU-ROVIRA Q., MIRÓ A., PUIG M. À., CRUSET E., FONT B., BALLESTEROS E. Y VENTURA M. (2019). Canvis en els estanys a partir de la reducció de les densitats de peixos en el marc del projecte LIFE LIMNO-PIRINEUS. En: La investigació al Parc Nacional d'Aigüestortes i estany de Sant Maurici. XI Jornades d'Investigació del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici. Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat, Boí (Alta Ribagorça), 17, 18 y 19 de octubre de 2018.
- BUSQUETS L. (2015). Creixement i demografia de les poblacions de l'espècie *Salmo trutta* introduïdes en diversos estanys d'alta muntanya dels Pirineus. Treball de Fi de Grau. Universitat de Girona.
- CALDERÓN J. (2017). Assessing the *Salvelinus fontinalis* (Mitchell, 1815) population state in Subenuix lake (Pyrenees, Catalonia). Treball de Fi de Grau. Universitat Autònoma de Barcelona.
- CAMPISTOL D. (2019). Edat, demografia i creixement de la truita irisada (*Onchorynchus mykiss*) a tres estanys d'alta muntanya dels Pirineus. Treball de Fi de Grau. Universitat de Girona.
- CAMPOS M., POU Q., FEO C., ARAUJO R. Y FONT J. (2013). Col·lecció de fitxes per la gestió d'espècies exòtiques invasores en rius i zones humides. LIFE Projecte Estany. Consorci de l'Estany. Banyoles, Girona.
- CÁRCELES C. (2014). Demografia de dues poblacions lacustres d'alta muntanya de barb roig (*Phoxinus phoxinus*). Treball de Fi de Grau. Universitat de Girona.
- CEN (2005). Water Quality Sampling of Fish with Multi-mesh Gillnets (CEN14757). European Committee for Standardization. Bruselas.
- DALMAU B. (2017). Estudi i comparació del creixement, la supervivència i la condició de l'espècie *Salvelinus fontinalis* en dos estanys d'alta muntanya del Pirineu. Treball de Fi de Grau. Universitat de Girona.
- DALMAU B. (2017). Estudi i comparació del creixement, la supervivència i la condició de l'espècie *Salvelinus fontinalis* en dos estanys d'alta muntanya del Pirineu. Treball de Fi de Grau. Universitat de Girona.
- FERNÁNDEZ A. (2015). Creixement i demografia de l'espècie invasora *Phoxinus* sp. en estanys d'alta muntanya dels Pirineus. Treball de Fi de Grau. Universitat de Girona.
- FERNÁNDEZ I. (2016). Creixement i demografia del barb roig (*Phoxinus phoxinus*) en estanys d'alta muntanya dels Pirineus. Treball de Fi de Grau. Universitat de Girona.
- FINLAYSON B., SCHNICK R., SKAAR D., ANDERSON J., DEMONG L., DUFFIELD D., HORTON W. Y STEINKJER J. (2010). Planning and standard operating procedures for the use of rotenone in fish management—rotenone SOP manual. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.
- GARCÍA-BERTHOU E., ALCARAZ C., POU-ROVIRA Q., ZAMORA L., COENDERS G. Y FEO C. (2005). Introduction pathways and establishment rates of invasive aquatic species in Europe. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 65: 453-463.
- HILL J. E. Y CICHRA C. E. (2005). Eradication of a reproducing population of convict cichlids, *Cichlasoma nigrofasciatum* (Cichlidae), in North-Central Florida. *Florida Scientist*. Vol. 68, No. 2, pp. 65-74.
- KNAPP R. A. Y MATTHEWS K. R. (1998). Eradication of non-native fish by gill netting from a small mountain lake in California. *Restoration Ecology* 6, 207-213.

- KNAPP R. A. (2005). Effects of nonnative fish and habitat characteristics on lentic herpetofauna in Yosemite National Park, USA. *Biological Conservation* 121, 265-279.
- KNAPP R. A., BOIANO D. M. Y VREDENBURG V. T. (2007). Removal of nonnative fish results in population expansion of a declining amphibian (mountain yellow-legged frog, *Rana muscosa*). *Biological Conservation* 135, 11-20.
- LAPEDRA A. (2016). Estudi de l'edat, el creixement i la demografia de l'espècie *Phoxinus* sp. en tres estanys d'alta muntanya del Pirineu i del riu Brugent. Treball de Fi de Grau. Universitat de Girona.
- LINTERMANS M. (2000). Recolonization by the mountain galaxias *Galaxias olidus* of a montane stream after the eradication of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Marine and Freshwater Research* 51(8): 799-804.
- LLENAS G. (2018). Avaluació i comparació del creixement, la mortalitat i la condició de *Salmo trutta* en estanys d'alta muntanya dels Pirineus. Treball de Fi de Màster. Universitat de Barcelona.
- MONCLÚS J. (2019). Estudi de l'edat, el creixement i la demografia de l'espècie invasora *Phoxinus* sp. en tres estanys dels Pirineus. Treball de Fi de Grau. Universitat de Girona.
- MAXWELL B. J., PIOVIA-SCOTT J., LAWLER S. P. Y POPE K. L. (2011). Indirect effects of introduced trout on Cascade frogs (*Rana cascadae*) via shared aquatic prey. *Freshwater Biology* 56, 828-838.
- MIRÓ A. (2011). Les truites als estanys dels Pirineus: Tradicions, vivències i implicacions per a la conservació. Pagès Editors, Llérida.
- MIRÓ A. Y VENTURA M. (2013). Historical use, fishing management and lake characteristics explain the presence of non-native trout in Pyrenean lakes: Implications for conservation. *Biological Conservation* 167, 17-24.
- MIRÓ A. Y VENTURA M. (2015). Evidence of exotic trout mediated minnow invasion in Pyrenean high mountain lakes. *Biological Invasions* 17, 791-803.
- MIRÓ A., SABÁS I. Y VENTURA M. (2018). Large negative effect of non-native trout and minnows on Pyrenean lake amphibians. *Biological Conservation* 218, 144-153.
- PECHLANER R. (1984). Historical evidence for the introduction of Arctic charr into high-mountain lakes of the Alps by man, 449-557.
- POU, Q., CAMPOS, M. Y FEO C (2013). «Projecte Estany». Una oportunitat per a la recuperació dels peixos autòctons a l'Estany de Banyoles. *Quaderns* 32: 83-92. CECB, Banyoles.
- POU-ROVIRA Q. (2013). Seguiment del poblament de peixos exòtics de l'Estany de Banyoles (2010-2013). Projecte Estany (LIFE08 NAT/E/000078).
- POU-ROVIRA Q. (2015A). Protocol d'eradicació de salmònids en estanys i rierols d'alta muntanya. LIFE LimnoPirineus.
- POU-ROVIRA Q. (2015B). Protocol de control o eradicació de *Phoxinus* sp en estanys d'alta muntanya. LIFE LimnoPirineus.
- POU-ROVIRA Q. (2015C). Optimització de tècniques i mètodes de control del barb roig (*Phoxinus* sp) en estanys d'alta muntanya del PNAP. Informe tècnic per al Parc Natural de l'Alt Pirineu. Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat, Espot (Pallars Sobirà).
- POU-ROVIRA Q. (2017). Seguiment del control de peixos exòtics a l'Estany de Banyoles (2014-2017). Informe final, LIFE Potamo Fauna (LIFE12 NAT/ES/001091).
- RAMADA L. (2019). Estudi i comparació del creixement, la supervivència i la condició de l'espècie *Salvelinus fontinalis* en tres estanys d'alta muntanya del Pirineu. Treball de Fi de Grau. Universitat de Girona.
- RODRÍGUEZ V. (2018). Estudi i comparació del creixement, la supervivència i la condició de l'espècie *Salmo trutta* a l'estany de Cap de Port de Peguera i el seu riu. Treball de Fi de Grau. Universitat de Girona.
- REISSIG M., TROCHINE C., QUEIMALINOS C., BALSEIRO E. Y MODENUTTI B. (2006). Impact of fish introduction on planktonic food webs in lakes of the Patagonian Plateau. *Biological Conservation* 132, 437-447.
- RYTWINSKI T., TAYLOR J. J., DONALDSON L. A., BRITTON J. A., BROWNE D. R., GRESSWELL R. E., LINTERMANS M., PRIOR K. A., PELLATT M. G., VIS C. Y COOKE S. J. (2018). The effectiveness of non-native fish removal techniques in freshwater ecosystems: a systematic review. *Environ. Rev.* 00: 1-24 (0000).
- SIBIC (Consulta: 01/09/2019). Carta piscícola espanyola. <http://www.cartapiscicola.es>.
- SI-EXOQUA (Consulta: 01/09/2019). Sistema d'Informació de les Espècies Exòtiques dels Ecosistemes Aquàtics de Catalunya. Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF) i Agència Catalana de l'Aigua (Generalitat de Catalunya).
- SIMBERLOFF D., MARTIN J. L., GENOVESI P., MARIS V., WARDLE D., ARONSON J., COURCHAMP F., GALIL B., GARCÍA-BERTHOU E., PASCHAL M., PYŠEK P., SOUSA R., TABACCHI E. Y VILÀ M. (2013). Impacts of Biological Invasions: What's What and the Way Forward. *Trends in ecology & evolution*, 28, 58-66.
- TIBERTI R. Y VON HARDENBERG A. (2012). Impact of introduced fish on Common frog (*Rana temporaria*) close to its altitudinal limit in alpine lakes. *Amphibia-Reptilia* 33, 303-307.
- TIBERTI R., BOGLIANI G., BRIGHENTI S., IACOBUZIO R., LIAUTAUD K., ROLLA M., VON HARDENBERG A. Y BASSANO B. (2018). Recovery of high mountain Alpine lakes after the eradication of introduced brook trout *Salvelinus fontinalis* using non-chemical methods. *Biological Invasions*.
- THOMAS S. RAYNER Y ROBERT G. CREESE (2006). A review of rotenone use for the control of non-indigenous fish in Australian fresh waters, and an attempted eradication of the noxious fish, *Phalloceros caudimaculatus*, New Zealand *Journal of Marine and Freshwater Research*, 40:3, 477-486.
- TYUS H. M. Y SAUNDERS J. F. (2000). Nonnative Fish Control and Endangered Fish Recovery: Lessons from the Colorado River. *Fisheries* 25(9): 17-24
- VENTURA M., TIBERTI R., BUCHACA T., BUÑAY D., SABAS I. Y MIRÓ A. (2017). Why should we preserve fishless high-mountain lakes? En: Catalan J., Ninot J., Aniz M. (eds.) *Advances in Global Change Research*, Vol. 62: High Mountain Conservation in a Changing World. Chapter 8. pp. 181-205. Springer International Publishing.
- WITTENBERG R., COCK M. J. W. (EDS.) (2001). *Invasive alien species: a Toolkit of Best Prevention and management Practices*. CAB International, Wallingford, Oxon, UK, XVII - 228.

**LIFE+LIMNOPIRINEUS:
CONSERVACIÓN DE
HÁBITATS Y ESPECIES
ACUÁTICAS DE LA ALTA
MONTAÑA DE LOS
PIRINEOS**

www.lifelimnopirineus.eu

