

LIFE+LIMNOPIRINEUS: CONSERVACIÓ D'HÀBITATS I ESPÈCIES AQUÀTIQUES DE L'ALTA MUNTANYA DEL PIRINEU

MEMÒRIA TÈCNICA



LIFE13 NAT/ES/001210 LIMNOPIRINEUS

**LIFE+LIMNOPIRINEUS:
CONSERVACIÓ D'HÀBITATS
I ESPÈCIES AQUÀTIQUES
DE L'ALTA MUNTANYA
DEL PIRINEU**

**LIFE+LIMNOPIRINEUS:
CONSERVACIÓ D'HÀBITATS
I ESPÈCIES AQUÀTIQUES
DE L'ALTA MUNTANYA
DEL PIRINEU**

COORDINADORS

**Empar Carrillo
Josep Maria Ninot
Teresa Buchaca
Marc Ventura**

DISSENY GRÀFIC

creativadisseny.cat

IMPREMPTA

GoPrinters

DEPÒSIT LEGAL

B 27920-2019

ISBN

978-84-18199-13-4

Coordinador:



Beneficiaris:



Co-finançador:





LIMNOPIRINEUS

~ Estany Nord de Delluí ~



06

Eliminació de peixos introduïts com a mesura de restauració dels estanys d'alta muntanya
POU-ROVIRA *et. al*

28

Canvis als estanys a partir de la reducció de les densitats de peixos
BUCHACA *et. al*

42

Ràpida recuperació de les poblacions d'amfibis en vuit estanys d'alta muntanya lligada a l'erradicació de peixos introduïts
MIRÓ *et. al*

54

Alteracions i canvis que afecten la conservació de la biodiversitat de l'estanho de Vilac (Val d'Aran)
CARRILLO *et. al*

72

El sistema de molleres de Trescuro: gradients ambientals i esdeveniments climàtics limiten la distribució local de les comunitats vegetals
COLOMER *et. al*

84

Hàbitats d'interès comunitari a les molleres d'Aigüestortes i de l'Alt Pallars: distribució, impactes i amenaces
PÉREZ-HAASE *et. al*

100

Avaluació de la percepció de visitants i residents sobre els ecosistemes aquàtics d'alta muntanya
ROMAGOSA *et. al*

108

Estat de conservació del cavilat (*Cottus hispaniolensis*) a la Val d'Aran
ROCASPANA *et. al*

114

Recuperació de torberes a l'embassament de la Font Grossa, Espot
NINOT *et. al*

RÀPIDA RECUPERACIÓ DE LES POBLACIONS D'AMFIBIS EN VUIT ESTANYS D'ALTA MUNTANYA LLIGADA A L'ERRADICACIÓ DE PEIXOS INTRODUÏTS

Alexandre MIRÓ (1), David O'BRIEN (2), Jan TOMÀS (1), Teresa BUCHACA (1), Ibor SABÁS (1), Victor OSORIO (1), Federica LUCATI (1, 3), Blanca FONT (4), Ismael JURADO (4), Meritxell CASES (4), Eloi CRUSET (4), Quim POU-ROVIRA (4) i Marc VENTURA (1)

1. Grup d'Ecologia Integrativa d'Aigües Continentals, Centre d'Estudis Avançats de Blanes (CEAB-CSIC). Carrer d'accés a la Cala St. Francesc, 14, 17300 Blanes, Catalunya, Espanya.
2. Scottish Natural Heritage, Great Glen House, Leachkin Road, Inverness IV3 8NW, Scotland, UK.
3. Centre for Ecology, Evolution and Environmental Changes (cE3c), Faculty of Sciences, University of Lisbon. Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal.
4. Sorelló, Estudis al Medi Aquàtic. Parc Científic de la UdG, 17003, Girona, Catalunya, Espanya.

RESUM

El projecte LIFE+ LimnoPirineus (2014-2019) té entre els seus objectius la recuperació de les poblacions d'amfibis en vuit estanys del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici i del Parc Natural de l'Alt Pirineu, mitjançant l'erradicació o el control de peixos introduïts. Durant els estius de 2014 a 2018, hem extret la pràctica totalitat dels peixos presents als estanys. Al llarg del període d'actuació, hem trobat que la majoria de les espècies d'amfibis autòctons presents en cada circ d'actuació han colonitzat de manera natural tots els estanys. Això mostra l'alta capacitat de recuperació de la fauna amfibia dels estanys d'alta muntanya després de reduir o eliminar la pressió exercida pels peixos introduïts.

INTRODUCCIÓ

Les espècies d'amfibis que viuen als estanys d'alta muntanya dels Pirineus, com passa en molts altres ecosistemes aquàtics, formen part de diferents compartiments alimentaris i estan involucrades en complexes relacions tròfiques que les converteixen en espècies clau (Wells, 2007). D'una banda, els capgrossos són fonamentalment herbívors i brostegen les algues i els altres microorganismes (bacteris i arqueus, principalment) que creixen sobre les pedres o el sediment del llit dels estanys i, d'aquesta manera, en mantenen l'estructura i la funcionalitat natural (Altig *et al.*, 2007; Nyström *et al.*, 2001). Al mateix temps, els capgrossos representen una font d'aliment per a depredadors aquàtics naturals, com ara les larves i els adults d'escarabats, els adults de sabaters i de nedadors d'esquena, i els tritons adults (McDiarmid i Altig, 2000). D'altra banda, els amfibis adults formen part de l'esglaó dels superdepredadors dels estanys naturals. Es troben

dalt de tot de la cadena tròfica i s'alimenten de diferents invertebrats, entre els quals hi ha els mateixos insectes depredadors dels capgrossos (Wells, 2007). Finalment, els amfibis en general són depredats per ocells, rèptils i mamífers terrestres que poden visitar més o menys freqüentment l'estany, la qual cosa suposa una font d'alimentació també per als ecosistemes circumdants (McDiarmid i Altig, 2000; Wells, 2007).

Tot i la seva importància ecològica, els amfibis dels estanys d'alta muntanya estan en declivi arreu del món a causa de diferents amenaces que redueixen o erradiquen poblacions senceres (Whittaker *et al.*, 2013). En aquest sentit, diversos estudis han mostrat l'efecte negatiu dels pesticides, les malalties infeccioses emergents i l'augment global de la temperatura (Bradford *et al.*, 2011; Maxwell i Knapp, 2018; Smith *et al.*, 2017). Tanmateix, l'amenaça més ben documentada en multitud de serralades, inclosa la dels Pirineus, és la presència de peixos introduïts o exòtics (Miró *et al.*, 2018; Ventura *et al.*, 2017).

Els estanys d'alta muntanya estan aïllats dels rius de la part baixa de les conques per barreres hidrogràfiques que impedeixen la colonització natural per part dels peixos (Pechlaner, 1984; Pister, 2001). Tot i això, sobretot durant els darrers segles i lligat a la pesca esportiva, s'hi ha dut a terme un procés global d'alliberament de peixos que ha implicat que estiguin presents en un bon nombre d'aquestes masses d'aigua a tot el món (e.g. Miró, 2011; Reissig *et al.*, 2006; Wiley, 2003). Als Pirineus, les introduccions s'han fet en èpoques històriques en alguns casos, però també en èpoques recents en molts d'altres, i han implicat la introducció de diferents espècies de truita o de barb roig en el 35 %-85 % dels estanys, depenent de la vall (Miró i Ventura, 2013;2015). L'impacte que causen els peixos introduïts als estanys rau en el fet que, en aquests ecosistemes, els peixos passen a constituir un esglaó alimentari superior que abans no existia. Els peixos (tant la truita com el barb roig) depreden directament sobre larves, juvenils i adults d'amfibis fins a eliminar-

los en la majoria dels casos (Knapp, 2005; Miró *et al.*, 2018; Tiberti i von Hardenberg, 2012), però també els perjudiquen indirectament esgotant les larves d'insectes i altres invertebrats que són preses comunes (Maxwell *et al.*, 2011).

Durant les darreres dècades, diferents projectes de conservació combinats amb estudis científics han mostrat que els impactes descrits es poden revertir (Knapp *et al.*, 2016). A la dècada de 1990 es va portar a terme la primera experiència d'erradicació de truites exòtiques en estanys d'alta muntanya, a Sierra Nevada, Califòrnia (Knapp i Matthews, 1998). Aquest estudi, juntament amb altres de posteriors a la mateixa àrea, han documentat l'eficàcia de les xarxes tipus tresmall per erradicar poblacions de truites als estanys d'alta muntanya i fomentar la recuperació de poblacions d'amfibis autòctons en un termini d'entre un i tres anys després de començar l'erradicació. En aquells casos, es va mostrar la recuperació de les poblacions d'una granota autòctona amenaçada a Sierra Nevada, la *Rana muscosa* (Knapp *et al.*, 2007; Vredenburg, 2004). Posteriorment, treballs més recents han demostrat la recuperació de dues altres espècies de granota, la *Rana cascadae* a les Klamath Mountains, al nord de Califòrnia, i la *Rana temporaria* als Alps italians, en un període d'entre dos i cinc anys després d'iniciar els projectes d'erradicació (Pope, 2008; Tiberti *et al.*, 2018). Els estudis esmentats també han documentat la dificultat que tenen alguns amfibis d'alta muntanya per colonitzar noves localitats, com ara la *R. muscosa*, que està condicionada per una distància màxima de dispersió d'1 quilòmetre (Pope *et al.*, 2001).

Les experiències recents de Califòrnia i els Alps demostren la ràpida recuperació d'una espècie de granota en cada cas, després d'erradicar les truites exòtiques. Tanmateix, les comunitats autòctones d'amfibis als estanys d'alta muntanya poden arribar a tenir fins a quatre o cinc espècies (Knapp, 2005; Miró *et al.*, 2018) i poden estar amenaçades pel barb roig a banda de per les truites (Miró i Ventura, 2015; Miró *et al.*, 2018). Per tant, és d'interès general estudiar fins a quin punt és possible

recuperar la comunitat sencera d'amfibis d'un estany mitjançant l'erradicació de peixos introduïts, que poden incloure les truites, però també el barb roig. Respondre a aquests interrogants és especialment important per a la conservació dels amfibis d'alta muntanya, ja que es coneixen altres factors negatius addicionals que els perjudiquen i que afegeixen incertesa a les possibilitats de restauració. Estem parlant dels pesticides, les malalties infeccioses emergents i l'augment global de la temperatura (Bradford *et al.*, 2011; Maxwell i Knapp, 2018; Smith *et al.*, 2017).

L'objectiu principal d'aquest estudi ha estat investigar la recuperació de la comunitat d'amfibis de vuit estanys d'alta muntanya dels Pirineus després d'iniciar accions d'erradicació de la truita i el barb roig. Concretament, hem volgut respondre quatre preguntes específiques: (i) És possible la recuperació natural de la comunitat sencera d'amfibis a partir de l'erradicació dels peixos introduïts? (ii) Es pot assolir la recuperació en només uns pocs anys tal com sabem que passa amb espècies individuals d'anurs? (iii) Els individus i les espècies colonitzadores provindrien de localitats properes o allunyades? (iv) Hi hauria alguna diferència en la recuperació dels amfibis dependent de si els peixos introduïts presents a l'estany són truita o barb roig? Les conclusions de l'estudi poden ser útils per dissenyar, valorar i executar futurs projectes de conservació amb objectius similars.

MÈTODES

Àrea d'estudi

L'estudi l'hem dut a terme en els vuit estanys objectiu del projecte LIFE+ LimnoPirineus (2014-2019), on hem realitzat accions d'erradicació i control de truita i barb roig introduïts (Buchaca *et al.*, 2016). Els vuit estanys estan situats dins d'espais protegits inclosos en la Xarxa Natura 2000, cinc d'ells al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (Dellui Mig, Dellui Nord, Subenuix, La Cabana i Cap del Port) i els altres tres al

Nom (codi)	Àrea protegida ^a	Màxima fondària (m)	Superfície (ha)	Altitud (msnm)	Espècies de peixos 2012 ^b	Any d'inici erradicació de peixos	Espècies d'amfibis 2012 ^c	Espècies d'amfibis 2018 ^c
Dellui Nord (1831)	PNAESM	6,7	0,35	2.306	STR, PPH	2015		Casp
Dellui Mig (1838)	PNAESM	6,2	1,09	2.314	STR, PPH	2015		Rtem, Bspi, Casp
Subenuix (2066)	PNAESM	11	2,64	2.194	SFO	2015		Rtem, Casp
Cap del Port (2213)	PNAESM	31,7	7,35	2.521	STR	2016		Rtem
Cabana (2259)	PNAESM	11,7	2,33	2.376	OMY	2017		Rtem, Casp
Closell (2468)	PNAP	3,7	0,75	2.074	PPH	2013	Bspi	Rtem, Bspi, Lhel
Naorte (2479)	PNAP	14	3,94	2.150	PPH	2015		Rtem, Lhel
Rovinets (2654)	PNAP	5,4	0,37	2.223	PPH	2016	Lhel	Rtem, Lhel

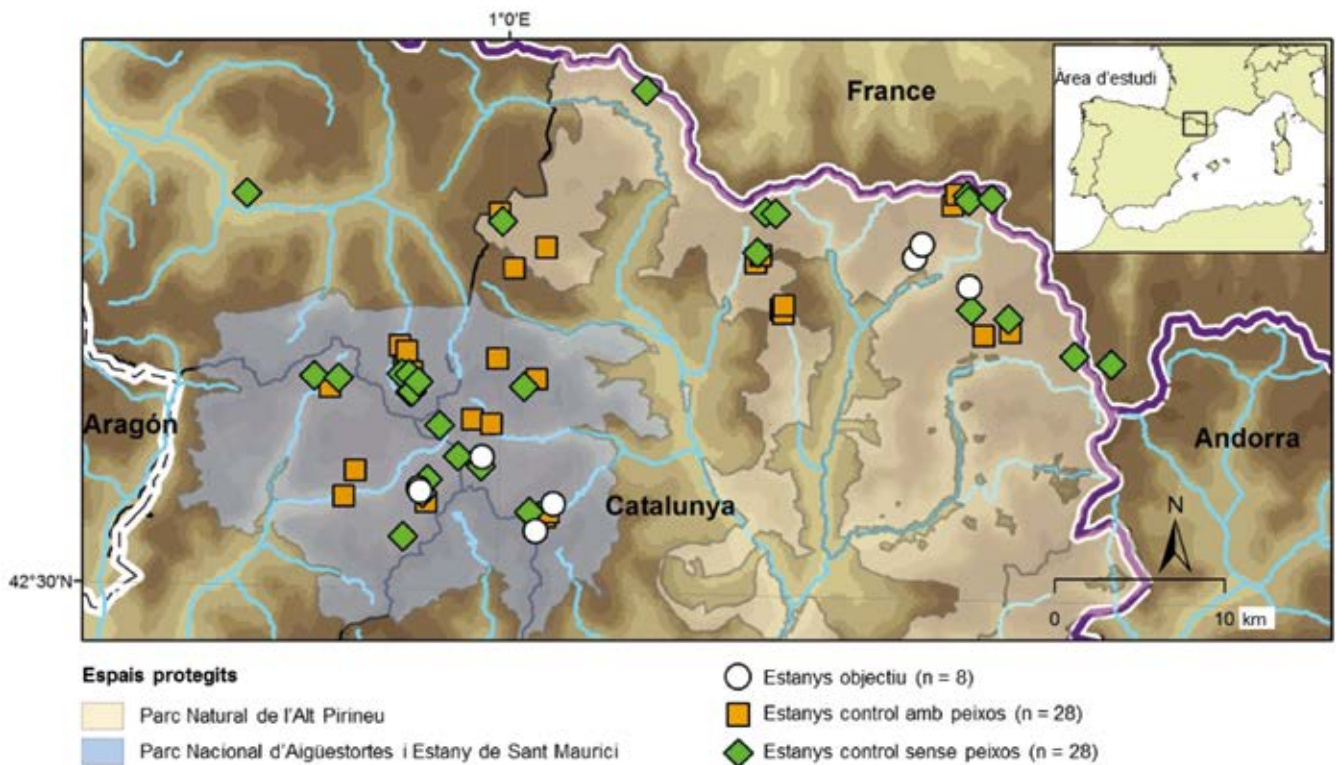
Parc Natural de l'Alt Pirineu (Closell, Naorte i Rovinets). A la taula 1 hem anotat les característiques topogràfiques dels vuit estanys i les espècies de peixos i amfibis presents. Per poder tenir dades comparatives de referència, vam escollir 56 estanys control situats a la mateixa àrea d'estudi que els estanys objectiu i amb característiques semblants (figura 1). La meitat dels estanys control tenien truita o barb roig o tots dos, i l'altra meitat no tenien peixos. Bona part dels estanys control coincidien amb els estanys control escollits pel programa de seguiment limnològic del projecte LIFE+ LimnoPirineus (Buchaca *et al.*, 2016), que vam complementar amb altres estanys amb presència d'espècies concretes d'amfibis. En tots els casos, coneixíem la presència o l'absència prèvia de les espècies d'amfibis per censos fets en estudis anteriors (Miró *et al.*, 2018).

▼ **Figura 1.** Mapa de situació dels estanys objectiu i dels estanys control del pla de seguiment d'amfibis del projecte LIFE+ LimnoPirineus.

Erradicació de peixos introduïts

A partir de l'any 2015, hem portat a terme, en els vuit estanys objectiu, les tasques d'erradicació de truita i barb roig introduïts previstes en el projecte LIFE+ LimnoPirineus. Tres dels estanys objectiu tenien només poblacions de barb roig, tres més tenien una espècie de truita cadascun i els dos darrers tenien els dos grups de peixos, barb roig i truita. Les espècies concretes presents a cada estany objectiu apareixen a la taula 1. Atès que al començament de les tasques d'erradicació es capturen la majoria dels peixos i es genera un gran volum de feina, els treballs d'extracció no es poden iniciar a tots els estanys al mateix temps. Per tant, vam posar-los en marxa el 2015 als primers estanys i, els anys següents, vam començar a treballar als altres de manera successiva. (Taula 1; Buchaca *et al.*, 2019). Excepcionalment, en el cas de l'estany Closell, les feines d'erradicació les vam iniciar l'any 2013, en el context d'un projecte experimental específic per avaluar les possibilitats i els mètodes més escaients per afrontar l'erradicació del barb roig en estanys d'alta muntanya.

Els mètodes utilitzats en les campanyes d'erradicació han estat tres: les xarxes tipus tresmall (llums de malla de 5 a 43 mm), la pesca elèctrica a la franja litoral i les tram-



◀ **Taula 1.** Característiques descriptives dels vuit estanys objectiu i espècies de peixos i amfibis presents.

- a) PNAESM: Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici. PNAP: Parc Natural de l'Alt Pirineu.
- b) STR: Truita comuna (*Salmo trutta*). OMY: Truita irisada (*Oncorhynchus mykiss*). SFO: Truita de rierol (*Salvelinus fontinalis*). PPH: Barb roig (*Phoxinus sp.*).
- c) Rtem: Granota roja (*Rana temporaria*). Bspi: Gripau comú (*Bufo spinosus*). Casp: Tritó pirinenc (*Calotriton asper*). Lhel: Tritó palmat (*Lissotriton helveticus*).

pes tipus barbol (llum de malla de 4 mm). Els dos primers mètodes ja havien estat provats prèviament en estanys d'alta muntanya de Califòrnia i dels Alps i en coneixíem l'eficàcia per a la captura de truites (Knapp i Matthews, 1998; Tiberti *et al.*, 2018). Les trapes tubulars tipus barbol, muntades gairebé submergides i recolzades sobre el llit rocós o fangós del litoral, havien estat força eficaces per capturar barbs roigs al projecte previ de l'estany Closell. La revisió i el buidatge de les xarxes i les trapes els hem anat fent amb freqüència diària a l'iniciar l'erradicació en cada estany i amb freqüència setmanal un cop han anat disminuint les captures. La pesca elèctrica a la franja litoral l'hem fet aproximadament un cop per setmana a cada estany on s'estava treballant.

Seguiment d'amfibis

Al mateix temps que progressàvem en l'erradicació de peixos, hem anat documentant els canvis en les poblacions d'amfibis dels estanys objectiu, tant pel que fa a presència com a abundància. Els censos que havíem fet en estudis previs havien mostrat la presència de cinc espècies d'amfibis a l'àrea d'estudi (Miró *et al.*, 2018). Tres eren anurs o amfibis sense cua: la granota roja (*Rana temporaria*), el gripau comú (*Bufo spinosus*) i el tòtil (*Alytes obstetricans*). Els altres dos eren urodels o amfibis amb cua: el tritó pirinenc (*Calotriton asper*) i el tritó palmat (*Lissotriton helveticus*). Aquestes són les cinc espècies d'amfibis que vam integrar en aquest estudi. Tanmateix, cal tenir present que una d'elles, el gripau comú, igual que les altres espècies del gènere *Bufo*, habitualment no es veu afectada negativament pels peixos introduïts (Knapp, 2005; Miró *et al.*, 2018), a causa de les toxines presents a la seva pell, tant a la fase larvària com a la fase adulta (Benard i Fordyce, 2003). Al començar els treballs d'erradicació de peixos, tan sols hi havia dos estanys objectiu que tenien amfibis: a l'estany Closell hi havia gripau comú i a l'estany de Rovinets tritó palmat (taula 1).

Les dades sobre presència i abundància d'amfibis als vuit estanys objectiu les hem obtingut de dues fonts d'informació diferents: (i) les captures de fauna acompanyant durant els treballs d'erradicació de peixos, i (ii) els censos específics d'amfibis. Pel que fa a la primera font d'informació, durant la realització dels treballs d'erradicació de truita i barb roig introduïts, un cop les densitats de peixos s'havien reduït considerablement, hem anat capturant exemplars adults i larves d'amfibis que ens han permès documentar ràpidament els esdeveniments de colonització. Les captures les hem trobat sobretot a les trapes tipus barbol instal·lades al litoral dels estanys i no han representat cap perjudici per als amfibis capturats, que eren alliberats altre cop a l'estany una vegada censats i mesurats.

Pel que fa a la segona font de dades, hem fet censos anuals d'amfibis en els vuit estanys objectiu, durant els estius dels anys 2012 fins al 2018, per detectar i quantificar les abundàncies de les diferents espècies. Els censos als estanys control els hem fet repartits durant el mateix període d'estudi (2012-2018), visitant-los una vegada cadascun tot seguint el calendari preestablert de seguiment

limnològic del projecte LIFE+ LimnoPirineus (Buchaca *et al.*, 2016; Buchaca *et al.*, 2019).

La metodologia que hem aplicat als censos d'amfibis ha estat l'encontre visual (Crump i Scott Jr., 1994). Preferentment durant les hores de més insolació, hem caminat per tot el litoral de l'estany cercant visualment els adults i les larves d'amfibis, dels quals n'hem estimat l'abundància per metre lineal de litoral. En el cas del tritó pirinenc, atès que aquesta espècie és activa bàsicament a les hores de foscor, hem realitzat censos addicionals nocturns. Els censos nocturns els hem fet també cercant els amfibis per encontre visual mentre il·luminàvem el litoral de l'estany amb llanternes frontals, tal com marca el protocol britànic especialitzat en aquesta tasca (ARG-UK, 2013). En el cas del tritó palmat, atès que aquests animals són força actius a la columna d'aigua, on naden freqüentment per alimentar-se, hem utilitzat les captures a les trapes tipus barbol. En tots els casos, per a cada espècie, hem aplicat la mateixa metodologia de cens a tots els estanys estudiats. Les diferències d'abundància relacionades amb els mètodes específics i amb les diverses estratègies de reproducció pel que fa a la mida i el nombre de larves produïdes les hem homogeneïtzat reescalant les abundàncies per espècies (vegeu l'explicació detallada als paràgrafs següents).

Anàlisi estadística

Hem dut a terme diferents anàlisis estadístiques específiques per respondre a cadascuna de les quatre preguntes que hem exposat al final de la introducció. Prèviament, per poder copsar correctament els canvis temporals que han tingut lloc als vuit estanys objectiu, hem estandaritzat totes les dades en funció de l'any en què havíem començat les tasques d'erradicació de peixos. D'aquesta manera, per a cada estany objectiu, hem assignat el valor -1 a l'any anterior a l'inici dels treballs d'erradicació, el valor 0 a l'any en què hem iniciat les tasques d'erradicació, i els valors +1, +2, +3, +4 i +5 als anys següents successius. Els anys estandaritzats +4 i +5 no els hem inclòs en totes les anàlisis estadístiques, ja que, en aquests dos anys, només hi tenim l'estany Closell.

L'abundància de peixos extrets l'hem calculat a partir de les captures de truites a les xarxes i de barb roig a les trapes barbol. Les dades les hem transformat totes en captures per unitat d'esforç (CPUE). Concretament, en el cas de les truites, les hem transformat en «individus / hm de xarxa × dia», i en el cas dels barbs roigs en «individus / trampa × dia». Per a l'abundància de barb roig, tenim dades fins a l'any estandaritzat +5, mentre que per a les truites en tenim fins a l'any +3.

La recuperació de la comunitat d'amfibis als estanys objectiu i el termini en què es podia assolir els hem quantificat al mateix temps i utilitzant dos mètodes diferents. D'una banda, hem calculat la riquesa específica de cada estany i, de l'altra, l'abundància de les diferents espècies que hem trobat. Llavors hem comparat les dades dels estanys objectiu per als diferents anys estandaritzats (del -1 al +3) amb els dos grups d'estanys control, amb peixos i sense peixos, mitjançant un test d'homogeneïtat de grups no paramètric Kruskal-Wallis (Hollander *et al.*, 2014).

El grau de proximitat de les poblacions colonitzadores l'hem investigat construint una taula de contingència amb totes les espècies d'amfibis estudiades i que són potencials colonitzadores dels estanys objectiu. Això ens dona un total de 38 colonitzacions potencials: 5 espècies \times 8 estanys objectiu, però exclouent els dos casos d'amfibis presents als estanys objectiu a l'inici de les tasques d'erradicació. Llavors hem aplicat un test Chi quadrat (Agresti, 2007) als factors «esdeveniment de colonització durant tot el període estudiat (sí/no)» i «presència de l'espècie a la mateixa vall de cada estany objectiu (sí/no)».

Adicionalment, hem investigat la importància de les colonitzacions properes calculant la correlació de Mantel (Legendre i Legendre, 2012) per als diversos anys estandaritzats per separat (del -1 al +2), entre la matriu de distàncies geogràfiques per als estanys objectiu i la matriu de distàncies extreta de les seves comunitats d'amfibis. La matriu de distàncies de les comunitats d'amfibis l'hem construït calculant les distàncies euclidianes entre estanys a partir de les taules d'abundàncies de les espècies, per a cada any estandaritzat. Prèviament i per tal de reduir la diferència de rang de les abundàncies i equilibrar el pes de les diferents espècies, hem transformat les abundàncies al seu logaritme +1, i les hem reescalat entre 0 i 1 per a cada espècie separatament (Legendre i Legendre, 2012). Finalment, abans de calcular la distància euclidiana entre les comunitats dels estanys, hem normalitzat les abundàncies d'amfibis mitjançant la transformació de Hellinger (Legendre i Gallagher, 2001). Per poder tenir com a referència els valors amb absència d'amfibis, hem mantingut també les localitats sense cap espècie dins de les matrius de dades. Els tests de Mantel els hem aplicat utilitzant la correlació de Pearson i 9.999 permutacions (Legendre i Legendre, 2012).

La possibilitat que el tipus de peixos introduïts presents a cada estany objectiu (truita o barb roig) pugui tenir alguna influència sobre la recuperació de la comunitat

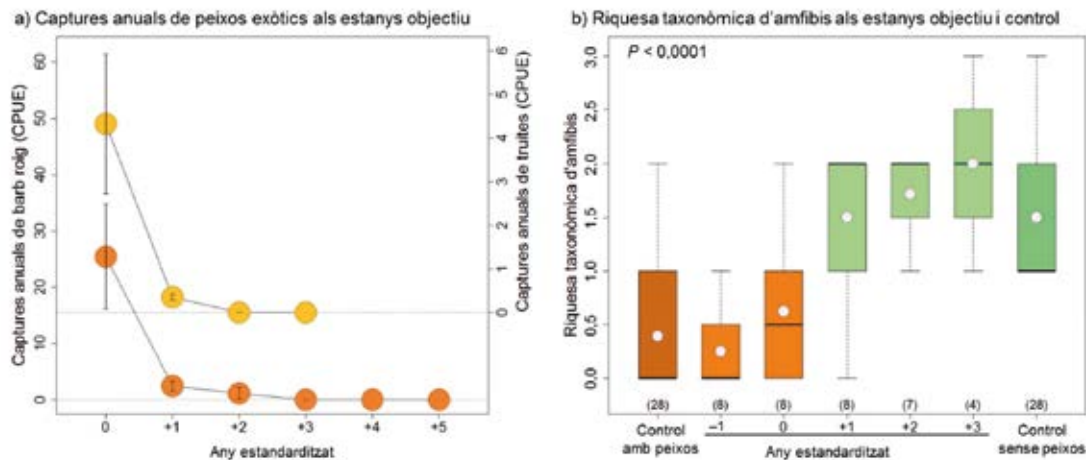
d'amfibis l'hem investigat mitjançant una anàlisi multivariant permutacional de la variància (PERMANOVA, Anderson i Gorley, 2008). L'anàlisi l'hem aplicat sobre la mateixa matriu de distàncies euclidianes basada en la comunitat d'amfibis i explicada al paràgraf anterior. En aquest cas, per evitar correlacions casuals, hem unificat les dues espècies de tritons estudiades (*C. asper* i *L. helveticus*) en un sol tàxon, anomenat tritons, ja que la seva distribució en les valls dels estanys objectiu era, bàsicament, discordant i concordant respectivament, amb la presència/absència de barb roig (Miró *et al.*, 2018). D'aquesta manera, hem pogut testar la relació de la comunitat d'amfibis, en cada any estandaritzat (del -1 al +2), amb els dos factors «presència de truites a l'estany (sí/no)» o «presència de barb roig a l'estany (sí/no)».

Finalment, per poder preveure possibles biaixos en les anàlisis PERMANOVA, hem testat l'homogeneïtat de la variància multivariant de les dades d'amfibis per a les dues categories (sí/no) dels factors «presència de truita» i «presència de barb roig» per als anys estandaritzats del -1 al +2. Això ho hem avaluat aplicant una ANOVA per testar les diferències entre les distàncies dels membres de cada categoria fins al centroide (mediana espacial) en un espai de coordenades principals (PCoA; Anderson, 2006).

Les anàlisis estadístiques les hem fet amb el programa R, utilitzant les funcions bàsiques (R Core Team, 2018) i el paquet *vegan* (Oksanen *et al.*, 2018), excepte l'anàlisi PERMANOVA, que l'hem dut a terme amb el programa PERMANOVA+ per PRIMER (Anderson i Gorley, 2008). El nivell de significació que hem adoptat per a totes les anàlisis ha estat $\alpha = 0,05$.

RESULTATS

Les accions d'erradicació de peixos introduïts van permetre capturar-ne la major part durant l'any en què es van



▲ **Figura 2.** Mitjana i \pm SE de captures anuals per unitat d'esforç (CPUE, individus / trampa \times dia per a barb roig i individus / hm de xarxa \times dia per a truita) de peixos introduïts (a), i *boxplots* que mostren la riquesa taxonòmica d'espècies d'amfibis per anys estandaritzats als vuit estanys objectiu (b). Als extrems de la gràfica b hem afegit la riquesa específica d'amfibis en els estanys control amb peixos i sense peixos. A la part inferior de la gràfica es pot veure el nombre d'estanys inclosos en cada categoria i a la part superior el *p*-valor del test Kruskal-Wallis d'homogeneïtat entre totes les categories. Els *boxplots* de color marró han mostrat diferències significatives respecte dels de color verd en el test post-hoc. El punt blanc als *boxplots* indica la mitjana aritmètica.

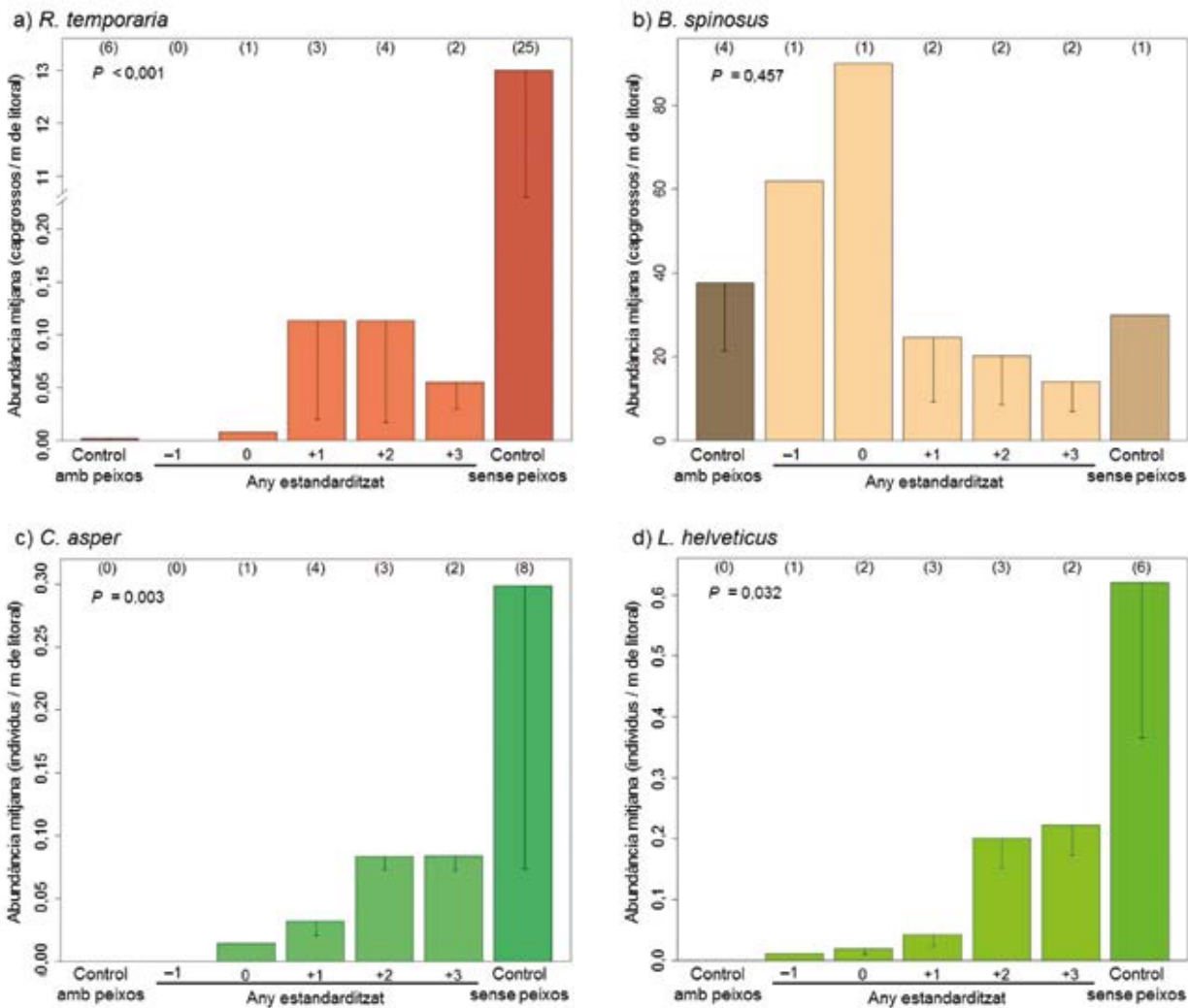
posar en marxa (any estandarditzat 0), i es van assolir valors de zero captures, o molt propers, dos anys després d’iniciar-se els treballs en el cas de la truita i tres anys després en el cas del barb roig (anys estandarditzats +2 i +3, respectivament; figura 2a). L’estiu de 2018, el darrer que va aportar dades per a aquest estudi, ja no vam capturar truites en tres dels estanys objectiu, Subenuix i Dellui Mig i Dellui Nord. Per a la resta, vam obtenir reduccions en les poblacions de més del 98 %.

La comunitat d’amfibis dels vuit estanys objectiu va respondre ràpidament a la disminució de les poblacions de peixos introduïts. La riquesa específica es va recuperar fins a equiparar-se als nivells dels estanys control sense peixos, només un any després d’haver iniciat les tasques d’erradicació (any estandarditzat +1; figura 2b). En canvi, les abundàncies de les diferents espècies que són sensibles a la presència de peixos (granota roja i tritons pirinenc i palmat) no van assolir les abundàncies naturals de referència en tot el període d’estudi (figura 3). Especialment

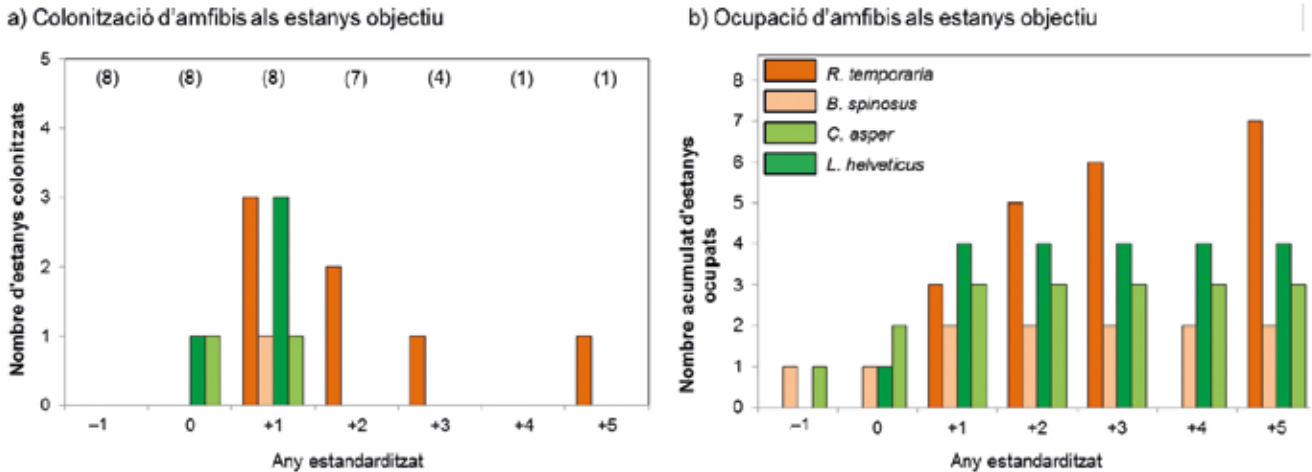
en el cas de la granota roja, les abundàncies dels estanys objectiu a l’any estandarditzat +2 eren un ordre inferior a les dels estanys control sense peixos (figura 3a).

Les poblacions properes que romanien refugiades a les diferents valls han estat crucials per propiciar la ràpida recuperació de la comunitat d’amfibis. Dels 38 episodis potencials de colonització que es podien produir als vuit estanys objectiu, n’hem documentat 14, dos d’ells durant l’any en què es van començar les tasques d’erradicació i vuit durant l’any següent (taula 1 i figura 4a). En tots els casos, les colonitzacions han estat d’espècies presents a la mateixa vall de l’estany objectiu (Chi quadrat= 19,95, p valor <0,0001). Sis colonitzacions potencials d’espècies que es trobaven a la mateixa vall no s’han produït encara. Igualment, durant el període d’estudi, no s’ha produït cap de les 18 colonitzacions potencials que afectarien espècies que no es trobaven a la mateixa vall.

Les colonitzacions protagonitzades per les dues espècies de tritons han estat les més primerenques i s’han pro-



▲ **Figura 3.** Abundància i SE per anys estandarditzats de les espècies d’amfibis trobades als vuit estanys objectiu, *Rana temporaria* (a), *Bufo spinosus* (b), *Calotriton asper* (c) i *Lissotriton helveticus* (d). Als extrems de cada gràfica hem afegit l’abundància i l’error estàndard dels estanys control, amb peixos i sense peixos. A la part superior de la gràfica es pot veure el nombre d’estanys inclosos en cada categoria i el p-valor del test Kruskal-Wallis d’homogeneïtat entre totes les categories. Els segments SE indiquen només el valor negatiu.



▲ **Figura 4.** Esdeveniments de colonització (a) i presència acumulada (b) d'espècies d'amfibis als vuit estanys objectiu. A la part superior del gràfic (a) s'indica el nombre d'estanys recollit dins de cada any estandarditzat. El codi de color per a cada espècie es mostra a la llegenda de la gràfica (b).

duït totes al mateix any o al següent després de començar les tasques d'erradicació (anys estandarditzats 0 i +1 respectivament; taula 1 i figura 4a). En canvi, la granota roja presenta un patró de colonització més lent però més perllongat, ja que, a banda de protagonitzar colonitzacions des de l'any després de començar les accions d'erradicació, va seguir colonitzant durant la resta d'anys fins a arribar a establir-se en set dels vuit estanys objectiu (figures 4a i 4b). L'alt ritme de colonitzacions i d'establiment de les noves poblacions ha fet que, a l'estiu de l'any 2018, ja hi haguessin amfibis als vuit estanys objectiu, amb presència, en conjunt, de quatre de les cinc espècies que potencialment podien arribar-hi (figura 4b).

Els tests de Mantel van confirmar la importància de les localitats properes per explicar la composició de les comunitats d'amfibis dels estanys objectiu. Aquesta anàlisi va il·lustrar que, l'any anterior a l'inici de les tasques d'erradicació, les comunitats d'amfibis no mostraven correlació amb les distàncies geogràfiques entre estanys (Mantel $r = 0,354$ i $p\text{-valor} = 0,071$, any estandarditzat -1). En canvi, l'any en què es van començar les accions d'erradicació i els següents, les comunitats d'amfibis mostraven correlació positiva amb les distàncies geogràfiques, la qual cosa posa de relleu que els estanys més propers s'assemblaven més entre ells que amb els més allunyats (Mantel $r = 0,454$ i $p\text{-valor} = 0,012$ per a l'any estandarditzat 0, Mantel $r = 0,644$ i $p\text{-valor} = 0,004$ per a l'any +1, i Mantel $r = 0,617$ i $p\text{-valor} = 0,043$ per a l'any +2).

No hem trobat diferències en la recuperació de la comunitat d'amfibis dels estanys objectiu en funció que tinguessin diferents tipus de peixos introduïts, ja fossin truites o barb roig. Les anàlisis PERMANOVA van mostrar que els dos factors «presència de truita (sí/no)» o «presència de barb roig (sí/no)» no eren significatius per explicar la composició i l'abundància de la comunitat d'amfibis per als diferents anys estudiats, des de l'any anterior a començar els treballs d'erradicació fins a dos anys després d'iniciar-los. Els $p\text{-valors}$ obtinguts pels factors presència

de truita i de barb roig van ser, respectivament: 0,440 i 1 per a l'any estandarditzat -1; 0,640 i 0,637 per a l'any 0; 0,517 i 0,600 per a l'any +1, i 0,540 i 0,616 per a l'any +2. La interacció entre els dos factors també va resultar no significativa ($p\text{-valor} = 0,404$) l'únic any que hi va haver dades suficients per analitzar-la (any estandarditzat +2).

Les anàlisis PERMANOVA anteriors van resultar no significatives, tot i que, en alguns casos, no hi havia homogeneïtat de variància multivariant en les dades d'amfibis per a les dues categories (sí/no) dels factors «presència de truita» o «presència de barb roig». Els $p\text{-valors}$ obtinguts en l'anàlisi d'homogeneïtat de variància multivariant per als dos factors van ser, respectivament: 0,002 i 0,266 per a l'any estandarditzat -1; 0,073 i 0,004 per a l'any 0; 0,974 i 0,475 per a l'any +1, i 0,951 i 0,332 per a l'any +2.

DISCUSSIÓ

Les dades que hem recollit ens han permès respondre a totes les preguntes que ens havíem plantejat. (i) La recuperació de la comunitat d'amfibis sencera es pot assolir en estanys d'alta muntanya portant a terme accions d'erradicació dels peixos introduïts. (ii) La recuperació de la riquesa específica s'assoleix l'any següent de començar les accions d'erradicació. La recuperació de les abundàncies de les diferents espècies necessita un període de temps més llarg que el que hem tingut en aquest estudi. (iii) Les poblacions refugi properes són crucials per a la restauració, ja que totes les 14 colonitzacions d'amfibis documentades provenen de poblacions situades a la mateixa vall que l'estany objectiu receptor. (iv) Les dades de què disposem no mostren cap influència del tipus de peix introduït present a l'estany objectiu (truita o barb roig) en la recuperació de la comunitat d'amfibis.

Les dades mostren que les poblacions d'amfibis s'han anat recuperant pels seus propis mitjans, fins als nivells de riquesa específica dels estanys naturals de referència, a

mesura que hem anat progressant en els treballs d'erradicació de peixos. Aquest fet ens demostra l'alta capacitat de recuperació (resiliència) de la fauna amfíbia dels estanys d'alta muntanya un cop hem reduït o eliminat la pressió que la mantenia absent. Els nostres resultats, doncs, es troben en la mateixa línia que els estudis fets amb espècies individuals de granota a Califòrnia i als Alps, que van mostrar unes recuperacions força ràpides, en períodes de temps de només alguns anys (Knapp *et al.*, 2007; Pope, 2008; Tiberti *et al.*, 2018; Vredenburg, 2004). Altres grups d'organismes, com els macroinvertebrats més conspicus o els crustacis planctònics, també havien mostrat una resiliència molt alta, en estanys d'alta muntanya de Califòrnia, després d'erradicar els peixos introduïts (Knapp *et al.*, 2001). Als Pirineus, els resultats obtinguts en un estudi paral·lel (Buchaca *et al.*, 2019) mostren que, a banda dels amfibis, el grup que presenta una resposta més clara a l'erradicació dels peixos són els macroinvertebrats del litoral, els quals incrementen la riquesa de tàxons progressivament i la seva composició convergeix amb la dels estanys naturals. El canvi en la biomassa de les algues del perifiton és menys acusat i només es produeix allí on hi havia hagut barb roig, sol o acompanyat d'alguna espècie de salmònid. En el sistema pelàgic només s'observava un augment en les abundàncies dels crustacis i una disminució en la biomassa del fitoplàncton allí on hi havia hagut barb roig com a única espècie (Buchaca *et al.*, 2019).

Tanmateix, el fet més remarcable en el nostre cas és la recuperació del conjunt de tota la comunitat d'amfibis després d'erradicar o controlar els peixos introduïts. Fins ara, s'havia descrit només la recuperació d'una sola espècie de granota en diferents casos (Knapp *et al.*, 2007; Pope, 2008; Tiberti *et al.*, 2018; Vredenburg, 2004), però no de tota la comunitat.

Hem comprovat que les diferents espècies d'amfibis autòctons presents a cada circ han anat colonitzant els estanys ràpidament. Les primeres colonitzacions naturals d'amfibis les hem observat, en tots els casos, a partir del primer o el segon any dels treballs d'erradicació, tot i que encara quedava una certa fracció de peixos als estanys. En aquest sentit, pren una gran importància la conservació de les poblacions aïllades d'amfibis que queden refugiades en algunes valls o circs. Aquestes poblacions marginals tenen una importància capital directa, ja que mantenen la possibilitat de supervivència local de l'espècie. Al mateix temps, també tenen una gran importància indirecta com a poblacions font per proporcionar individus colonitzadors en el context de futures accions de conservació semblants.

Pel que fa a la rapidesa de colonització de les diferents espècies, sembla que el tritó pirinenc i el tritó palmat colonitzen i es reproduïxen als estanys d'actuació més ràpidament que la granota roja. Això suggereix que els tritons són menys sensibles a la presència de peixos i no discriminen els estanys on hi són presents. En canvi, la colonització retardada de la granota roja suggereix que els adults d'aquesta espècie refusen per a la reproducció els estanys on hi ha hagut o queden encara alguns peixos, fins i tot, amb una certa inèrcia després de desaparèixer el risc de depredació. Això es podria explicar per

una sensibilitat més elevada per detectar la presència de substàncies químiques excretades pels peixos, que portaria aquesta espècie a prioritzar localitats de posta més segures. En el cas dels tritons palmat i pirinenc, la dinàmica que hem observat ens porta a pensar que fan cert nombre de migracions cap als estanys amb independència de si hi ha peixos o no. Per tant, és molt probable que un gran nombre d'aquests tritons migradors habitualment siguin depredats quan arriben a un estany amb peixos.

La recuperació de les poblacions d'amfibis l'hem observat amb la mateixa rapidesa i elasticitat en els vuit estanys, independentment de les espècies de peixos introduïdes. Aquesta és una altra novetat remarcable que aporta el nostre estudi, ja que, fins ara, totes les accions d'erradicació en estanys d'alta muntanya s'havien portat a terme només treballant amb truites exòtiques. Les nostres dades mostren que l'erradicació de barb roig requereix més temps que la de la truita, però finalment, en tots dos casos, s'acaba obtenint el mateix resultat, que és completament exitós pel que fa a la recuperació dels amfibis autòctons.

Tanmateix, la recuperació dels amfibis que hem observat es manté sota un risc evident si en algun cas no es poden erradicar tots els peixos presents o bé s'aturen les accions de control abans d'acabar l'erradicació (en alguns dels estanys amb barb roig, durant el termini del projecte LIFE+ LimnoPirineus, l'objectiu era controlar però no erradicar els peixos introduïts). En aquest cas només alguns peixos que sobrevisquessin a les tasques d'erradicació o control serien suficients per restablir les poblacions senceres en alguns anys. Amb l'objectiu de reduir aquest risc, el projecte LIFE+ LimnoPirineus preveia, des de l'inici, un pla postprojecte que pretenia facilitar la continuació de les accions d'erradicació o control, quan fos necessari, més enllà del seu acabament, al maig de 2019. Les futures accions previstes per aquest pla haurien de garantir el control de les poblacions de peixos introduïts als estanys que no hagin quedat lliures de peixos. Només així es podrà assegurar que la recuperació dels amfibis autòctons es pugui consolidar i sostenir a mitjà i llarg termini.

CONCLUSIONS

Hem de concloure que la recuperació de la comunitat sencera d'amfibis en estanys d'alta muntanya és possible després d'erradicar o reduir dràsticament les poblacions de peixos introduïts. A més, queda clar que, pel que fa a la presència de les diferents espècies d'amfibis, la recuperació es pot assolir tan sols dos anys després d'haver iniciat les accions d'erradicació. Aquestes conclusions es poden aplicar clarament al disseny o a l'execució de futurs projectes de conservació en estanys d'alta muntanya. Tanmateix, si volem anar més enllà en els objectius de conservació, ens cal fomentar activament l'abandonament de les introduccions de peixos als estanys d'alta muntanya, tant si són dins com fora d'un espai protegit. Aquesta seria la millor manera d'evitar que l'hàbitat adequat i favorable per als amfibis disminueixi encara més a les àrees d'alta muntanya.

AGRAÏMENTS

Els autors volem fer arribar el nostre agraïment a tot el personal del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici i del Parc Natural de l'Alt Pirineu, així com als membres del Cos d'Agents Rurals de la Generalitat de Catalunya, per la seva col·laboració i suport. També volem agrair el suport dels companys de feina i dels altres col·laboradors que ens heu ajudat en les campanyes de camp per censar amfibis. Aquest estudi ha estat finançat pel projecte LIFE+ LimnoPirineus (LIFE13 NAT/ES/001210).

BIBLIOGRAFIA

- AGRESTI A. 2007. An Introduction to Categorical Data Analysis, 2nd ed. John Wiley & Sons, New York.
- ALTIG R., WHILES M.R. i TAYLOR C.L. 2007. What do tadpoles really eat? Assessing the trophic status of an understudied and imperiled group of consumers in freshwater habitats. *Freshwater Biology* 52, 386-395.
- ANDERSON M.J. 2006. Distance-based tests for homogeneity of multivariate dispersions. *Biometrics* 62, 245-253.
- ANDERSON M.J. i GORLEY R.N. 2008. PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods. PRIMER-E, Plymouth, UK.
- ARG-UK 2013. NARRS Amphibian Survey Protocols (v. 2013). Amphibian and Reptile Groups of the United Kingdom.
- BENARD M.F. i FORDYCE J.A. 2003. Are induced defenses costly? Consequences of predator-induced defenses in western toads, *Bufo boreas*. *Ecology* 84, 68-78.
- BRADFORD D.F., KNAPP R.A., SPARLING D.W., NASH M.S., STANLEY K.A., TALLENT-HALSELL N.G., MCCONNELL L.L. i SIMONICH S.M. 2011. Pesticide distributions and population declines of California, USA, alpine frogs, *Rana muscosa* and *Rana sierrae*. *Environmental Toxicology and Chemistry* 30, 682-691.
- BUCHACA T., BALLESTEROS E., CHAPPUIS E., GACIA E., GALLÉS A., MIRÓ A., OSORIO V., POU-ROVIRA Q., PUIG M.À., SABAS I. i VENTURA M. 2016. Efectes de la presència de diverses espècies de peixos invasors en els estanys d'alta muntanya. In: 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 i 16 d'octubre de 2015.
- BUCHACA T., SABAS I., OSORIO V., POU-ROVIRA Q., MIRÓ A., PUIG M.À., CRUSET E., FONT B., BALLESTEROS E. i VENTURA M. 2019. Canvis en els estanys a partir de la reducció de les densitats de peixos en el marc del projecte LIFE LIMNOPIRINEUS. In: 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 i 19 d'octubre de 2018.
- CRUMP M.L. i SCOTT JR. N.J. 1994. Visual encounter surveys. En: Heyer W.R., Donnelly M.A., McDiarmid R.W., Hayek L.-A.C., Foster M.S. (eds.) *Measuring and monitoring biological diversity: standard methods for amphibians*. pp. 84-91. Smithsonian Institution Press. Washington, DC.
- HOLLANDER M., WOLFE D.A. i CHICKEN E. 2014. Nonparametric Statistical Methods, 3rd Edition. John Wiley & Sons, New York.
- KNAPP R.A. i MATTHEWS K.R. 1998. Eradication of nonnative fish by gill netting from a small mountain lake in California. *Restoration Ecology* 6, 207-213.
- KNAPP R.A., MATTHEWS K.R. i SARNELLE O. 2001. Resistance and resilience of alpine lake fauna to fish introductions. *Ecological Monographs* 71, 401-421.
- 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. i 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.
- KNAPP R.A., FELLERS G.M., KLEEMAN P.M., MILLER D.A.W., VREDENBURG V.T., ROSENBLUM E.B. i BRIGGS C.J. 2016. Large-scale recovery of an endangered amphibian despite ongoing exposure to multiple stressors. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113, 11889-11894.
- LEGENDRE P. i GALLAGHER E. 2001. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. *Oecologia* 129, 271-280.
- LEGENDRE P. i LEGENDRE L. 2012. Numerical ecology. 3rd edn. Elsevier, Amsterdam.
- MAXWELL B.J., PIOVIA-SCOTT J., LAWLER S.P. i POPE K.L. 2011. Indirect effects of introduced trout on Cascade frogs (*Rana cascadae*) via shared aquatic prey. *Freshwater Biology* 56, 828-838.
- MAXWELL B.J. i KNAPP R.A. 2018. Disease and climate effects on individuals drive post-reintroduction population dynamics of an endangered amphibian. *Ecosphere* 9, e02499.
- MCDIARMID R.W. i ALTIG R. 2000. Tadpoles. The biology of anuran larvae, p. 458. The University of Chicago Press, Chicago and London.
- MIRÓ A. 2011. Les truites als estanys dels Pirineus: Tradicions, vivències i implicacions per a la conservació. Pagès Editors, Lleida.
- MIRÓ A. i 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. i VENTURA M. 2015. Evidence of exotic trout mediated minnow invasion in Pyrenean high mountain lakes. *Biological Invasions* 17, 791-803.
- MIRÓ A., SABÁS I. i VENTURA M. 2018. Large negative effect of non-native trout and minnows on Pyrenean lake amphibians. *Biological Conservation* 218, 144-153.

- NYSTRÖM P., SVENSSON O., LARDNER B., BRONMARK C. I GRANELI W. 2001. The influence of multiple introduced predators on a littoral pond community. *Ecology* 82, 1023-1039.
- OKSANEN J., BLANCHET F.G., FRIENDLY M., KINDT R., LEGENDRE P., MCGLINN D., MINCHIN P.R., O'HARA R.B., SIMPSON G.L., SOLYMOS P., STEVENS M.H.H., SZOEC S. I WAGNER H. 2018. vegan: Community Ecology Package. R package version 2.5-1. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- PECHLANER R. 1984. Historical evidence for the introduction of *Arctic charr* into high-mountain lakes of the Alps by man, 449-557.
- PISTER E.P. 2001. Wilderness fish stocking: history and perspective. *Ecosystems* 4, 279-286.
- POPE K.L., MATTHEWS K.R. I MONTGOMERY W.L. 2001. Movement Ecology and Seasonal Distribution of Mountain Yellow-Legged Frogs, *Rana muscosa*, in a High-Elevation Sierra Nevada Basin. *Copeia* 2001, 787-793.
- POPE K.L. 2008. Assessing changes in amphibian population dynamics following experimental manipulations of introduced fish. *Conservation Biology* 22, 1572-1581.
- R CORE TEAM 2018. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- REISSIG M., TROCHINE C., QUEIMALINOS C., BALSEIRO E. I MODENUTTI B. 2006. Impact of fish introduction on planktonic food webs in lakes of the Patagonian Plateau. *Biological Conservation* 132, 437-447.
- SMITH T.C., PICCO A.M. I KNAPP R. 2017. Ranaviruses Infect Mountain Yellow-legged Frogs (*Rana muscosa* and *Rana sierrae*) Threatened by *Batrachochytrium dendrobatidis*. *Herpetological Conservation and Biology* 12, 149-159.
- TIBERTI R. I 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. I BASSANO B. 2018. Recovery of high mountain Alpine lakes after the eradication of introduced brook trout *Salvelinus fontinalis* using non-chemical methods. *Biological Invasions*.
- VENTURA M., TIBERTI R., BUCHACA T., BUÑAY D., SABAS I. I 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, Dordrecht, Netherlands.
- VREDENBURG V.T. 2004. Reversing introduced species effects: Experimental removal of introduced fish leads to rapid recovery of a declining frog. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 101, 7646-7650.
- WELLS K.D. 2007. The ecology and behavior of amphibians.
- WHITTAKER K., KOO M.S., WAKE D.B. I VREDENBURG V.T. 2013. Global Declines of Amphibians. En: S.A. L. (eds.) *Encyclopedia of Biodiversity, second edition, Volume 3*. pp. 691-699. Academic Press, Waltham MA.
- WILEY R.W. 2003. Planting trout in Wyoming high-elevation wilderness waters. *Fisheries* 28, 22-27.

**LIFE+LIMNOPIRINEUS:
CONSERVACIÓ D'HÀBITATS
I ESPÈCIES AQUÀTIQUES
DE L'ALTA MUNTANYA
DEL PIRINEU**

www.lifelimnopirineus.eu

